

**ESTUDIO DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES Y SUPERGÉNICAS
DE LA FORMACIÓN CALIZAS DEL GUAVIO, EN LOS SECTORES
MINAS DE ORIENTE Y SAN PEDRO (MUNICIPIO CHIVOR, DPTO. BOYACÁ)**

EDDIE NATALIA SILVA CRUZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2008

**ESTUDIO DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES Y SUPERGÉNICAS
DE LA FORMACIÓN CALIZAS DEL GUAVIO, EN LOS SECTORES
MINAS DE ORIENTE Y SAN PEDRO (MUNICIPIO CHIVOR, DPTO. BOYACÁ)**

EDDIE NATALIA SILVA CRUZ

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Geóloga

Director

LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA

Geólogo Ph. D.

Codirector

JAIME MOJICA (INGEOMINAS)

Geólogo

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2008

***Con cariño para mi familia,
quienes contribuyeron callada
pero incondicionalmente.***

***Para ti, mi amor, gracias por
hacerme desear ser cada día mejor
y creer que es posible ser feliz.***

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente al profesor Luis Carlos Mantilla, por su apoyo y orientación, así como permitirme hacer parte de este proyecto.

Al geólogo Jaime Mojica, por su invaluable colaboración, sabiduría y acompañamiento.

Al grupo de profesionales de INGEOMINAS, quienes nos acompañaron durante la elaboración de este proyecto.

Al grupo de investigación MINPETGEO, a los geólogos Alejandro Silva y Diego Torres.

A la Universidad Industrial de Santander (UIS) y la Escuela de Geología.

Al geólogo Edwin Peña, agradezco su apoyo incondicional y aportes a este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	2
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. METODOLOGÍA	4
2.1. FASE PREVIA AL CAMPO	4
2.2. FASE DE CAMPO	4
2.3. FASE DE LABORATORIO	5
2.3.1. Microscopía óptica	5
2.3.2. Microscopía electrónica	7
2.3.3. Difracción de Rayos X (DRX)	8
2.3.4. Microtermometría de Inclusiones Fluidas (IF).....	10
2.3.5. Isótopos estables.....	11
3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	12
3.1 LOCALIZACIÓN	12
3.2 ASPECTOS GEOGRÁFICOS	14
3.3 INFRAESTRUCTURA VIAL Y URBANA	14
4. ANTECEDENTES.....	16
4.1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
4.1.1. Aspectos Estratigráficos	16
4.1.2. Rasgos Estructurales Generales	20
4.2. YACIMIENTOS MINERALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	21

5. RESULTADOS.....	26
5.1. Rasgos Geológicos Generales [túneles minas de Oriente y San Pedro (corte San Gregorio)].....	26
5.1.1. Rasgos geológicos generales al interior del túnel ‘Minas de Oriente’	27
5.1.2. Rasgos geológicos generales al interior del Corte ‘San Gregorio’ (Sector Minas de San Pedro).....	36
5.1.3. Interpretación preliminar	44
5.2. ESTUDIO PETROGRÁFICO	46
5.2.1. Estudio petrográfico en muestras del túnel de las Minas de Oriente.	46
5.2.2. Estudio petrográfico de las Minas de San Pedro, Corte San Gregorio	54
5.2.3. Interpretación preliminar	61
5.3. ANÁLISIS MINERALÓGICO MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)	63
5.3.1. Consideraciones previas.....	63
5.3.2. Datos obtenidos mediante análisis de DRX.....	65
5.3.3. Interpretación preliminar	69
5.4. ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS (IF).....	73
5.4.1. Consideraciones previas.....	73
5.4.1.1. Clasificación morfológica	73
5.4.1.2. Clasificación según la naturaleza del fluido	74
5.4.1.3. Clasificación genética	75
5.4.1.4. Clasificación según las fases observables a temperatura ambiente	76
5.4.1.5. Temperatura	78
5.4.1.6. Presión.....	78
5.4.1.7. Densidad.....	78
5.4.1.8. Composición	78
5.4.2. Petrografía de IF	79
5.4.2.1. COR 005 015 Cuarzo (Minas de Oriente, zona I).	79
5.4.2.2. COR 012 048 Esmeralda (Minas de Oriente, zona II).....	80
5.4.2.3. COR 012 049 Esmeralda y Dolomita (Minas de Oriente, zona II).	82

5.4.2.4. COR 012 049 Fluorita (Minas de Oriente, zona II).....	84
5.4.2.5. COR 008 001 Esmeralda (Minas de San Pedro, zona I).	84
5.4.2.6. COR 008 007 Esmeralda (Minas de San Pedro, zona I).	87
5.4.2.7. COR 013 037 Calcita (Minas de San Pedro, zona I).....	88
5.4.3. Datos microtermométricos de IF	89
5.4.3.1. Muestra COR 005 015 (Minas de Oriente, zona I).....	90
5.4.3.2. Muestra COR 008 007 (Minas de San Pedro, zona I).....	90
5.4.3.3. Muestra COR 013 037 (Minas de San Pedro, zona I).....	90
5.4.3. Interpretación preliminar	91
5.5. ANÁLISIS DE QUÍMICA MINERAL	92
5.5.1. Consideraciones previas.....	92
5.5.2. Datos obtenidos mediante análisis de microsonda electrónica.....	93
5.5.2.1. Datos obtenidos y clasificación de plagioclasas en venas.....	93
5.5.2.2. Datos obtenidos de plagioclasas de roca encajante	103
5.5.2.3. Datos obtenidos y clasificación de berilos	104
5.5.2.4. Datos obtenidos y clasificación de carbonatos	107
5.5.2.5. Datos obtenidos y clasificación de apatitos	110
5.6. ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES	113
5.6.1. Consideraciones previas.....	113
5.6.1.1. Composición Isotópica.....	115
5.6.1.2. Generalidades de la Geoquímica isotópica del Carbono.....	116
5.6.1.3. Generalidades de la Geoquímica isotópica del Oxígeno	116
5.6.1.4. Generalidades de la Geoquímica isotópica del Azufre	117
5.6.2. Localización de muestras con análisis de isótopos estables	117
5.6.3. Datos obtenidos de la composición isotópica de O, C y S.....	118
5.6.4. Consideraciones sobre la procedencia del fluido.....	123
5.6.5. Interpretación preliminar	126
6. CONCLUSIONES	127
7. RECOMENDACIONES.....	130
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131

ANEXOS	138
--------------	-----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas del equipo de DRX marca RIGAKU D/MAX IIB.	9
Tabla 2. Datos estructurales de las Minas de Oriente (relacionadas mediante la nomenclatura COR 012)	35
Tabla 3. Datos estructurales de las Minas de San Pedro (Corte San Gregorio).	43
Tabla 4. Orden de cristalización de los minerales presentes en venas.	62
Tabla 5. Resultados de análisis semicuantitativos de DRX	68
Tabla 6. Resultados de análisis petrográficos de IF.	89
Tabla 7. Resultados obtenidos mediante microtermometría de IF de muestras de las Minas de Oriente (COR 005 015) y Minas de San Pedro (COR 008 007 y COR 013 037).....	91
Tabla 8. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 012 002. Minas de Oriente, zona II.	94
Tabla 9. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 012 035. Minas de Oriente, zona II.	95
Tabla 10. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 012 048. Minas de Oriente, zona II.	97

Tabla 11. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 008 002. Minas de San Pedro, zona I.....	98
Tabla 12. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 008 007. Minas de San Pedro, zona I.....	99
Tabla 13. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 008 007. Minas de San Pedro, zona I.....	99
Tabla 14. Determinación de la fórmula química de la albita. Muestra COR 012 002, análisis 1. Minas de Oriente, zona II.....	102
Tabla 15. Fórmulas químicas de albita determinadas para todas las muestras analizadas.....	102
Tabla 16. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 012 002. Minas de Oriente, zona II.	104
Tabla 17. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de berilo para la muestra COR 012 048. Minas de Oriente, zona II. ...	106
Tabla 18. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 012 048. Minas de Oriente.	108
Tabla 19. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 013 037. Minas de San Pedro. ...	109
Tabla 20. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 008 002. Minas de San Pedro. ...	111

Tabla 21. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 012 002. Minas de Oriente.	112
Tabla 22. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 012 048.	113
Tabla 23. Datos de porcentaje en peso de óxidos principales para el mineral fluorapatito. Modificado de http://webmineral.com/	113
Tabla 24. Características isotópicas fundamentales de los elementos ligeros. No se incluyen los isótopos radiactivos cuyas abundancias relativas, además, son muy pequeñas. (Modificado de Redondo, 2001).....	114
Tabla 25. Estándares de referencia utilizados en el estudio de isótopos estables.	115
Tabla 26. Composición de isótopos estables de las muestras analizadas	121
Tabla 27. Composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ del agua en equilibrio con carbonatos	123
Tabla 28. Composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ del CO_2 en equilibrio con carbonatos	124
Tabla 29. Composición isotópica de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ del H_2S en equilibrio con sulfuros	125

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Aspecto de la Lupa estereoscópica Carl Zeiss Jena. Laboratorio de Arcillas, Escuela de Geología. Universidad Industrial de Santander (UIS).6
- Figura 2. Aspecto del microscopio de luz transmitida Nikon Eclipse-50i con cámara fotográfica DS-L1. Laboratorio de Microscopía Óptica. Escuela de Geología. UIS.7
- Figura 3. Aspecto de la microsonda electrónica JEOL JXA-8200. Laboratorio UCLEMA. Universidad de Calgary, Canadá. Tomada de <http://www.geo.ucalgary.ca/UCLEMA/>.8
- Figura 4. Aspecto del difractómetro de rayos X marca RIGAKU D/MAX IIIB. Laboratorio de Difracción de Rayos X. Escuela de Química, UIS.....9
- Figura 5. Aspecto del equipo utilizado para el estudio de las Inclusiones fluidas (Platina de calentamiento-enfriamiento TH600 marca LINKAM). Escuela de Geología. Sede Guatiguará, UIS. 10
- Figura 6. Localización de los Cinturones Esmeraldíferos (Occidental y Oriental) de la Cordillera Oriental de Colombia (adaptada de Carrillo, 2006). El recuadro en rojo corresponde a la ampliación mostrada en la figura siguiente (Figura 7).
..... 12
- Figura 7. Imagen satelital del sector de estudio (sector Municipio Chivor), donde se indican las minas estudiadas (Oriente y San Pedro). Imagen de fondo tomada de www.google-earth.es. 13
- Figura 8. Vías de acceso al área de estudio. Adaptado de www.invias.gov.co (2008) 15

Figura 9. Columna estratigráfica generalizada de la Fm. Calizas del Guavio. Tomado de INGEOMINAS – Geostratos Ltda. (2005).	18
Figura 10. Localización de secciones tipo y estratigráficas de los miembros de la Formación Calizas del Guavio. Tomado de Ulloa <i>et al.</i> (2000).	19
Figura 11. Ocurrencias minerales en la Fm. Calizas del Guavio. Tomado de Ulloa <i>et al.</i> , (2000).....	22
Figura 12. Ubicación de los túneles de las Minas de Oriente y San Pedro. Modificado de INGEOMINAS, (2007)	26
Figura 13. Levantamiento de las Minas de Oriente. Se muestra el recorrido del túnel correspondiente a la zona indicada en el mapa de la esquina superior derecha, el cual corresponde al mapa de la Figura 12 (ver convenciones en esta figura).	28
Figura 14. Levantamiento de las Minas de Oriente. Se muestran las litologías predominantes y datos estructurales de la estratificación.....	30
Figura 15. Levantamiento de las minas de Oriente, en el cual se muestran las diferentes zonas, identificadas con base en asociaciones litológicas, estructurales y tipología de manifestaciones hidrotermales.....	31
Figura 16. Columna generalizada del sector ‘Minas de Oriente’, en donde se muestran tres zonas, agrupadas según características litológicas y rasgos estructurales.	34
Figura 17. Estereograma generalizado de los datos estructurales del túnel conocido como ‘Minas de Oriente’	35
Figura 18. Levantamiento de las Minas de San Pedro. Se muestra el recorrido del túnel correspondiente a la zona indicada en el mapa de la esquina superior	

derecha, el cual corresponde al mapa de la Figura 12 (ver convenciones en esta figura).....	38
Figura 19. Registro fotográfico del túnel de las Minas de San Pedro.	39
Figura 20. Levantamiento de las Minas de San Pedro. Se muestran las litologías predominantes y datos estructurales de la estratificación.....	40
Figura 21. Levantamiento de las minas de San Pedro, en el cual se muestran las diferentes zonas, identificadas con base en asociaciones litológicas, estructurales y tipología de manifestaciones hidrotermales.....	41
Figura 22. Columna generalizada de las Minas de San Pedro (Corte San Gregorio). Se muestran dos zonas bien diferenciadas.	42
Figura 23. Fragmento de una vena de albita-dolomita(?)-esmeralda, embebida en una matriz de brechas tectónicas. Esto sugiere que el área de estudio fue afectada por eventos tectónicos recientes, los cuales ocasionalmente destruyen los filones con mineralización esmeraldífera. Estos últimos, formados en un evento deformativo-hidrotermal anterior.	42
Figura 24. Pliegue por propagación de falla encontrado en las Minas de San Pedro (Corte San Gregorio). Nótese la zonación vertical marcada por una coloración clara al tope y una oscura hacia la base.....	43
Figura 25. Estereograma generalizado de los datos estructurales de las Minas de San Pedro (Corte San Gregorio).....	44
Figura 26. Levantamiento del túnel de las Minas de Oriente (COR 012) con la ubicación de las muestras con análisis petrográfico.	47
Figura 27. Muestra COR 012 042. Microfotografía de luz plana analizada donde se presentan la laminación plano - paralela, así como fracturas sin rellenar	

(centro de la fotografía) con la misma dirección de la laminación. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.....48

Figura 28. Muestra COR 012 045. Microfotografía de luz plana analizada donde se muestra la apariencia típica de la roca, así como su contenido en materia orgánica. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.....49

Figura 29. Muestra COR 012 035. a. Microfotografía de luz plana analizada donde se observa el contacto entre la vena y la roca encajante, nótese que la dirección de la vena rompe la laminación. Esta vena se compone por albita y esmeralda. b. Microfotografía de luz plana analizada mostrando la relación de los cristales de albita (Ab), opacos (sulfuros?) (Op) y esmeralda (Be). Aumento de objetivo de 5x. Zona II, subzona 1.50

Figura 30. Muestra COR 012 036. Microfotografía de luz plana analizada donde se presenta la mineralogía propia de la vena, la cual consiste de albita, carbonatos y sulfuros. Aumento de objetivo de 5x. Zona II, subzona 1.51

Figura 31. Muestra COR 012 002. Microfotografía de luz plana analizada donde se muestra el contacto entre carbonatos (Cb) y albita (Ab) en la vena. Aumento de objetivo de 5x. Zona II, subzona 2.52

Figura 32. Muestra COR 012 033. Microfotografía de luz plana no analizada donde se muestra el proceso de oxidación de sulfuros. Aumento de objetivo de 10x. Zona II, subzona 2.52

Figura 33. Muestra COR 012 002. Microfotografía de luz plana analizada mostrando el contacto entre la roca caja y una vena que corta la laminación. La vena se compone por cristales de albita (Ab) y carbonatos (Cb), algunos minerales opacos observados en la vena provienen de la roca encajante. Aumento de objetivo 10x. Zona II, subzona 3.53

Figura 34. Muestra COR 012 011. Microfotografía de luz plana analizada mostrando acumulación de material hidrotermal en un microplegamiento,

nótese hacia la derecha el área que no ha sido afectada por alteración hidrotermal. Aumento de objetivo de 5x. Zona III.....54

Figura 35. Levantamiento del túnel de las Minas de San Pedro (COR 013) con la ubicación de las muestras con análisis petrográfico.55

Figura 36. Muestra COR 013 001. Microfotografía de luz plana analizada mostrando fracturas sin rellenar, así como agujas de moscovita asociadas a sulfuros y oquedades. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.57

Figura 37. Muestra COR 013 002. Microfotografía de luz plana analizada donde se presenta el proceso de oxidación de sulfuros en forma de manchas amarillentas a rojizas en los bordes de granos. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.....57

Figura 38. Muestra COR 013 004A. Microfotografía de luz plana analizada en la que se muestra la vena que corta la roca caja, esta se compone por albita (Ab), opacos (sulfuros?) (Op) y esmeralda. Aumento de 10x. Zona I.....58

Figura 39. Muestra COR 013 011. Microfotografía de luz plana no analizada donde se muestra la apariencia de la muestra brechificada, así como el proceso de oxidación de minerales opacos (sulfuros?), observable como una coloración amarillenta en los bordes de granos. Aumento de objetivo de 10x. Zona I.....58

Figura 40. Muestra COR 013 003. Microfotografía de luz plana analizada donde se observan opacos (sulfuros?) (Py) provenientes de la roca encajante en una vena de albita, dolomita y pirita (Py). Tomada con luz plana analizada. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.....59

Figura 41. Muestra COR 013 030A. Microfotografía de luz plana analizada donde se observan cristales de albita (Ab) en contacto con un gran cristal de esmeralda (Be) (en color gris claro). Aumento de objetivo de 10x. Zona I.59

Figura 42. Muestra COR 013 017B. Microfotografía de luz plana analizada mostrando una vena paralela a la laminación, conformada por albita (Ab) (en los bordes de la vena) y carbonatos (Cb). Aumento de objetivo de 5x. Zona II.	60
Figura 43. Muestra COR 013 020. Microfotografía de luz plana analizada donde se observan lentes con albita hidrotermal (Ab) y minerales opacos (sulfuros?) provenientes de la roca caja (Op). Aumento de objetivo de 5x. Zona II.....	61
Figura 44. Levantamiento del túnel de las Minas de Oriente (COR 012) con la ubicación de las muestras con análisis mediante DRX.....	66
Figura 45. Levantamiento del túnel de las Minas de San Pedro (COR 013) con la ubicación de las muestras con análisis mediante DRX.....	67
Figura 46. Levantamiento del túnel de las Minas de Oriente, se muestra la aparición de ciertos minerales determinados por DRX.	71
Figura 47. Levantamiento del túnel de las Minas de San Pedro, se muestra la aparición de ciertos minerales determinados por DRX.	72
Figura 48. Clasificación morfológica de IF. Tomado de Velasco (2004).	74
Figura 49. Clasificación de Nash (1976) mostrando los cuatro tipos predominantes de inclusiones fluidas (L: líquido, V: vapor, S: sólido y C: carbónicas). Tomado de Velasco (2004).	75
Figura 50. Formación de IF primarias, secundarias y pseudosecundarias durante la evolución de un cristal. Tomado de Samson <i>et al.</i> (2003).	76
Figura 51. Esquema de los tipos de inclusiones fluidas según el número de fases presentes a temperatura ambiente (L: líquido y V: vapor). Tomado de Nash y Theodore (1971).	77

Figura 52. Diagrama de presión en función de la temperatura del desarrollo de una inclusión fluida salina después de su atrapamiento en un mineral. Tomado de http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/profluid/ptext/10001intro	79
Figura 53. IF primarias polifásicas dentro de un cristal de cuarzo. COR 005 015	80
Figura 54. IF secundarias polifásicas dentro de cuarzo. COR 005 015.	80
Figura 55. Cristal de esmeralda. Inclusiones primarias. Aumento de objetivo de 40x. Se hace hincapié en la variedad de formas presentes. Muestra COR 012 048 (Minas de Oriente, zona I).....	81
Figura 56. Cristal de esmeralda. Inclusión secundaria. Aumento de objetivo de 40x. La inclusión se extiende a lo largo de una fractura. Muestra COR 012 048 (Minas de Oriente, zona I).	81
Figura 57. Cristal de esmeralda. Inclusiones secundarias. Aumento de objetivo de 40x. Véase la orientación seguida por las inclusiones. Muestra COR 012 049 (Minas de Oriente, zona II).....	82
Figura 58. Cristal de esmeralda. Inclusiones primarias. Aumento de objetivo de 40x. Se observa una gran cantidad de tamaños y formas. Muestra COR 012 049 (Minas de Oriente, zona II).....	83
Figura 59. Cristal de esmeralda. Inclusiones primarias 400x. Inclusiones cerca al contacto entre la esmeralda y la calcita. Muestra COR 012 049 (Minas de Oriente, zona II).	83
Figura 60. Cristal de fluorita. Inclusiones primarias. Aumento de objetivo de 40x. Nótese la orientación planar de las inclusiones. Muestra COR 012 049 (Minas de Oriente, zona II).	84

Figura 61. Cristal de esmeralda. Familia de inclusiones primarias. Aumento de objetivo de 40x. Inclusiones orientadas a lo largo del crecimiento del cristal de esmeralda. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).....	85
Figura 62. Inclusión particular perteneciente a la misma familia de la Figura 56, se observa claramente la unión de dos cristales, aparentemente carbonatos(?) 400x. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).....	85
Figura 63. Cristal de esmeralda. Inclusión secundaria. Aumento de objetivo de 40x. Inclusión que ha sufrido un <i>necking – down</i> , produciendo dos burbujas gaseosas. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).	86
Figura 64. Cristal de esmeralda. Inclusión primaria. Aumento de objetivo de 40x. Nótese la presencia de dos cristales de halita?. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).	86
Figura 65. Cristal de esmeralda. Inclusión secundaria. Aumento de objetivo de 40x. Se observan dos burbujas de gas separadas por un cristal de halita?. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).....	87
Figura 66. a. Inclusiones fluidas primarias polifásicas de 60 µm. b. Inclusiones fluidas polifásicas primarias de tamaños entre 15 y 30 µm. c. Inclusiones fluidas secundarias polifásicas. d. Inclusiones fluidas polifásicas primarias. COR 008 007.....	88
Figura 67. a. Inclusiones fluidas secundarias polifásicos con más de un sólido. b. Inclusiones fluidas polifásicas secundarias con un sólido. Aumento de objetivo de 50x. Muestra COR 013 037 (Minas de San Pedro, zona I).....	89
Figura 68. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 012 002. Aumento de 40x. Minas de Oriente, zona II.	94

Figura 69. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 012 035. Aumento de 40x. Minas de Oriente, zona II.	95
Figura 70. Microfotografía mostrando análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 012 048. Aumento de 75x. Minas de Oriente, zona II.	96
Figura 71. Microfotografía mostrando análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 012 048. Aumento de 120x. Minas de Oriente, zona II.	96
Figura 72. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 008 002. Aumento de 45x. Minas de San Pedro, zona I.	97
Figura 73. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 008 007. Aumento de 40x. Minas de San Pedro, zona I.	98
Figura 74. Clasificación de plagioclasas a partir de los datos de porcentaje en peso de óxidos realizada por el software MINPET 2.0	100
Figura 75. Clasificación de plagioclasas a partir de los cationes dominantes realizada por el software MINPET 2.0	101
Figura 76. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de albita a la muestra COR 012 002. Aumento de 100x. Minas de Oriente, zona II.	104
Figura 77. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de berilo a la muestra COR 012 048. Aumento de 40x. Minas de Oriente, zona II.	105

Figura 78. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de berilo a la muestra COR 012 048. Aumento de 50x. Minas de Oriente, zona II.....	105
Figura 79. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de berilo a la muestra COR 012 048. Aumento de 50x. Minas de Oriente, zona II.....	106
Figura 80. Clasificación de esmeraldas a partir de los datos de porcentaje en peso de óxidos realizada por el software MINPET 2.0	107
Figura 81. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de carbonatos a la muestra COR 012 048. Aumento de 120x. Minas de Oriente.....	108
Figura 82. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de carbonatos a la muestra COR 013 037. Aumento de 50x. Minas de San Pedro.....	109
Figura 83. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de apatito a la muestra COR 008 002. Aumento de 100x. Minas de San Pedro.	110
Figura 84. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de apatito a la muestra COR 012 002. Aumento de 100x. Minas de Oriente.....	111
Figura 85, Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de apatito a la muestra COR 012 048. Aumento de 100x. Minas de Oriente.....	112
Figura 86. Destilación de Rayleigh: variación del contenido isotópico en el cicho hidrológico. Tomado de Encarta (2000).....	117

Figura 87. Levantamiento del túnel de las Minas de Oriente (COR 012) con la ubicación de las muestras con análisis de isótopos estables.	119
Figura 88. Levantamiento del túnel de las Minas de San Pedro (COR 013) con la ubicación de las muestras con análisis de isótopos estables.	120
Figura 89. Gráfica de distribución de población isotópica de carbonatos analizados según $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ contra $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	121
Figura 90. Valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ en sulfuros de roca caja y vena	122
Figura 91. Valores de $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ (‰) determinados en muestras de esmeralda	123
Figura 92. Modelo del fraccionamiento isotópico del agua en equilibrio con carbonatos, según variación en la temperatura.	124
Figura 93. Modelo del fraccionamiento isotópico del CO_2 en equilibrio con carbonatos, según variación en la temperatura.	125
Figura 94. Fraccionamiento isotópico del H_2S en equilibrio con pirita.	126

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE SECCIONES DELGADAS	139
ANEXO 2. DIFRACTOGRAMAS DE ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X	217
ANEXO 3. TABLAS DE DETERMINACIÓN DE LA FÓRMULA QUÍMICA DE ALBITAS	287

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES Y SUPERGÉNICAS DE LA FORMACIÓN CALIZAS DEL GUAVIO, EN LOS SECTORES MINAS DE ORIENTE Y SAN PEDRO (MUNICIPIO CHIVOR, DPTO. BOYACÁ)*

AUTOR: Eddie Natalia Silva Cruz**

PALABRAS CLAVES: Esmeraldas, Cordillera Oriental, Calizas del Guavio, hidrotermalismo, Chivor.

DESCRIPCIÓN:

El área de estudio se localiza en el Cinturón Esmeraldífero Orienta. En este sector se encuentran las minas estudiadas en este estudio: San Pedro (Corte San Gregorio) y Oriente.

La mineralización de esmeraldas en estas minas, ha sido relacionada con venas hospedadas en rocas sedimentarias del Cretácico Inferior, de la Formación Calizas del Guavio. Estas rocas presentan una importante albitización (albitas irregulares y tamaños $<5\mu\text{m}$), preservando a manera de relictos antiguas estructuras evaporíticas. Este fenómeno de albitización, es considerado anterior a otro evento de albitización que acompaña los procesos generadores de esmeraldas.

Las observaciones en campo, los análisis petrográficos y de DRX, permiten reconocer en el área dos tipos de venas hidrotermales: 1) venas de calcita±pirita y 2) venas de albita±dolomita±pirita y ocasionalmente esmeralda. La albita presente en estas venas mencionadas, forma cristales euhedrales de tamaños entre 200 y 300 μm

Los estudios de inclusiones fluidas en dolomitas y esmeraldas presentes en las venas tipo 2, apuntan a que los fluidos mineralizantes son de tipo $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}+\text{CaCl}_2+\text{KCl}+\text{FeCl}_2+\text{LiCl}+(\pm\text{CsCl}, \text{GaCl}_3)+\text{CO}_2+\text{N}_2$. Las temperaturas mínimas de atrapamiento de estos fluidos, oscilan entre 300 y 340°C.

Los análisis de isótopos estables del oxígeno en carbonatos de venas (en equilibrio con agua), sugieren que los fluidos (agua) son de origen metamórfico. Por otro lado, el análisis del azufre de las piritas diseminadas en las rocas y en venas (en equilibrio con el H_2S), indican que este procede de un reservorio evaporítico.

La presencia de brechas tectónicas con oquedades, en las cuales se presentan ocasionalmente fragmentos de venas con esmeraldas, sugieren que el área fue afectada por un evento tectónico posterior a la mineralización. Este evento deformativo, en sectores puntuales, destruye la mineralización esmeraldífera y facilita el flujo de aguas meteóricas, éstas alteran sulfuros de las evaporitas albitizadas, generando sectores con alteración supergénica, compuestos fundamentalmente de hematita, alunita y jarosita, entre otros.

* Trabajo de investigación

** Facultad de Ingenierías Físico químicas. Escuela de Geología. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa, PhD.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE HYDROTHERMAL AND SUPERGENIC ALTERATIONS OF THE FORMATIONS CALIZAS DEL GUAVIO, IN THE SECTORS MINAS DEL ORIENTE AND SAN PEDRO, EASTERN MOUNTAIN CHAIN (CHIVOR, BOYACÁ)*

AUTHOR: Eddie Natalia Silva Cruz**

KEY WORD: Esmerad, Eastern Mountain Chain, Guavio Lime, hydrothermalism, Chivor.

DESCRIPCIÓN:

The area of study locates in the Eastern Emerald Belt, which is confined in the oriental flank of the Oriental Mountain chain of Colombia. In this sector they find both mines studied in the present study: San Pedro and Este.

The mineralization of emeralds of these mines, have been related with veins in sedimentary rocks dated from Cretaceous Low; these belong to "Calizas del Guavio" Formation. These rocks are characterized for present an important albitization (irregular albites with sizes $<5\mu\text{m}$), preserving antiques evaporitic estuctures. This albitization phenomenon is considered previous to another albitization event that accompanies emerald generator process.

Field observations, petrographic and XDR analysis, allows recognizing two types of veins: 1) veins of calcite \pm pyrite and 2) veins of albite \pm dolomite \pm pyrite and occasionally emerald. The albites present in the last mentioned veins, are characterized for theirs euhedral crystals and sizes between 200 and 300 μm .

Studies of fluid inclusions in carbonates of origin hidrothermal, they point to that the mineralization fluids is correlated with a chemical system, type $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}+\text{CaCl}_2+\text{KCl}+\text{FeCl}_2+\text{LiCl}+(\pm\text{CsCl}, \text{GaCl}_3)+\text{CO}_2+\text{N}_2$. The minimum temperatures of trapping of these fluids oscillate among 300 and 340°C.

The obtained data of oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$) in vein carbonates (in equilibrium with water) indicate that they proceed of metamorphic water. In the other hand, the S isotope ($\delta^{34}\text{S}$) data in pyrites (in equilibrium with H_2S), suggest that the sulfur have an evaporitic origin.

The presence of tectonic breccias with hollow between fragments, in which occasionally appear fragments of emerald veins, suggest that the area was affected by a tectonic event later than mineralization, very recent. This last deformity event destroys the emerald mineralization and allows the flow of meteoric water, these alter sulfurs of albitized evaporates, generating supergenetic alteration sectors, compost fundamentally by hematite, alunite and jarosite, among others. This is known as "cascoche" in the area and is followed for de miners, because in there, they can found emerald (hydrothermal material affected recently by supergenetic alterations).

* Investigation work

** Faculty of Engineering Physical-Chemical, Geology School. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa, PHD.

INTRODUCCIÓN

El presente documento es el resultado de una tesis de pregrado 'Modalidad Investigación', desarrollada en el marco de un convenio de cooperación científica entre el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) y la Universidad Industrial de Santander (UIS), 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 área objeto de estudio, se localiza en el municipio de Chivor, el cual hace parte del Cinturón Esmeraldífero Oriental de la Cordillera Oriental de Colombia. Las minas de esmeraldas estudiadas en este proyecto fueron las Minas de Oriente y Minas de San Pedro (corte San Gregorio), las cuales se caracterizan por la presencia de rocas sedimentarias de edad Cretácica Inferior, pertenecientes a la Formación Calizas del Guavio.

El objetivo fundamental del presente estudio en las áreas mencionadas, es determinar la historia hidrotermal de los sectores mencionados y establecer su relación con la mineralización esmeraldífera. Por otro lado, se estudiaron igualmente los productos de la alteración supergénica de estos materiales hidrotermales.

Finalmente, con base en los resultados del presente estudio, se identificaron algunos criterios o guías de exploración, las cuales son de gran utilidad para reconocer nuevas áreas con potencial esmeradífero en zonas circunvecinas.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar las alteraciones hidrotermales y supergénicas de las rocas Cretácicas de la Formación Calizas del Guavio, en los sectores 'Minas de Oriente' y 'Minas de San Pedro (Corte San Gregorio)', localizadas en la Cordillera Oriental de Colombia (Municipio Chivor, Dpto. de Boyacá).

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar la bibliografía sobre la geología del área de estudio, especial énfasis en la geología de la Formación Calizas del Guavio y sus depósitos de esmeraldas asociados.
- Realizar un trabajo de campo, con fines de reconocimiento y muestreo de las diferentes litologías, alteraciones y toma de datos estructurales.
- Analizar macroscópicamente las muestras recolectadas en campo y generar el correspondiente catálogo de muestras.
- Realizar un estudio petrográfico de 32 láminas delgadas del total de las muestras recolectadas en campo (especialmente de aquellas con evidencias de alteración hidrotermal), con el propósito de estudiar sus características mineralógicas, texturales y estructurales.
- Identificar las fases minerales presentes en las muestras más representativas recolectadas en campo (82 muestras), mediante análisis de difracción de rayos X (DRX), para establecer su significado y relación con posibles eventos de alteración (hidrotermal o supergénica).
- Estudiar la petrografía y la microtermometría de las inclusiones fluidas, presentes en 6 muestras de materiales de relleno o reemplazamiento hidrotermal, en aras de establecer las propiedades físico-químicas de los paleofluidos hidrotermales.

- Estudiar la composición isotópica del Carbono ($\delta^{13}\text{C}$), Oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$), y Azufre ($\delta^{34}\text{S}$), en carbonatos y sulfuros presentes en materiales de relleno o reemplazamiento hidrotermal, para poder establecer su procedencia.
- Elaborar un modelo que explique la historia de alteración hidrotermal y supergénica de las rocas en los sectores estudiados, y establecer su relación con la mineralización esmeraldífera.
- Identificar a la luz de los nuevos datos, criterios geológicos que ayuden a la exploración de esmeraldas en áreas circunvecinas.

2. METODOLOGÍA

Con base en los objetivos anteriormente mencionados, se estructuró la metodología abajo expuesta, apoyada en cuatro fases de trabajo: Precampo, Campo, Laboratorio e Interpretación y edición del informe final. A continuación son descritos los estadios determinantes y cuya explicación es fundamental para la aprehensión de este trabajo por parte del lector.

2.1. FASE PREVIA AL CAMPO

Durante esta fase, se llevó a cabo una recopilación y análisis de la información existente sobre la geología del área de estudio. Así mismo, se exploraron y analizaron algunas imágenes aéreas del sector, se adquirieron los correspondientes mapas topográficos y se discutió la cartografía geológica del sector, la cual fue previamente elaborada por el personal de INGEOMINAS y fue tomada como punto de partida para el presente estudio.

2.2. FASE DE CAMPO

Inicialmente, durante esta fase se realizó un reconocimiento de la geología del área, apoyados en la cartografía geológica realizada previamente por el INGEOMINAS a escala 1:25.000 (trabajo inédito, INGEOMINAS 2008). Posteriormente, se realizó un muestreo de las unidades litológicas aflorantes en la zona objeto del presente estudio (afloramientos, túneles, etc.), haciendo énfasis en manifestaciones propias de alteraciones hidrotermales y supergénicas. Además, se realizó un registro fotográfico de los puntos muestreados, se georeferenciaron debidamente las estaciones documentadas y se tomaron los correspondientes datos estructurales, entre otros datos de campo.

2.3. FASE DE LABORATORIO

En esta fase se llevan acabo los siguientes estudios:

- Una descripción macroscópica de las muestras colectadas en campo y selección de muestras específicas para su posterior estudio petrográfico y geoquímico.
- Se analizaron 32 secciones delgadas mediante estudios petrográficos, 6 de éstas son enviadas a laboratorios externos para estudiar mediante microsonda electrónica.
- Se estudiaron 6 secciones delgadas doblemente pulidas, mediante análisis de microtermometría en inclusiones fluidas.
- Se realizó la identificación de las fases minerales presentes en 82 muestras de roca, mediante análisis de difracción de rayos X (DRX).
- Se analizaron algunas muestras de minerales concretos, mediante geoquímica de isótopos estables.

Cada una de las técnicas de análisis utilizadas durante la fase de laboratorio, serán descritas más detalladamente a continuación.

2.3.1. Microscopía óptica

Los rasgos macroscópicos de las muestras colectadas en campo se analizaron utilizando una lupa estereoscópica marca Stemi DV4, Carl Zeiss Jena (Figura 1), del Laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS). El propósito fundamental de estos análisis macroscópicos fue determinar las principales características de las rocas tales como el color, textura, estructuras, composición y clasificación. Estas características fueron documentadas y registradas en una base de datos utilizando el software Excel.

De las muestras recolectadas, algunas fueron seleccionadas para la elaboración de sus respectivas láminas delgadas. En total se realizaron 32

secciones delgadas para analizar mediante microscopía óptica y microsonda electrónica. Las láminas delgadas se realizaron en un laboratorio particular, previa valoración de sus estándares de calidad. Este laboratorio está a cargo del técnico Adrián Delgado.

La elaboración de secciones delgadas para análisis de mineralogía óptica y electrónica consiste en cortar la muestra hasta obtener un bloque de aproximadamente 3x2x1cm, el cual es cubierto por una petropoxina, la cual se deja secar al horno durante un día. La cara sobre la cual se trabajará debe ser pulida pasando por un disco rotatorio, al cual se le van aplicando los diferentes abrasivos hasta llegar a uno muy fino. Una vez esa cara está pulida, se procede a secar en horno a 80°C. Luego se pega el portaobjetos a la cara pulida utilizando una petropoxina. Nuevamente se pasa la sección por la pulidora hasta alcanzar un espesor de aproximadamente 30µm.



Figura 1. Aspecto de la Lupa estereoscópica 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 cámara fotográfica digital DS-L1 (Figura 2).



Figura 2. Aspecto del microscopio de luz transmitida Nikon Eclipse-50i con cámara fotográfica DS-L1. Laboratorio de Microscopía Óptica. Escuela de Geología. UIS.

2.3.2. Microscopía electrónica

Los análisis de química mineral fueron realizados en la Universidad de Calgary, (Alberta, Canadá). La microsonda electrónica utilizada es de marca JEOL JXA 8200 (Figura 3), dotada de cinco espectrómetros de ondas dispersadas (WDS, siglas en inglés) y un espectrómetro de energía dispersada (EDS, siglas en inglés). Los resultados se obtienen al combinar los ocho canales del EDS con los cinco WDS, lo que permite el análisis de 13 elementos de manera simultánea. Una descripción más detallada del instrumento utilizado, se encuentra en la página <http://www.geo.ucalgary.ca/UCLEMA/>.



Figura 3. Aspecto de la microsonda electrónica JEOL JXA-8200. Laboratorio UCLEMA. Universidad de Calgary, Canadá. Tomada de <http://www.geo.ucalgary.ca/UCLEMA/>.

Para la realización de estos análisis, se utilizan las mismas secciones elaboradas para estudiar mediante microscopía óptica, la diferencia con estas secciones es que, para fines prácticos no pueden llevar cubreobjetos y deben ser pulidas con alúmina de 1 y $0.005\mu\text{m}$. Asimismo, estas secciones delgadas son cubiertas con grafito o con un metal precioso como el oro para aumentar la conductividad eléctrica de superficie de la muestra (Kerrick *et al.*, 1973).

2.3.3. Difracción de Rayos X (DRX)

La preparación de las muestras para análisis de DRX, se realizó en el Laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología, UIS. El procedimiento seguido fue el descrito a continuación. Primero se toman unos 30g de muestra, los cuales son secados en un horno a 50°C aproximadamente, el secado de la muestra puede tomar unas 24h. Una vez está seca la muestra, ésta se tritura manualmente en un mortero hasta alcanzar un tamaño de partícula de grava. Ahora la muestra pasa a un mortero mecánico donde alcanza un tamaño de

partícula de arcilla. El polvo obtenido es llevado al Laboratorio de Difracción de Rayos X de la Escuela de Química, UIS, donde serán realizados los análisis.

El difractómetro utilizado en la Escuela de Química, UIS es de marca RIGAKU, modelo D/MAX IIIB (Figura 4). Las especificaciones del equipo se observan en la Tabla 1.



Figura 4. Aspecto del difractómetro de rayos X marca RIGAKU D/MAX IIIB. Laboratorio de Difracción de Rayos X. Escuela de Química, UIS.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del equipo de DRX marca RIGAKU D/MAX IIIB.

Voltaje	30(kV)
Corriente	15(mA)
Rendijas (Slits) DS	1.0°
RS	0.3mm
SS	1.0°
Muestreo	0.02° 2theta
Rango de Medición	2-70° 2theta
Radiación	CuKa1
Monocromador	Grafito
Tipo de barrido	continuo
Velocidad de barrido	1.2°/minuto

2.3.4. Microtermometría de Inclusiones Fluidas (IF)

Para el estudio mediante estos análisis se seleccionaron 6 muestras. La preparación de muestras para este análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de preparación de muestras de la Escuela de Geología, UIS. Los pasos a seguir son los mismos que para la preparación de secciones delgadas, con la diferencia que las muestras preferiblemente no superen los 80°C durante su elaboración, para así evitar la decrepitación de las IF de baja temperatura. El espesor para este tipo de láminas, es de unas 100µm.

Los análisis de IF fueron realizados en una platina TH-600 LINKAM adaptada a un microscopio de luz transmitida marca Nikon Eclipse-50i (Figura 5). La platina es calibrada previamente, utilizando patrones de IF sintéticas y compuestos orgánicos con propiedades físico-químicas predeterminadas.



Figura 5. Aspecto del equipo utilizado para el estudio de las Inclusiones fluidas (Platina de calentamiento-enfriamiento TH600 marca LINKAM). Escuela de Geología. Sede Guatiguará, UIS.

2.3.5. Isótopos estables

Los análisis de isótopos estables se realizaron en el laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca, España. El procedimiento seguido en laboratorio, según cada muestra específica (silicatos, sulfuros o carbonatos) se encuentra descrito detalladamente en la dirección <http://usal.es/~isotopos/>.

La selección y separación de las muestras (fracciones monominerales o roca) para este estudio, se realizó de manera manual en el laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología UIS, y su pureza se controló mediante análisis ópticos. Por lo general, se seleccionaron muestras de 2g de peso, si se trataba de muestras monominerales y de 10g de peso, si se trataba de muestras de roca. Un equipo de ultrasonido (Marca ELMA, modelo T460/H)₁ fue igualmente utilizado para limpieza de los materiales seleccionados.

3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza en el Cinturón Esmeraldífero Oriental, el cual hace parte de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, en donde existen varias minas para la explotación de esmeraldas. Los dos cinturones esmeraldíferos se ubican a ambos costados de la cordillera oriental de Colombia (Figura 6).

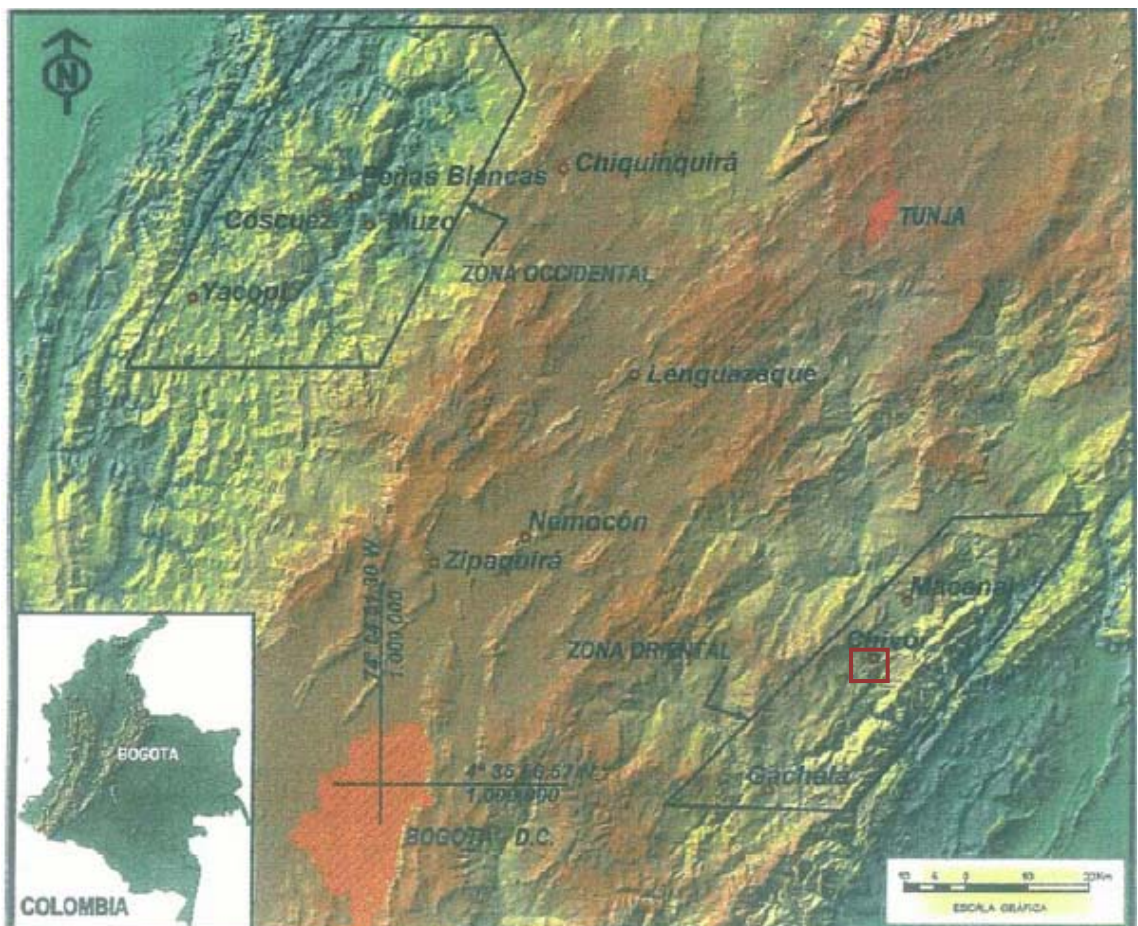


Figura 6. Localización de los Cinturones Esmeraldíferos (Occidental y Oriental) de la Cordillera Oriental de Colombia (adaptada de Carrillo, 2006). El recuadro en rojo corresponde a la ampliación mostrada en la figura siguiente (Figura 7).

El municipio de Chivor, donde se localiza más exactamente el área estudiada en el presente estudio, se encuentra ubicado al sur occidente del departamento de Boyacá en los límites con el departamento de Cundinamarca.

El área de estudio se encuentra acotada por cuatro puntos, cuyas coordenadas geográficas son: $x_1=1028158$, $y_1=1076882$; $x_2=1028158$, $y_2=1079280$; $x_3=1043234$, $y_3=1079280$ y $x_4=1043234$, $y_4=1076882$.

Las minas visitadas, conocidas como Minas de Oriente y Minas de San Pedro se ubican en las coordenadas (coordenadas de sus respectivas Bocaminas): $x= 1028861$, $y= 1077894$ y $x= 1028433$, $y= 1077117$, respectivamente (Figura 7).

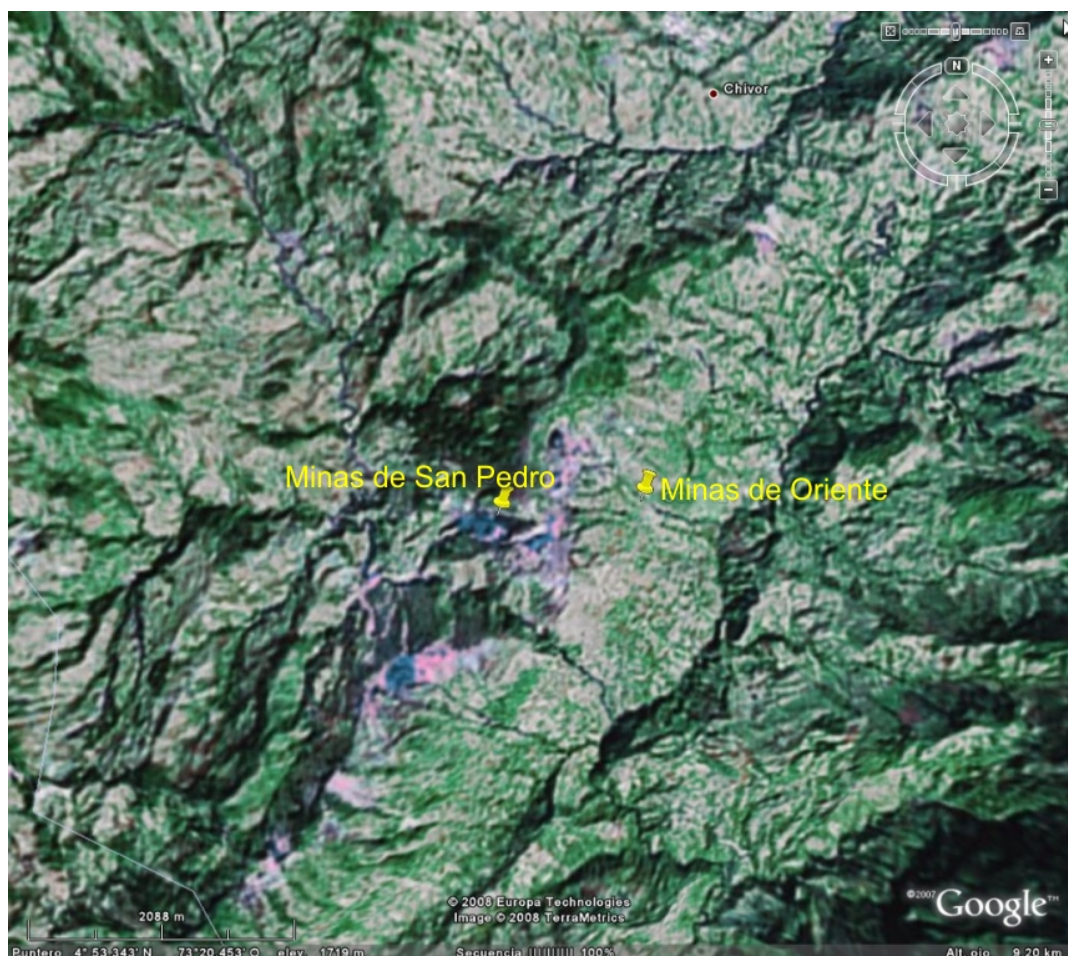


Figura 7. Imagen satelital del sector de estudio (sector Municipio Chivor), donde se indican las minas estudiadas (Oriente y San Pedro). Imagen de fondo tomada de www.google-earth.es.

3.2 ASPECTOS GEOGRÁFICOS

La zona de estudio se encuentra en el piedemonte de la cordillera, 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.

El modelado que se da por los drenajes típicos (subparalelos y subdendríticos) es el de valles en “V” estrechos, las altas pendientes son muy marcadas. La topografía se quiebra por los drenajes y por el clima predominantemente húmedo que facilita el transporte de material.

3.3 INFRAESTRUCTURA VIAL Y URBANA

Existe relativamente buena red vial en el área, la cual une los municipios presentes en la zona. Estos se localizan en los departamentos de Boyacá (Chivor, Macanal, Almeida, Somondoco y Guateque) y Cundinamarca (Gachalá y Ubalá) El acceso al área se puede hacer por la vía conocida como “carretera alterna al Llano”, tomando la vía Bogotá – Tunja (norte de Bogotá) y a la altura del sitio “El Sisga” se toma la vía que conduce a Guateque, municipio desde el cual se encuentra una carretera destapada hasta Chivor y las minas visitadas (Figura 8).

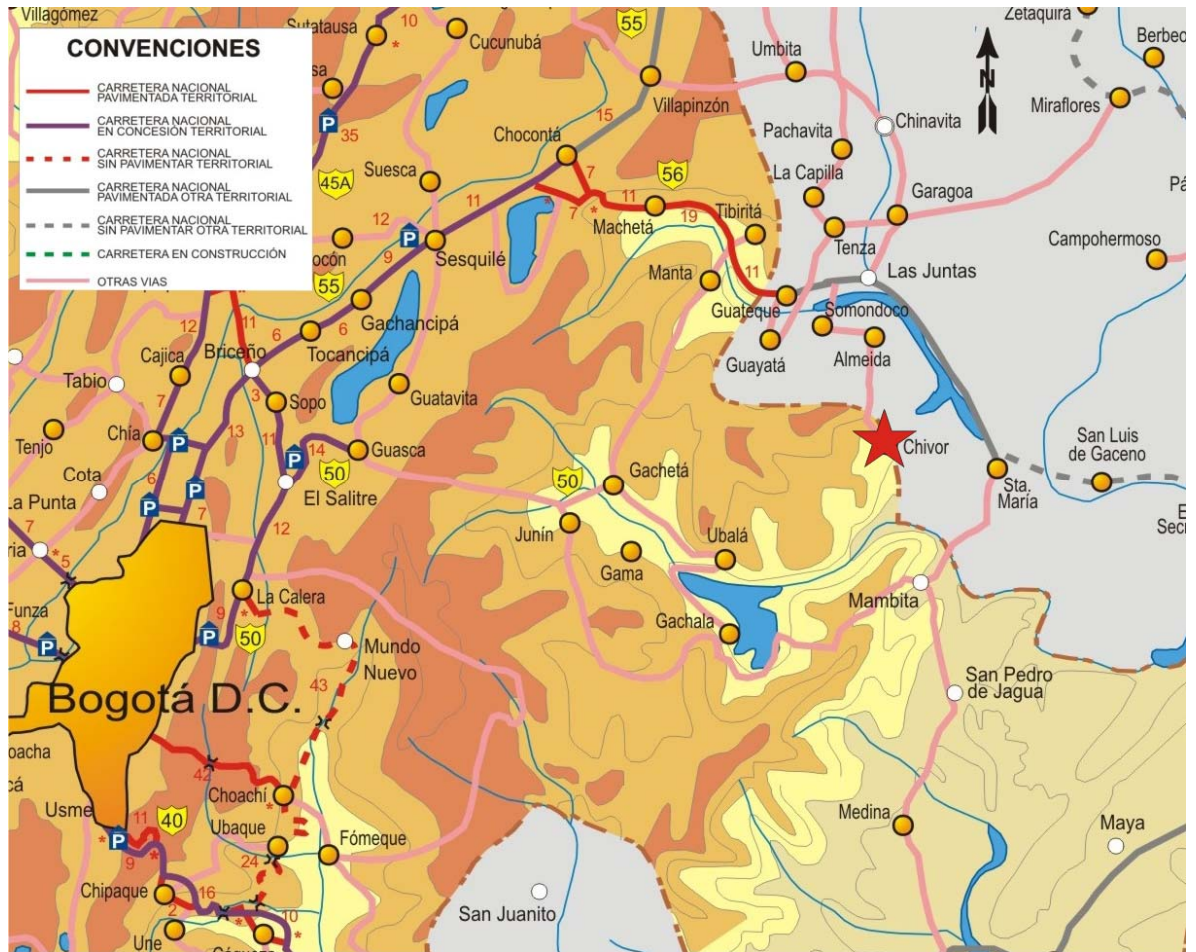


Figura 8. Vías de acceso al área de estudio. Adaptado de www.invias.gov.co (2008)

4. ANTECEDENTES

Con el propósito de contextualizar el problema objeto del presente trabajo de tesis de pregrado, a continuación se presenta un resumen de los aspectos geológicos más importantes del área, tomado de los trabajos realizados con anterioridad al presente estudio.

4.1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1. Aspectos Estratigráficos

En el área del Cinturón Esmeraldífero Orienta (CEOR) afloran rocas que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario, las unidades estratigráficas más importantes son: Formación (Fm.) Farallones, Fm. Batá, Fm. Calizas del Guavio y Fm. Lutitas de Macanal. Dada su relación con los objetivos del presente trabajo, a continuación se hará énfasis en la Formación Guavio. Mayor información sobre las restantes unidades estratigráficas, se puede consultar en Escovar, 1979; Carrillo, 1989; Ulloa *et al.*, 2000; Maya *et al.*, 2004; entre otros.

Trabajos inéditos recientemente desarrollados por el INGEOMINAS (Terraza *et al.*, 2007), apoyados en el contenido fósil, sugieren que esta unidad debería denominarse Formación El Guavio, considerando que su contenido en calizas es prácticamente nulo o muy pobre, especialmente en las áreas objeto del presente estudio. Al no ser aprobado oficialmente el cambio de denominación de la Formación, en este trabajo se conserva el nombre de Fm. Calizas del Guavio.

- **Tipos litológicos de la Formación Calizas del Guavio**

La Fm. 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. 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, las cuales son poco resistentes a la erosión, dando lugar a relieves suaves ondulosos (Ulloa *et al.*, 2000).

La característica de la Formación Calizas del Guavio de formar grandes escarpes y cañones profundos facilita su reconocimiento en los sensores remotos y en el campo (Ulloa *et al.*, 2000).

La Fm. 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 (Figura 9). En El Guavio se han encontrado amonitas y bivalvos, principalmente en las intercalaciones de lutitas, que han permitido la determinación de su edad y correlación con unidades de otras áreas (Ulloa *et al.*, 2000).

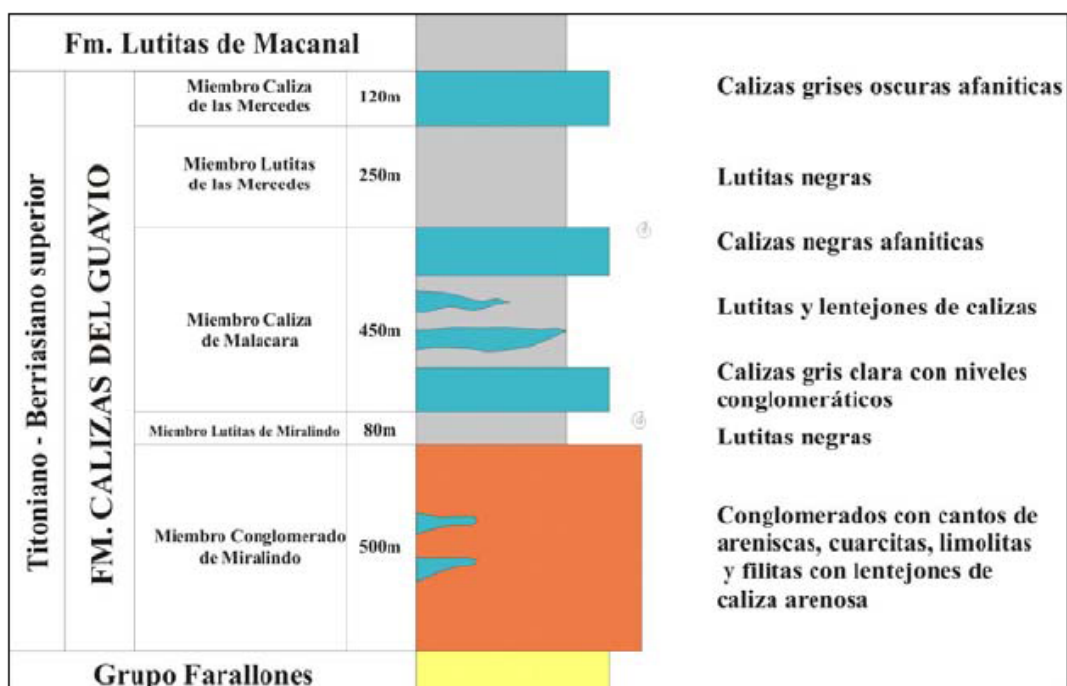


Figura 9. Columna estratigráfica generalizada de la Fm. Calizas del Guavio. Tomado de INGEOMINAS – Geostratos Ltda. (2005).

- **Espesor**

La Formación Calizas del Guavio se depositó, 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 áreas alejadas de los bloques se depositaron lutitas negras pertenecientes a la parte inferior de las Lutitas de Macanal (Ulloa *et al.*, 2000). 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 (Figura 10) (Ulloa *et al.*, 2000).

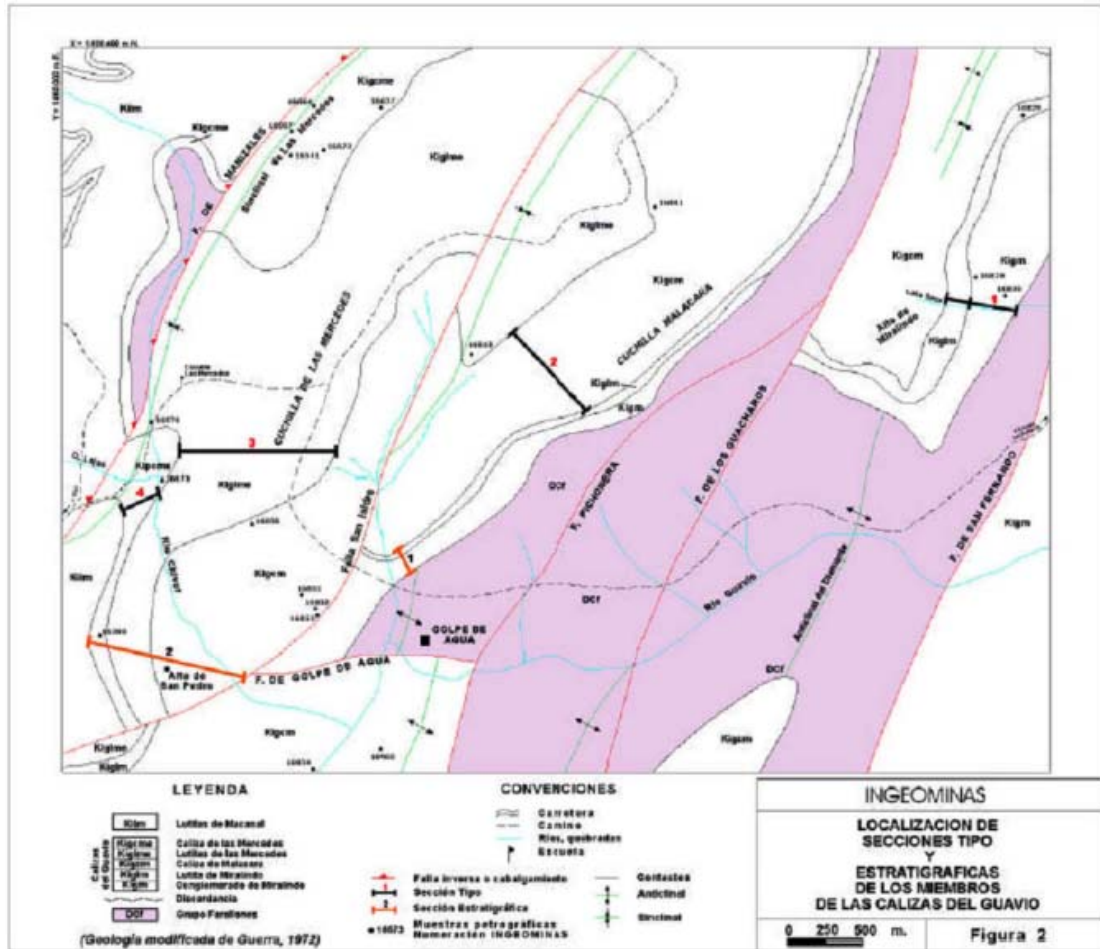


Figura 10. Localización de secciones tipo y estratigráficas de los miembros de la Formación Calizas del Guavio. Tomado de Ulloa *et al.* (2000).

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).

- **Posición estratigráfica y edad**

La Formación Calizas del Guavio corresponde a la parte inferior del Grupo Cáqueza, se encuentran discordantes sobre el Grupo Farallones de edad Devónico – Carbonífero, como también sobre la Formación Batá del Jurásico - Triásico, e infrayacen concordantemente a las Lutitas de Macanal. El contacto inferior se presenta como una discordancia progresiva en donde los diferentes miembros de la formación se ponen en contacto sobre rocas plegadas del

Paleozoico y sobre estratos del Jurásico levemente inclinados (Ulloa *et al.*, 2000).

4.1.2. Rasgos Estructurales Generales

La zona esmeraldífera del cinturón oriental (Cordillera Oriental), se localiza en la parte noroccidental del Anticlinorio de los Farallones. Las principales minas ocurren en las Calizas del Guavio y en las lutitas y calizas del tope del Guavio, Distrito de Chivor (Branquet, 1999; Branquet *et al.*, 1999b).

La tectónica de esta parte de la Cordillera está dominada por fallas inversas de ángulo alto con rumbo NE y buzamiento hacia el oeste (documento de revisión bibliográfica elaborado por Maya *et al.*, 2004). Probablemente estas fallas se originaron como fallas normales durante orogenias prejurásicas y limitaron una serie de bloques Paleozoicos; este tectonismo pre-Mesozoico determinó que la discordancia del Paleozoico – Mesozoico observada en la región muestre ángulos muy variables de 0 a 90° y que se presenten cuñas de conglomerados interrumpidas por las fallas (Escovar, 1975, 1979; Ulloa, 1979; Ulloa y Escovar 1980; Branquet *et al.*, 2002).

La mineralización de esmeraldas está controlada tectónicamente (documento de revisión bibliográfica elaborada por Maya *et al.*, 2004). Los sitios productivos se localizan en la zona de falla, en brechas o en fracturas y venas a menos de 200m de las fallas y probablemente conectadas a ellas; característica que se puede extender a todo este cinturón (Escovar, 1975, 1979).

Análisis estructurales de los depósitos de esmeraldas y ocurrencias de la zona oriental (Arhan, 1993; Branquet, 1999; Cheilietz *et al.*, 1997; Branquet *et al.*, 1999) indican que la mineralización de esmeraldas ocurrió en el límite del Cretácico – Paleógeno durante un evento tectónico extensional tipo escama ligado a una disolución de evaporitas. Esto condujo a la formación de un nivel brechoso estratiforme mineralizado (documento de revisión bibliográfica elaborado por Maya *et al.*, 2004). Las albititas blancas constituyen los

respaldos superior e inferior de los niveles brechosos estratiformes (documento de revisión bibliográfica elaborado por Maya *et al.*, 2004). En el depósito de Chivor, diferentes tipos de estructuras mineralizadas están ramificadas desde el nivel brechoso: (i) fallas lítricas, (ii) fracturas distensivas inyectadas con brechas hidrotermales y (iii) grupo de fracturas extensionales con dirección NE-SW que cortan perpendicularmente las albititas (documento de revisión bibliográfica elaborado por Maya *et al.*, 2004). La fase tectónica transpresional que corresponde al episodio Mioceno Medio de la Cordillera Andina provoca la fracturación de los depósitos de esmeralda por medio de fallas normales, inversas y zonas de cizalla (documento de revisión bibliográfica elaborado por Maya *et al.*, 2004).

4.2. YACIMIENTOS MINERALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En la Fm. Calizas del Guavio se localizan recursos metálicos y no metálicos (Figura 11). Con relación a los recursos metálicos, destacan los minerales preciosos (fundamentalmente esmeraldas), metales base (plomo y zinc), e hierro. Con relación a los recursos no metálicos, cabe mencionar la presencia de minerales industriales (yeso, barita) y materiales de construcción (caliza y agregados pétreos).

Por su relación con los objetivos del presente trabajo, a continuación se hace un resumen de los aspectos geológicos relacionados exclusivamente con la mineralización esmeraldífera.

- **Yacimientos de Esmeraldas**

Las minas del área de estudio se encuentran en los diferentes miembros de la Formación 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 200m de las fallas principales (Ulloa *et al.*, 2000). 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 (Figura 11).

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).

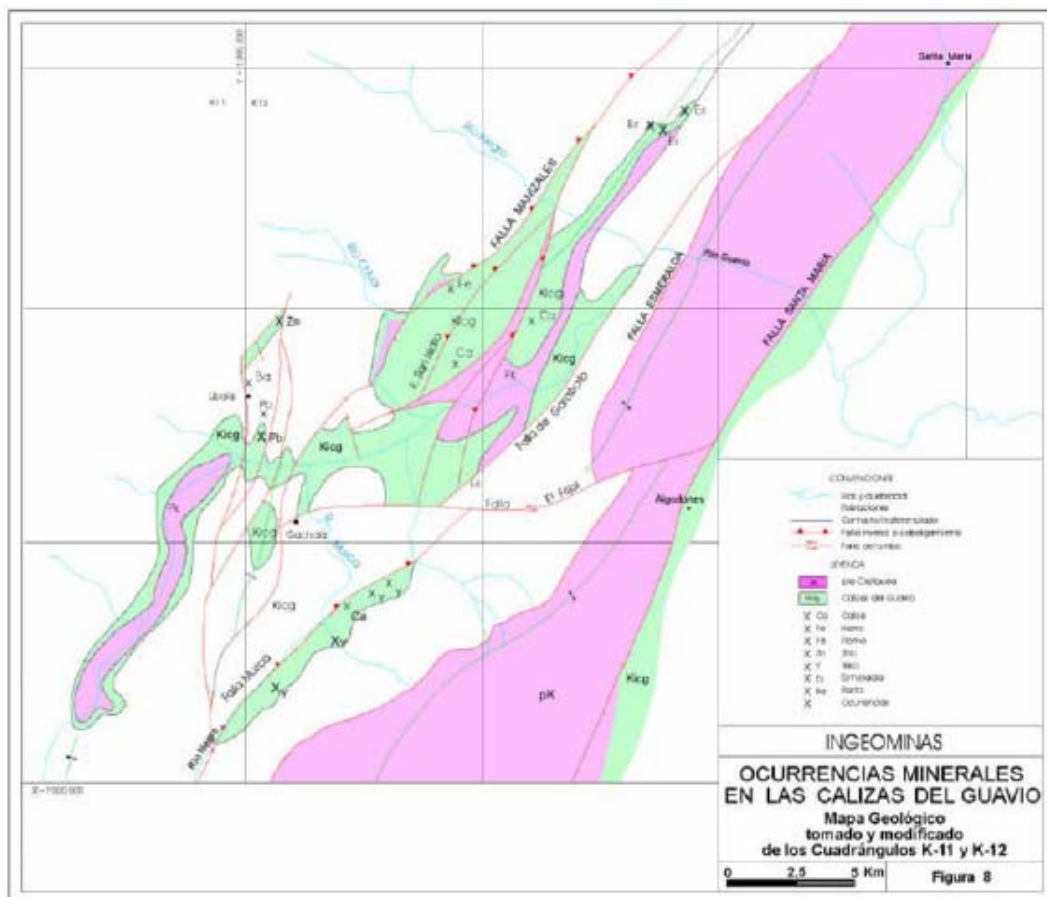


Figura 11. Ocurrencias minerales en la Fm. Calizas del Guavio. Tomado de Ulloa *et al.*, (2000).

Según Escovar (1979), en la región de Gachalá, la mineralización de esmeraldas es determinada por un fallamiento asociado a un metasomatismo

sódico originado por aguas meteóricas o connatas que afecta a las evaporitas de la zona.

Sabot *et al.* (2000) reportan datos geológicos y geoquímicos que indican que los depósitos de esmeraldas de Afganistán, localizados en el Valle de Panjshir, se formaron por lixiviación de evaporitas, tal como es el caso de los depósitos de esmeraldas encontrados en la zona estudiada.

- **Modelos de génesis de las esmeraldas.**

Muchos trabajos que buscan la explicación de la aparición de esmeraldas en la Cordillera Oriental de Colombia han sido realizados. La mayoría de ellos han generalizado una misma teoría para ambos cinturones. A continuación presentamos las principales hipótesis.

Scheib (1916) postuló un origen magmático para los yacimientos esmeraldíferos del Cinturón Occidental, basándose en la presencia de diques pegmatíticos, aunque admite que no observa rocas graníticas del Cretáceo Inferior.

Wokittel y Mutis (1954) no apoyaron el modelo magmático y reportaron la imposibilidad de que las rocas ígneas localizadas al sur de la región hayan sido la fuentes de las mineralizaciones de esmeraldas, puesto que no hay una aureola de contacto en los sedimentos que las suprayacen.

Restrepo (1958, 1959) en un estudio realizado sobre las esmeraldas de Muzo, plantea la posibilidad de que su origen esté vinculado con pegmatitas a profundidad o a fenómenos de anatexis.

Beus y Mineev (1972) proponen que los depósitos de Muzo y Coscuez estaban relacionados con soluciones hidrotermales de procedencia magmática. Concentración metasomática de CO₂, S, Na, Ca, Mg y F en lutitas negras y venas. Plantean que 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.

Hall (1976), mediante un estudio geoquímico y mineralógico concluye que las vetas esmeraldíferas están altamente relacionadas con procesos postmagmáticos neumatolíticos e hidrotermales.

Ulloa (1980), concluyó que las esmeraldas Colombianas provienen de las rocas plutónicas básicas que intruyen las sedimentitas Cretácicas, y que se localizan en los alrededores de las mineralizaciones.

Ottaway *et al.* (1994) plantean un modelo de características hidrotermales – sedimentarias para la formación de las esmeraldas de Colombia.

Giuliani *et al.* (1995), a partir del análisis inclusiones fluidas e isótopos de azufre, determinan que salmueras hipersalinas calientes, provenientes de la cuenca, y enriquecidas en Na, Ca y K, fueron los fluidos originarios de la reacción. Además, estudian las evaporitas y los shales orgánicos, relacionados con la evolución de dicha cordillera (antes de la orogenia andina del Mioceno-Plioceno), a partir de lo cual, determinan que dichas salmueras reaccionaron con la materia orgánica de los shales durante la reducción termoquímica del sulfato (de origen evaporítico), por una interacción con los estratos ricos en materia orgánica. De este modo, elaboran un nuevo modelo de génesis de los depósitos esmeraldíferos, del flanco occidental de la Cordillera Oriental, conocido como el modelo Hidrotermal – Sedimentario.

Cheilletz *et al.* (1995) plantean un modelo de depósitos mesotermiales para explicar su origen.

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.

A partir del trabajo de Cheilietz y Giuliani (1996) se han venido establecido criterios específicos que permiten la consolidación de una teoría predominante que revela el origen de los depósitos esmeraldíferos occidentales y que se fundamenta en datos de inclusiones fluidas y de isótopos estables, y corroborado por dataciones $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{AR}$ en moscovitas verdes ricas en Cr-V, contemporáneas a la formación de las esmeraldas de este cinturón (Cheilietz *et al.*, 1991).

Un resumen detallado sobre los estudios realizados se puede encontrar en el trabajo de Maya *et al.* (2004)

5. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados derivados de los análisis geológicos de campo, petrográficos, de difracción de rayos X (DRX), microtermometría de inclusiones fluidas (IF), isótopos estables y química mineral, realizados en muestras de los túneles Oriente y San Gregorio.

5.1. Rasgos Geológicos Generales [túneles minas de Oriente y San Pedro (corte San Gregorio)]

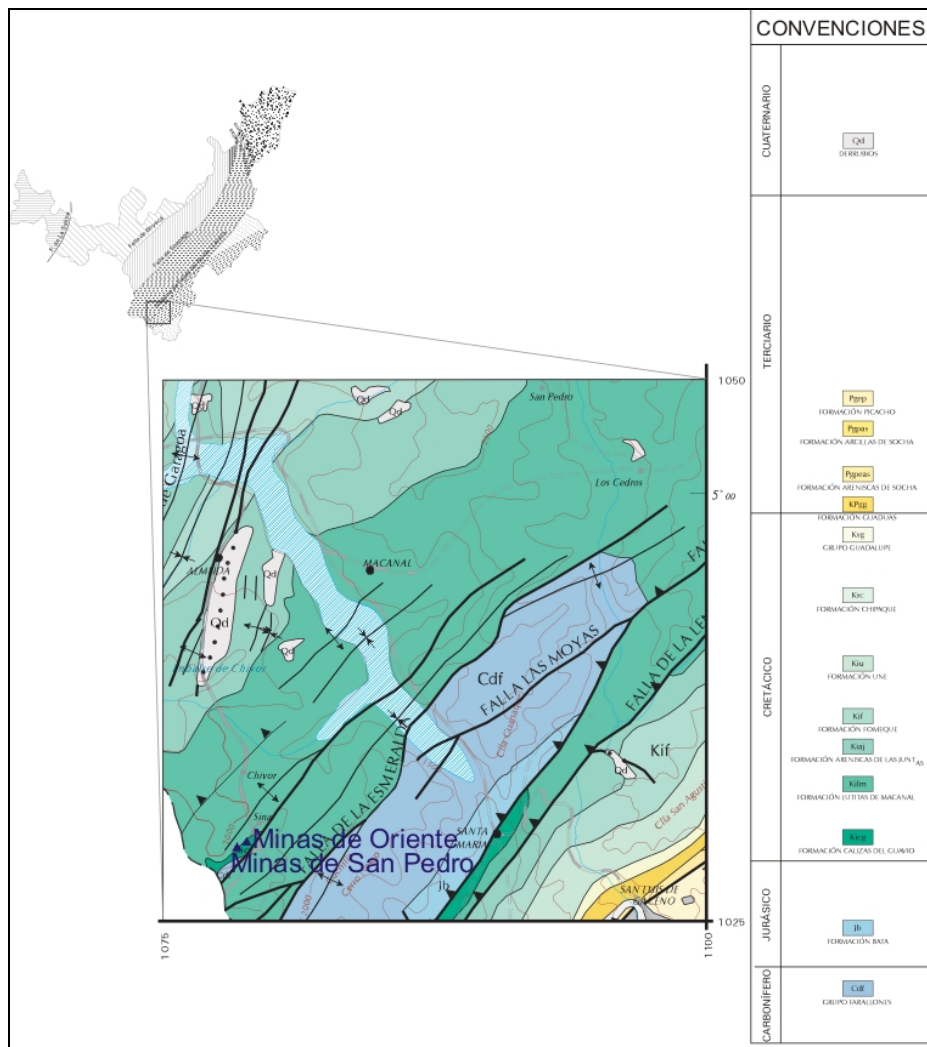


Figura 12. Ubicación de los túneles de las Minas de Oriente y San Pedro. Modificado de INGEOMINAS, (2007)

Estos túneles se ubican geológicamente dentro de la Formación (Fm.) Calizas del Guavio (Kicg), miembro inferior del Grupo (Gp.) Cáqueza (Cretácico

inferior). Estructuralmente se encuentran en el costado suroriental del anticlinal de Chivor (NE), donde aflora dicha formación (Figura 12).

5.1.1. Rasgos geológicos generales al interior del túnel ‘Minas de Oriente’

- **Aspectos generales**

Al momento del desarrollo del trabajo de campo (marzo de 2007), el túnel correspondiente a las Minas de Oriente tenía una longitud de 477m y un rumbo predominante de dirección SW, partiendo de la bocamina. Como ha sido descrito en el capítulo ‘METODOLOGÍA’, durante el trabajo de campo se realizó un recorrido a lo largo del túnel tomando muestras de roca caja y venas, así como datos estructurales de la estratificación, venas y demás planos de anisotropía. También se realiza un registro fotográfico el cual, para efectos prácticos, es utilizado como soporte en la definición de conclusiones (Figuras 13 y 14).

Durante el recorrido, desde la bocamina hasta el frente del túnel, la excavación avanza cortando capas más jóvenes (se asciende estratigráficamente). Por los rasgos geológicos observados, se definieron zonas al interior del túnel, las cuales se caracterizan por mostrar similitudes litológicas, estructurales y manifestaciones hidrotermales asociadas (Figuras 15 y 16). A continuación se describen estas zonas.

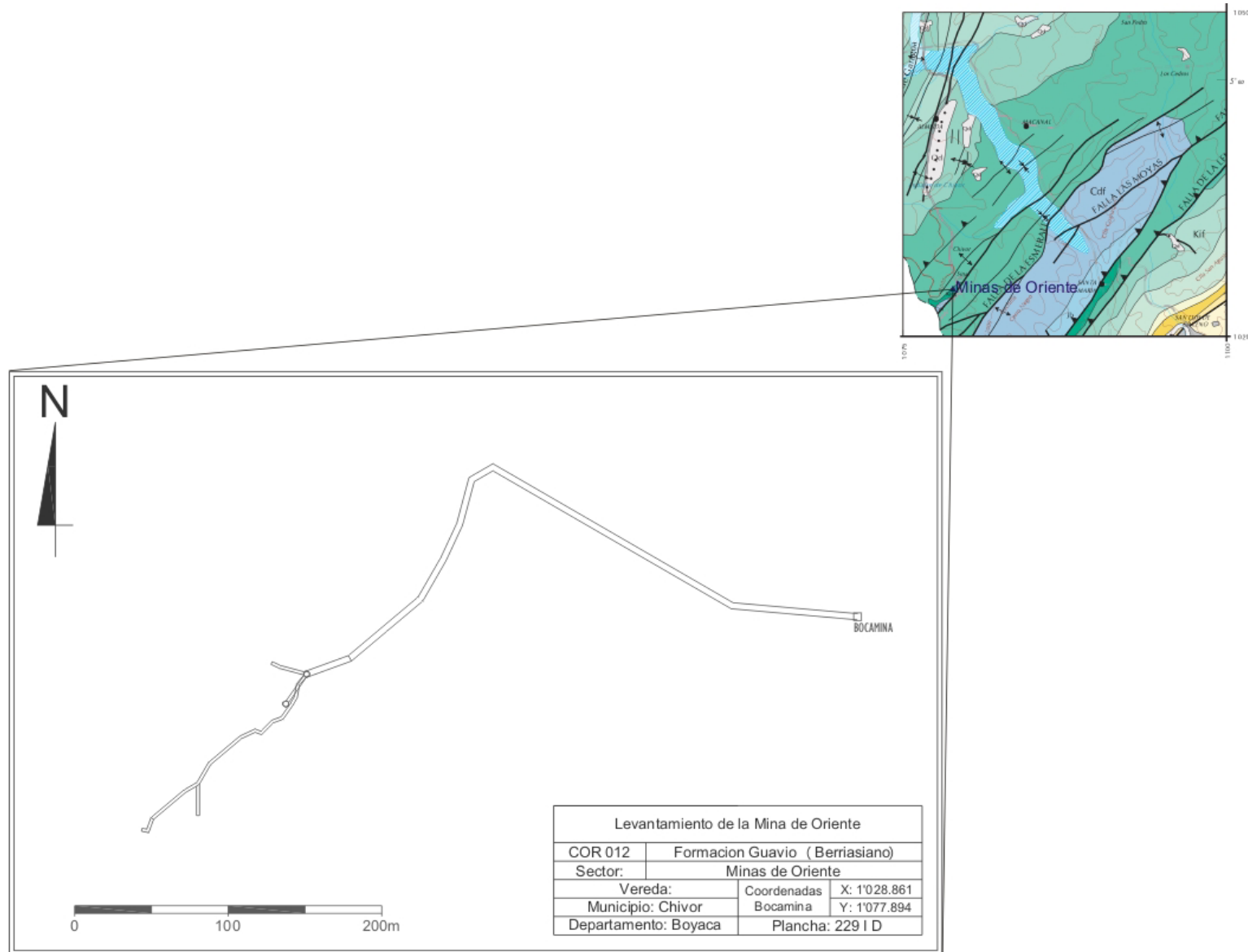


Figura 13. Levantamiento de las Minas de Oriente. Se muestra el recorrido del túnel correspondiente a la zona indicada en el mapa de la esquina superior derecha, el cual corresponde al mapa de la Figura 12 (ver convenciones en esta figura).

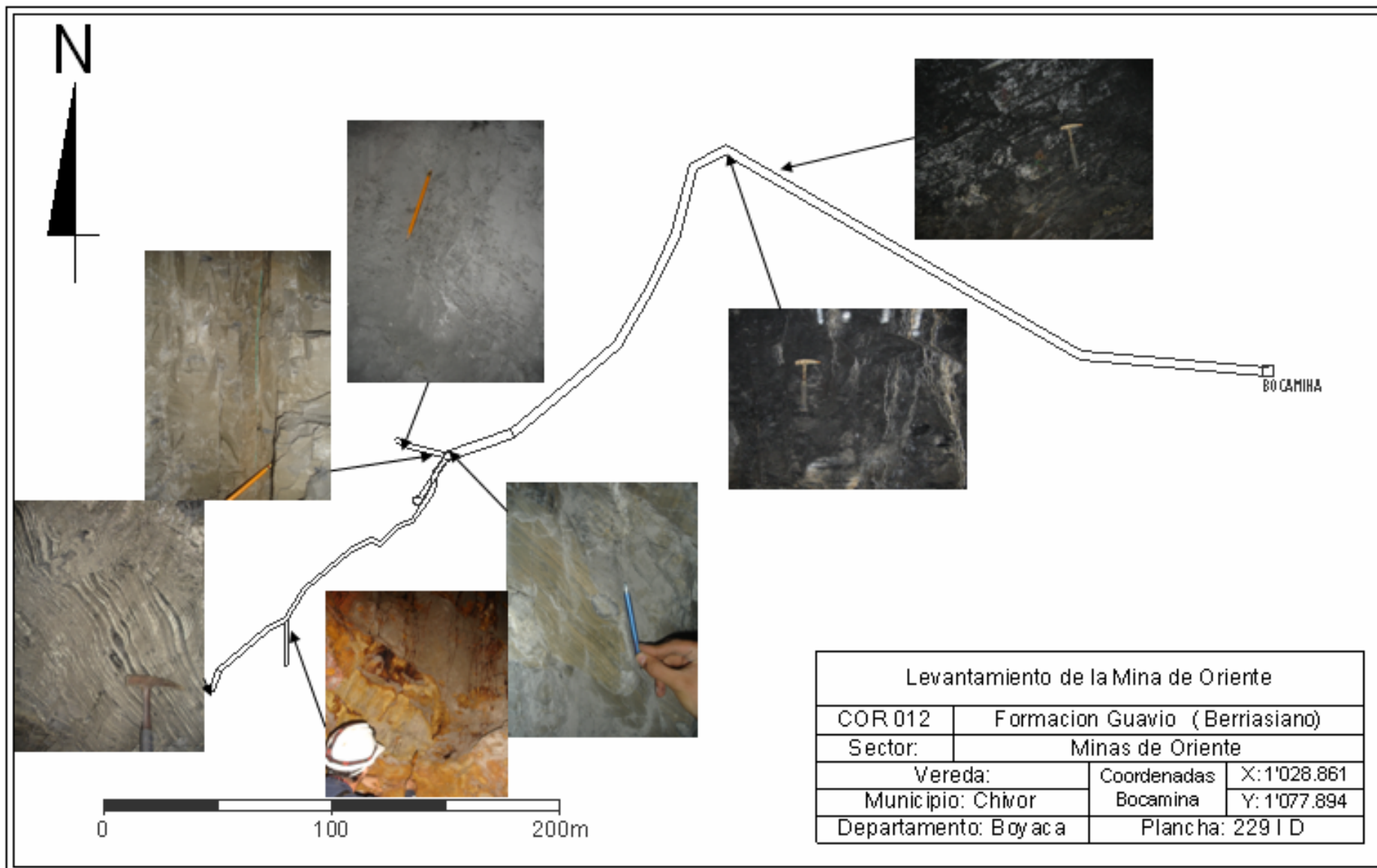


Figura 14. Registro fotográfico de las Minas de Oriente.

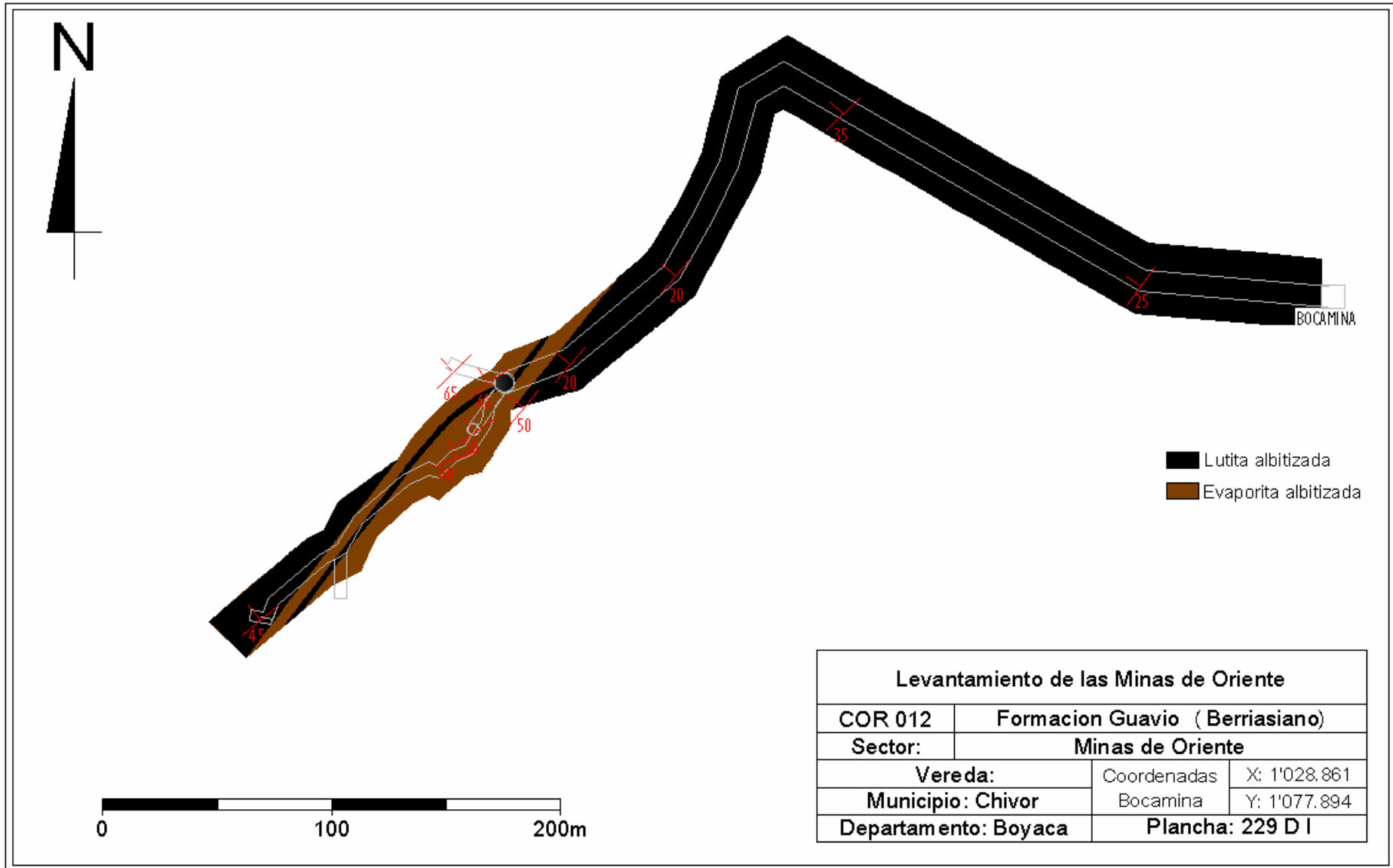


Figura 14. Levantamiento de las Minas de Oriente. Se muestran las litologías predominantes y datos estructurales de la estratificación.

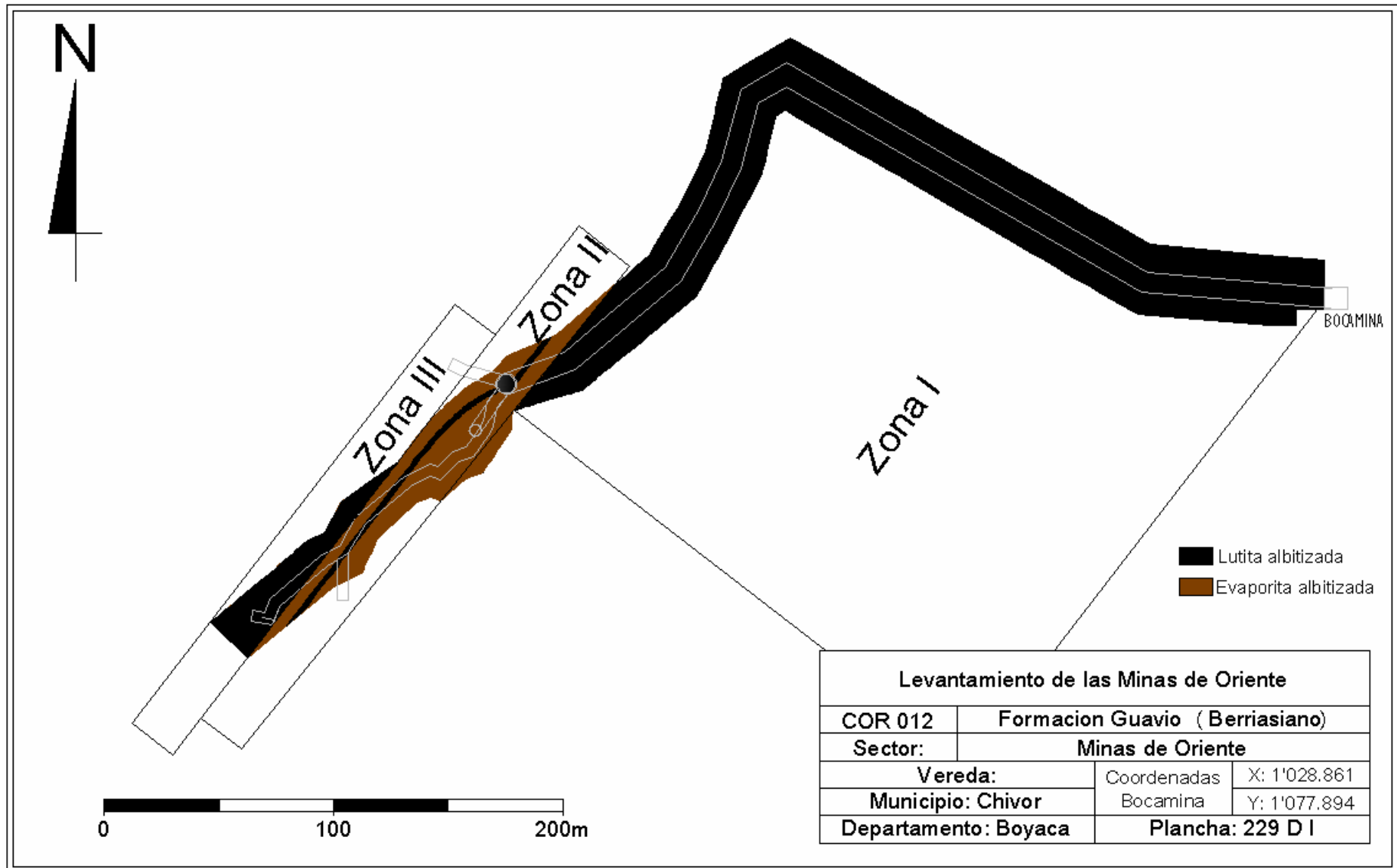


Figura 15. Levantamiento de las minas de Oriente, en el cual se muestran las diferentes zonas, identificadas con base en asociaciones litológicas, estructurales y tipología de manifestaciones hidrotermales.

Zona I: Esta zona abarca un segmento de unos 200m de espesor real. La dirección inicial de la excavación del túnel en esta zona tiene sentido NW (partiendo de la bocamina). Esta dirección cambia en sentido SW al avanzar unos 200m a lo largo del túnel, pero se sigue cortando el mismo segmento. El dato estructural de las capas, en promedio es de N50E/55NW. Litológicamente consta de **lutitas albitizadas** de color negro con laminación plano paralela. Estas rocas son muy compactas y presentan un débil fracturamiento, lo cual favorece la precolación de aguas superficiales y la formación de algunas láminas de yeso. Un aspecto importante de esta zona, es la baja cantidad de venas hidrotermales, existen algunas venas de cuarzo muy delgadas (<5mm) (Figura 17).

Zona II: Esta zona se caracteriza por ser productora de esmeraldas. El tramo recorrido en el túnel de esta zona es de unos 150m. Presenta un espesor real de 20m, las capas mantienen en promedio su aptitud en N60E/35NW. En este tramo, el túnel mantiene la dirección de la excavación en sentido SW. La litología de esta zona es caracterizada por estar compuesta de un material de tipo textural arenisca-lodosa con estructuras evaporíticas formadas por acumulaciones de pirita en forma de lentejones y albita en láminas plano a ondulosa - paralelas. Esta litología corresponde aparentemente a rocas evaporíticas albitizadas, lo cual se determina a partir de la apariencia evaporítica de las rocas pero con un alto contenido de albita. Se observan muchas venas hidrotermales paralelas y normales la estratificación. Ciertas áreas se cubren por una costra de oxidación (conocida como “Cascoche” en el argot de los pobladores)

Las venas hidrotermales se pueden dividir en dos clases: el primer tipo consta de venas que se componen por **calcita y ±pirita**, principalmente; mientras que el segundo tipo de venas son rellenadas por **albita, ±dolomita, ±pirita** y en algunas ocasiones pueden presentar mineralización de esmeralda. Las venas observadas también se diferencian por la relación estructural con la laminación de la roca encajante. Las venas de calcita predominantemente se encuentran paralelas a la laminación, mientras que las de albita se presentan paralelas y

normales a la estratificación, siendo las perpendiculares las de mayores espesores.

Existe una zona intermedia brechificada que no supera un metro de espesor, está conformada por lutitas albitizadas y dolomitizadas poco competentes. Este nivel está afectado por pliegues por propagación de falla. Dentro de este segmento es común encontrar un zonamiento vertical marcado por variaciones de coloración, en la parte superior se ubica un material claro y en la parte inferior un material oscuro. También se ubican brechas cementadas por dolomita.

Las venas de albita sólo se encuentran en niveles estratigráficamente superiores a la zona descrita en el párrafo anterior. Al contrario, las venas de calcita se encuentran dentro de toda la zona II (Figura 17).

Zona III: se ubica en los últimos 50m del túnel (tomando la bocamina como punto de referencia inicial), tiene un espesor de al menos 15m. Se caracteriza por presentar capas con datos estructurales en promedio de N50E/45NW. Está conformada por una litología de lutitas albitizadas con un alto contenido de sulfuros. Estas rocas presentan una laminación plano paralela y contienen materia orgánica (Figura 17).

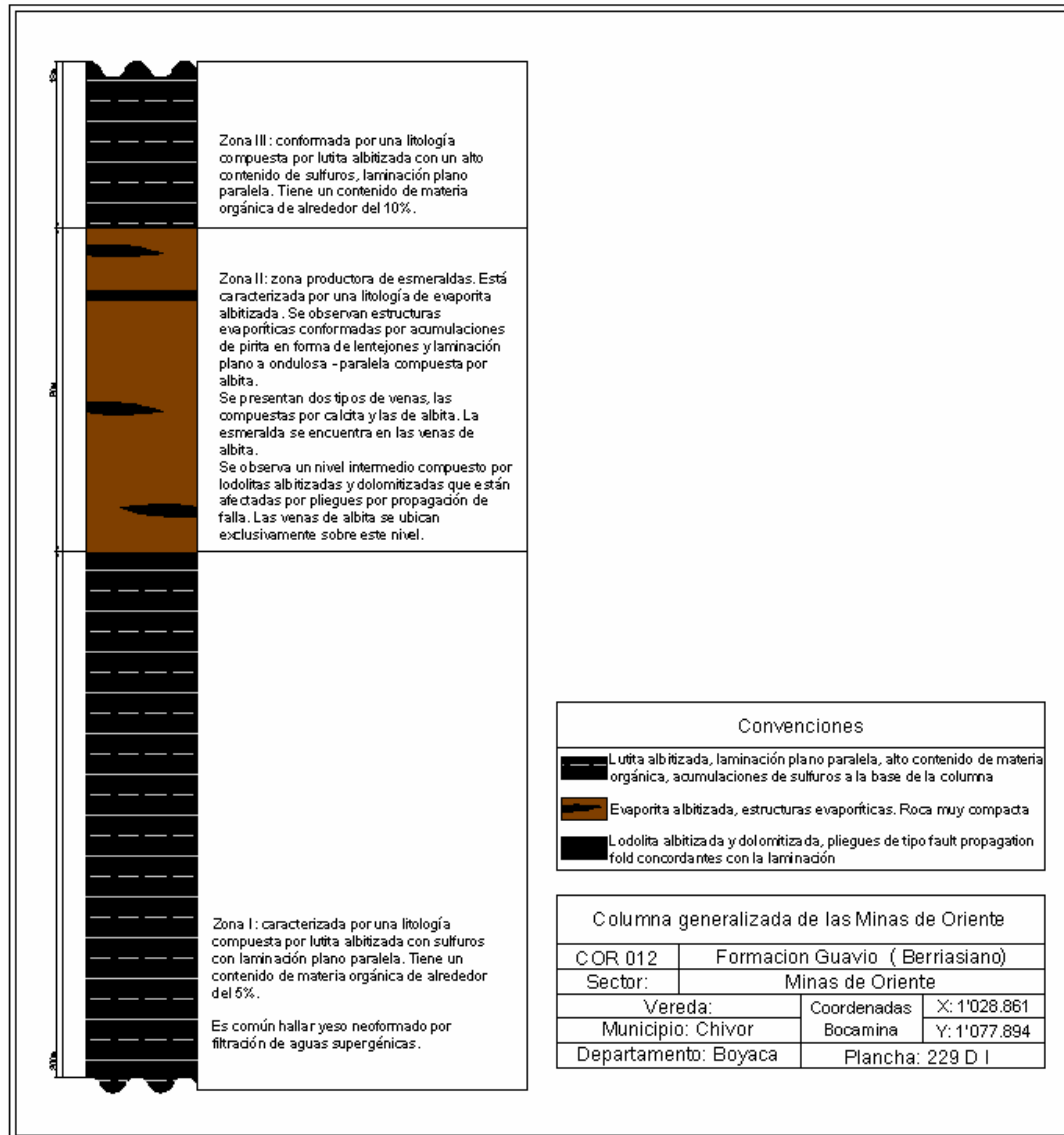


Figura 16. Columna generalizada del sector 'Minas de Oriente', en donde se muestran tres zonas, agrupadas según características litológicas y rasgos estructurales.

- **Aspectos estructurales**

Aunque este trabajo no tiene por objetivo el estudio del patrón de diaclasamiento en las áreas de estudio, se presentan a continuación, a manera de resumen, algunas generalidades observadas en campo, relacionadas con los datos estructurales documentados en los sectores de estudio.

Los datos estructurales de estratificación, venas y diaclasas tomados en campo, se resumen en la Tabla 2 y se representan mediante diagramas de estereonetas utilizando el software Stereonet (Figura 18).

Tabla 2. Datos estructurales de las Minas de Oriente (relacionadas mediante la nomenclatura COR 012)

SUPERFICIE MEDIDA	DATO ESTRUCTURAL	DIRECCIÓN ESFUERZO MÁX.
Estratificación	N47,9E / 42,9NW	-
Venas de albita (esmeralda)	N62,6E / 73,5SE	-
Venas de calcita	N87,3W / 62,6NE	-
Diaclasas I	N88,6E / 75,9SE	43,6 ó 133,6
Diaclasas II	N26,7W / 75,0NE	288,3 ó 18,3

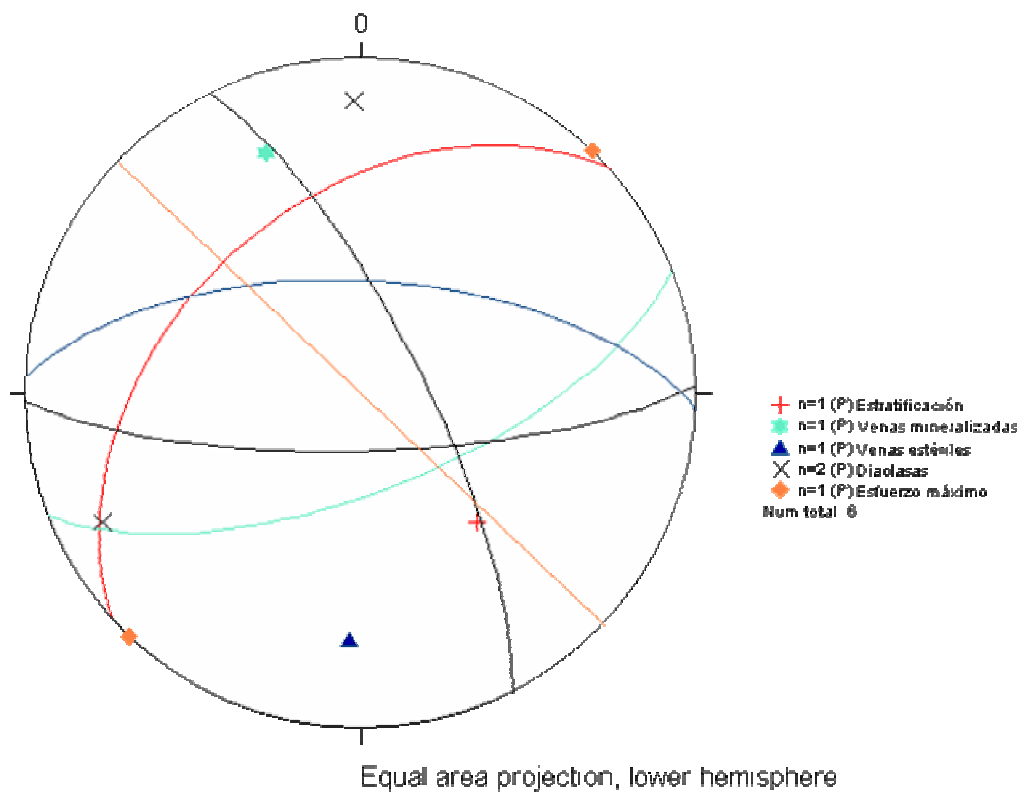


Figura 17. Estereograma generalizado de los datos estructurales del túnel conocido como 'Minas de Oriente'

5.1.2. Rasgos geológicos generales al interior del Corte ‘San Gregorio’ (Sector Minas de San Pedro).

- **Aspectos generales**

El trabajo de campo desarrollado en este túnel es el mismo que se ha seguido para el túnel de las Minas de Oriente, procedimiento que ha sido descrito en el apartado ‘METODOLOGÍA’.

Dicho túnel se excava en sentido NE, siguiendo un recorrido lineal de alrededor de 470m. La dirección de excavación del túnel es casi paralela al rumbo de las capas. Para este túnel también se realiza un registro fotográfico (Figuras 19 y 20). Este tramo ha sido dividido en dos zonas, las cuales serán descritas a continuación (Figuras 21 y 22).

Zona I: área productora de esmeralda; esta zona cuenta con un espesor real de unos 45m. El dato estructural de la estratificación es de N90E/35NW. La zona está parcialmente brechificada. Se observa oxidación asociada a las brechas (“Cascoche”). Estas brechas, aparentemente de falla tienen una litología que parece estar relacionada con antiguas rocas evaporíticas completamente albitizadas y con pirita presente a manera de lentejones (el carácter evaporítico de esta litología, se determinó con base en el aspecto de sus estructuras relícticas) (Figura 23). Se observan dos tipos de venas en esta zona: 1) las que tienen como relleno **calcita y \pm pirita** y 2) las rellenas por **albita \pm dolomita y \pm pirita** (ocasionalmente con esmeraldas). Las venas de calcita tienden a presentarse paralelas a la laminación, mientras que las venas de **albita \pm dolomita y \pm pirita**, se encuentran tanto paralelas a la estratificación, como cortándola.

Un aspecto muy interesante que ayuda a establecer la temporalidad entre el evento mineralizante y eventos deformativos de carácter frágil recientes, se observa en la Figura 24 (Zona I). Aquí, se aprecia un fragmento de una vena de albita-dolomita(?)-esmeralda, embebida en una matriz de brechas tectónicas.

Estas brechas, con presencia de oquedades entre los fragmentos de brecha (sin rellenos), sugieren que estas rocas fueron afectadas por un evento deformativo muy reciente, cuando las rocas se encontraban muy cerca a la superficie (próximo a su posición actual). Esta consideración se apoya en el hecho de que la presión litostática debió ser suficientemente baja, como para evitar el colapso de las oquedades localizadas entre fragmentos de brechas. Finalmente, es igualmente importante resaltar que estos últimos eventos tectónicos mencionados, son responsables de la destrucción ocasional de los filones con mineralización esmeraldífera (estos últimos, formados en un evento deformativo-hidrotermal anterior).

Se puede identificar una capa negra brechificada, de no más de 1m de espesor, compuesta por lutitas albitizadas y dolomitizadas poco competentes. Tiene una zonación vertical que divide el nivel en dos zonas: un material de color claro hacia el tope y un material oscuro hacia la base. Se observan pliegues por propagación de falla (Figura 25). Este nivel no está muy afectado por el brechamiento de falla observado en la zona, en cambio sí se muestra un brechamiento que al parecer está relacionado en tiempo con un evento de escape de fluidos. Este último favoreció la posterior dolomitización y albitización de las rocas ubicadas en este nivel.

Zona II: en el túnel se recorren unos 5m de espesor de este segmento, el cual tiene un dato estructural medio de N55E/10NW. Está caracterizada por una litología de evaporita albitizada, se observan lentejones de pirita y una laminación ondulosa a plano – paralela conformada por albita. No se presentan fallamientos ni venas en este tramo (Figura 23).

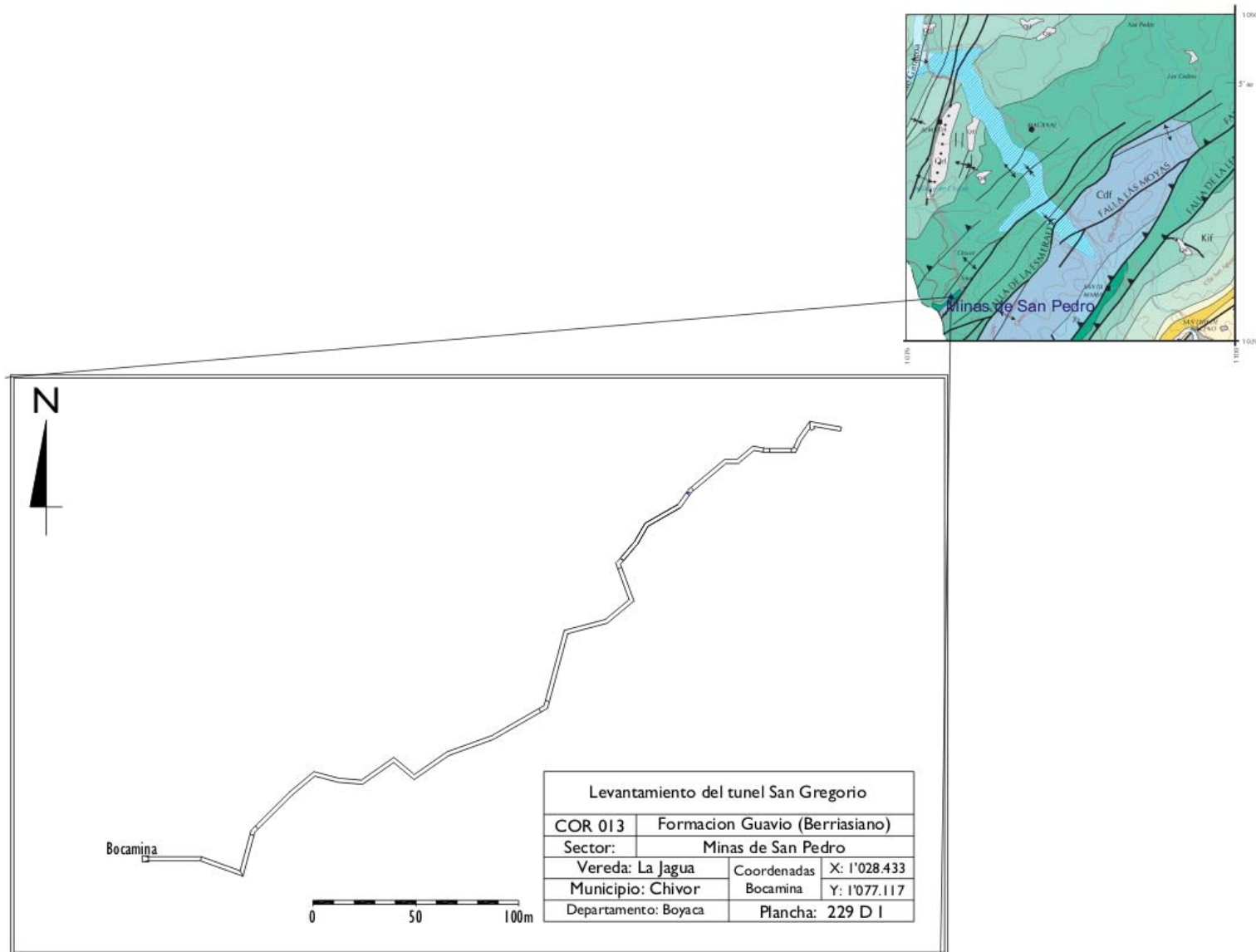


Figura 18. Levantamiento de las Minas de San Pedro. Se muestra el recorrido del túnel correspondiente a la zona indicada en el mapa de la esquina superior derecha, el cual corresponde al mapa de la Figura 12 (ver convenciones en esta figura).

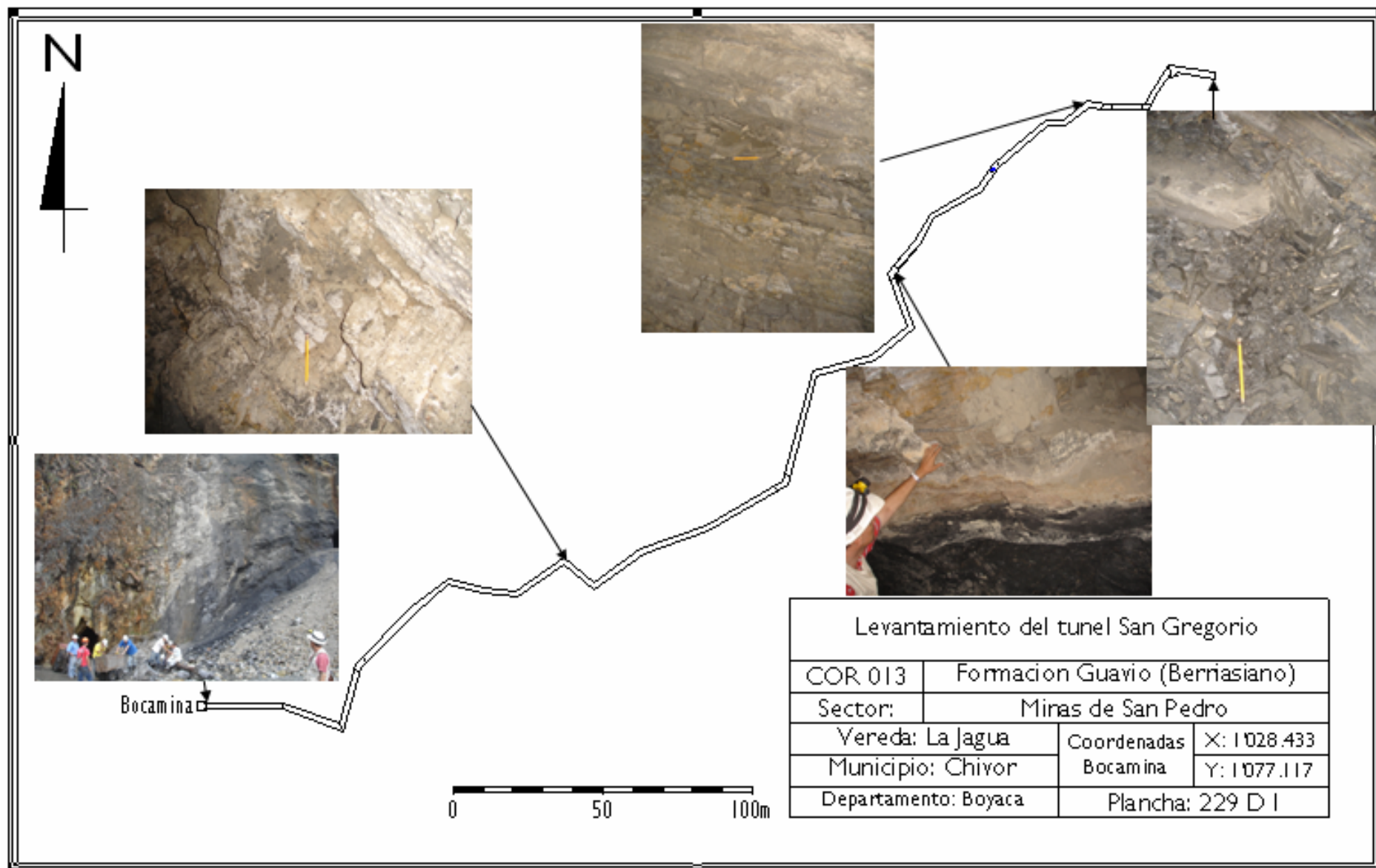


Figura 19. Registro fotográfico del túnel de las Minas de San Pedro.

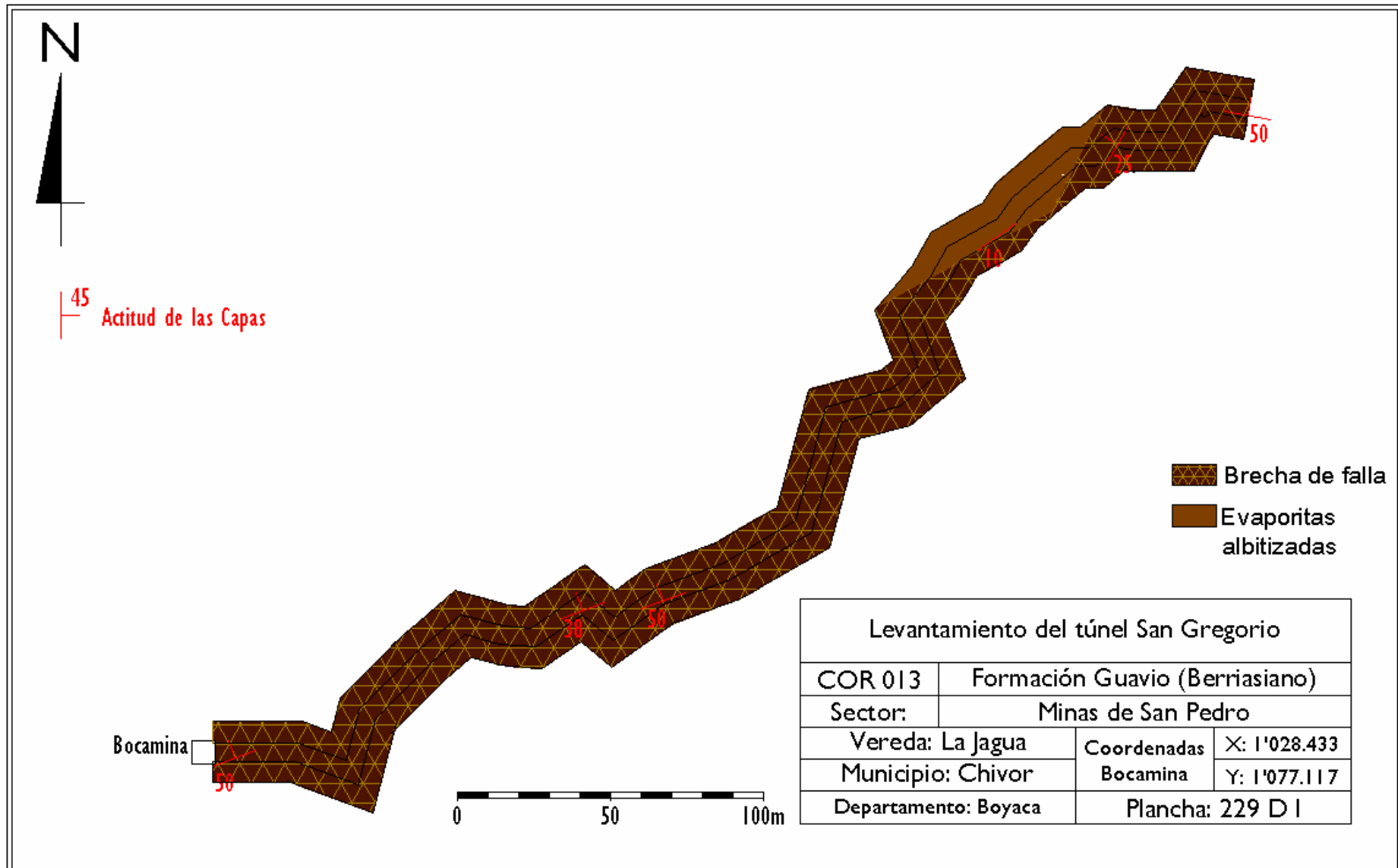


Figura 20. Levantamiento de las Minas de San Pedro. Se muestran las litologías predominantes y datos estructurales de la estratificación.

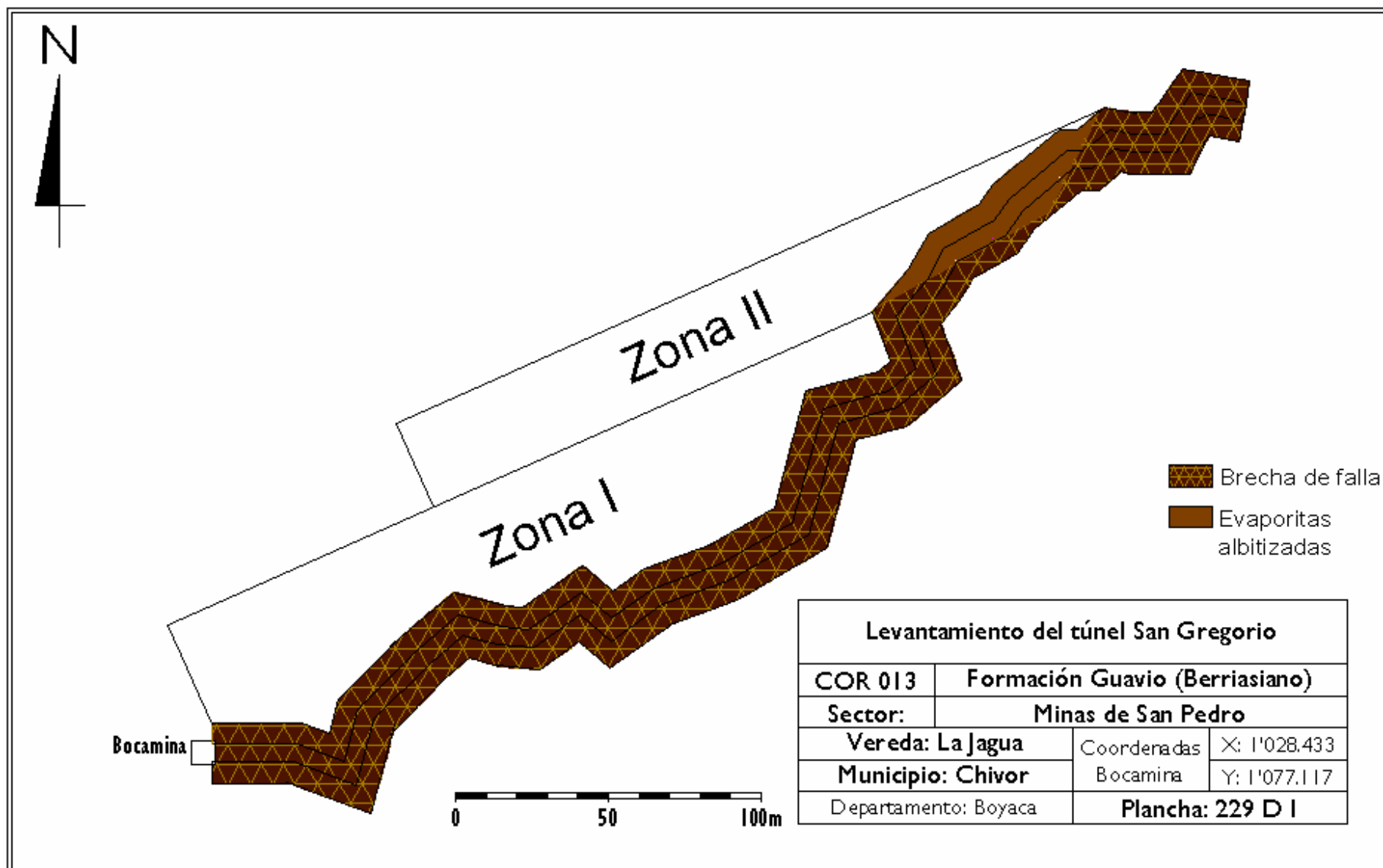


Figura 21. Levantamiento de las minas de San Pedro, en el cual se muestran las diferentes zonas, identificadas con base en asociaciones litológicas, estructurales y tipología de manifestaciones hidrotermales.

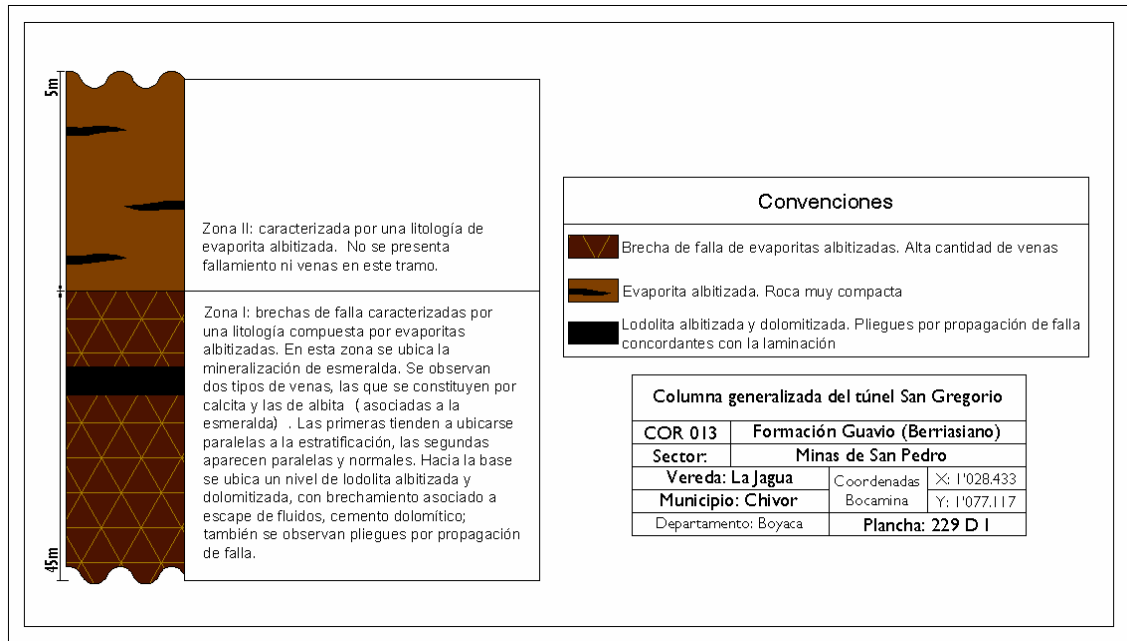


Figura 22. Columna generalizada de las Minas de San Pedro (Corte San Gregorio). Se muestran dos zonas bien diferenciadas.



Figura 23. Fragmento de una vena de albita-dolomita(?)-esmeralda, embebida en una matriz de brechas tectónicas. Esto sugiere que el área de estudio fue afectada por eventos tectónicos recientes, los cuales ocasionalmente destruyen los filones con mineralización esmeraldífera. Estos últimos, formados en un evento deformativo-hidrotermal anterior.



Figura 24. Pliegue por propagación de falla encontrado en las Minas de San Pedro (Corte San Gregorio). Nótese la zonación vertical marcada por una coloración clara al tope y una oscura hacia la base.

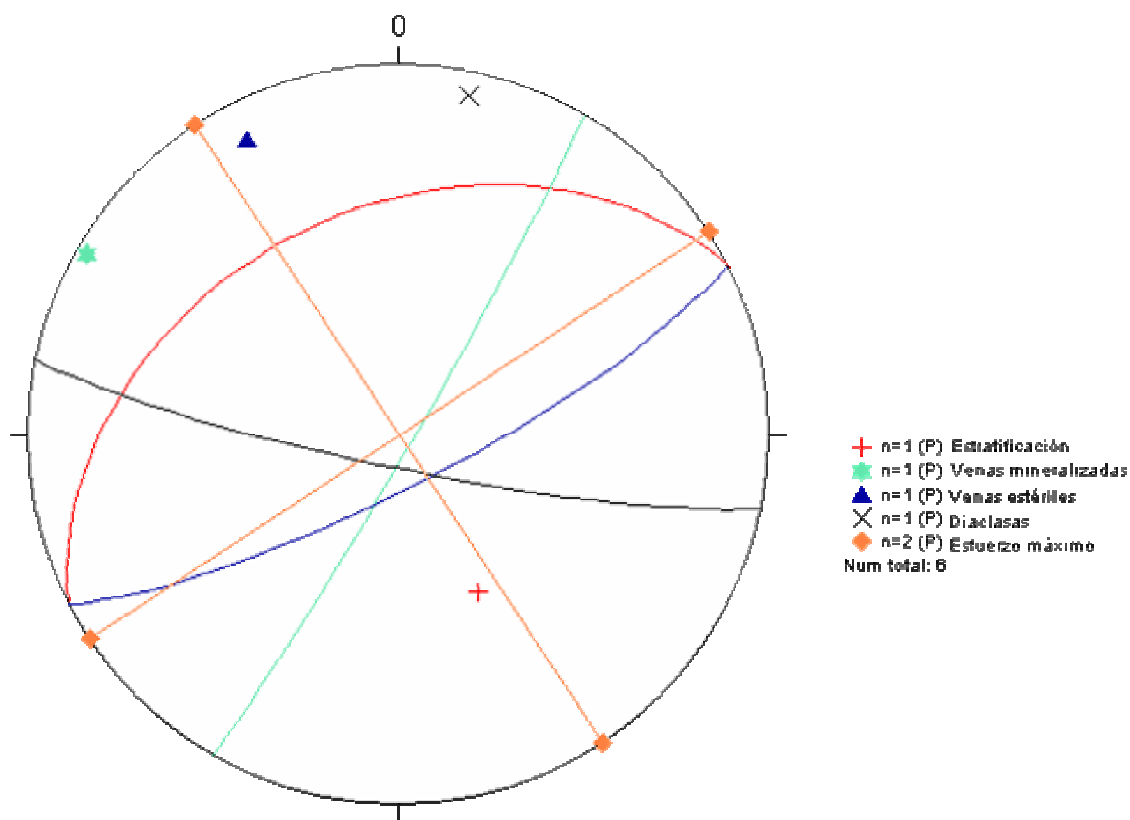
- **Aspectos estructurales**

Tan como se mencionó anteriormente, este trabajo no tiene por objetivo el estudio del patrón de diaclasamiento en las áreas de estudio. Sin embargo, a continuación se presentan a manera de resumen, algunas generalidades observadas en campo, relacionadas con los datos estructurales documentados en este sector.

Los datos estructurales de estratificación, venas y diaclasas tomados en campo han sido organizados en la Tabla 3 y son visualizados en diagramas de rosetas realizados utilizando el software Stereonet.

Tabla 3. Datos estructurales de las Minas de San Pedro (Corte San Gregorio).

SUPERFICIE MEDIDA	DATO ESTRUCTURAL	DIRECCIÓN ESFUERZO MÁX.
Estratificación	N63,1E / 39,2NW	-
Venas de albita (esmeralda)	N30,0E / 86,8SE	-
Venas de calcita	N62,7E / 78,5SE	-
Diaclasas	N78,4W / 82,6SW	56,6 ó 145,6



- + n=1 (P) Estratificación
 - ★ n=1 (P) Venas mineralizadas
 - ▲ n=1 (P) Venas estériles
 - × n=1 (P) Diaclasas
 - ◆ n=2 (P) Estuerzo máximo
- Num total: 6

Equal area projection, lower hemisphere

Figura 25. Estereograma generalizado de los datos estructurales de las Minas de San Pedro (Corte San Gregorio).

5.1.3. Interpretación preliminar

En ambos túneles aparece una litología común: evaporitas albitizadas. Macroscópicamente se determina esta litología por las estructuras evaporíticas relicticas que se conservan en la roca. Sin embargo, la composición no es la esperada en una roca de este tipo (se observa albita en lugar de minerales evaporíticos). Estas rocas presentan unos lentejones de pirita que podrían proceder de la reducción de sulfatos provenientes de materia orgánica depositada en las evaporitas. Aparentemente se presenta un proceso metasomático, el cual sustituye el material original de las evaporitas y deja en su lugar una roca compuesta mayoritariamente por albita.

También se observa en ambas minas un nivel de lodolitas albitizadas y dolomitizadas afectado por pliegues por propagación de falla concordante con la estratificación. Estos niveles muestran brechas asociadas con escape de fluidos (cementadas por dolomita y albita). Se observa una zonación vertical diferenciada por la presencia de un material de color claro hacia el tope y oscuro hacia la base.

Se pueden diferenciar claramente dos tipos de venas: 1) el primero consta de venas generalmente paralelas a la estratificación, rellenas por **calcita ± pirita**; 2) el segundo tipo de venas tiene un relleno de **albita ± dolomita ± pirita** y ocasionalmente **esmeralda**. Las venas del segundo tipo se presentan paralelas y normales a la laminación, siendo las de mayores espesores las últimas.

Las venas del primer tipo se ubican dentro de toda la sección, mientras que las del segundo tipo sólo se encuentran en niveles estratigráficamente superiores a las capas de lodolitas albitizadas y dolomitizadas y con pliegues por propagación de falla.

Se encuentran zonas con brechas tectónicas que se ubican en niveles inferiores. Estas brechas rompen las venas hidrotermales pertenecientes a los dos tipos descritos, lo que indica que el brechamiento de estas rocas es relativamente reciente. Aparentemente están asociadas a la costra de oxidación conocida en la jerga del minero como “*Cascoche*”.

5.2. ESTUDIO PETROGRÁFICO

El estudio petrográfico fue realizado a un total de 32 secciones delgadas (Figuras 27 y 36). Estas muestras corresponden a rocas y a manifestaciones hidrotermales como venas y brechas, la descripción petrográfica realizada a cada muestra se encuentra en el Anexo 1. Se sigue manteniendo la zonalidad planteada anteriormente para ambos túneles.

5.2.1. Estudio petrográfico en muestras del túnel de las Minas de Oriente.

A continuación se presenta una descripción generalizada de los rasgos más destacados de cada zona del túnel 'Minas de Oriente', zonación definida en el apartado "Rasgos geológicos generales al interior del túnel 'Minas de Oriente'". En total se realiza la descripción de 13 láminas correspondientes a 2 de la zona I, 9 de la zona II y 2 de la zona III (Figura 27). Las láminas son registradas utilizando la nomenclatura "COR 012", la cual ha sido asignada para el túnel de las Minas de Oriente.

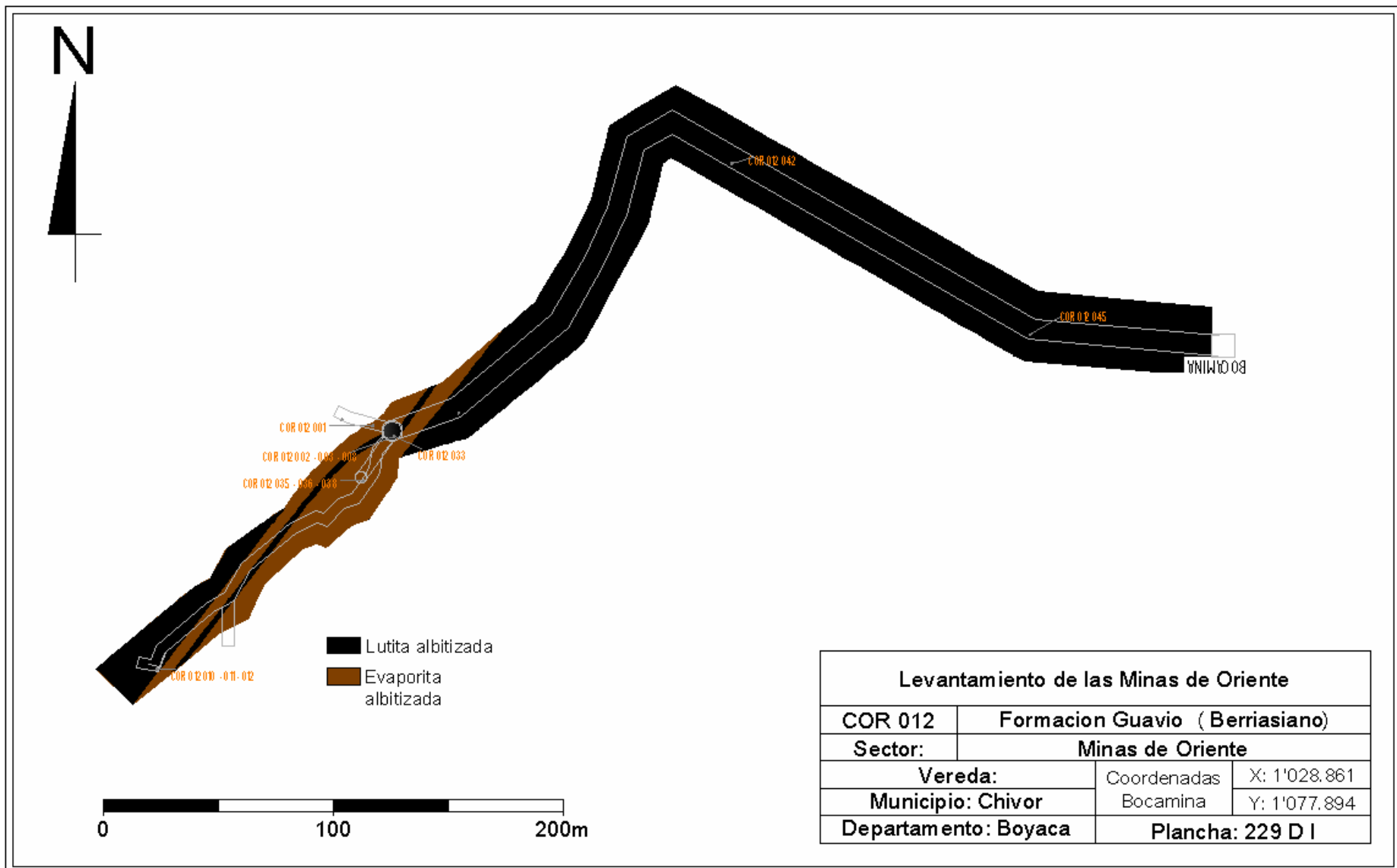


Figura 26. Levantamiento del túnel de las Minas de Oriente (COR 012) con la ubicación de las muestras con análisis petrográfico.

Zona I: la nomenclatura de las láminas analizadas en esta zona, es la siguiente: COR 012 042 y COR 012 045

Lutitas albitizadas. Granos subredondeados y subesféricos, predomina la moscovita arcillosa (20%), así como el cuarzo (25%), la albita (30%), la dolomita (5%) y los opacos (sulfuros?) (5%), también se observa materia orgánica (15%). Laminación plano - paralela. Texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, se presentan muchas fracturas sin rellenar. El contenido de moscovita disminuye hacia el tope de la zona. No se presentan venas, se ven fracturas sin rellenar. Ha sufrido parcialmente un proceso de albitización que involucra a todas las zonas (Figuras 28 y 29).

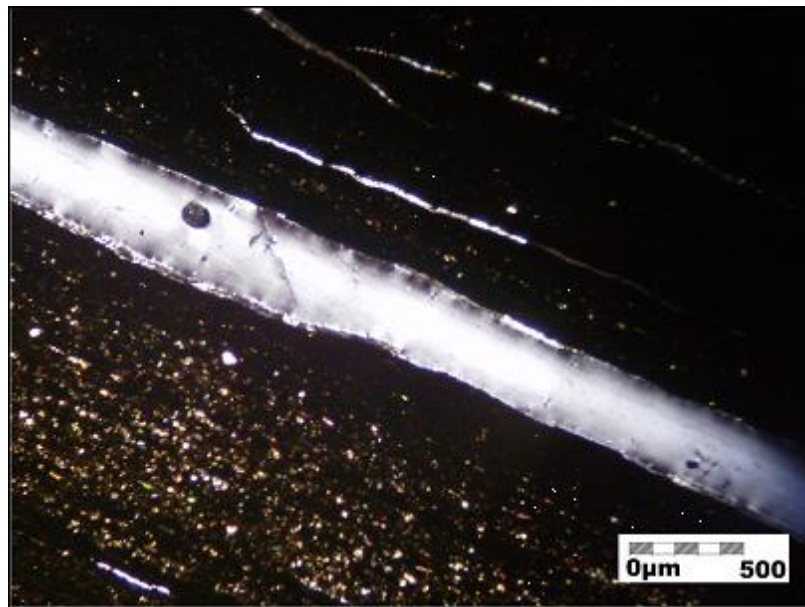


Figura 27. Muestra COR 012 042. Microfotografía de luz plana analizada donde se presentan la laminación plano - paralela, así como fracturas sin rellenar (centro de la fotografía) con la misma dirección de la laminación. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.

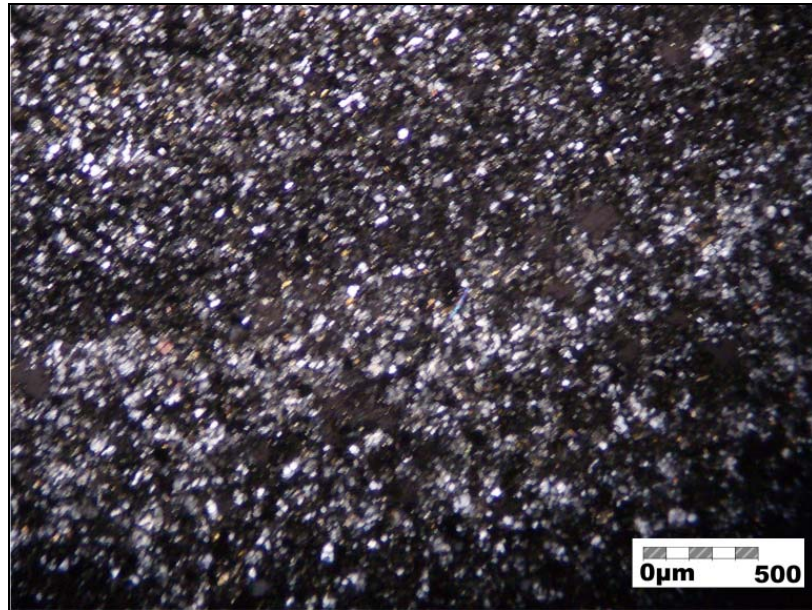


Figura 28. Muestra COR 012 045. Microfotografía de luz plana analizada donde se muestra la apariencia típica de la roca, así como su contenido en materia orgánica. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.

Zona II: la nomenclatura de las láminas analizadas en esta zona, es la siguiente: COR 012 001, COR 012 002, COR 012 003, COR 012 008, COR 012 024, COR 012 033, COR 012 035, COR 012 036 y COR 012 038.

Dicha zona se compone a su vez de tres subzonas características, también definidas de tope a base: 1) evaporitas albitizadas con una alta cantidad de venas, 2) lodolitas albitizadas y dolomitizadas dentro de estructuras formadas por pliegues de propagación de falla y 3) evaporitas albitizadas con una cantidad que va de muy baja a nula de venas.

Subzona 1: la nomenclatura de las láminas analizadas en esta zona, es la siguiente: COR 012 035, COR 012 036 y COR 012 038.

Evaporitas albitizadas de grano fino, con mal calibrado, granos subangulares a elongados, plagioclasa (75%) predominante en roca caja y venas, grandes cristales de esmeralda (2%) en algunas muestras, algunas micas (3%) se presentan en la roca encajante, opacos (sulfuros?) (20%) en roca caja y vena, aparentemente provenientes de la roca caja. Estructuras evaporíticas. Composicionalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, cemento silíceo, porosidad prácticamente nula. Algunas venas

contienen carbonatos y son generalmente paralelas a la laminación. Las venas con albita y sulfuros (ocasionalmente esmeralda) se presentan paralelas y normales a la estratificación. El material ubicado en los bordes de venas siempre es plagioclasa, hacia el centro se ubican los carbonatos o esmeraldas según sea el caso, el crecimiento de cristales es sintaxial (Figuras 30 y 31).

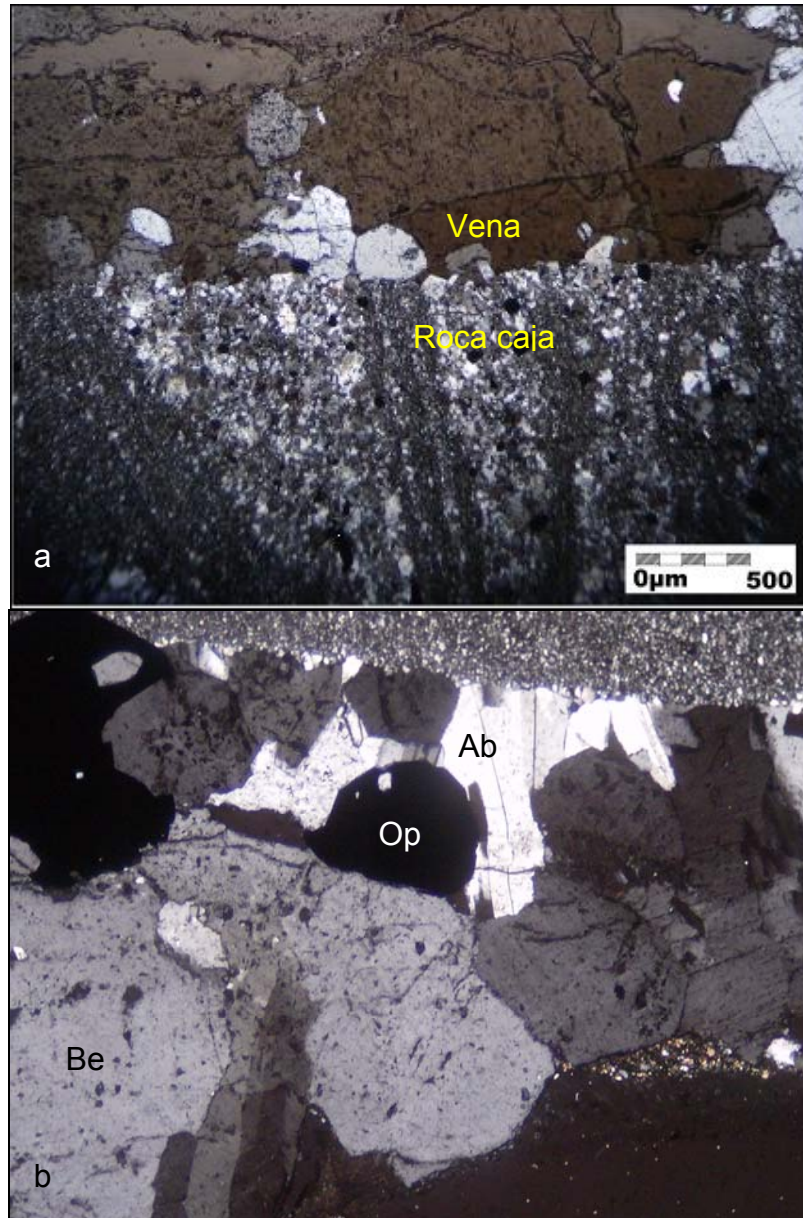


Figura 29. Muestra COR 012 035. **a.** Microfotografía de luz plana analizada donde se observa el contacto entre la vena y la roca encajante, nótese que la dirección de la vena rompe la laminación. Esta vena se compone por albita y esmeralda. **b.** Microfotografía de luz plana analizada mostrando la relación de los cristales de albita (Ab), opacos (sulfuros?) (Op) y esmeralda (Be). Aumento de objetivo de 5x. Zona II, subzona 1.

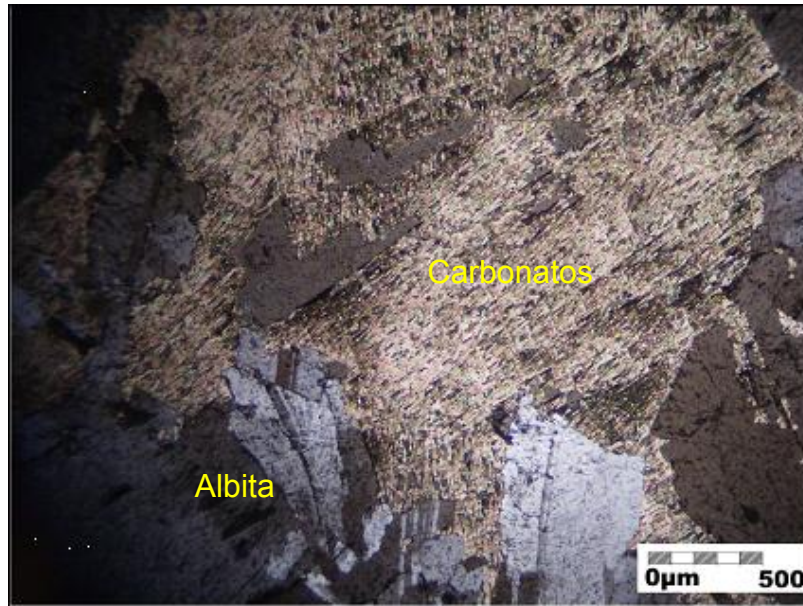


Figura 30. Muestra COR 012 036. Microfotografía de luz plana analizada donde se presenta la mineralogía propia de la vena, la cual consiste de albita, carbonatos y sulfuros. Aumento de objetivo de 5x. Zona II, subzona 1.

Subzona 2: la nomenclatura de las láminas analizadas en esta zona, es la siguiente: COR 012 002, COR 012 003, COR 012 008, COR 012 024 y COR 012 033.

Lodolitas albitizadas y dolomitizadas de grano fino a muy fino, con mal calibrado, granos subesféricos, elongados, plagioclasa en roca caja y venas (83%) predominante, se observa algo de mica moscovita (5%) conformando parte de la matriz de la roca, algunos minerales opacos (sulfuros?) (10%) son observados con un leve proceso de oxidación, la cual es observada como manchas rojizas alrededor de los granos; también se presentan algunas venas de carbonatos (2%). Composicionalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, cemento de dolomita y albita, porosidad baja a media en zonas brechificadas. Se observan venas de dos tipos, las primeras compuestas por albita y opacos y las segundas compuestas por albita, dolomita y opacos. Las paredes de las venas se recubren de plagioclasa y hacia el centro se ubican los carbonatos y los opacos, los cuales pueden provenir de la roca caja (remanentes de la pirita de los lentejones de sulfuros) o del material de relleno (Figura 32 y 33).

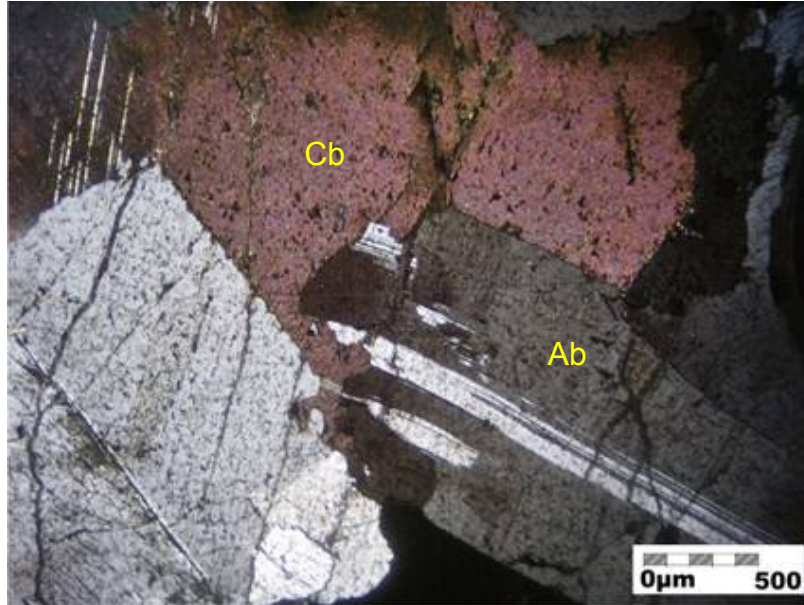


Figura 31. Muestra COR 012 002. Microfotografía de luz plana analizada donde se muestra el contacto entre carbonatos (Cb) y albita (Ab) en la vena. Aumento de objetivo de 5x. Zona II, subzona 2.

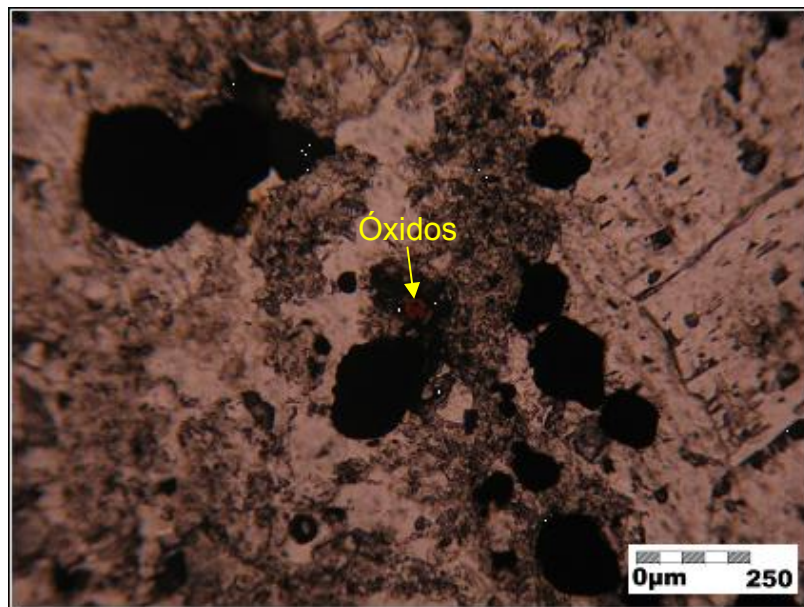


Figura 32. Muestra COR 012 033. Microfotografía de luz plana no analizada donde se muestra el proceso de oxidación de sulfuros. Aumento de objetivo de 10x. Zona II, subzona 2.

Subzona 3: la nomenclatura de la lámina analizada en esta zona, es la siguiente: COR 012 001.

Evaporitas albitizadas con venas de carbonatos y plagioclasa. Grano fino, con calibrado moderado, granos subangulares y elongados. Predomina la plagioclasa (73%), algo de micas (20%), opacos (sulfuros?) (5%) y venas de carbonatos que constituyen el 2% del total de la roca. Estructuras evaporíticas. Termalmente submadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal. Contienen un 1% de cemento, conformado por albita y carbonatos. La plagioclasa de venas se ubica en las paredes, mientras los carbonatos se encuentran hacia el centro, el crecimiento de cristales es sintaxial (Figura 34).

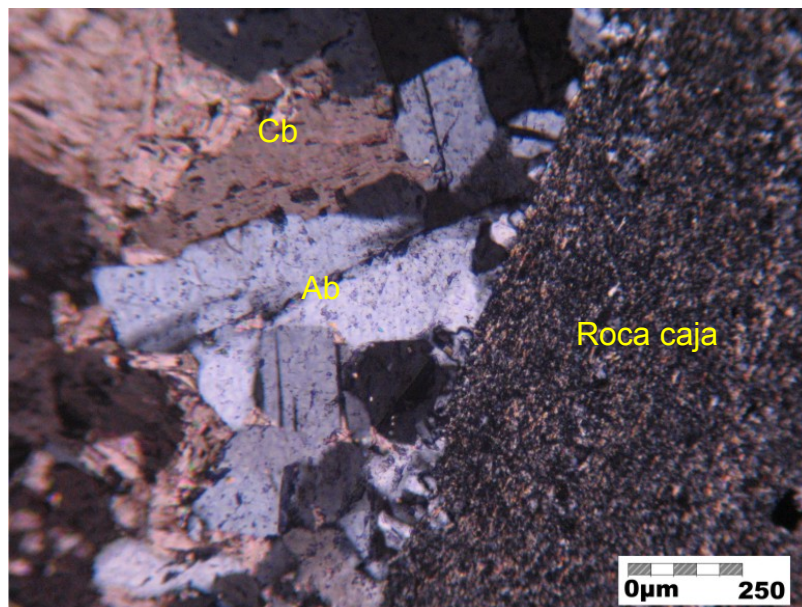


Figura 33. Muestra COR 012 002. Microfotografía de luz plana analizada mostrando el contacto entre la roca caja y una vena que corta la laminación. La vena se compone por cristales de albita (Ab) y carbonatos (Cb), algunos minerales opacos observados en la vena provienen de la roca encajante. Aumento de objetivo 10x. Zona II, subzona 3.

Zona III: la nomenclatura de las láminas analizadas en esta zona, es la siguiente: COR 012 010 y COR 012 011

Lutitas albitizadas de tamaño de grano muy fino, con mal calibrado, granos subredondeados y subesféricos, predomina la albita (25%), así como el cuarzo (20%), la moscovita (20%) y los opacos (sulfuros?) (30%), en menor medida se

observa materia orgánica (5%). Laminación predominante plano – paralela y plano – ondulosa con cierta frecuencia. Texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, porosidad prácticamente nula. Ausencia total de venas (Figura 35).

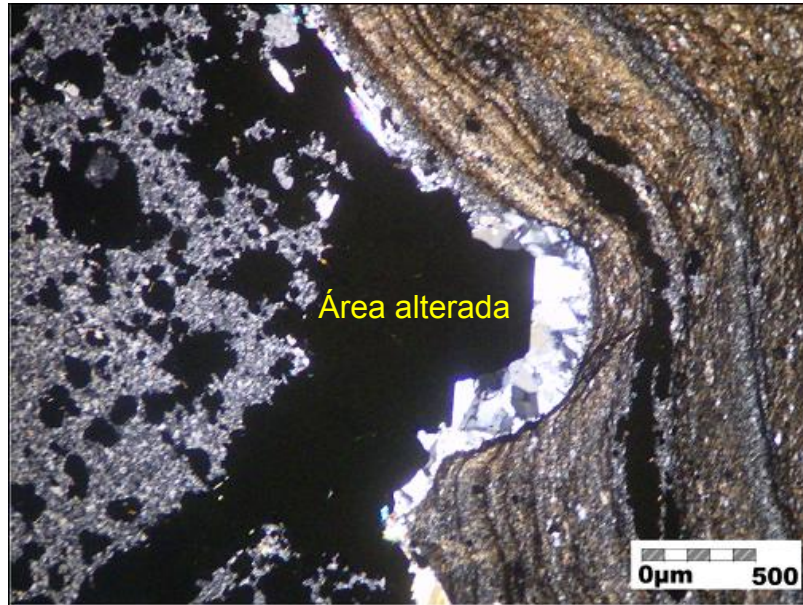


Figura 34. Muestra COR 012 011. Microfotografía de luz plana analizada mostrando acumulación de material hidrotermal en un microplegamiento, nótese hacia la derecha el área que no ha sido afectada por alteración hidrotermal. Aumento de objetivo de 5x. Zona III.

5.2.2. Estudio petrográfico de las Minas de San Pedro, Corte San Gregorio

En este apartado se presentan las características más importantes de las secciones analizadas mediante petrografía de las Minas de San Pedro. Las secciones analizadas serán presentadas conservando la zonalidad determinada en el apartado “Rasgos macroscópicos y zonalidad del Corte San Gregorio (sector Minas San Pedro)”. La nomenclatura utilizada corresponde a COR 013, que es la determinada para las Minas de San Pedro en la fase de campo. Para esta mina se estudiaron 15 secciones delgadas, de las cuales 13 corresponden a la zona I y las dos restantes a la zona II (Figura 36).

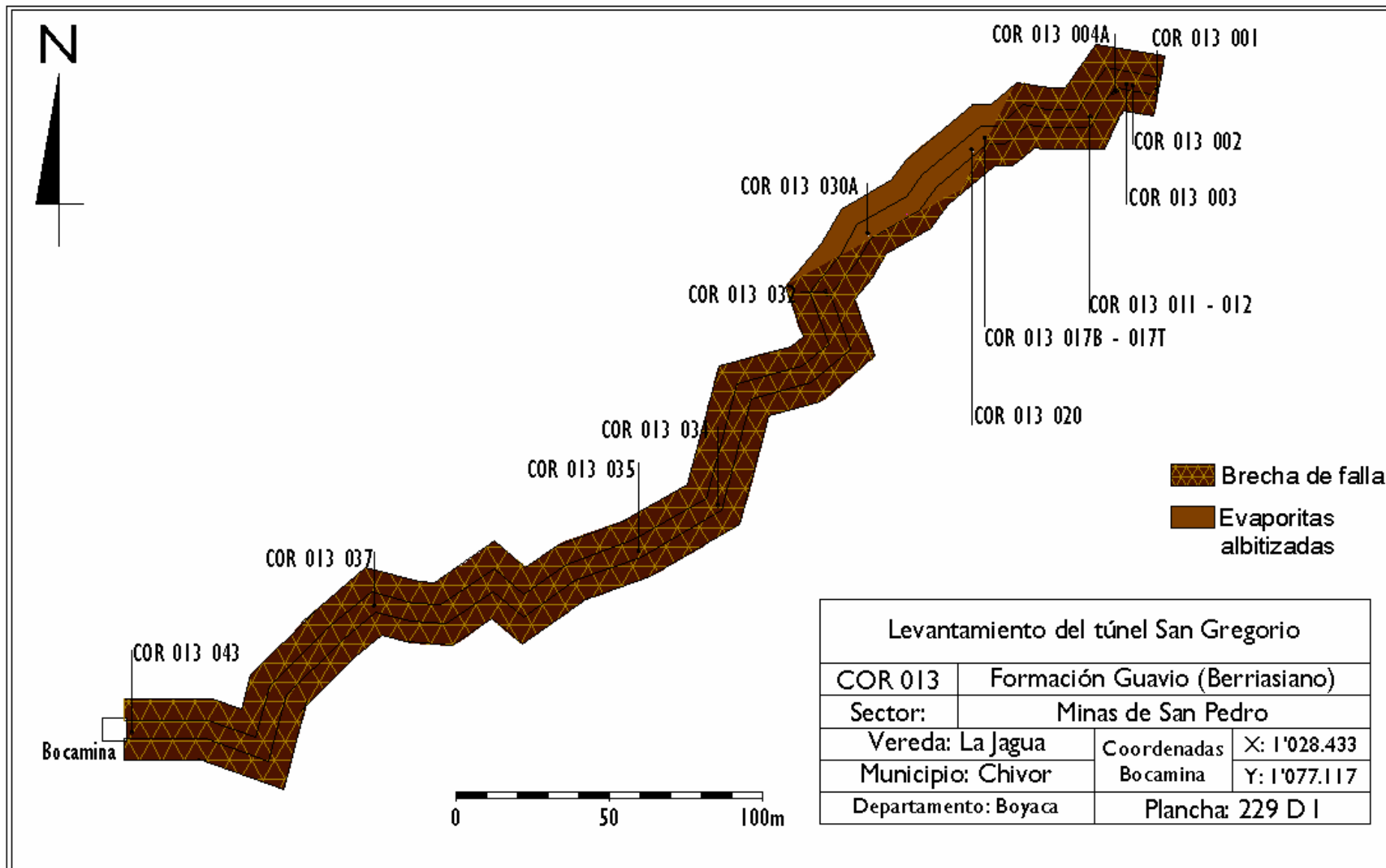


Figura 35. Levantamiento del túnel de las Minas de San Pedro (COR 013) con la ubicación de las muestras con análisis petrográfico.

Zona I: la nomenclatura de las láminas analizadas en esta zona, es la siguiente: COR 013 001, COR 013 002, COR 013 003, COR 013 004A, COR 013 011, COR 013 012, COR 013 017T, COR 013 030A, COR 013 032, COR 013 034, COR 013 035, COR 013 037 y COR 013 043 (ver anexo 1).

Evaporitas albitizadas con venas de albita, carbonatos y sulfuros, ocasionalmente esmeraldas. Grano fino, con mal calibrado, granos subangulares y subesféricos. Predomina la plagioclasa (40%), algo de mica moscovita (30%), cuarzo (25%), opacos (sulfuros?) (2%) y venas que constituyen el 3% del total de la roca; estas venas se dividen en tres tipos, el primero es constituido por plagioclasa, opacos y carbonatos, el segundo por plagioclasa, opacos y esmeralda y el tercero por plagioclasa y opacos. Es común encontrar procesos de alteración supergénica, evidencias de esto se encuentran como oxidaciones de opacos en los bordes de los granos. Estructuras evaporíticas y pliegues por propagación de falla hacia la base de la zona. Termalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal. Contiene un 1% de cemento, conformado por albita. Porosidad cercana al 1%, en zonas con pliegues por propagación de falla y brechas tectónicas alcanza niveles medios de porosidad. El crecimiento de cristales en las venas es de tipo syntaxial, hacia las paredes se ubica la plagioclasa y en el centro se encuentran los opacos y carbonatos, opacos y esmeralda, o únicamente opacos, según sea el caso. Algunos opacos en las venas corresponden a opacos provenientes de la roca encajante y otros tienen su origen en el material hidrotermal de relleno de las venas (Figuras 37 a 42).

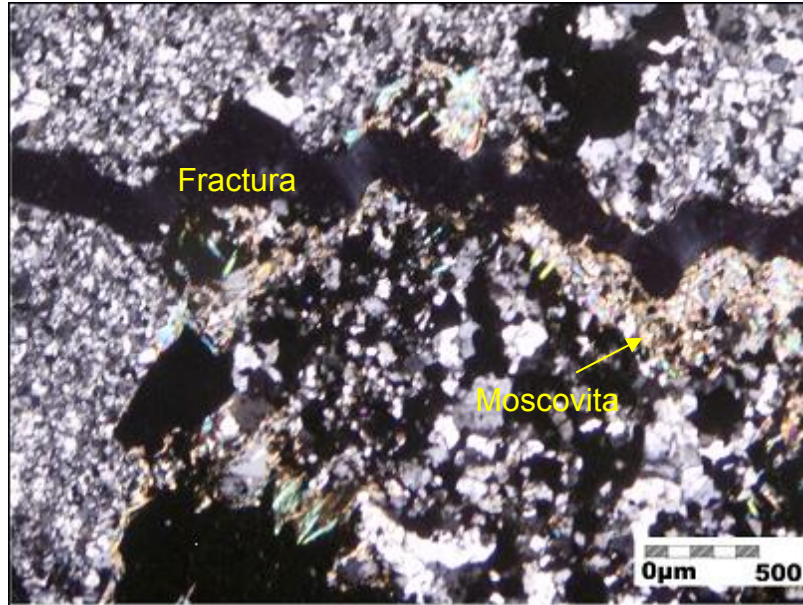


Figura 36. Muestra COR 013 001. Microfotografía de luz plana analizada mostrando fracturas sin rellenar, así como agujas de moscovita asociadas a sulfuros y oquedades. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.

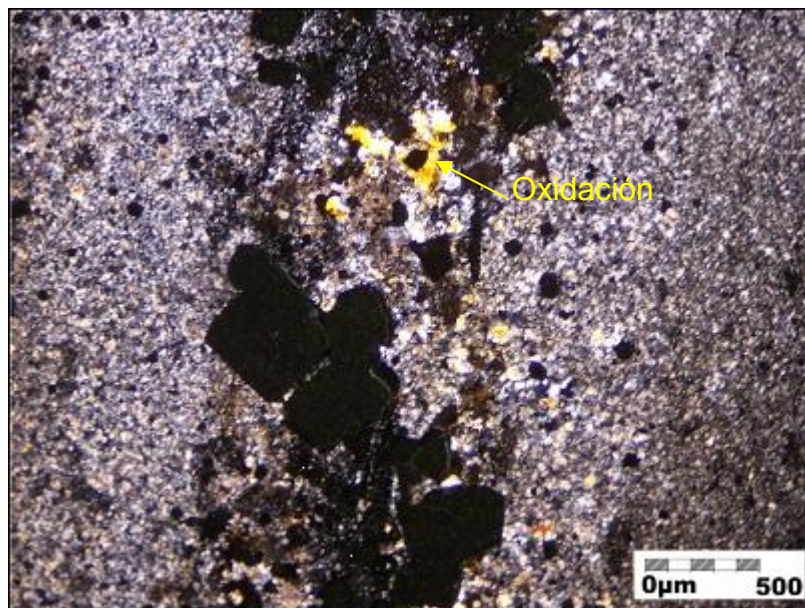


Figura 37. Muestra COR 013 002. Microfotografía de luz plana analizada donde se presenta el proceso de oxidación de sulfuros en forma de manchas amarillentas a rojizas en los bordes de granos. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.

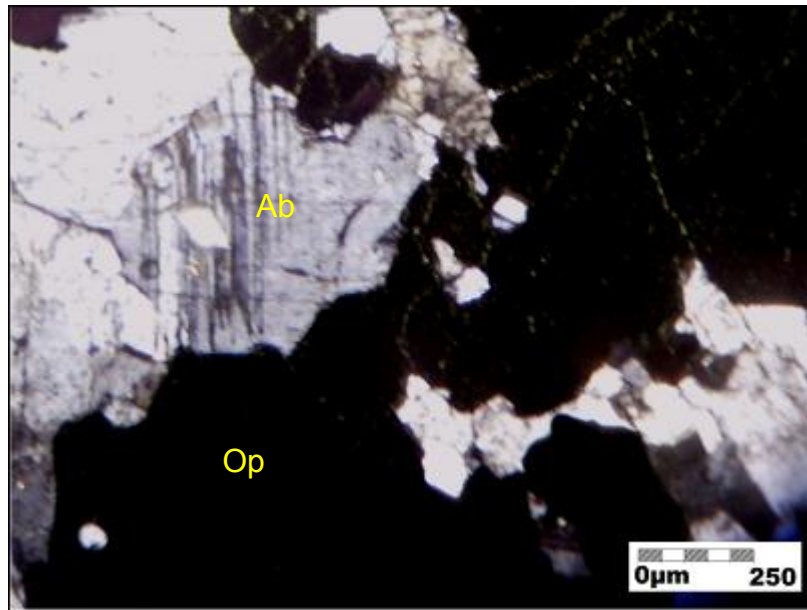


Figura 38. Muestra COR 013 004A. Microfotografía de luz plana analizada en la que se muestra la vena que corta la roca caja, esta se compone por albita (Ab), opacos (sulfuros?) (Op) y esmeralda. Aumento de 10x. Zona I.

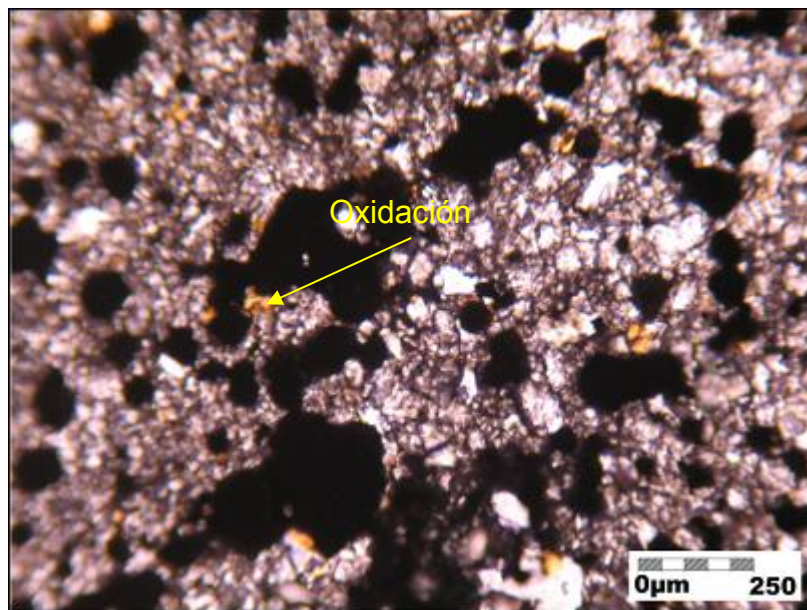


Figura 39. Muestra COR 013 011. Microfotografía de luz plana no analizada donde se muestra la apariencia de la muestra brechificada, así como el proceso de oxidación de minerales opacos (sulfuros?), observable como una coloración amarillenta en los bordes de granos. Aumento de objetivo de 10x. Zona I.

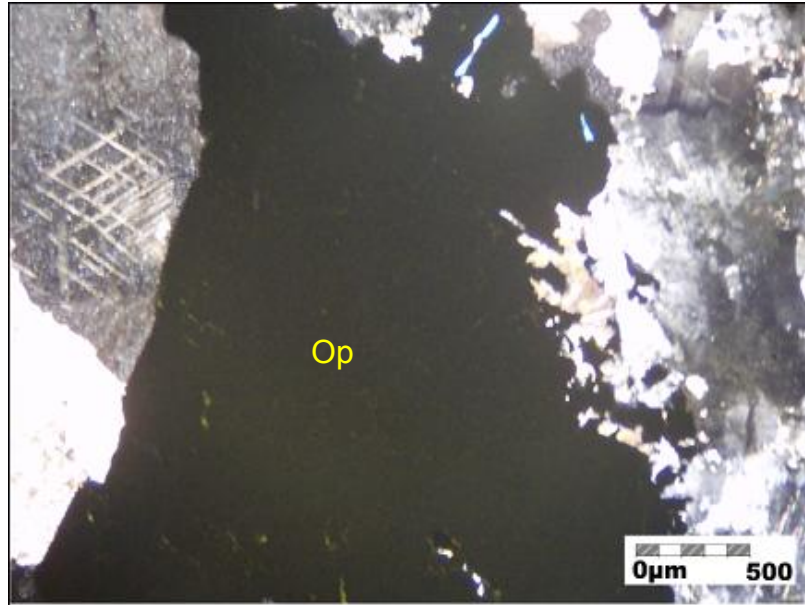


Figura 40. Muestra COR 013 003. Microfotografía de luz plana analizada donde se observan opacos (sulfuros?) (Py) provenientes de la roca encajante en una vena de albita, dolomita y pirita (Py). Tomada con luz plana analizada. Aumento de objetivo de 5x. Zona I.

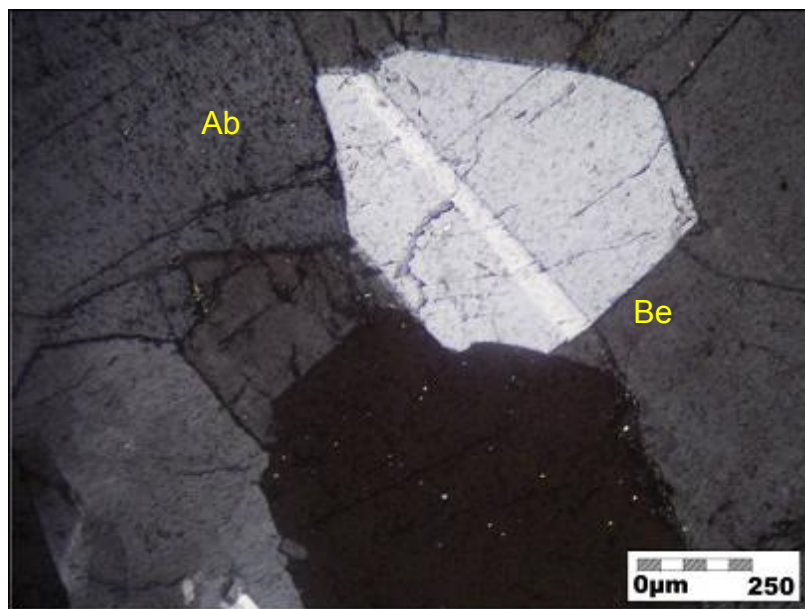


Figura 41. Muestra COR 013 030A. Microfotografía de luz plana analizada donde se observan cristales de albita (Ab) en contacto con un gran cristal de esmeralda (Be) (en color gris claro). Aumento de objetivo de 10x. Zona I.

Zona II: la nomenclatura de las láminas analizadas en esta zona, es la siguiente: muestras COR 013 0017B y COR 013 020

Evaporitas albitizadas de grano fino a muy fino, con mal calibrado, granos subangulares subesféricos, albita (60%) predominante, su presencia ocurre en roca caja y en venas; opacos (sulfuros?) (20%), y venas de carbonatos y albita (20%). Estructuras evaporíticas. Texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, cemento silíceo, porosidad prácticamente nula. Se observan opacos en las venas, pero estos provienen de la roca caja, en estructuras evaporíticas, pues es allí donde se encuentran los lugares más frágiles. El material de los bordes de venas es de plagioclasa y hacia el centro se observan los carbonatos, algunas veces las venas sólo contienen plagioclasa. El crecimiento de los cristales es sintaxial (Figuras 43 y 44).

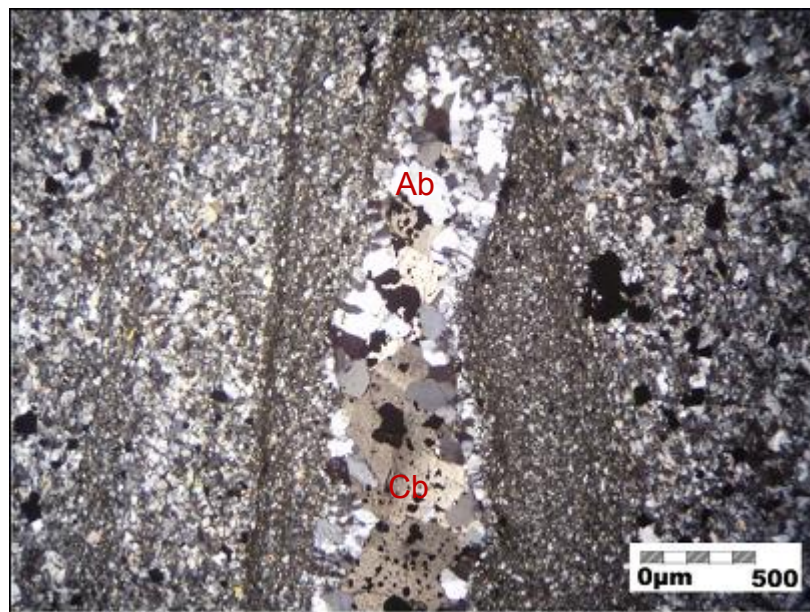


Figura 42. Muestra COR 013 017B. Microfotografía de luz plana analizada mostrando una vena paralela a la laminación, conformada por albita (Ab) (en los bordes de la vena) y carbonatos (Cb). Aumento de objetivo de 5x. Zona II.

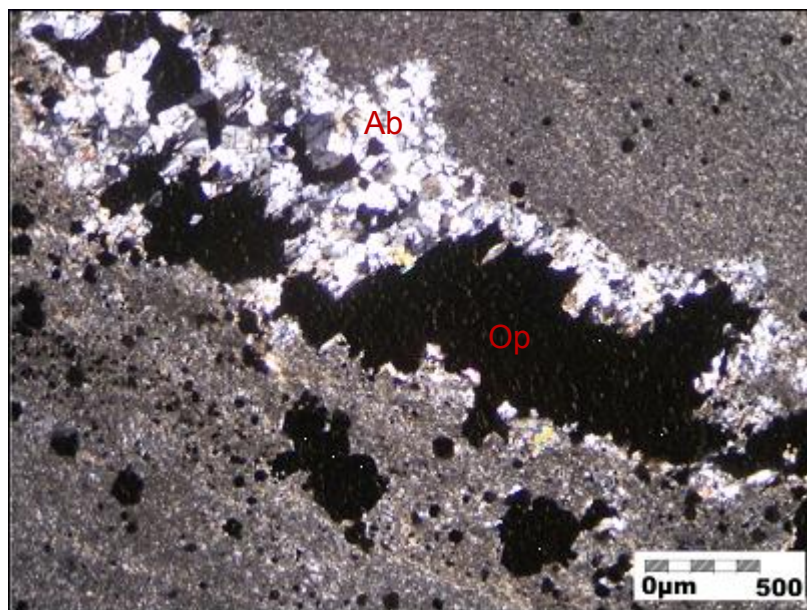


Figura 43. Muestra COR 013 020. Microfotografía de luz plana analizada donde se observan lentes con albita hidrotermal (Ab) y minerales opacos (sulfuros?) provenientes de la roca caja (Op). Aumento de objetivo de 5x. Zona II.

5.2.3. Interpretación preliminar

Hasta el momento, petrográficamente es posible correlacionar la aparición y desarrollo de las venas en ambos túneles; así como la generación de permeabilidad en las rocas mediante procesos de brechamiento tectónico y de plegamientos por propagación de falla (brechamiento con escape de fluidos).

Se observa un proceso de albitización, posiblemente previo al desarrollo de pliegues, brechas tectónicas y eventos hidrotermales formadores de venas, el cual afecta a casi toda la sección. El fluido responsable de la albitización parece entrar al sistema de forma paralela a la estratificación (Figura 35), dando origen a una albitización muy intensa en las rocas. Los minerales producto de esta alteración (albitas) son pequeños (<5 μ m), relativamente irregulares, pero preservan de alguna manera la estructura evaporítica de la roca original. Estas albitas son muy diferentes a las albitas que se presentan en las venas hidrotermales relacionadas con la mineralización esmeraldífera; la diferencia más clara es determinada por el tamaño y forma de los minerales,

puesto que las albitas de venas, a diferencia de las de la roca encajante, forman grandes cristales euhedrales (50 a >1000µm).

Los fluidos hidrotermales responsables de la formación de venas, aparentemente ingresan a través de los pliegues de propagación de falla y brechas de niveles inferiores. Los fluidos de origen supergénico (responsables de la oxidación de sulfuros) aparentemente percolan a través de las oquedades presentes en las brechas tectónicas y planos de anisotropía (diaclasas, etc.), ubicados en niveles superiores.

Se observa crecimiento de cristales de albita de vena en los bordes de los minerales opacos (sulfuros?) en las láminas y lentejones. Esto indica que el fluido entrante durante el evento responsable de la formación de venas de albita, entra a través de las láminas, ubicándose de manera paralela a la estratificación. También se presentan venas que rompen la laminación, conservando minerales opacos (sulfuros?) de la roca encajante en su relleno.

Aparentemente el orden de cristalización generalizado en venas es: Albita → Carbonatos → Opacos → Esmeralda, lo cual es válido para todos los tipos de venas (Tabla 4). La ausencia de algunos de estos minerales en una vena no afecta el orden descrito. En el orden establecido anteriormente no se incluyen los opacos provenientes de la roca caja. Aunque puede ocurrir, es poco común encontrar esmeralda en una misma vena con dolomita.

Tabla 4. Orden de cristalización de los minerales presentes en venas.

Mineral	Orden de cristalización
Albita	-----
Carbonatos	-----
Opacos	-----
Esmeralda	-----

5.3. ANÁLISIS MINERALÓGICO MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Para el desarrollo de este trabajo fue necesario el análisis de DRX para determinar minerales de fracciones granulométricas muy finas, así como la diferenciación de minerales tan importantes como carbonatos, los cuales no siempre pudieron ser bien determinados en análisis de microscopía óptica.

A continuación se presenta un breve resumen acerca de los análisis mediante DRX para una mejor comprensión acerca de los datos arrojados.

5.3.1. Consideraciones previas

- Preparación y montaje de muestras: una cantidad de muestra de alrededor de 30g es triturada en un mortero (para este caso se utilizó un mortero mecánico de ágata del laboratorio de Arcillas de la Escuela de Geología, UIS). Realmente el equipo utilizado requiere de cantidades menores, de cerca de 5g. La muestra, que ahora se conforma por muchos microcristales desordenados, se dispone sobre un portamuestras de aluminio, que es sobre el cual se realiza la emisión de rayos X.

- Descripción del método: este procedimiento, como su nombre lo indica, requiere de una emisión de rayos X, esta radiación posee una alta energía y una longitud de onda muy pequeña, lo suficientemente pequeña como para entrar a espacios interatómicos y que con lo cual se produzca la difracción. La emisión de rayos X incide sobre una muestra, parte del haz es dispersado en todas direcciones y otra parte es difractada, lo cual sólo ocurre cuando se cumple la ley de Bragg. Si dicha ley no se cumple, se dice que la interferencia es de naturaleza no constructiva y el haz difractado es de muy baja intensidad.

Ley de Bragg: $n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$, 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 comparar con los perfiles de una base de datos para determinar los minerales presentes. Para este caso se utilizó la base de datos PDF-2, del International Centre for Diffraction Data (ICDD).

- Aplicaciones de análisis mediante la Difracción de Rayos X.

- Análisis cualitativo: el difractograma que se entrega como resultado muestra intensidad contra espaciamiento (o ángulo θ), las intensidades relativas de las diez líneas más fuertes son comparadas con un estándar conocido, tal como PDF para determinar la sustancia presente.
- Análisis cuantitativo: es una medida tomada sobre intensidades relativas, así, para determinar la cantidad de dos sustancias diferentes, se miden las intensidades relativas de dos líneas fuertes que no se superpongan.
- Estructura de aleaciones: para esto se realiza mediante técnicas fotográficas de rayos x. Cuando la aleación es enfriada, en algunos casos algunos de los metales se precipitan, lo que se muestra en la fotografía como puntos, donde se mostrarían líneas si no se hubiese dado la precipitación.
- Determinación de esfuerzos en metales: es una medición precisa comparando la diferencia de los ángulos θ de las fotografías tomadas antes y después de la deformación. Lo anterior se da puesto que ante un esfuerzo las dimensiones de la celda unidad cambian y eso es reflejado en las fotografías tomadas.
- Determinación de tamaños de cristales: se determina por la dispersión angular incrementada al analizar muestras de polvos, dicha dispersión es mucho menor cuando la perfección y el tamaño del cristal aumentan.

5.3.2. Datos obtenidos mediante análisis de DRX

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos para las diferentes muestras analizadas de ambos túneles. Dichos resultados han pasado también análisis dirigidos por el Geólogo Jaime Mojica (codirector de este trabajo) para determinar un dato semicuantitativo de las diferentes especies minerales. En total se cuentan 82 muestras a las que se les han realizado estos análisis (Figuras 45 y 46). Los difractogramas con análisis cualitativos se encuentran en el Anexo 2.

Con los datos obtenidos fue posible realizar gráficas que muestran la aparición de los minerales determinante en el estudio de las alteraciones hidrotermales y supergénicas de las minas estudiadas (Figuras 47 y 48).

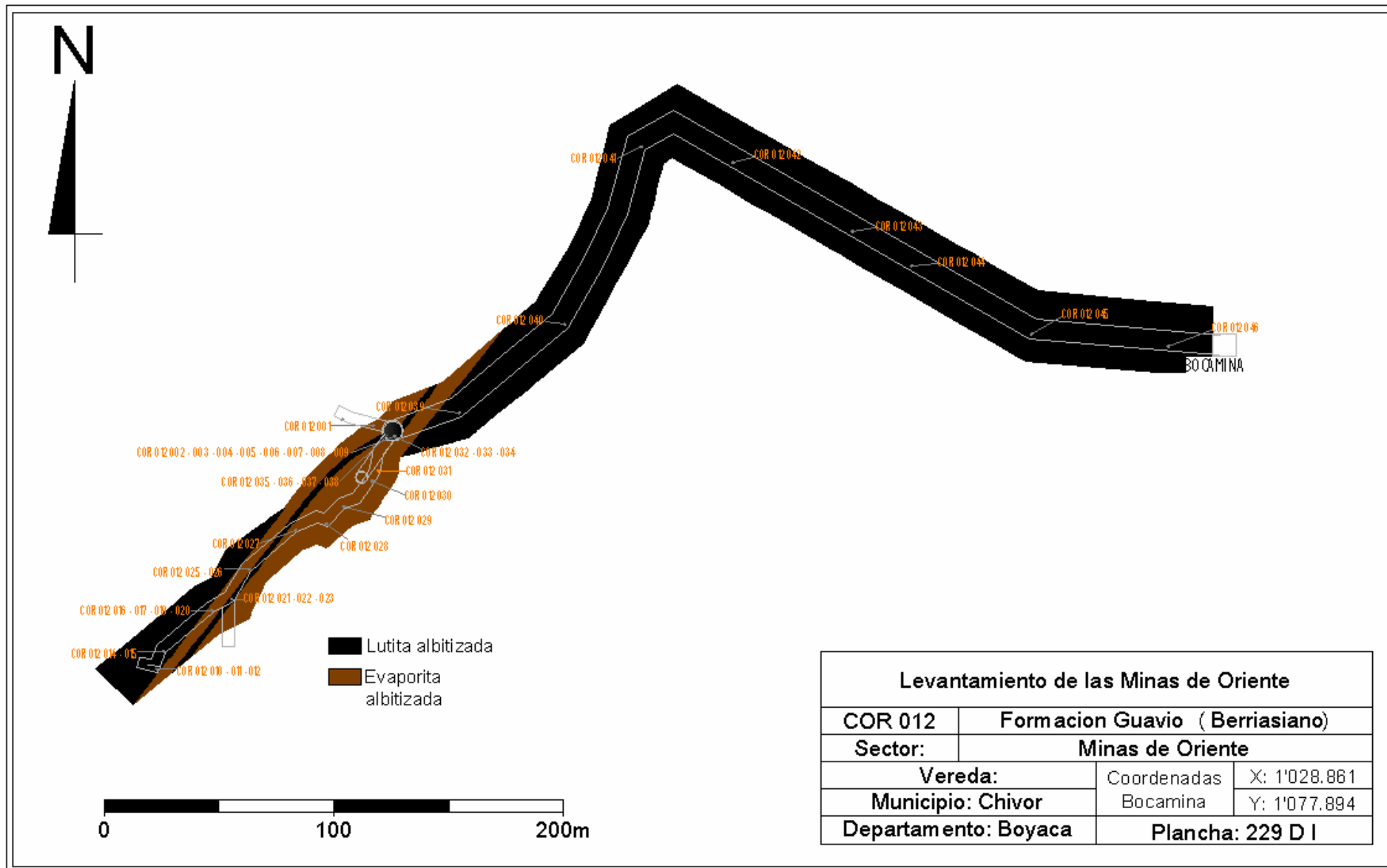


Figura 44. Levantamiento del túnel de las Minas de Oriente (COR 012) con la ubicación de las muestras con análisis mediante DRX

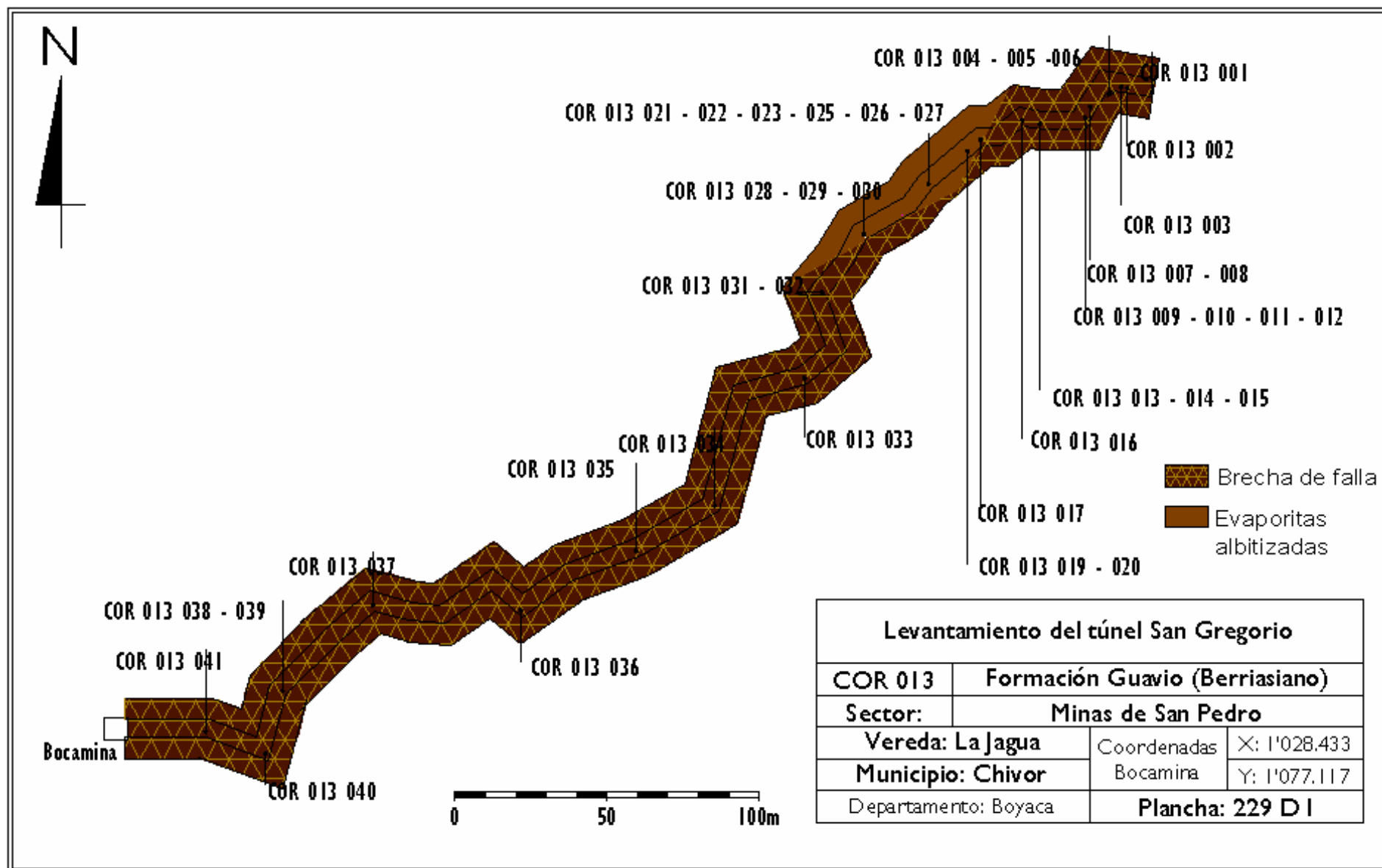


Figura 45. Levantamiento del túnel de las Minas de San Pedro (COR 013) con la ubicación de las muestras con análisis mediante DRX

Tabla 5. Resultados de análisis semicuantitativos de DRX

No	MUESTRA	Dolomita	Calcita	Ankerita	Calcita magnesiana	Albita	Anortita	Cuarzo	Esmeralda	Moscovita	Illita	Pirita	Rutilo	Hematita	Goethita	Pirofilita	Gypsum	Jarosita	Alunita	Clorapatita	Clorita Fe	
1	COR 012 001	+				+++				++		+										
2	COR 012 002	++++				++						+										
3	COR 012 003					+++				+		*	*									
4	COR 012 004	*	++++			+++				+	+	*										
5	COR 012 005	++++				+++						*										
6	COR 012 006	++				++++						+	*				*					
7	COR 012 007	*				++++						+	*			*						
8	COR 012 008	+				++++						+	*				+					
9	COR 012 009	+				++++						++	*									
10	COR 012 010				*	++++		++++		+	+	+++	*									
11	COR 012 011					+++		+++		++		++++										
12	COR 012 012					+++						++					+					
13	COR 012 014	+++				+++				+		+										
14	COR 012 015		+			++++				+			*				+					
15	COR 012 016	++++				+++						*										
16	COR 012 017	++++				++++						+										
17	COR 012 019	++++	++++			++				*		+					+					
18	COR 012 020	++++				++++							*									
19	COR 012 021		*	++++		+++		+		+++							++					
20	COR 012 022	++	++++			++				+		*					*					
21	COR 012 023	+	++++		+++	++++		+		++		+					++		+			
22	COR 012 025	++++				+++		++				*					*					
23	COR 012 026	++++	*	*		++		*									*					
24	COR 012 027	*				++++		*		++		+										
25	COR 012 028	+	++++			+++		*		++							+					
26	COR 012 029	++++				+++		+++				*										
27	COR 012 030	++++				++++						+					*					
28	COR 012 031					++++				+							+++	+				
29	COR 012 032	*				++++		*		+++			*									
30	COR 012 033	++	++++			+++		++		++		+	*	+			++					
31	COR 012 034	++++	*			++		++		++		++					+					
32	COR 012 035	*				++++			+	*												
33	COR 012 036	+++				++++								*								
34	COR 012 037	++++				++++						*										
35	COR 012 038	++				++++		*	+	*		+		*			*					
36	COR 012 039			++		+++		++++		++		*	*									
37	COR 012 040	++				+++		++++		++		+	*									
38	COR 012 041			++		++		++++		+		*					*					
39	COR 012 042			+		++		++++		+++		*	*				*					
40	COR 012 043	+				++		++++		++		+	*				*			*	*	*
41	COR 012 044					++		++++		++	+		*				+					
42	COR 012 045	++				++++		+++		+		+					*					
43	COR 012 046	*				++		++++		++		*	*				*					

44	COR 013 001	*				+++	++	+++		*									
45	COR 013 002	*				++++	++	++		+	*							*	
46	COR 013 003	++				++++	*	++		++	*								
47	COR 013 004A					++++	++	+++		+++	*								
48	COR 013 005					++++	+			+									
49	COR 013 006					++++	*	+		++									
50	COR 013 007	++	+			++++	++	+++		+	*							+	
51	COR 013 008	++				++++	*	+		*									
52	COR 013 009	++	*			+++	*	++++		++		+	*					*	
53	COR 013 010	++++	++			++++	*	+		+	*							*	
54	COR 013 011	++++				++++					+							*	
55	COR 013 012	++++				++++						*							
56	COR 013 013	++++	++			++	+	++		+								*	
57	COR 013 014	+++	++++			+++	*	*		+									
58	COR 013 015	+				++++	+	+++		+								*	
59	COR 013 016	++++	*			+													
60	COR 013 017	+				++++	++	+		+	*								
61	COR 013 019					++++	+	*		*	*								
62	COR 013 020	++	++++			+		+		+								*	
63	COR 013 021	+	*			+++	++	+++		+								+	
64	COR 013 022	+++	+			++++		*	+	*								*	
65	COR 013 023	++	+	*		++++	*	+		+	*							*	
66	COR 013 025	+		*	*	++++				+	*								
67	COR 013 026	*				++++				+	*	*							
68	COR 013 027					++++					*	*							
69	COR 013 028	++++	*			++		*		+									
70	COR 013 029	++++	*			++				*								*	
71	COR 013 030	++++				+													
72	COR 013 031	+++	++			+++	++	++	+	+	*							+	
73	COR 013 032	++++	*			++++	*			*									
74	COR 013 033	++				++++	+++	*		*								*	
75	COR 013 034	+++	+++			+++	++	+++		*	*							+	
76	COR 013 035	+++				+++	+++	*		+								*	
77	COR 013 036	+				++++	+++			+	*		*					*	
78	COR 013 037	++++	++			*				*									
79	COR 013 038	++	++			++++	*	*		*	*	*						*	
80	COR 013 039	++	+			++++	+	+		*	*							*	
81	COR 013 040	+++				+++	+++	++		+	*							++	
82	COR 013 041					++	++++	++										+	*
++++ Abundante (> 40%) +++ Común (20 – 40%) ++ Pobre (10 – 20%) + Escaso (3%) * Trazas (<3%)																			

5.3.3. Interpretación preliminar

En general, se puede resumir que la aparición de minerales propios de alteraciones supergénicas tales como hematita, jarosita y alunita prefieren

ubicarse en zonas frágiles y de fácil acceso como son los brechamientos tectónicos.

Los carbonatos son encontrados invariablemente a lo largo de ambos túneles. Suele encontrarse cuarzo en las zonas I y III de las Minas de Oriente (lutitas albitizadas), el mayor contenido se encuentra en la zona I. En las Minas de San Pedro, el cuarzo se reconoce a manera de relleno de venillas dentro de las brechas tectónicas (en estas minas no se presentan lutitas albitizadas).

Los carbonatos encontrados en venas con mineralización de esmeraldas corresponden a dolomitas, mientras que los carbonatos de calcio se ubican únicamente en las venas sin esmeralda. Esto corrobora la tipología de venas hidrotermales establecida en el apartado “Rasgos Geológicos Generales [túneles minas de Oriente y San Pedro (corte San Gregorio)]”. Es importante recalcar que es poco común encontrar carbonatos con la esmeralda, la cual se encuentra casi siempre sólo con albita.

La zonalidad determinada para los niveles negros afectados por brechamiento y pliegues por propagación de falla, descritos en los apartados “Rasgos Geológicos Generales [túneles minas de Oriente y San Pedro (corte San Gregorio)]”, se define así:

- Hacia el techo del nivel se ubica una zona altamente dolomitizada, con algo de albita.
- La parte inferior se compone mayoritariamente por albita y algo de dolomita.

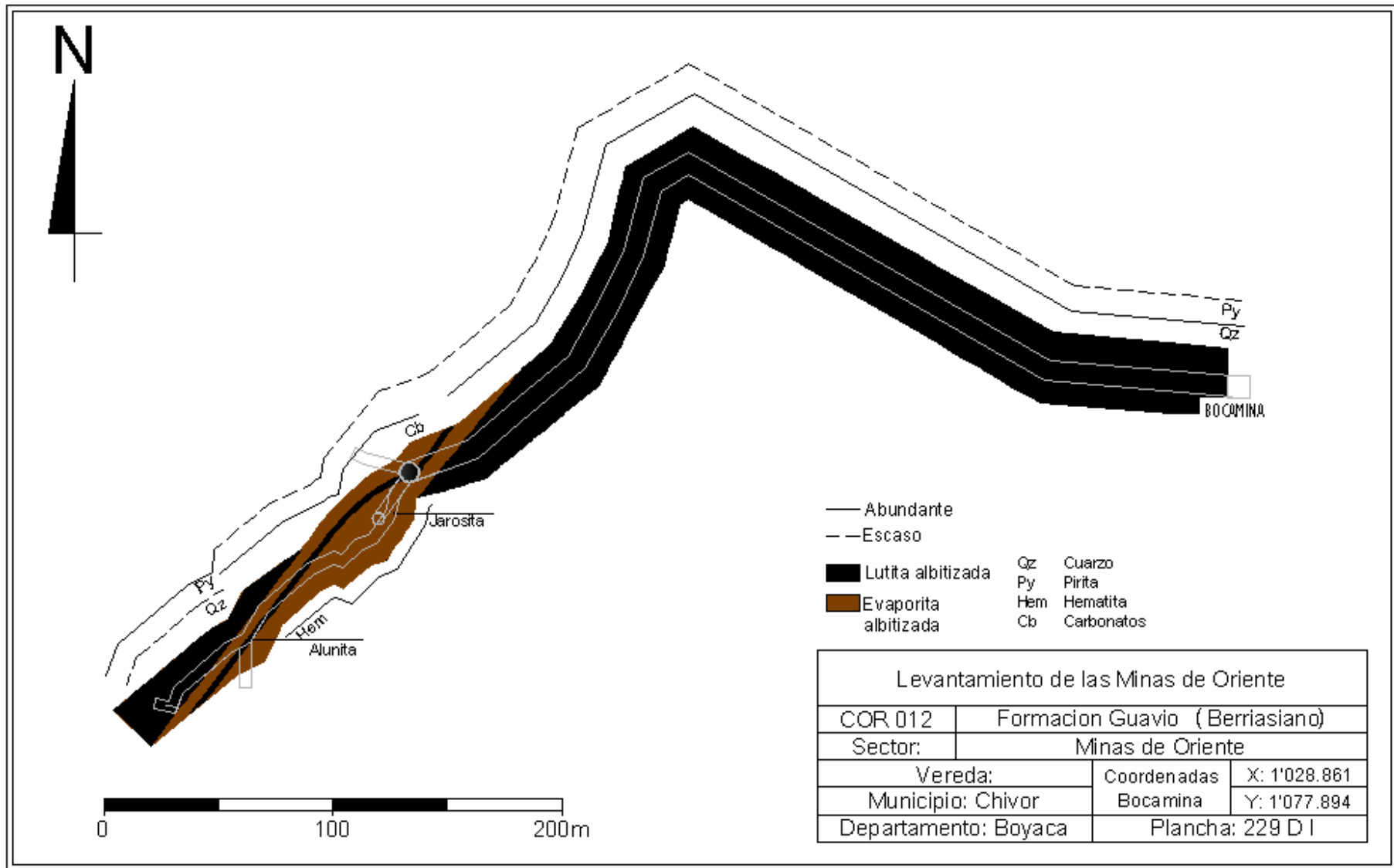


Figura 46. Levantamiento del túnel de las Minas de Oriente, se muestra la aparición de ciertos minerales determinados por DRX.

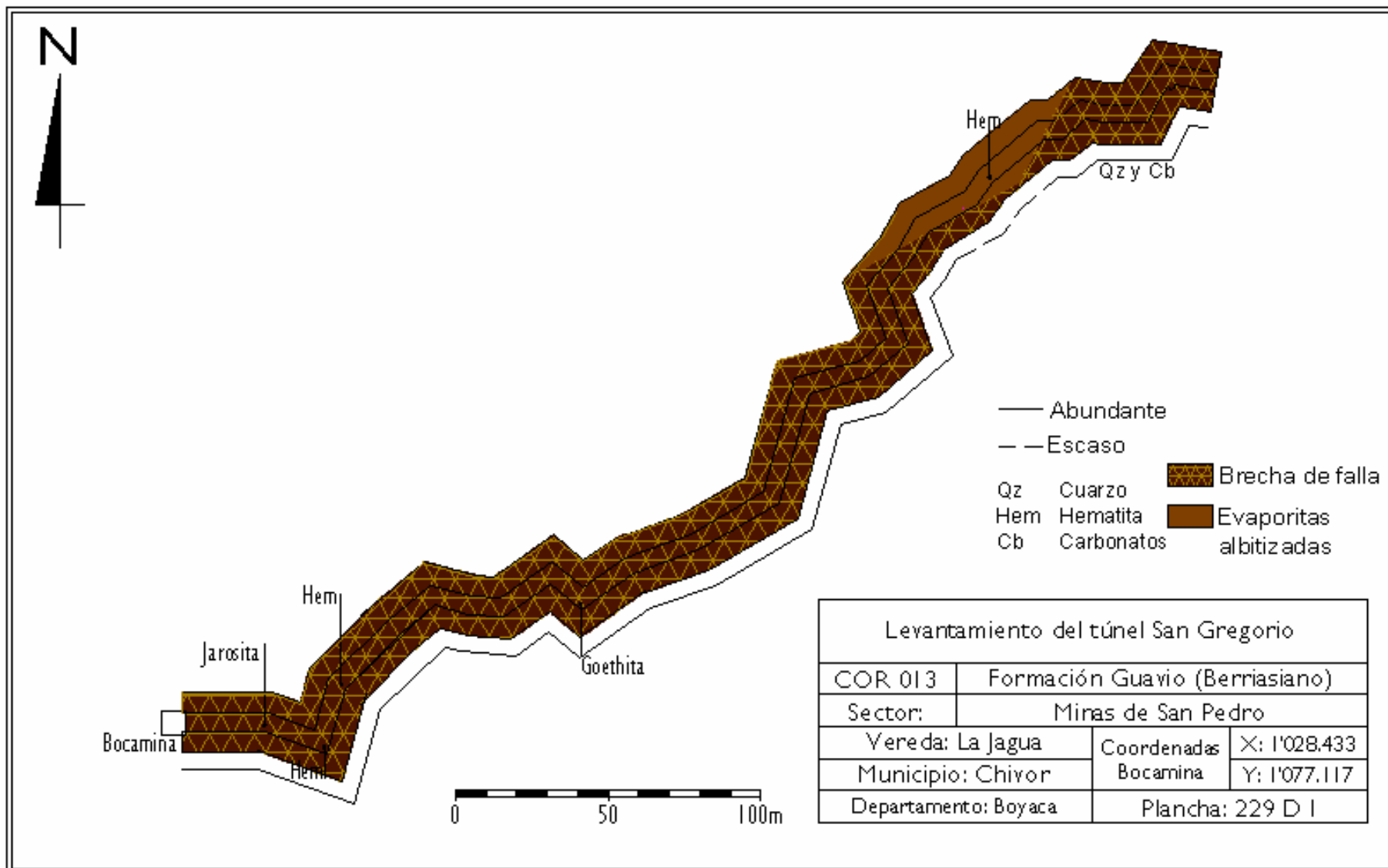


Figura 47. Levantamiento del túnel de las Minas de San Pedro, se muestra la aparición de ciertos minerales determinados por DRX.

5.4. ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS (IF)

Para análisis mediante el estudio de inclusiones fluidas se realizaron 6 secciones delgadas doblemente pulidas, de las cuales sólo se obtuvieron datos de microtermometría de 3 muestras. De todas las muestras se presenta la petrografía realizada. Las muestras analizadas corresponden a los siguientes minerales: cuarzo, esmeralda y calcita. El cristal de esmeralda analizado corresponde a una muestra comprada proveniente de las minas de San Pedro (COR 013); la calcita corresponde a una vena de calcita y sulfuros encontrada en el túnel de las minas de San Pedro y el cuarzo pertenece a una vena de las zonas aledañas a las Minas de Oriente (COR 012).

5.4.1. Consideraciones previas

Las inclusiones fluidas se forman durante las diferentes etapas del crecimiento cristalino de muchos minerales, consisten de pequeñas vacuolas rellenas de material acuoso proveniente del fluido del cual se produce la cristalización. Analizando entonces las inclusiones fluidas que ocurren dentro de los cristales, es posible conocer las condiciones de la formación e inclusive posteriores eventualidades que afectaron a los minerales.

Existen diferentes tipos de clasificaciones de las IF, entre ellas mostramos las siguientes: clasificación morfológica, naturaleza del contenido y clasificación según la génesis de las inclusiones.

5.4.1.1. Clasificación morfológica

Se establece según la morfología de las paredes de las inclusiones, los criterios de determinación son: 1) irregulares, todas las 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) (Figura 49).

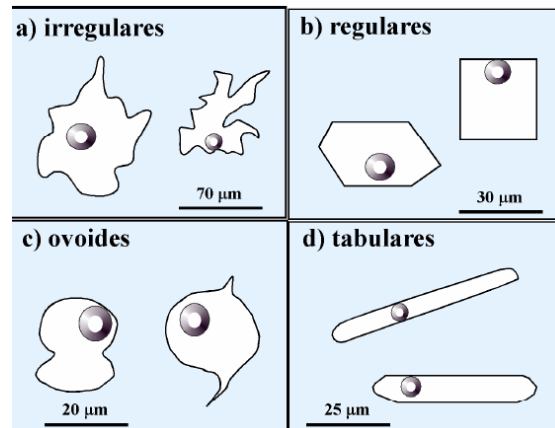


Figura 48. Clasificación morfológica de IF. Tomado de Velasco (2004).

5.4.1.2. 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 CO_2 y CH_4 (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, $L_{\text{H}_2\text{O}}$ y L_{CO_2} y a una fase gaseosa G_{CO_2} (Velasco, 2004).
- 4) Polifásicas, se dan cuando aparecen varios tipos de sólidos.

La siguiente clasificación corresponde a la clasificación de Nash (1976) (Figura 50), se divide en:

Tipo L: moderada salinidad, una fase líquida (agua) y una gaseosa (vapor de agua), la proporción se determina según la temperatura de atrape.

Tipo V: ricas en gas, generalmente vapor de agua, pero también pueden contener algo de CO₂. Suelen indicar condiciones de ebullición.

Tipo S: altamente salinas, común encontrar cristales de halita y en ocasiones silvita, anhidrita, hematites, etc.

Tipo C: ricas en CO₂.

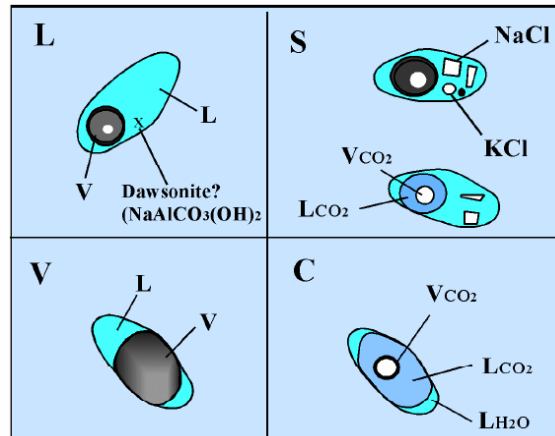


Figura 49. Clasificación de Nash (1976) mostrando los cuatro tipos predominantes de inclusiones fluidas (L: líquido, V: vapor, S: sólido y C: carbónicas). Tomado de Velasco (2004).

5.4.1.3. Clasificación genética

Esta clasificación está planteada por Roedder (1984) y es básica para los análisis de microtermometría, lo que será expuesto más adelante. Se divide en tres tipos, descritos a continuación (Figura 51).

Primarias: son formadas durante las etapas de crecimiento del cristal. Se muestran siguiendo zonas concéntricas, paralelas a las caras de crecimiento del cristal. Las inclusiones se muestran aisladas.

Secundarias: su génesis se da con posterioridad a la formación del cristal, se ubican en la cicatrización de fracturas. Tienden a ser muy pequeñas y muy abundantes, se posicionan en los planos de microfisuras.

Pseudosecundarias: siguen el mismo proceso de formación que las secundarias, de las que difieren porque siguen el crecimiento adicional de un cristal.

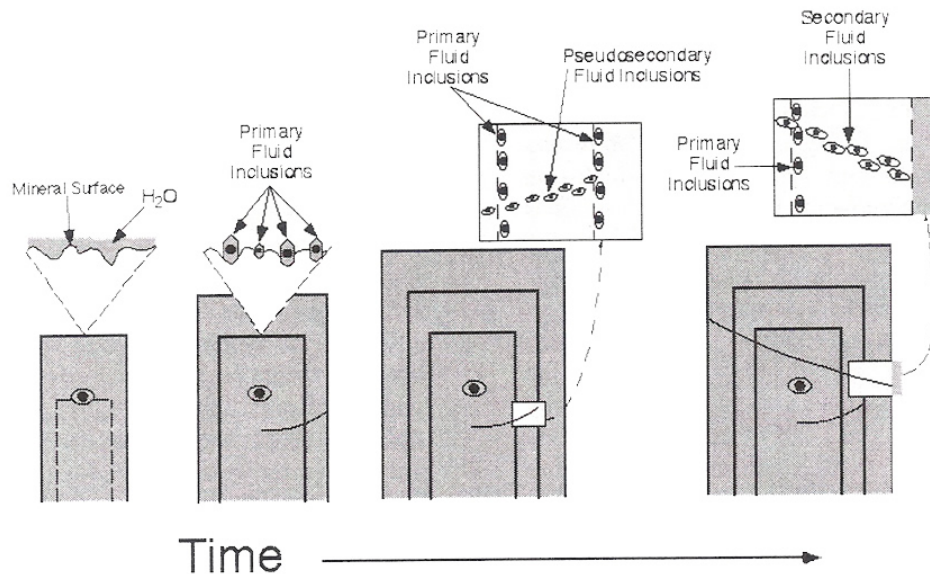


Figura 50. Formación de IF primarias, secundarias y pseudosecundarias durante la evolución de un cristal. Tomado de Samson *et al.* (2003).

5.4.1.4. Clasificación según las fases observables a temperatura ambiente

Esta clasificación la proponen Nash y Theodore (1971), dividen las IF en cinco tipos, es similar a las clasificaciones dadas según la naturaleza del fluido, descritas anteriormente, pero se notará que ésta es mucho más específica que las anteriores (Figura 52).

Tipo I: 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). Por lo general homogenizan a líquido durante el calentamiento.

Tipo II: 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.

Tipo III: 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.

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.

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.

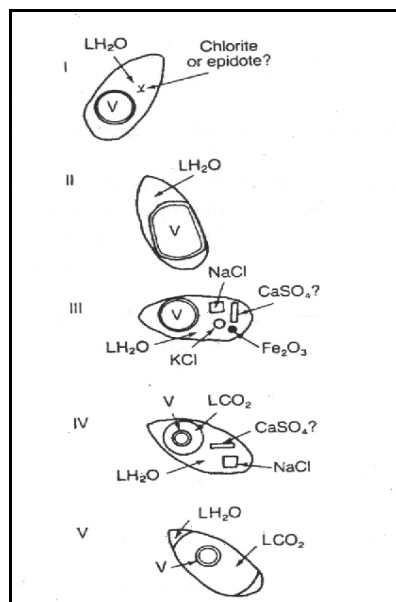


Figura 51. Esquema de los tipos de inclusiones fluidas según el número de fases presentes a temperatura ambiente (L: líquido y V: vapor). Tomado de Nash y Theodore (1971).

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 formo 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.

La microtermometría nos brinda las distintas condiciones a las que fue expuesto el fluido como lo son temperatura, presión, densidad y composición.

5.4.1.5. Temperatura

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 (Ver Figura 53). 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).

5.4.1.6. Presión

Los datos obtenidos pueden revelar información de la presión del ambiente en el momento del atrapamiento. Estos se calculan 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.

5.4.1.7. Densidad

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.

5.4.1.8. Composición

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

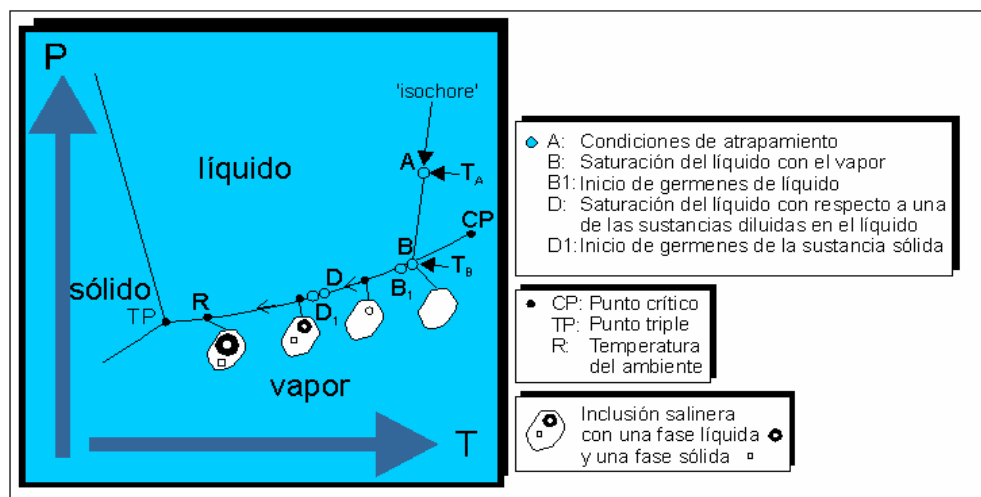


Figura 52. Diagrama de presión en función de la temperatura del desarrollo de una inclusión fluida salina después de su atrapamiento en un mineral. Tomado de <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/profluid/ptext/10001intro>.

5.4.2. Petrografía de IF

Los cristales elegidos para el estudio de microtermometría de IF siguieron criterios tales como la transparencia, el tamaño y la aparición o ausencia con la mineralización de esmeraldas. A continuación se presenta una descripción petrográfica de las secciones escogidas, aunque no todas pudieron ser analizadas. Muchas de estas muestras corresponden a esmeraldas acompañadas por otros minerales que han sido compradas provenientes de las minas.

Las descripciones con la siguiente nomenclatura corresponden a muestras de las Minas de Oriente: COR 005 015, COR 012 048 y COR 012 049. Las demás nomenclaturas corresponden a las Minas de San Pedro: COR 008 001, COR 008 007 y COR 013 037.

5.4.2.1. COR 005 015 Cuarzo (Minas de Oriente, zona I).

Lámina que corresponde a una vena de cuarzo tomada en el Cantera en el sector de "Minas de Oriente", Municipio de Chivor, Dpto. de Boyacá. En los cuarzos de esta lámina se encuentran varias familias de inclusiones fluidas polifásicas algunas con mas de un sólido, las primarias son de formas

rectangulares y esféricas de tamaños entre 2 y 30 μm con la siguiente distribución de fases: vapor 20 %, halita 30 % y salmuera 50 %. En la lámina se encuentra otro tipo de inclusiones que tienen más de un sólido, adicional a la halita se encuentran sólidos más pequeños esféricos. Al parecer son primarias pues se encuentran al azar, presentan formas irregulares y tamaños entre 10 y 30 micras, sus fases se distribuyen así: vapor 15 %, halita 25 %, sólido adicional 10 % y salmuera 50 %. La familia de inclusiones secundarias es también polifásica dispuestas en caminos, con formas tabulares menores de 10 micras con esta distribución de fases: burbuja 20 %, halita 20 % y la salmuera 60 % (Figuras 54 y 55).

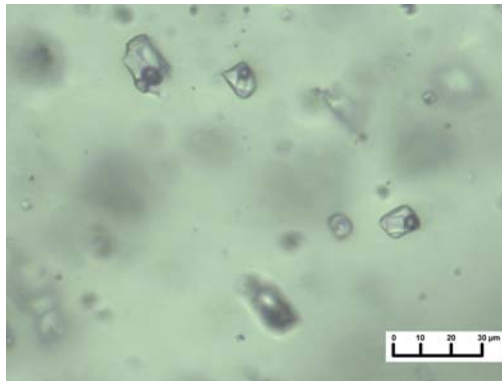


Figura 53. IF primarias polifásicas dentro de un cristal de cuarzo. COR 005 015

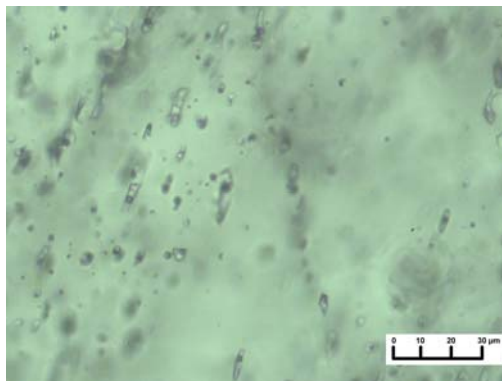


Figura 54. IF secundarias polifásicas dentro de cuarzo. COR 005 015.

5.4.2.2. COR 012 048 Esmeralda (Minas de Oriente, zona II).

Inclusiones fluidas tipo III de carácter primario. La forma de las inclusiones es alargada y algunas son amorfas, alcanzan dimensiones de 7 a 20 μm . Porcentaje de gas del 12%, porcentaje de sólido 15%. Aparentemente el sólido

es un cristal de halita. La forma de las burbujas es redondeada, los cristales de halita tienen forma cúbica. La relación entre gas y sólido es muy variable (Figura 56).

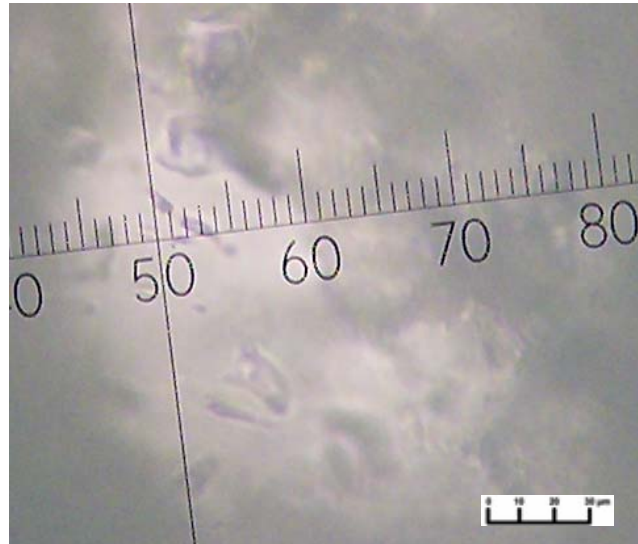


Figura 55. Cristal de esmeralda. Inclusiones primarias. Aumento de objetivo de 40x. Se hace hincapié en la variedad de formas presentes. Muestra COR 012 048 (Minas de Oriente, zona I).

Inclusión fluida de tipo I ó II, de carácter secundario. El porcentaje de gas es de 20%, se observa componente sólido. El tamaño de la inclusión es de 20 x 120 μ m. Su forma está determinada por la fractura donde se encuentra (se observan más inclusiones secundarias trifásicas alrededor) (Figura 57).

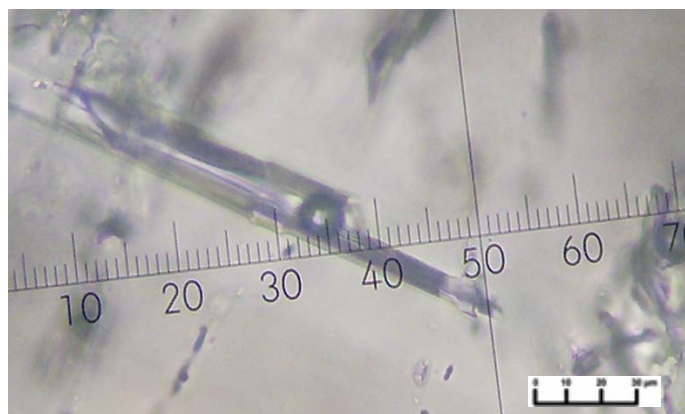


Figura 56. Cristal de esmeralda. Inclusión secundaria. Aumento de objetivo de 40x. La inclusión se extiende a lo largo de una fractura. Muestra COR 012 048 (Minas de Oriente, zona I).

5.4.2.3. COR 012 049 Esmeralda y Dolomita (Minas de Oriente, zona II).

Familia de inclusiones tipo III de carácter secundario en un cristal de esmeralda. Porcentaje de gas del 8% y de sólido 12%. Inclusiones alargadas, subredondeadas de $5\mu\text{m}$. La burbuja de gas es una esfera de color oscuro (posiblemente CO_2) y el sólido es un cristal cúbico de halita que se encuentra unido o muy cercano a la burbuja de CO_2 . El gas y sólido se observan en el centro de la inclusión en casi todos los casos. La familia se ubica en forma de líneas a lo largo del cristal, siendo ésta la misma dirección del eje más largo de las inclusiones (Figura 58).

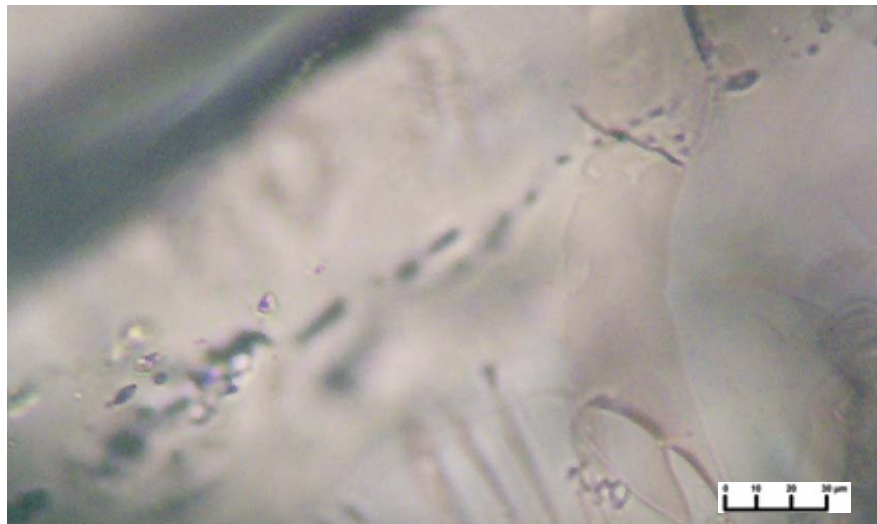


Figura 57. Cristal de esmeralda. Inclusiones secundarias. Aumento de objetivo de 40x. Véase la orientación seguida por las inclusiones. Muestra COR 012 049 (Minas de Oriente, zona II).

Familia de inclusiones de tipo III de carácter primario. Tamaños variables entre $2 \times 5\mu\text{m}$ y $7 \times 25\mu\text{m}$. El porcentaje de gas es del 8% y del sólido del 12%. El cristal de halita y la burbuja de CO_2 están pegados o bien separados (Figura 59).

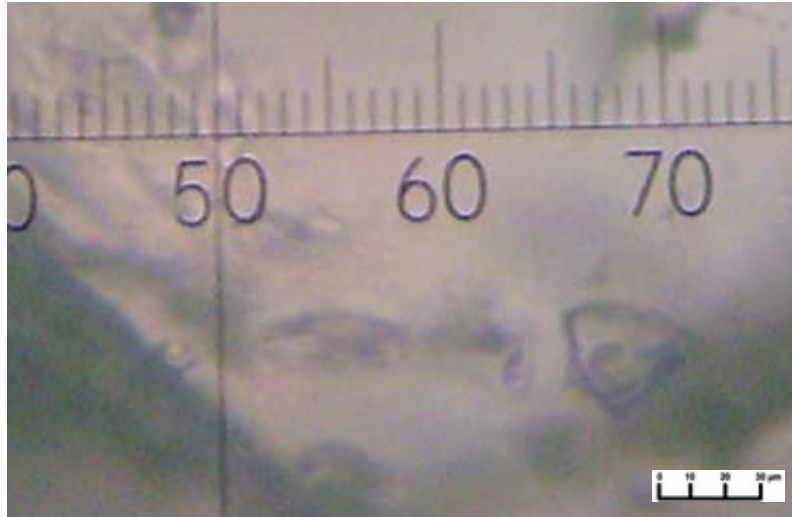


Figura 58. Cristal de esmeralda. Inclusiones primarias. Aumento de objetivo de 40x. Se observa una gran cantidad de tamaños y formas. Muestra COR 012 049 (Minas de Oriente, zona II).

Familia de inclusiones en el contacto entre la calcita y la esmeralda. Tipo III de carácter primario. Tamaños entre $2 \times 10 \mu\text{m}$ y $7 \times 25 \mu\text{m}$. Gas de CO_2 y sólido de halita, proporción de 15 y 20%, respectivamente. El cristal de halita y la burbuja de CO_2 están en contacto (Figura 60).

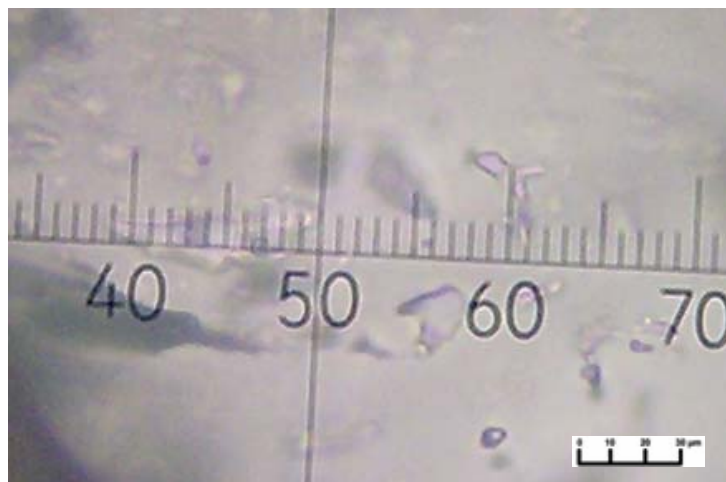


Figura 59. Cristal de esmeralda. Inclusiones primarias 400x. Inclusiones cerca al contacto entre la esmeralda y la calcita. Muestra COR 012 049 (Minas de Oriente, zona II).

No se observan inclusiones fluidas en la dolomita. Se presenta una inclusión de esmeralda en la dolomita, evento post o singenético.

5.4.2.4. COR 012 049 Fluorita (Minas de Oriente, zona II).

Familia de inclusiones tipo III de carácter primario. Tamaños variables entre 3 y 7 μ m de radio, formas semiesféricas y bordes redondeados. El porcentaje de gas alcanza el 20% y el de sólidos el 23%. La forma de las burbujas de gas, que aparenta ser CO₂ es esférica, los cristales de halita (componente sólido) son cúbicos. En algunos casos estos componentes se presentan unidos y en otros separados (Figura 61).

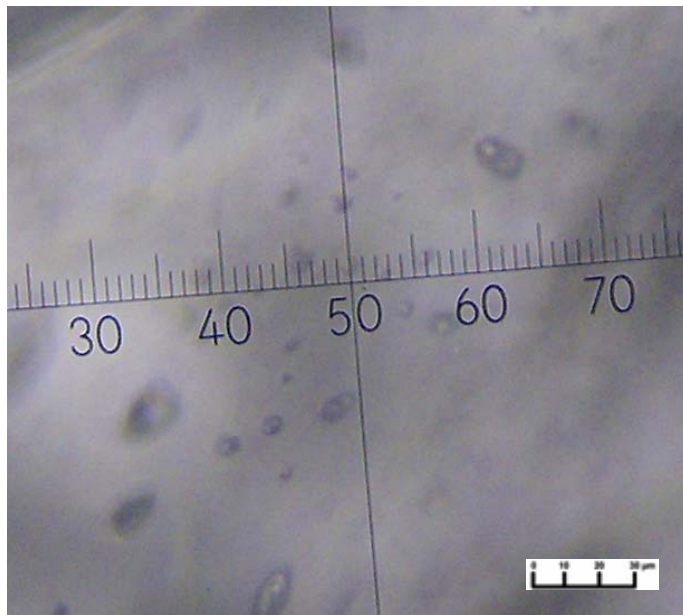


Figura 60. Cristal de fluorita. Inclusiones primarias. Aumento de objetivo de 40x. Nótese la orientación planar de las inclusiones. Muestra COR 012 049 (Minas de Oriente, zona II).

Los cristales siguientes corresponden a muestras provenientes de las Minas de San Pedro, Corte San Gregorio.

5.4.2.5. COR 008 001 Esmeralda (Minas de San Pedro, zona I).

Muestra de esmeralda comprada cerca al Corte San Gregorio, sector Minas de San Pedro, Vereda La Jagua, Municipio de Chivor, Dpto. de Boyacá.

Familia de inclusiones de tipo III, de carácter primario. Las inclusiones se observan orientadas a lo largo de lo que aparenta ser el crecimiento del cristal.

Tamaños bastante grandes, alrededor de 40 x 150 μ m, sus formas son subhedrales. El porcentaje de gas es de alrededor del 20% mientras que el porcentaje del sólido (aparentemente carbonatos) es del 22%. Es común que la burbuja y el cristal de estas inclusiones se presenten casi unidos (Figuras 62 y 63).



Figura 61. Cristal de esmeralda. Familia de inclusiones primarias. Aumento de objetivo de 40x. Inclusiones orientadas a lo largo del crecimiento del cristal de esmeralda. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).



Figura 62. Inclusión particular perteneciente a la misma familia de la Figura 56, se observa claramente la unión de dos cristales, aparentemente carbonatos(?) 400x. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).

Inclusión tipo V? de carácter secundario. Tamaño de 90 μ m, forma alargada de bordes irregulares, característica de procesos de necking down.

Aparentemente se presenta CO₂ en forma líquida y gaseosa, la fase líquida conforma un 30% de la inclusión y la fase gaseosa un 8%. La forma de la fase gaseosa es redondeada, mientras que la fase líquida adopta la forma de la inclusión (Figura 64).



Figura 63. Cristal de esmeralda. Inclusión secundaria. Aumento de objetivo de 40x. Inclusión que ha sufrido un *necking – down*, produciendo dos burbujas gaseosas. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).

Inclusión de tipo III de carácter primario. Sus dimensiones son de 90 x 50µm, forma irregular un tanto alargada. La fase gaseosa alcanza un porcentaje en volumen del 15%, las fases sólidas un 8 y 10%. El gas adopta la forma de la inclusión en un extremo, unido a este se presenta un cristal de halita? y paralela pero un poco alejado otro cristal de halita? más grande (Figura 65).

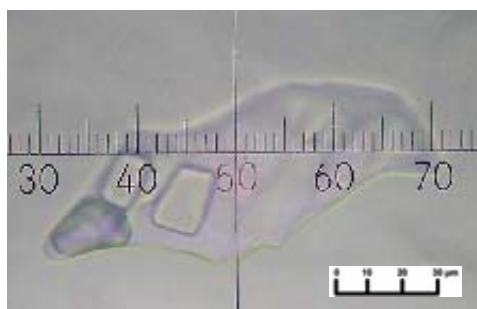


Figura 64. Cristal de esmeralda. Inclusión primaria. Aumento de objetivo de 40x. Nótese la presencia de dos cristales de halita?. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).

Inclusión tipo III de carácter secundario. Su forma es alargada de dimensiones de alrededor de 5 x 25 μ m. Hay dos burbujas de gas, al parecer separadas por un cristal de halita. Los porcentajes de las burbujas gaseosas son 8 y 3%, el sólido alcanza un 25%. La forma de las burbujas es redondeada y el cristal es cúbico (Figura 66).

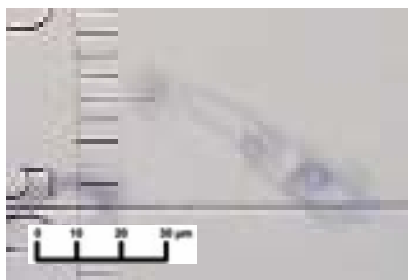


Figura 65. Cristal de esmeralda. Inclusión secundaria. Aumento de objetivo de 40x. Se observan dos burbujas de gas separadas por un cristal de halita?. Muestra COR 008 001 (Minas de San Pedro, zona I).

5.4.2.6. COR 008 007 Esmeralda (Minas de San Pedro, zona I).

En esta muestra se identificaron varias familias de inclusiones, la mas característica una familia de IF primarias de gran tamaño entre los 20 y los 70 μ m, polifásicas con cubos de halita que ocupan el 15% de la inclusión, una burbuja que ocupa el 10% y un liquido que ocupa el 75 % restante. Tienen formas muy irregulares por lo general alargadas y se encuentran en grupos a manera de nubes y distribuidas al azar (Figuras 67a y 67d).

También se encuentran inclusiones secundarias polifásicas siguiendo caminos dentro de la esmeralda con tamaños entre los 5 y las 30 μ m, donde las proporciones de las fases son las siguientes halita 20%, vapor 10% y salmuera 70% (Ver Figura 67c).

En esta muestra se encuentran algunas inclusiones las cuales son difíciles de clasificar, unas de ellas son unas inclusiones polifásicas redondeadas con tamaños entre los 15 – 30 μ m. Al parecer son primarias (Figura 67b).

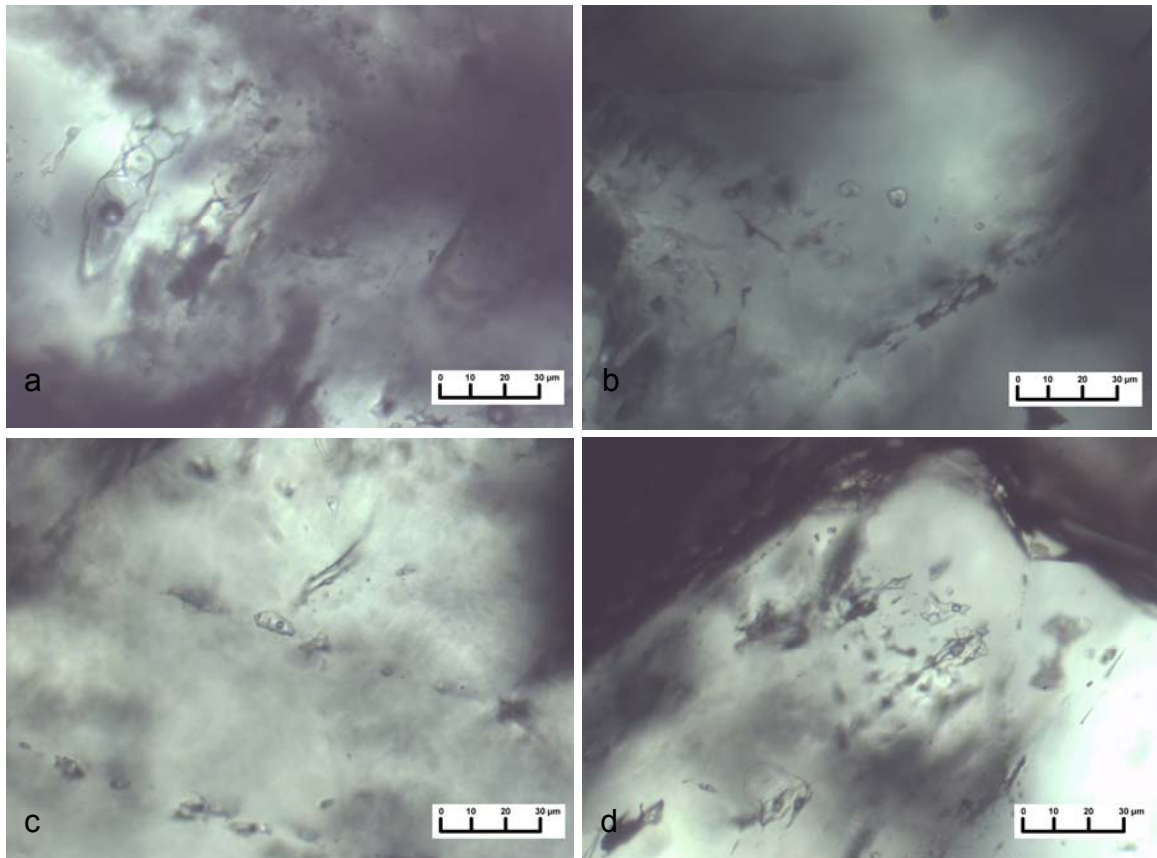


Figura 66. a. Inclusiones fluidas primarias polifásicas de 60 μm . b. Inclusiones fluidas polifásicas primarias de tamaños entre 15 y 30 μm . c. Inclusiones fluidas secundarias polifásicas. d. Inclusiones fluidas polifásicas primarias. COR 008 007.

5.4.2.7. COR 013 037 Calcita (Minas de San Pedro, zona I)

En esta muestra se pueden identificar inclusiones fluidas secundarias polifásicas con uno o más sólidos de tamaños entre 6 y 26 μm , que ocurren a manera de caminos a lo largo de toda la muestra. Estas inclusiones presentan morfologías principalmente rectangulares aunque también se encuentran algunas mas redondeadas. Las fases presentes ocurren en las siguientes proporciones burbuja 10%, halita 25%, otros sólidos 10% y salmuera 55-75% (Figuras 68a y 68b).

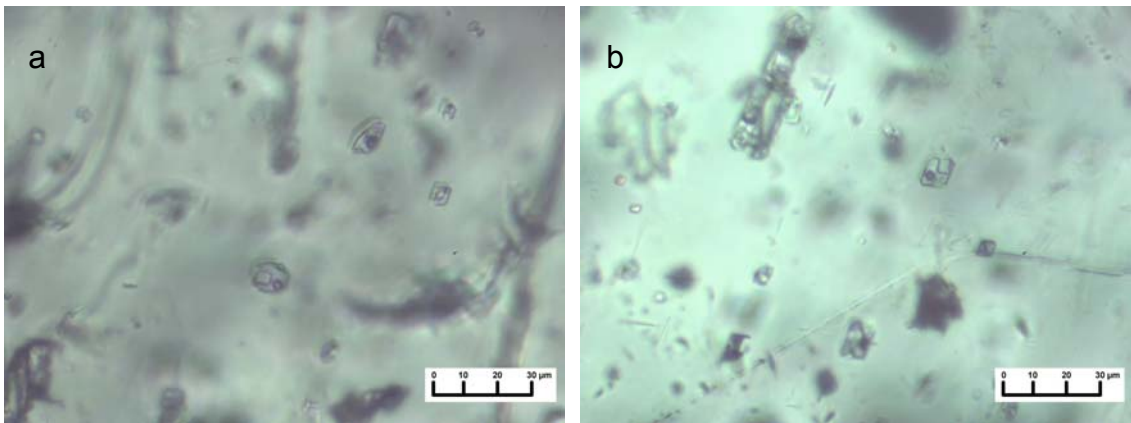


Figura 67. a. Inclusiones fluidas secundarias polifásicos con más de un sólido. b. Inclusiones fluidas polifásicas secundarias con un sólido. Aumento de objetivo de 50x. Muestra COR 013 037 (Minas de San Pedro, zona I).

En la Tabla 6 se presentan, a manera de resumen, los análisis petrográficos de IF, mostrando las características más relevantes para su estudio.

Tabla 6. Resultados de análisis petrográficos de IF.

MUESTRA	MINERAL	TIPO GENÉTICO	FASES (%)				TAMANO (µm)	CLASIFICACIÓN SEGÚN FASES
			L	V	S1	S2		
COR 005 015	Cuarzo	Primario	50	20	30		2 a 3	III
		Primario	50	15	25	10	10 a 30	III
		Secundario	60	20	20		<10	III
COR 012 048	Esmeralda	Primario	73	12	15		7 x 20	III
		Secundario	80	20			20 x 120	I o II
COR 012 049	Esmeralda	Secundario	80	8	12		5	III
		Primario	80	8	12		2x5 a 7x25	III
		Primario	65	15	20		2x10 a 7x25	III
	Fluorita	Primario	57	20	23		3 a 7	III
COR 008 001	Esmeralda	Primario	58	20	22		40x150	III
		Secundario	62	38			90	V
		Primario	67	15	8	10	90x50	III
		Secundario	64	11	25		5x25	III
COR 008 007	Esmeralda	Primario	75	10	15		20 a 70	III
		Secundario	70	10	20		5 a 30	III
		Primario	72	11	14		15 a 30	III
COR 013 037	Calcita	Secundario	55	10	25	10	6 a 26	III
		Secundario	83	5	12		7 a 50	III

5.4.3. Datos microtermométricos de IF

Los análisis microtermométricos han sido realizados a tres secciones delgadas correspondientes a las muestras con nomenclatura: COR 005 015 (Minas de Oriente), COR 008 007 y COR 013 037 (Minas de San Pedro). Problemas como la calibración del equipo, decrepitación de inclusiones con alta salinidad,

así como la tendencia de algunas inclusiones de no alcanzar el nivel de congelación dificultaron la toma de datos de las otras secciones. La Tabla 7 describe los resultados obtenidos. Datos consignados en la Tabla 7, como la densidad y salinidad son determinados mediante el método de Shephard *et al.* (1985).

5.4.3.1. Muestra COR 005 015 (Minas de Oriente, zona I)

Lámina que corresponde a una vena de cuarzo tomada en el Cantera en el sector de "Minas de Oriente", Municipio de Chivor, Dpto. de Boyacá. Las inclusiones primarias polifásicas presentaron los siguientes cambios de fases. En el enfriamiento estas inclusiones no congelaron, por lo tanto sólo se consignan en este informe los cambios durante el calentamiento, la desaparición de la fase de vapor ocurre primero entre los 228 y los 294°C, seguido por la homogenización de la halita entre los 380 y los 384°C.

5.4.3.2. Muestra COR 008 007 (Minas de San Pedro, zona I).

Muestra de esmeralda comprada cerca al Corte San Gregorio, sector Minas de San Pedro, Vereda La Jagua, Municipio de Chivor, Dpto. de Boyacá. Las inclusiones primarias durante el enfriamiento presentan temperaturas eutécticas alrededor de lo -55°C lo que indica la presencia de iones de Ca en la salmuera. En el calentamiento la homogenización de estas inclusiones esta marcada por la fusión de la halita entre los 303 y los 341°C, que corresponden a rangos de salinidades entre los 35 y los 39 %peso de NaCl.

5.4.3.3. Muestra COR 013 037 (Minas de San Pedro, zona I).

Muestra de Calcita tomada en el Corte San Gregorio, sector Minas de San Pedro, Vereda La Jagua, Municipio de Chivor, Dpto. de Boyacá. Pertenece a la Sociedad Esmeraldífera Colombiana (SOESCOL) En el enfriamiento estas inclusiones secundarias presentan temperaturas eutécticas entre los - 64 y los -54°C indicando presencia de iones Ca, en el calentamiento ocurre la temperatura homogenización del vapor entre los 87 y los 186°C, decrepitando

posteriormente entre los 98 – 210°C antes de que ocurra la homogenización de la halita.

Tabla 7. Resultados obtenidos mediante microtermometría de IF de muestras de las Minas de Oriente (COR 005 015) y Minas de San Pedro (COR 008 007 y COR 013 037).

MUESTRA	MINERAL	TIPO GENÉTICO	T _{pfL} (°C)	T _{fh} (°C)	T _{h→L} (°C)	T _d (°C)	Salinidad (%NaCl)
COR 005 015	Cuarzo	Primarias (Polifásicas)	-	380 a 384	228 a 294	-	44 a 45
COR 008 007	Esmeralda	Primarias (Polifásicas)	-55	303 a 341	180 a 205	-	35 a 39
COR 013 037	Calcita	Secundarias (Polifásicas)	-53	-	T _{hv} = 87 a 185	98 a 210	

T_{pfL} = Temperatura de la primera fusión detectable del líquido, T_{fh} = Temperatura de homogenización de la halita, T_{hv} = Temperatura de homogenización de vapor, T_{h→L} = Temperatura de homogenización a líquido, T_d = temperatura de decrepitación.

5.4.3. Interpretación preliminar

Los resultados obtenidos mediante análisis de petrografía en IF, permiten identificar asociaciones de IF primarias y secundarias, las cuales presentan datos microtermométricos parecidos. Las temperaturas a las cuales ocurrieron los diferentes cambios de fases, apuntan a que el sistema químico de las IF, en términos generales es de tipo **H₂O + NaCl + CaCl₂ (±KCl+ FeCl₃+ CO₂ + N₂?)** (Datos inéditos – Grupo de trabajo dirigido por el profesor Luis Carlos Mantilla), con temperaturas mínimas de atrapamiento entre 300 y 340°C.

Estudios recientes elaborados en Universidad de Virginia Tech (Estados Unidos) por el grupo MINPETGEO (Grupo de Investigación en Mineralogía, Petrología y Geoquímica de la Escuela de Geología, Universidad Industria del Santander) con la técnica *laser ablation* ICP-MS en inclusiones fluidas hospedados tanto en carbonatos como en berilos, indican que la composición del fluido mineralizante es aun más compleja, siendo posible relacionarlo con el siguiente sistema químico: **H₂O + NaCl + CaCl₂ + KCl + FeCl₂ + LiCl + (±CsCl,**

GaCl₃+ CO₂ + N₂ (Datos inéditos - Grupo de trabajo dirigido por el profesor Luis Carlos Mantilla F.).

5.5. ANÁLISIS DE QUÍMICA MINERAL

Los análisis de química mineral fueron realizados a seis secciones delgadas: COR 012 002, COR 012 035 y COR 012 048 para las minas de Oriente y COR 008 002, COR 008 007 y COR 013 037 para las minas de San Pedro. El fin de estos análisis es conocer la composición química exacta de los diferentes minerales para así ver diferencias en la cristalización del fluido.

5.5.1. Consideraciones previas

En el análisis por microsonda electrónica, los electrones incidentes normalmente tienen una energía cinética de 10-30KeV, y penetra la muestra a una profundidad del orden de 1µm, extendiéndose lateralmente a una distancia similar. Esto impone un límite inferior para el volumen analizado y por tanto para la resolución espacial. La mejora de la resolución mediante la reducción de la energía del electrón es generalmente impracticable ya que éstos deben poseer la energía para conseguir una excitación eficiente de rayos X.

En los análisis de microsonda, el espectro de rayos X es grabado con un espectrómetro de dispersión de longitudes de onda (*wavelength-dispersive spectrometers*, WDS), o de dispersión de energía (*energy-dispersive spectrometers*, EDS). El primero utiliza un cristal difractor que actúa como un monocromador, seleccionando una longitud de onda cada vez, dependiendo del ángulo de incidencia de los rayos X. Muchos instrumentos tienen dos o más espectrómetros con cristales que cubren diferentes rangos de longitudes de onda. Los espectrómetros de energía dispersiva emplean detectores complementarios de rayos X en estado sólido y para algunos objetivos han reemplazado a los WDS. Los EDS graban el espectro completo simultáneamente, se analiza la altura del pulso electrónico para tipos de pulsos producidos en el detector de acuerdo con la energía de los rayos X.

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

5.5.2. Datos obtenidos mediante análisis de microsonda electrónica

Los resultados obtenidos consisten de una lista de porcentaje en peso de los óxidos principales que constituyen los diferentes minerales. Estos datos se presentan a continuación en forma de tablas, donde se muestran los respectivos porcentajes.

5.5.2.1. Datos obtenidos y clasificación de plagioclasas en venas

Las secciones analizadas con patrones de plagioclasa corresponden a las muestras: COR 012 002, COR 012 035 y COR 012 048 para las minas de Oriente y COR 008 002 y COR 008 007 para las minas de San Pedro. Las figuras mostradas a continuación muestran los puntos sobre los cuales se realizaron análisis de microsonda electrónica y en las tablas se consignan los resultados obtenidos de porcentaje en peso de óxidos.

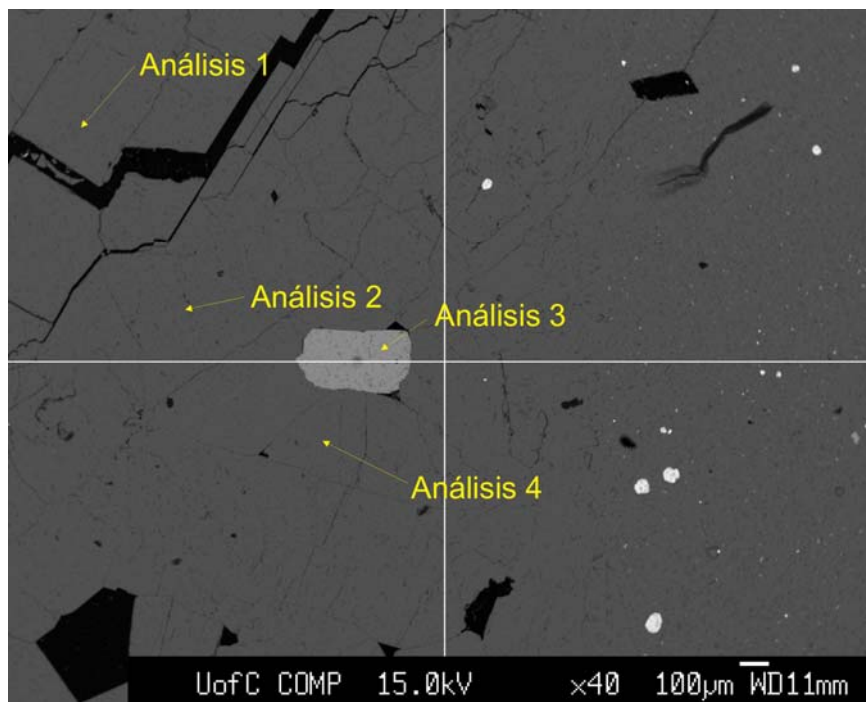


Figura 68. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 012 002. Aumento de 40x. Minas de Oriente, zona II.

Tabla 8. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 012 002. Minas de Oriente, zona II.

ÓXIDOS (%)	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4
K ₂ O	0,068	0,083	0,018	0,056
CaO	0,330	0,291	52,922	0,341
FeO	0,000	0,000	0,002	0,000
SiO ₂	67,796	67,167	0,000	67,005
Al ₂ O ₃	19,931	19,387	0,465	19,623
BaO	0,000	0,000	0,000	0,000
Na ₂ O	10,180	7,478	0,018	9,462
SrO	0,435	0,438	0,005	0,416
Total	98,740	94,844	53,430	96,903

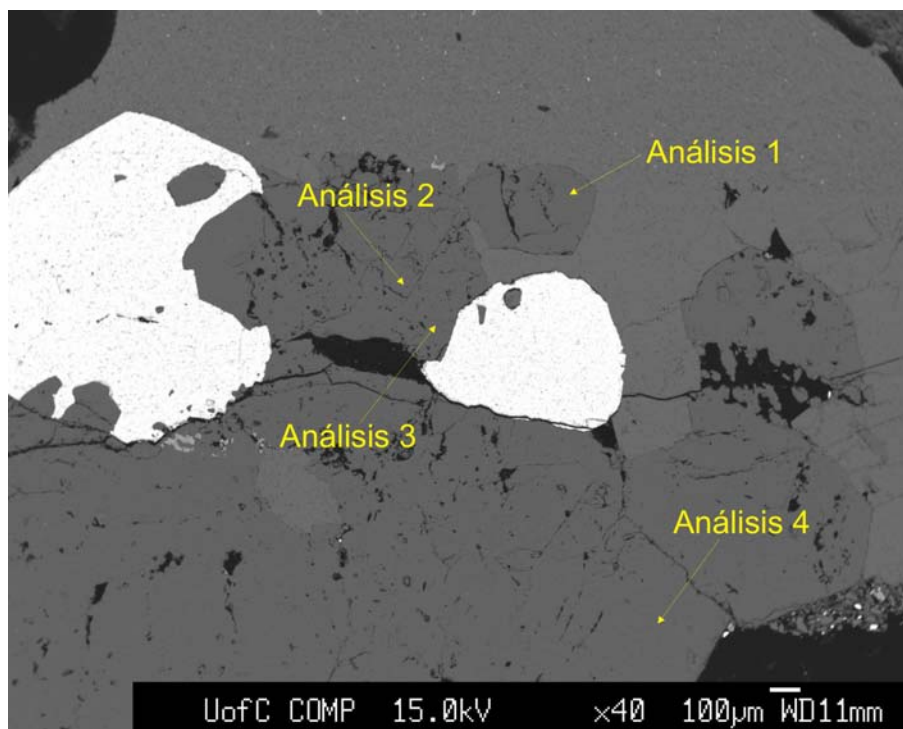


Figura 69. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 012 035. Aumento de 40x. Minas de Oriente, zona II.

Tabla 9. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 012 035. Minas de Oriente, zona II.

ÓXIDOS (%)	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4
K ₂ O	0,026	0,099	0,062	0,015
CaO	0,001	0,058	0,011	0,065
FeO	0,055	0,065	0,085	0,029
SiO ₂	65,998	65,243	65,155	44,050
Al ₂ O ₃	17,575	17,345	17,602	32,309
BaO	0,000	0,000	0,028	0,011
Na ₂ O	0,098	0,246	0,153	0,088
SrO	0,443	0,417	0,425	0,303
Total	84,196	83,473	83,521	76,870

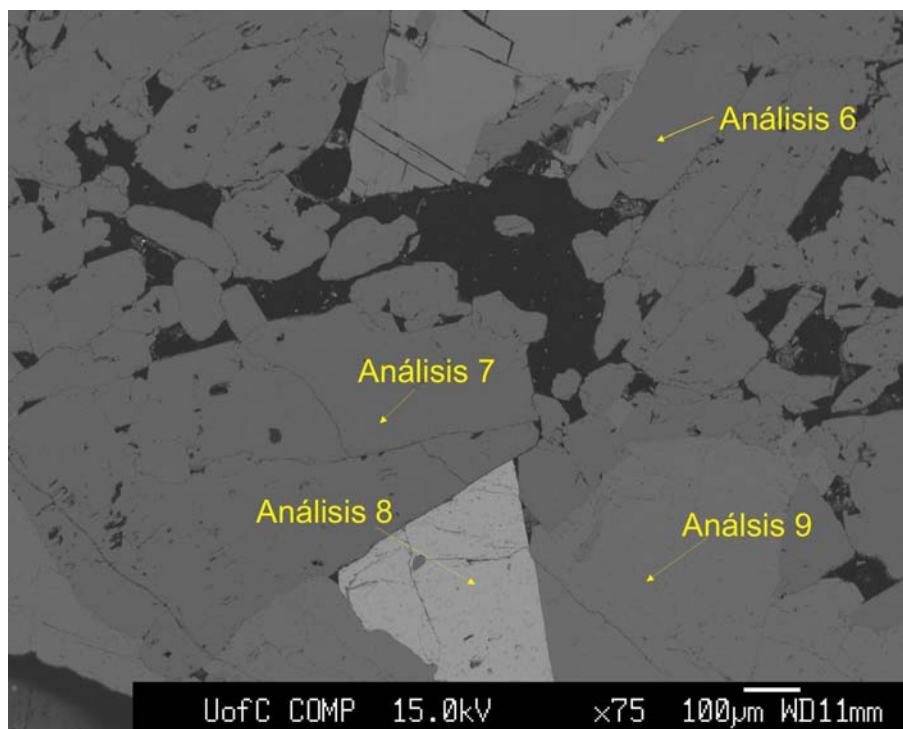


Figura 70. Microfotografía mostrando análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 012 048. Aumento de 75x. Minas de Oriente, zona II.

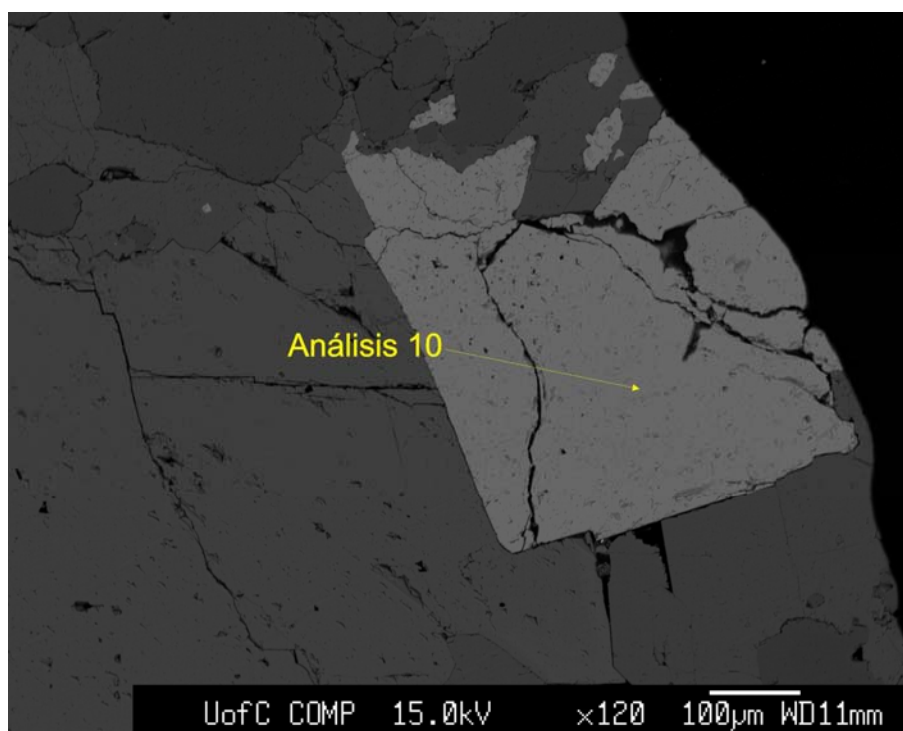


Figura 71. Microfotografía mostrando análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 012 048. Aumento de 120x. Minas de Oriente, zona II.

Tabla 10. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 012 048. Minas de Oriente, zona II.

ÓXIDOS (%)	ANÁLISIS 6	ANÁLISIS 7	ANÁLISIS 8	ANÁLISIS 9	ANÁLISIS 10
K ₂ O	0,035	0.011	0.009	0.064	0.000
CaO	0,012	0.008	55,682	0.463	58,113
FeO	0,040	0.091	0.003	0.023	0.021
SiO ₂	66,383	65,576	0.000	70,666	0.000
Al ₂ O ₃	18,443	17,880	0.023	21,017	0.025
BaO	0.032	0.018	0.000	0.001	0.006
Na ₂ O	0.145	0.298	0.008	5,173	0.000
SrO	0.478	0.364	0.000	0.467	0.000
Total	85,568	84,246	55,725	97,874	58,165

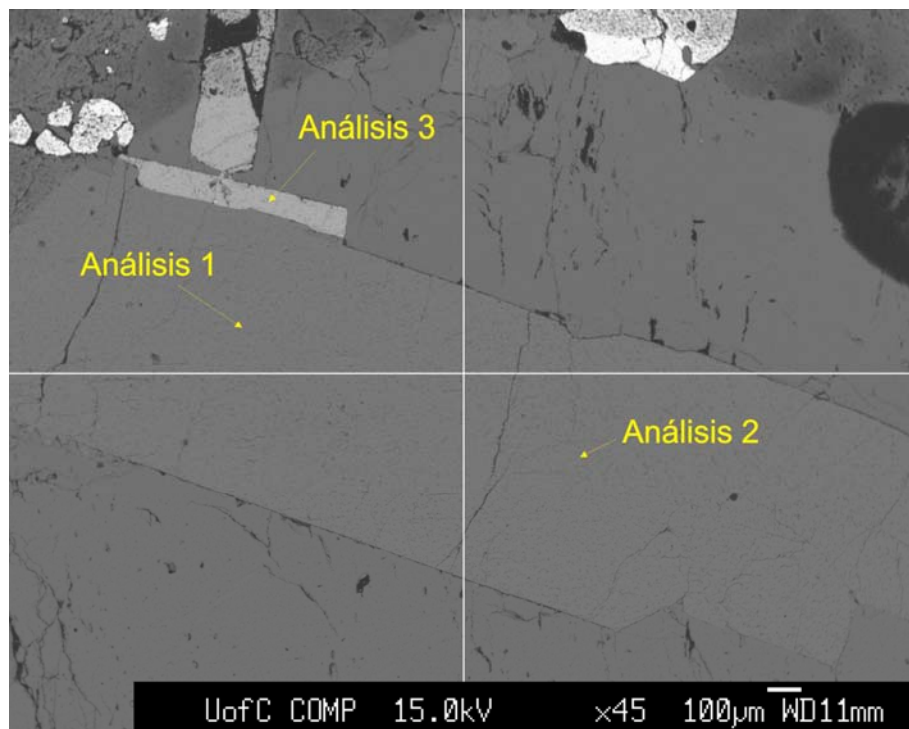


Figura 72. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 008 002. Aumento de 45x. Minas de San Pedro, zona I.

Tabla 11. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 008 002. Minas de San Pedro, zona I.

ÓXIDOS (%)	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3
K ₂ O	0.114	0.101	0.017
CaO	0.226	0.175	53,497
FeO	0.043	0.000	0.000
SiO ₂	64,389	66,810	0.000
Al ₂ O ₃	22,157	19,594	0.273
BaO	0.008	0.000	0.000
Na ₂ O	8,463	7,514	0.023
SrO	0.445	0.440	0.000
Total	95,845	94,634	53,810

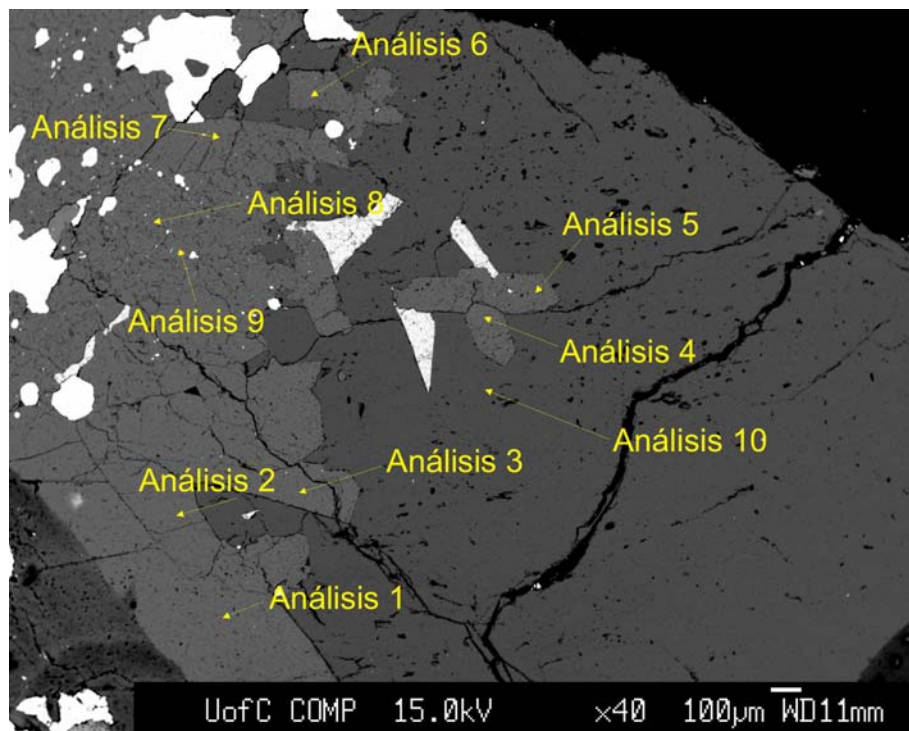


Figura 73. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de plagioclasa a la muestra COR 008 007. Aumento de 40x. Minas de San Pedro, zona I.

Tabla 12. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 008 007. Minas de San Pedro, zona I.

ÓXIDOS (%)	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
K ₂ O	0.075	0.132	0.072	0.092	0.096
CaO	0,207	0.228	0.222	0.156	0.189
FeO	0,008	0.029	0.000	0.023	0.000
SiO ₂	67,866	63,183	67,815	66,149	66,588
Al ₂ O ₃	20,038	22,757	20,021	20,453	21,639
BaO	0.008	0.050	0.011	0.000	0.000
Na ₂ O	10,816	8,250	11,126	8,376	9,433
SrO	0.439	0.425	0.444	0.424	0.384
Total	99,457	95,054	99,711	95,673	98,329

Tabla 13. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 008 007. Minas de San Pedro, zona I.

ÓXIDOS (%)	ANÁLISIS 6	ANÁLISIS 7	ANÁLISIS 8	ANÁLISIS 9	ANÁLISIS 10
K ₂ O	0.112	0.067	0.084	0.067	0.052
CaO	0.075	0.259	0.152	0.185	0.035
FeO	0.094	0.051	0.061	0.012	0.072
SiO ₂	62,709	66,514	67,997	68,469	59,554
Al ₂ O ₃	23,497	20,673	19,521	20,110	22,515
BaO	0.055	0.000	0.039	0.000	0.024
Na ₂ O	9,495	7,731	9,226	11,473	0.285
SrO	0.376	0.437	0.453	0.376	0.425
Total	96,413	95,732	97,533	100,692	82,962

Basados en los resultados obtenidos, se puede determinar que algunos datos no corresponden a plagioclasas, tal como se observa en el análisis 3 de la muestra COR 012 002 (ver Tabla 8); dichos resultados no brindan un total de la suma de porcentajes en peso de óxidos cercano a 100, lo que indica que el punto analizado corresponde a otro mineral (generalmente apatito).

Las muestras con una sumatoria de los porcentajes en peso de óxidos cercana a cien son clasificadas utilizando el software MINPET 2.0, dicha clasificación determina el tipo de feldespato, determinando un resultado concluyente para todas las muestras: albita prácticamente pura. Se realiza una clasificación gráfica de feldespatos (Figura 75) y otra basada en los cationes principales (Na, Al y Si) (Figura 76); estas gráficas también son desarrolladas por el software MINPET 2.0.

En la clasificación gráfica de feldespatos (Figura 75), todos los resultados de las muestras analizadas convergen en un mismo punto, a raíz de esto se realiza la determinación de la fórmula química para cada una de las muestras utilizando los porcentajes en peso de los óxidos principales.

En la clasificación gráfica (Figura 76) se observan algunas muestras con un contenido casi nulo de Na (COR 012 035 y COR 012 048), lo que puede indicar que se trata de otro mineral o que son problemas de calibración del equipo, por lo tanto dichos resultados no serán tomados en cuenta para análisis más adelante.

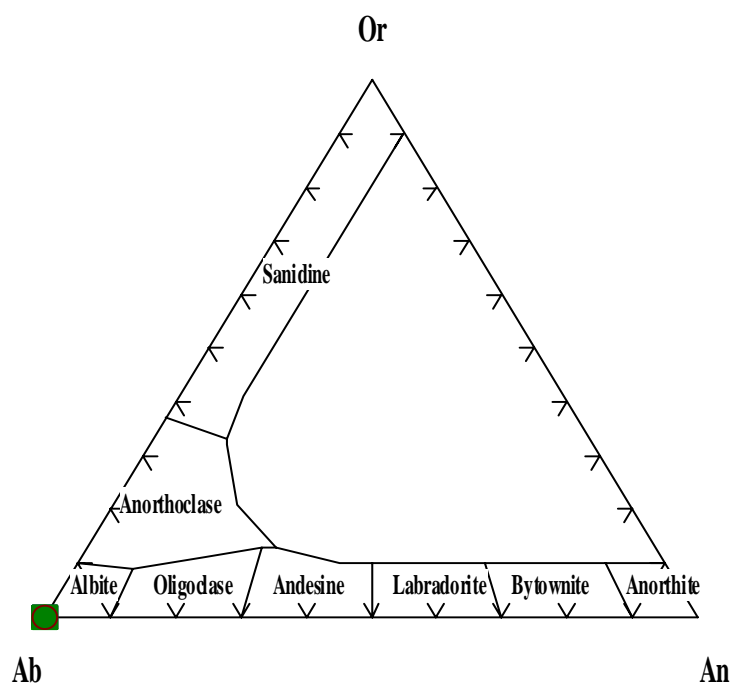


Figura 74. Clasificación de plagioclasas a partir de los datos de porcentaje en peso de óxidos realizada por el software MINPET 2.0

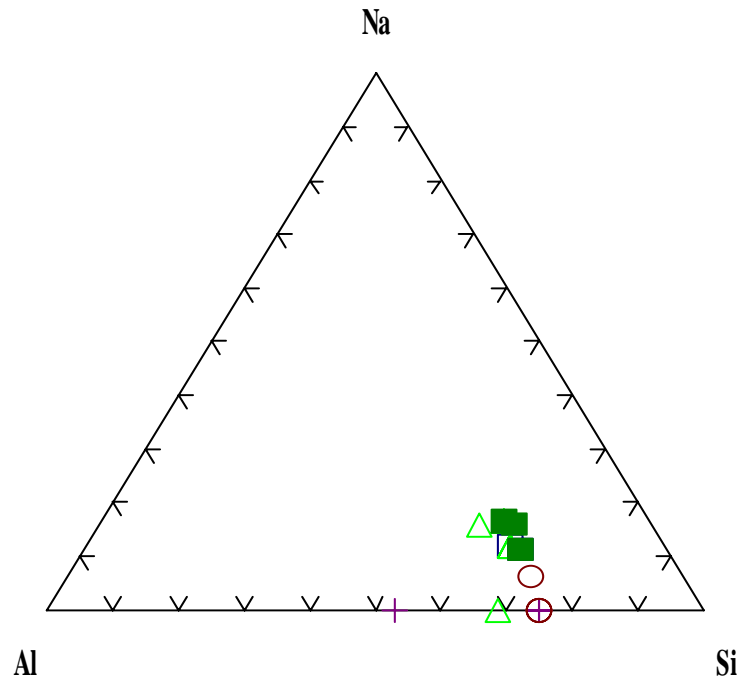


Figura 75. Clasificación de plagioclasas a partir de los cationes dominantes realizada por el software MINPET 2.0

La obtención de la fórmula química de las plagioclasas se llevó a cabo siguiendo los pasos definidos por Roedder (1984). La determinación de la fórmula química requiere la realización de la Tabla 13 para todas las muestras. Dicha tabla contiene: en la columna 1 se muestran los óxidos con los cuales se trabaja, la columna 2 muestra los porcentajes en peso obtenidos en la microsonda, la columna 3 presenta el peso molecular de los óxidos obtenidos de una tabla periódica, la columna 4 presenta la proporción molecular, que es la razón entre la columna 2 y 3; la columna 5 es el resultado de multiplicar el número de cationes por la columna 4; la columna 6 es el resultado de multiplicar la cantidad de oxígenos en la fórmula química por la columna 4 y la columna 7 es el resultado de multiplicar la columna 5 por el factor O. El factor O consiste en dividir el número de oxígenos de la fórmula química teórica ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) entre la suma total de los datos de la columna 6. Únicamente fueron trabajados los datos de microsonda que no aparentan presentar problemas en la medición. De la última columna se extrae la proporción en que cada catión se presenta en la fórmula química de la albita. Todas las fórmulas químicas determinadas se presentan en la Tabla 14, las tablas de determinación de la fórmula química se encuentran en el Anexo 3.

Tabla 14. Determinación de la fórmula química de la albita. Muestra COR 012 002, análisis 1. Minas de Oriente, zona II.

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	67,796	60,080	1,128	1,128	2,257	3,0016523
Al ₂ O ₃	19,931	101,960	0,195	0,391	0,586	1,0399573
Na ₂ O	10,180	62,000	0,164	0,328	0,164	0,8735189
TOTAL					3,007	

Factor O 2,660

Fórmula química determinada: **Na_{0,9}AlSi₃O₈**

Tabla 15. Fórmulas químicas de albita determinadas para todas las muestras analizadas.

MUESTRA	ANÁLISIS	FÓRMULA QUÍMICA DETERMINADA
COR 012 002	1	Na _{0,9} AlSi ₃ O ₈
	2	Na _{0,7} AlSi _{3,1} O ₈
	4	Na _{0,8} AlSi ₃ O ₈
COR 012 035	1	Na _{0,01} AlSi _{3,2} O ₈
	2	Na _{0,02} AlSi _{3,2} O ₈
	3	Na _{0,01} AlSi _{3,2} O ₈
COR 012 048	6	Na _{0,4} AlSi _{3,1} O ₈
	7	Na _{0,03} AlSi _{3,2} O ₈
	9	Na _{0,43} AlSi _{3,1} O ₈
COR 008 002	1	Na _{0,7} Al _{1,2} Si _{2,9} O ₈
	2	Na _{0,7} Al _{1,1} Si ₃ O ₈
COR 008 007	1	Na _{0,9} AlSi ₃ O ₈
	2	Na _{0,7} Al _{1,2} Si ₃ O ₈
	3	Na _{0,9} AlSi ₃ O ₈
	4	Na _{0,7} Al _{1,1} Si ₃ O ₈
	5	Na _{0,8} Al _{1,1} Si ₃ O ₈
	6	Na _{0,8} Al _{1,3} Si _{2,8} O ₈
	7	Na _{0,7} Al _{1,1} Si ₃ O ₈
	8	Na _{0,8} AlSi ₃ O ₈
	9	NaAlSi ₃ O ₈

Datos obtenidos en la Universidad de Virginia Tech (Estados Unidos), utilizando la técnica de escaneo electrónico SE, muestran una disminución del contenido de Na que va desde el borde hacia el centro de las venas (datos inéditos - Grupo de trabajo dirigido por el profesor Luis Carlos Mantilla F.). La fórmula química generalizada para albitas en venas con esmeralda (muestras COR 012 035, COR 012 048, COR 008 002 y COR 008 007) es de $\text{Na}_{0,79}\text{Al}_{1,1}\text{Si}_{2,97}\text{O}_8$, y la de albitas en venas sin esmeralda (muestra COR 012 002) es de $\text{Na}_{0,8}\text{AlSi}_{3,03}\text{O}_8$. Nótese que las muestras de albitas con esmeralda tienen valores menores de sodio.

5.5.2.2. Datos obtenidos de plagioclasas de roca encajante

Las muestras observadas se caracterizan por presentar venas de albita dentro de una roca encajante conformada también por dicho mineral (evaporita albitizada). A continuación se presentan datos obtenidos de plagioclasas provenientes de la roca caja, lo cual tiene como fin la diferenciación de ambas apariciones. Siguiendo el proceso descrito anteriormente para plagioclasas de venas, se procede a determinar la fórmula química generalizada de estas albitas.

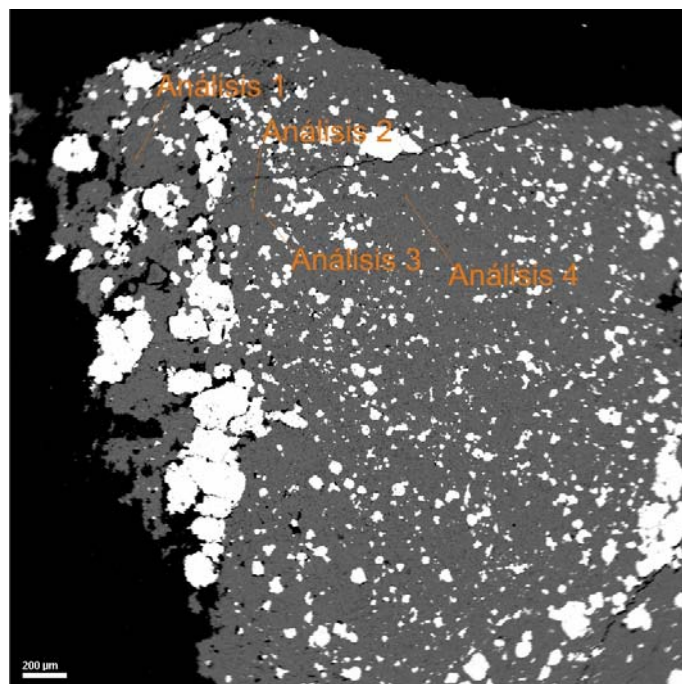


Figura 76. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de albita a la muestra COR 012 002. Aumento de 100x. Minas de Oriente, zona II.

Tabla 16. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de plagioclasa para la muestra COR 012 002. Minas de Oriente, zona II.

ÓXIDOS(%)	ANÁLISIS1	ANÁLISIS2	ANÁLISIS3	ANÁLISIS4
SiO ₂	67,6758	65,6132	68,3321	65,9433
Al ₂ O ₃	20,3482	21,6092	20,9145	21,0620
CaO	0,1903	0,1066	0,2083	0,2136
Na ₂ O	11,5903	11,0419	10,8836	11,0044
Total	99,8045	98,3710	100,3385	98,2233

Fórmula química generalizada: Na_{0,95}Al_{1,09}Si_{2,95}O₈

Con la determinación de la fórmula química generalizada se determina que estas albitas tienen un contenido de sodio mayor que el de las albitas de vena. Análisis realizados recientemente en la Universidad de Virginia Tech (Estados Unidos), utilizando la técnica de escaneo electrónico SE, indican una zonación determinada por un enriquecimiento de sodio hacia el interior de los cristales, contraria a la encontrada en las albitas que conforman las venas hidrotermales (datos inéditos - Grupo de trabajo dirigido por el profesor Luis Carlos Mantilla F.).

5.5.2.3. Datos obtenidos y clasificación de berilos

Para los análisis de microsonda electrónica usando el patrón de berilo, fue escogida la sección COR 012 048, proveniente de las minas de Oriente. A continuación se presentan los datos arrojados por el análisis.

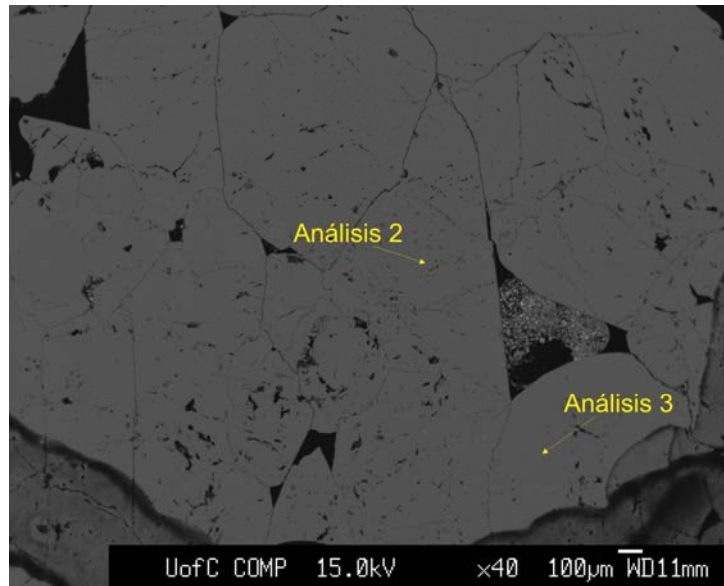


Figura 77. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de berilo a la muestra COR 012 048. Aumento de 40x. Minas de Oriente, zona II.

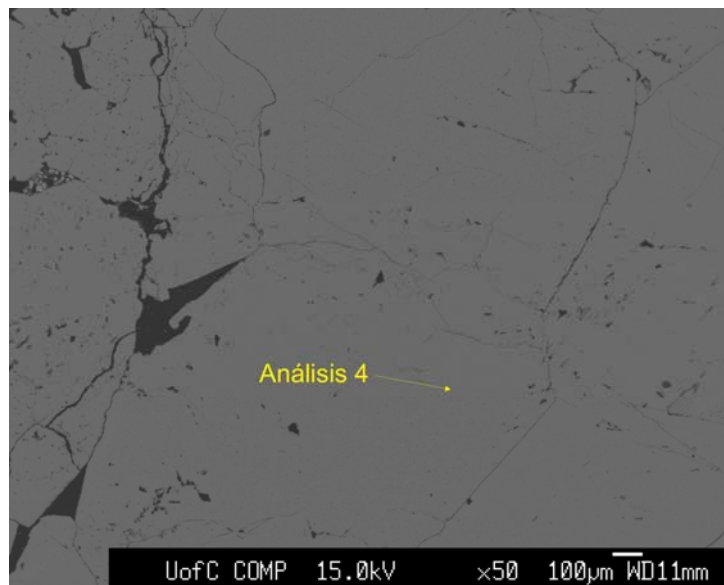


Figura 78. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de berilo a la muestra COR 012 048. Aumento de 50x. Minas de Oriente, zona II.

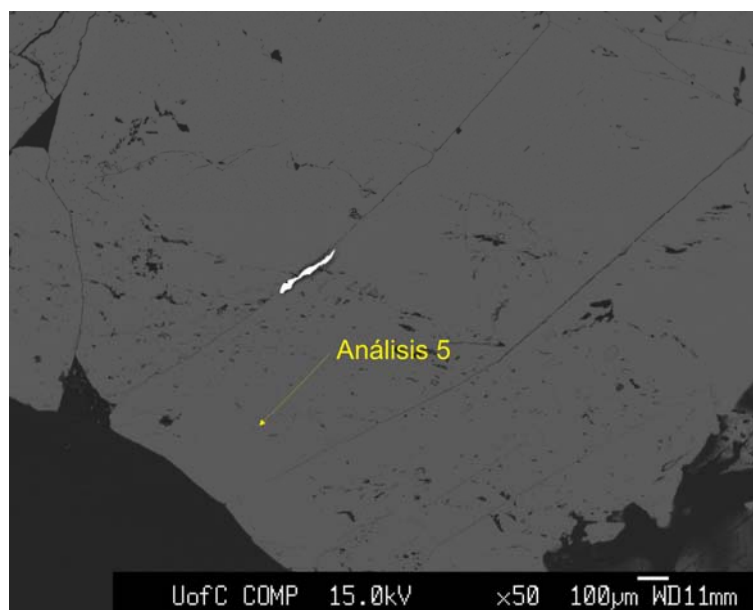


Figura 79. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de berilo a la muestra COR 012 048. Aumento de 50x. Minas de Oriente, zona II.

Tabla 17. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de berilo para la muestra COR 012 048. Minas de Oriente, zona II.

ÓXIDOS (%)	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3	ANÁLISIS 4	ANÁLISIS 5
FeO	0,040	0,036	0,027	0,022
Cr ₂ O ₃	0,112	0,142	0,049	0,051
SiO ₂	66,327	66,570	66,318	62,941
Al ₂ O ₃	18,375	18,174	18,374	20,190
V ₂ O ₃	0,111	0,125	0,033	0,036
Na ₂ O	0,290	0,179	0,185	0,331
MgO	0,469	0,534	0,512	0,465
xO	14,276	14,240	14,502	15,966
Total	100,000	100,000	100,000	100,000

Se realiza una clasificación gráfica de la esmeralda según los porcentajes en peso de los óxidos principales (Figura 81). Nótese que el último valor de la Tabla 17 corresponde a un óxido llamado xO, pero debido a la ausencia del óxido de berilio en la tabla, y a que el porcentaje de xO es muy similar al valor propio del óxido de berilio en esmeraldas, que corresponde a aproximadamente 13,96 (<http://webmineral.com/>, 2008); para esta clasificación de esmeraldas el valor xO será tomado como BeO.

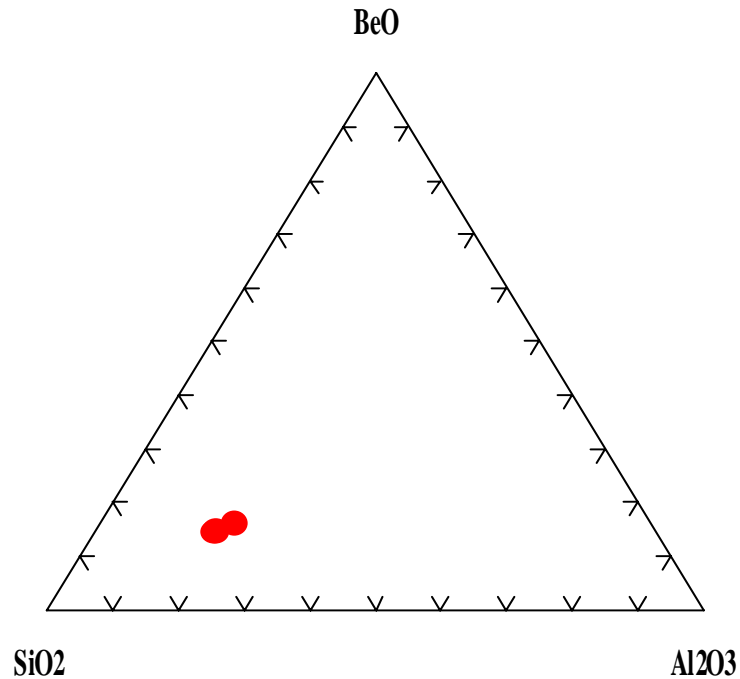


Figura 80. Clasificación de esmeraldas a partir de los datos de porcentaje en peso de óxidos realizada por el software MINPET 2.0

Es importante recalcar el contenido de sodio observado en los resultados de las esmeraldas, un poco mayor a lo estipulado para este mineral. Este resultado es de esperarse si el fluido hidrotermal tiene una salinidad muy alta, a esto hay que agregarle que en algunas situaciones la cristalización de la albita y la esmeralda es simultánea, por lo que ambos minerales pudieron compartir el nivel de sodio del fluido hidrotermal.

5.5.2.4. Datos obtenidos y clasificación de carbonatos

Las muestras COR 012 048 (minas de Oriente, vena de albita con mineralización de esmeralda) y COR 013 037 (minas de San Pedro, vena de calcita, sin esmeralda) fueron analizadas utilizando un patrón de carbonatos, estas muestras fueron las únicas a las que se les realizaron estudios puesto que las otras contenían niveles muy bajos de carbonatos, las muestras con esmeralda tenían valores prácticamente nulos. A continuación se presentan los resultados obtenidos (ver Figuras 82 y 83 y Tablas 18 y 19).

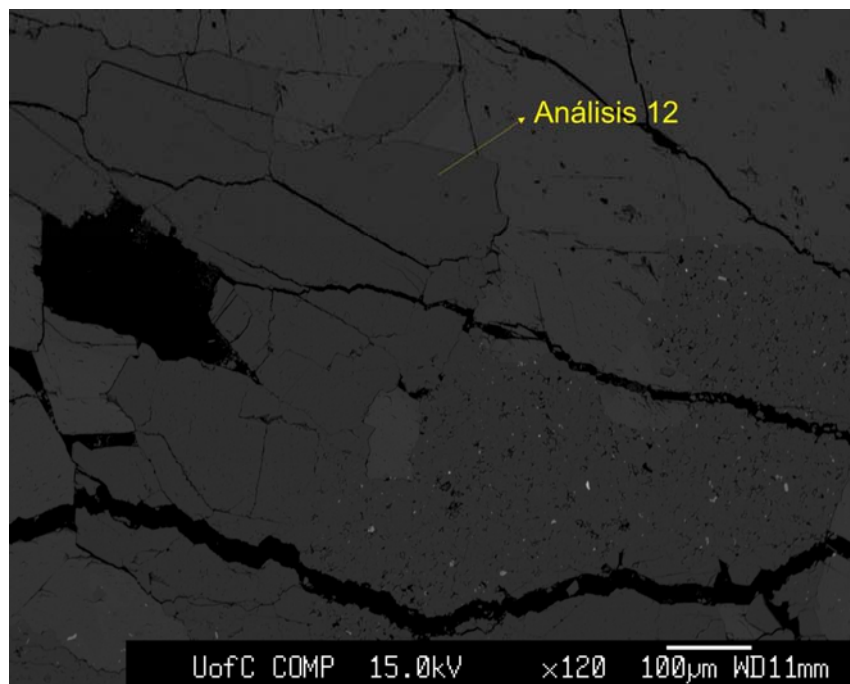


Figura 81. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de carbonatos a la muestra COR 012 048. Aumento de 120x. Minas de Oriente.

Tabla 18. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 012 048. Minas de Oriente.

ÓXIDOS (%)	ANÁLISIS 2
CaO	30,596
FeO	3,859
MnO	0,144
MgO	20,041
La ₂ O ₃	0,000
SO ₃	0,029
Ce ₂ O ₃	0,052
Nd ₂ O ₃	0,000
SrO	0,025
PbO	0,028
CO ₂	45,226
Total	100,000

Mineral determinado: dolomita (30,596%CaO, 20,041%MgO y 45,226%CO₂)

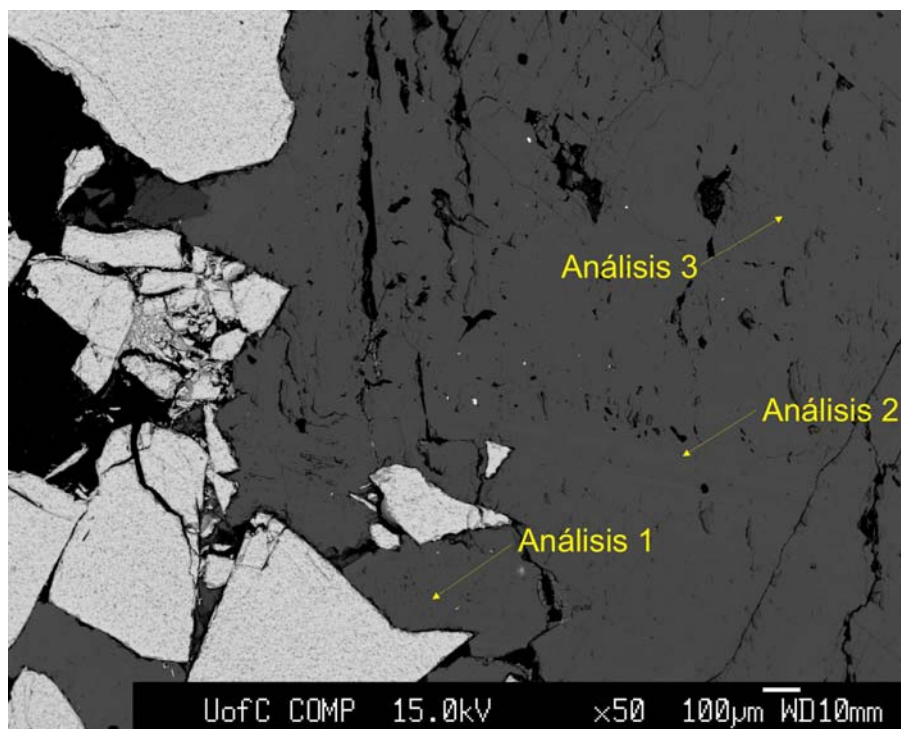


Figura 82. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de carbonatos a la muestra COR 013 037. Aumento de 50x. Minas de San Pedro.

Tabla 19. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 013 037. Minas de San Pedro.

ÓXIDOS (%)	ANÁLISIS 1	ANÁLISIS 2	ANÁLISIS 3
CaO	55,624	59,475	58,802
FeO	0,297	0,419	0,399
MnO	0,130	0,471	0,112
MgO	0,114	0,160	0,586
La ₂ O ₃	0,084	0,000	0,062
SO ₃	0,040	0,048	0,014
Ce ₂ O ₃	0,000	0,000	0,005
Nd ₂ O ₃	0,007	0,000	0,000
SrO	0,000	0,000	0,000
PbO	0,000	0,021	0,000
CO ₂	43,703	39,405	40,022
Total	100,000	100,000	100,000

Mineral determinado: calcita (55,623%CaO y 43,703%CO₂)

Los resultados arrojados por las muestras corroboran lo determinado mediante análisis de DRX: los carbonatos presentes en las venas asociadas a la

mineralización de esmeraldas son exclusivamente dolomitas, mientras que los carbonatos de venas sin esmeralda contienen únicamente cristales de calcita. Las comparaciones de los porcentajes en peso se hicieron con bases de datos como <http://webmineral.com/>.

5.5.2.5. Datos obtenidos y clasificación de apatitos

Durante los análisis de microsonda electrónica fue descubierto un nuevo mineral que no había sido reportado debido a la baja cantidad en que se encuentra y a los cristales tan pequeños que sólo fueron vistos usando aumentos de objetivo mayores a 100x. Este mineral sólo se observa en venas productoras de esmeralda o en venas rellenas por el mismo fluido (albita, dolomita y/o sulfuros). A continuación se presentan los resultados obtenidos para las muestras COR 008 002, COR 012 002 y COR 012 048.

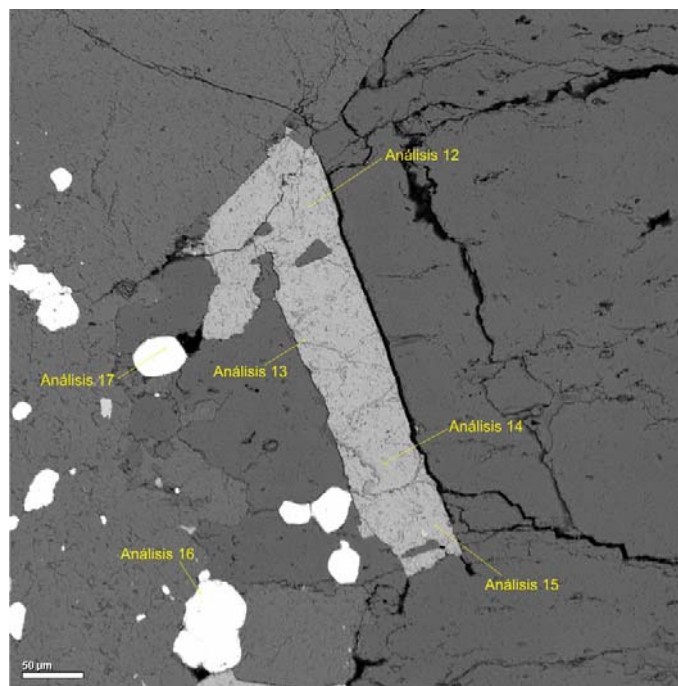


Figura 83. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de apatito a la muestra COR 008 002. Aumento de 100x. Minas de San Pedro.

Tabla 20. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 008 002. Minas de San Pedro.

ÓXIDOS(%)	ANÁLISIS12	ANÁLISIS13	ANÁLISIS14	ANÁLISIS15
P ₂ O ₅	29,9519	30,5888	30,4292	29,6385
CaO	49,7707	48,6706	48,2213	48,5000
MnO	0,0000	0.0061	0,0000	0,0000
FeO	0,0000	0.0496	0,0203	0,0140
F	4,0287	4,5019	4,8421	4,4211
Total	83,7513	83,7613	83,5129	82,5736

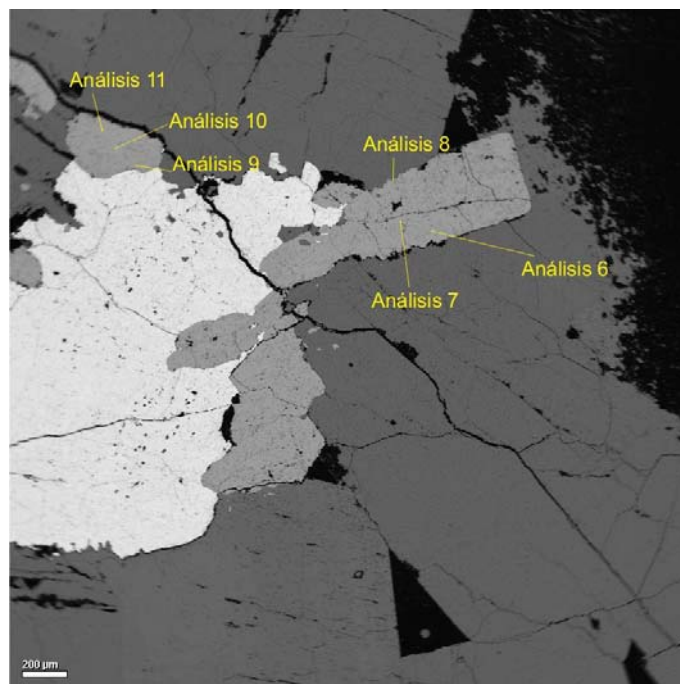


Figura 84. Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de apatito a la muestra COR 012 002. Aumento de 100x. Minas de Oriente.

Tabla 21. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 012 002. Minas de Oriente.

ÓXIDOS(%)	ANÁLISIS6	ANÁLISIS7	ANÁLISIS8	ANÁLISIS9	ANÁLISIS10	ANÁLISIS11
P ₂ O ₅	42,0453	41,4233	40,8383	40,7557	41,3101	40,8255
CaO	54,4518	55,4477	54,8185	53,4558	55,9664	55,4002
MnO	0,0343	0,0000	0,0000	0,0121	0,0318	0,0015
FeO	0,0000	0,0000	0,0051	0,0000	0,0229	0,0000
F	5,4392	5,3651	5,7547	5,7848	3,9908	3,9514
Cl	0,0138	0,0034	0,0234	0,0023	0,0718	0,0355
Total	101,9844	102,2395	101,4400	100,0107	101,3938	100,2141

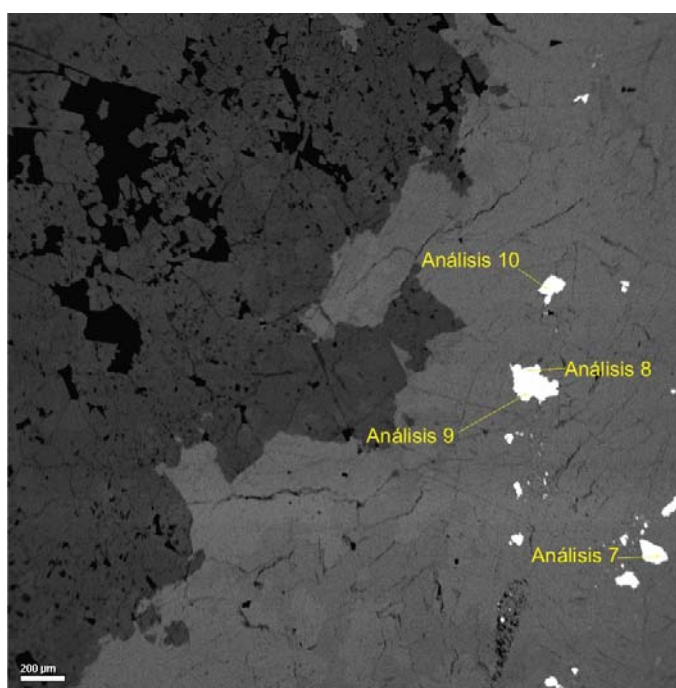


Figura 85, Microfotografía mostrando los análisis con microsonda electrónica realizados con patrón de apatito a la muestra COR 012 048. Aumento de 100x. Minas de Oriente.

Tabla 22. Datos de microsonda electrónica obtenidos del análisis usando el patrón de carbonatos para la muestra COR 012 048.

ÓXIDOS(%)	ANÁLISIS7	ANÁLISIS8	ANÁLISIS9
P ₂ O ₅	40,9462	39,5461	38,6595
CaO	54,2223	53,0352	52,4461
MnO	0,0288	0,0515	0,0076
FeO	0,0000	0,0064	0,0165
F	4,9330	3,9893	3,6834
Cl	-	-	0,0079
Total	100,1303	96,6285	94,8210

Los resultados obtenidos de los análisis de química mineral arrojan datos propios de fluorapatitos, los cuales toman cationes provenientes de materia orgánica. Los porcentajes son comparados con los de la base de datos mineralógica de la página de Internet <http://webmineral.com/> (Tabla 23).

Tabla 23. Datos de porcentaje en peso de óxidos principales para el mineral fluorapatito. Modificado de <http://webmineral.com/>

ÓXIDOS	PORCENTAJE EN PESO (%)
P ₂ O ₅	42,22
CaO	55,60
F	3,77
-O = F ₂	-1,59
Total	100,00

5.6. ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES

En total se realizaron 26 análisis, de los cuales 14 corresponden a análisis de sulfuros, 10 a carbonatos y 2 a esmeralda. El fin de este estudio es el de identificar la fuente de O, C y S procedente de los fluidos hidrotermales que afectaron las rocas.

5.6.1. Consideraciones previas

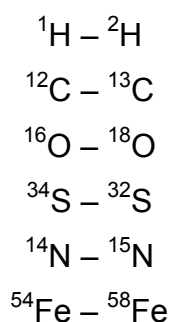
Los isótopos estables pueden ofrecer información importante acerca del origen de los fluidos mineralizantes, brindan datos como temperatura y condiciones

fisicoquímicas. Los isótopos más comunes en la naturaleza corresponden a H, C, O y S, intervienen en muchos procesos y es por esto que son los más utilizados (ver Tabla 23).

Tabla 24. Características isotópicas fundamentales de los elementos ligeros. No se incluyen los isótopos radiactivos cuyas abundancias relativas, además, son muy pequeñas. (Modificado de Redondo, 2001).

Símbolo	Número Atómico	Número Másico	Abundancia (%)	Peso Atómico (uma)
H	1	1	99.985	1.007825
D	1	2	0.015	2.01410
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

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



Las relaciones de isótopos estables son presentadas como un valor 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.

5.6.1.1. Composición Isotópica

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

Al analizar aguas naturales, la composición puede dar a conocer la procedencia de los fluidos mineralizantes y las características hidrológicas de los yacimientos. Aguas meteóricas tienden a presentar valores más negativos, lo que indica un amplio espectro en la ubicación longitudinal y latitudinal. Los valores cercanos a cero corresponden a aguas tropicales, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre -20 y -25 son propios de aguas continentales. Las aguas geotermales son enriquecidas en $\delta^{18}\text{O}$, esto se debe al intercambio isotópico con las rocas continentales. Las aguas de formación en las cuencas sedimentarias presentan, en ocasiones valores que representan estados intermedios entre aguas meteóricas y aguas de mar; las aguas metamórficas, en términos generales muestran valores promedios de $\delta^{18}\text{O}$ entre +3 y +25. Aguas magmáticas presentan valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre +5,5 y +9. Los estándares de calibración específicos se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Estándares de referencia utilizados en el estudio de isótopos estables.

SMOW (<i>Standard Mean Ocean Water</i>)	Composición isotópica promedio del agua oceánica destilada.
PDB (<i>PeeDee Belemnite</i>)	Composición isotópica obtenida del CO ₂ generado por la reacción de belemnites (<i>Belemnitella americana</i>) de la Formación PeeDee (Cretácico de Carolina del Sur, Norteamérica) con ácido ortofosfórico al 100%

CDT (<i>Canyon Diablo Troilite</i>)	Composición isotópica del azufre generado por la fase de la troilite (FeS) que se obtiene a partir de un meteorito de hierro recogido del <i>Meteor Crater</i> , Arizona.
---	---

5.6.1.2. Generalidades de la Geoquímica isotópica del Carbono

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

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

5.6.1.3. Generalidades de la Geoquímica isotópica del Oxígeno

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

La homogenización convectiva de la atmósfera sobre el océano induce un empobrecimiento en el contenido isotópico, dando valores cercanos a -12 $\delta^{18}\text{O}$ y -87 δD . En el ascenso de las nubes, éstas se empobrecen aún más progresivamente, alcanzando valores de -17 $\delta^{18}\text{O}$ y -128 δD . El contenido isotópico también varía con las precipitaciones, produciendo disminuciones que presentan valores hasta de -11 $\delta^{18}\text{O}$ y -31 δD (ver Figura 88).

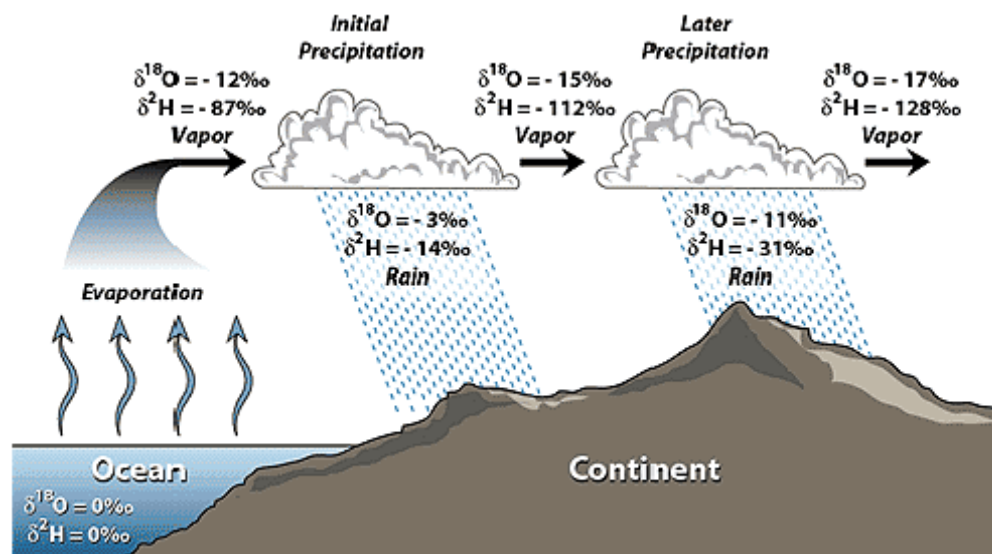


Figura 86. Destilación de Rayleigh: variación del contenido isotópico en el ciclo hidrológico. Tomado de Encarta (2000)

5.6.1.4. Generalidades de la Geoquímica isotópica del Azufre

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

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

5.6.2. Localización de muestras con análisis de isótopos estables

Las Figuras 89 y 90 muestran la ubicación de las muestras estudiadas en los respectivos túneles. Para este tipo de análisis se escogieron 7 muestras provenientes de las Minas de Oriente, correspondientes a la siguiente nomenclatura: COR 012 002, COR 012 005, COR 012 008, COR 012 011, COR 012 030, COR 012 035 y COR 012 038. También se seleccionaron 9

muestras de las Minas de San Pedro, estas muestras corresponden a la nomenclatura: COR 013 001, COR 013 002, COR 013 003, COR 013 004A, COR 013 006, COR 013 012, COR 013 020, COR 013 032 y COR 013 037.

5.6.3. Datos obtenidos de la composición isotópica de O, C y S

A continuación se presentan los resultados obtenidos en forma de composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{34}\text{S}$ de los estudios de isótopos estables realizados a muestras de sulfuros, carbonatos y esmeraldas (ver Tabla 26). Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ se expresan con referencia a los estándares explicados anteriormente V-PDB y V-SMOW; los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se muestran con referencia al estándar V-PDB y los valores de $\delta^{34}\text{S}$ se muestran con referencia al estándar CDT. El error posible tiene un valor absoluto entre 0,005 y 0,033.

En el diagrama de la Figura 90 se consignan los resultados de todas las muestras de carbonatos, para realizar la gráfica se desecharon los datos de la muestra COR 013 020, proveniente de las Minas de San Pedro, debido a que da resultados sin significación geológica. Dicha muestra tuvo un proceso de extracción muy delicado puesto que se presentaba en venas muy delgadas, dentro de la laminación de la roca encajante, lo que seguramente influyó en los resultados obtenidos.

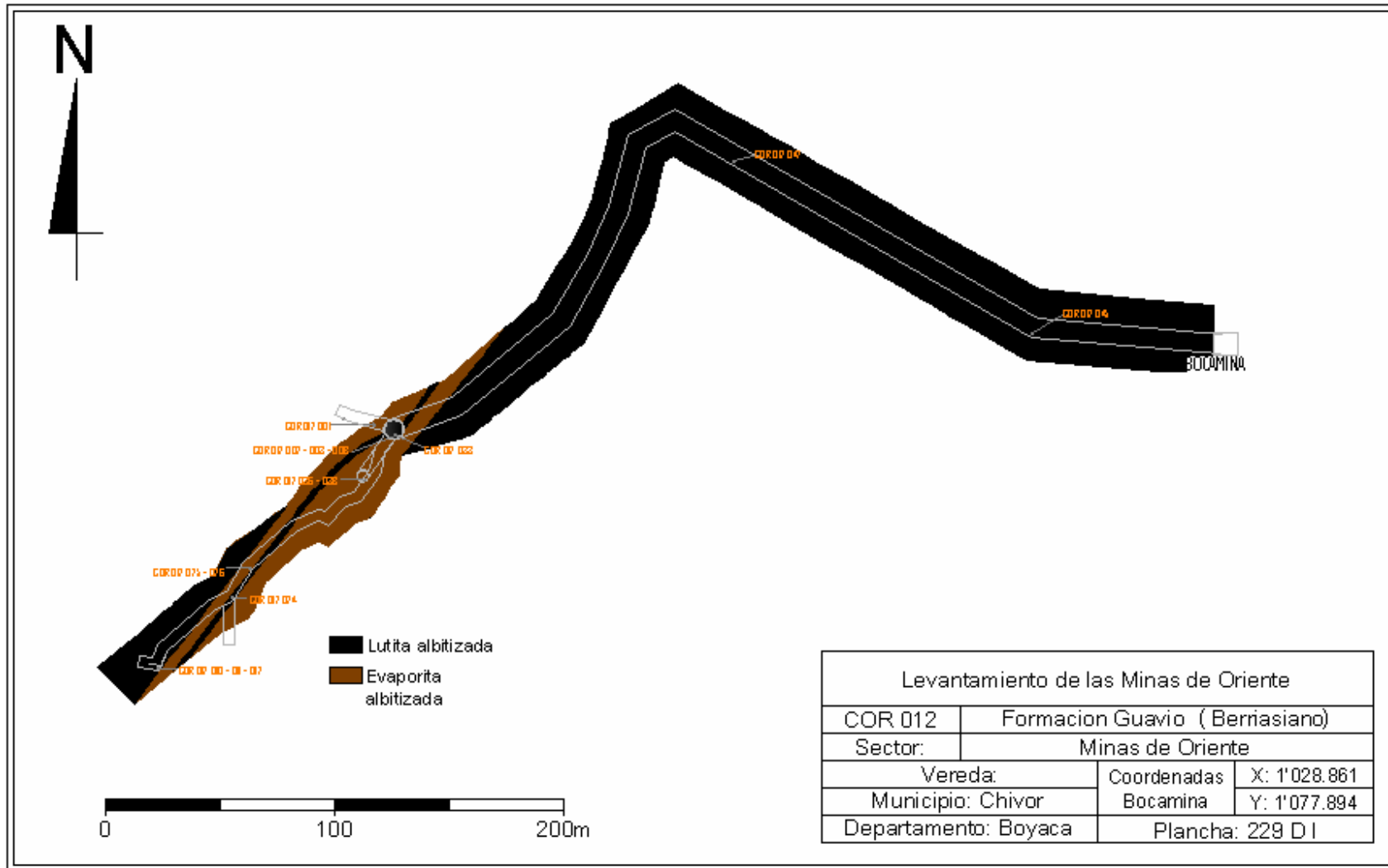


Figura 87. Levantamiento del túnel de las Minas de Oriente (COR 012) con la ubicación de las muestras con análisis de isótopos estables.

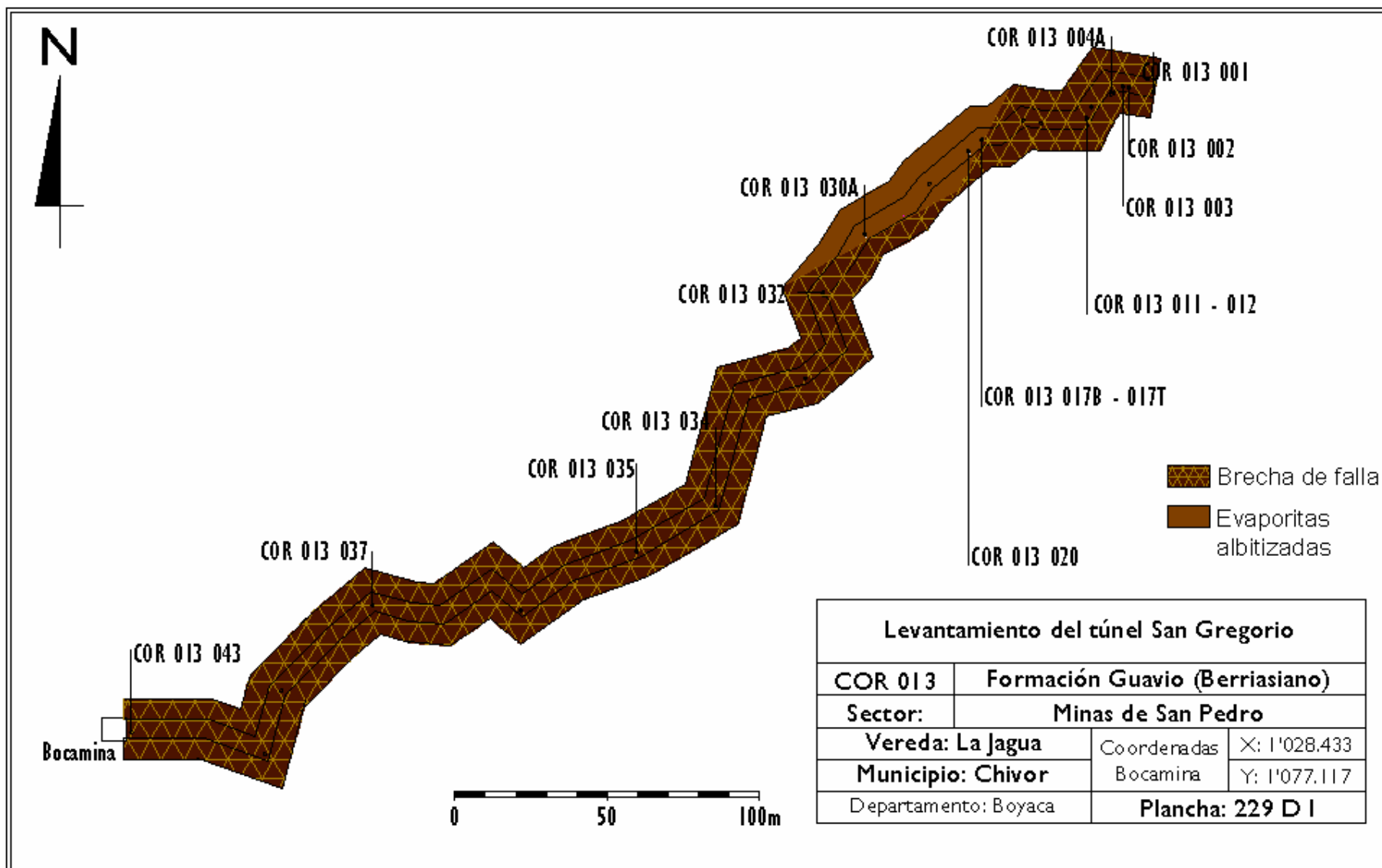


Figura 88. Levantamiento del túnel de las Minas de San Pedro (COR 013) con la ubicación de las muestras con análisis de isótopos estables.

Tabla 26. Composición de isótopos estables de las muestras analizadas

MUESTRA	MINERAL	LITOLÓGÍA	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ w (‰)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ (‰)	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ (‰)
COR 012 002	Dolomita	Vena	-16,05	-13,57	16,92		
	Dolomita	Vena	-15,37	-11,28	19,28		
	Pirita	Vena				11,7	
COR 012 005	Dolomita	Vena	-15,48	-12,57	17,95		
COR 012 008	Dolomita	Vena	-14,97	-12,87	17,65		
	Pirita	Vena				10,3	
COR 012 011	Pirita	Roca caja				8,3	
COR 012 030	Pirita	Roca caja				13,1	
COR 012 035	Esmeralda	Vena					-36,9
COR 012 038	Dolomita	Vena	-16,39	-12,77	17,74		
	Pirita	Roca caja				10,2	
COR 013 001	Pirita	Roca caja				10,5	
COR 013 002	Pirita	Roca caja				10,4	
COR 013 003	Dolomita	Vena	-15,72	-11,51	19,04		
	Pirita	Roca caja				11,5	
COR 013 004A	Esmeralda	Vena					-33,6
	Pirita	Roca caja				10,7	
COR 013 006	Pirita	Roca caja				11,2	
COR 013 012	Dolomita	Vena	-15,9	-11,21	19,35		
COR 013 020	Dolomita	Vena	-12,8	-15,5	14,93		
	Pirita	Vena				13,6	
COR 013 032	Dolomita	Vena	-15,9	-11,55	19		
COR 013 037	Calcita	Vena	-14,29	-14,57	15,89		
	Pirita	Vena				14,9	

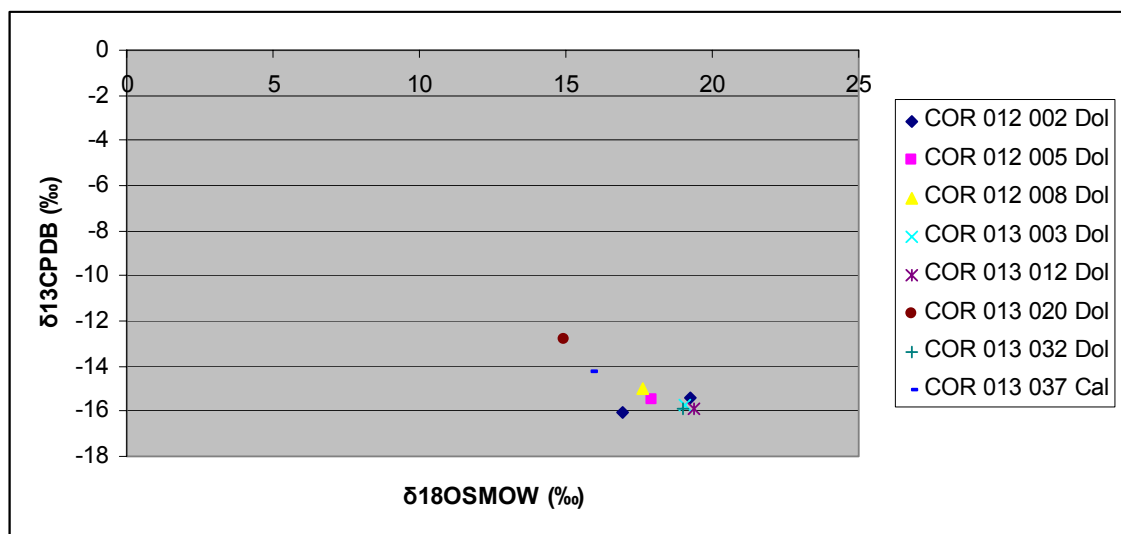


Figura 89. Gráfica de distribución de población isotópica de carbonatos analizados según $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ contra $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$

Con base en los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ obtenidos a partir de carbonatos (ver gráfico de la Figura 91), se pueden identificar dos familias de dolomitas: una con valores entorno a 19,13‰ (correspondiente a las Minas de San Pedro) y otra con valores entorno a 17,82‰ (correspondiente a las Minas de Oriente). Las muestras de calcita presentan valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ de 15,89‰.

Los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ obtenidos a partir de carbonatos (Figura 90), muestran datos de -14,29‰ para calcitas y -15,73‰ para dolomitas.

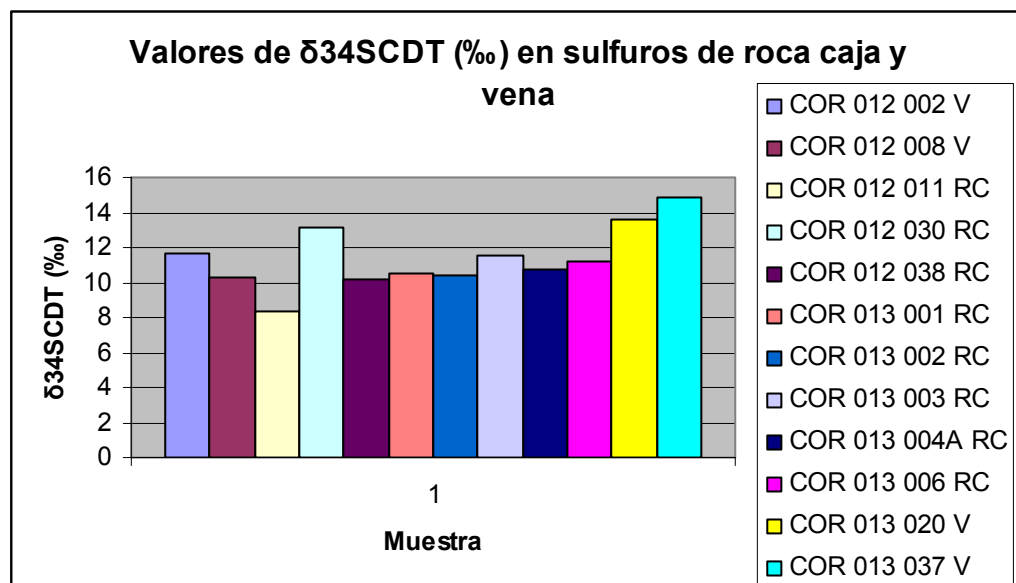


Figura 90. Valores de $\delta^{34}\text{SCDT}$ en sulfuros de roca caja y vena

La gráfica de la Figura 91 muestra los valores obtenidos de $\delta^{34}\text{SCDT}$ para los sulfuros analizados. Los valores de $\delta^{34}\text{SCDT}$ obtenidos para muestras de piritas provenientes de roca caja, se encuentran alrededor de 10,74‰, los de muestras de vena tienen un valor promedio de 12,63‰.

Los datos presentados en el diagrama de la la Figura 92 corresponden a los resultados de $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ (‰) tomados en muestras de esmeralda.

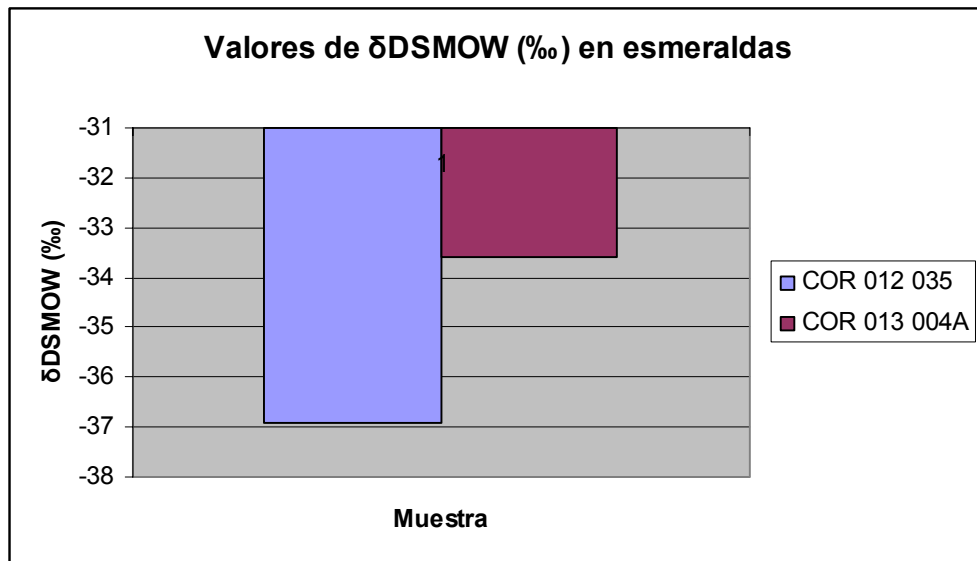


Figura 91. Valores de δ_{DSMOW} (‰) determinados en muestras de esmeralda

5.6.4. Consideraciones sobre la procedencia del fluido

A partir de los resultados obtenidos se procede a realizar algunos cálculos que determinen la composición isotópica original de los fluidos responsables de las mineralizaciones.

- **Composición isotópica del H₂O**

La composición isotópica del H₂O en equilibrio con carbonatos se estimó en un intervalo de temperatura de 200 a 400°C, las fórmulas utilizadas para la determinación de estas composiciones corresponden a las propuestas por Zheng (1999). Los datos analizados, son trabajados por un software que se encuentra en la página de Internet http://www.ggl.ulaval.ca/cgi-bin/isotope/generisotope_4alpha.cgi. Estos resultados se muestran en la Tabla 27 y en la Figura 93.

Tabla 27. Composición isotópica de $\delta^{18}\text{O}$ del agua en equilibrio con carbonatos

T (°C)	Calcita - H ₂ O	Dolomita - H ₂ O
200	25,66	29,99
250	23,34	27,63
300	21,68	25,93
350	20,45	24,67

400	19,53	23,73
-----	-------	-------

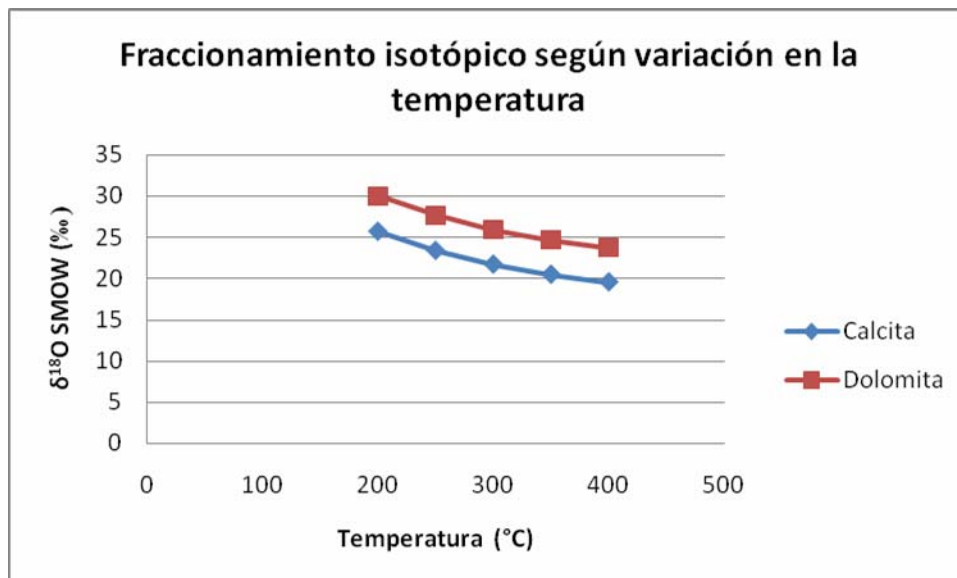


Figura 92. Modelo del fraccionamiento isotópico del agua en equilibrio con carbonatos, según variación en la temperatura.

- **Composición isotópica del CO₂**

La composición isotópica del CO₂ en equilibrio con los carbonatos analizados, también se estimó en el intervalo de temperatura entre 200 y 400°C. Las ecuaciones de fraccionamiento isotópico empleadas para el isótopo $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, son las propuestas por Ohmoto y Rye (1979). Estos resultados se muestran en las Tabla 28 y en Figura 94.

Tabla 28. Composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ del CO₂ en equilibrio con carbonatos

T (°C)	Calcita - CO ₂	Dolomita - CO ₂
200	-15,92	-13,51
250	-17,03	-14,77
300	-17,74	-15,58
350	-18,17	-16,09
400	-18,40	-16,39

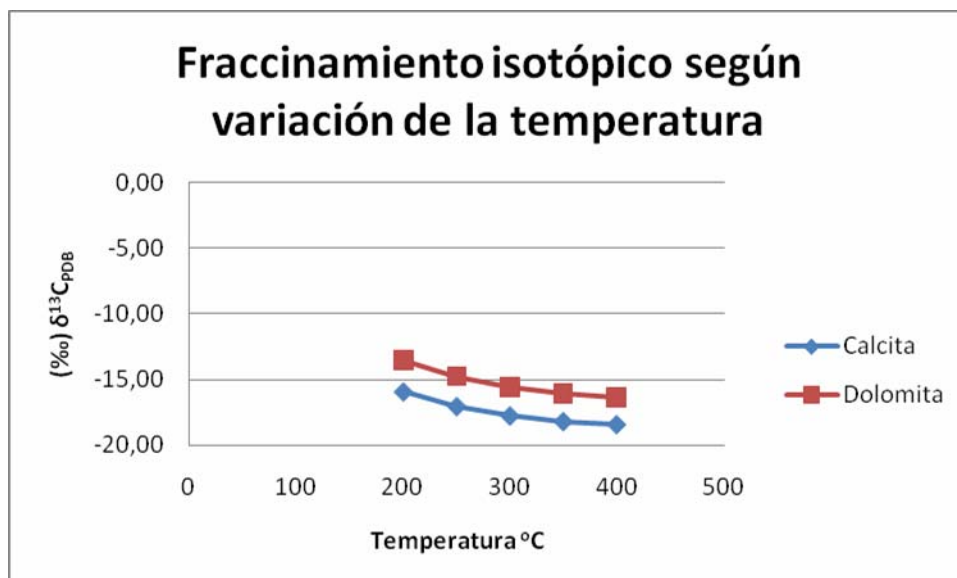


Figura 93. Modelo del fraccionamiento isotópico del CO₂ en equilibrio con carbonatos, según variación en la temperatura.

- **Composición isotópica del H₂S**

La composición isotópica del H₂S en equilibrio con sulfuros se determina según las ecuaciones propuestas por Ohmoto y Rye (1979), para un intervalo de temperaturas de 200 a 400°C. Estos resultados se muestran en la Tabla 29 y en la Figura 95.

Tabla 29. Composición isotópica de δ³⁴S_{CDT} del H₂S en equilibrio con sulfuros

T (°C)	Pirita - H ₂ S
200	13,16
250	12,83
300	12,59
350	12,4
400	12,25

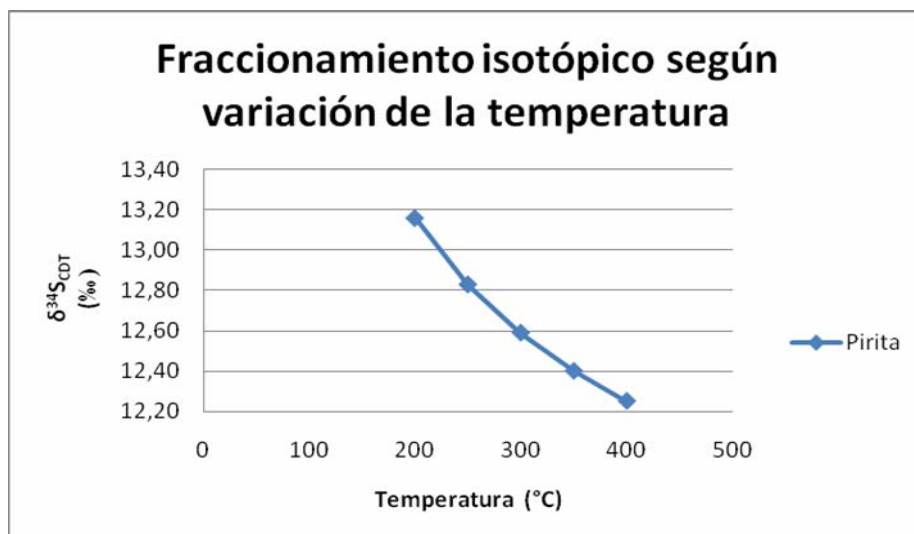


Figura 94. Fraccionamiento isotópico del H₂S en equilibrio con pirita.

5.6.5. Interpretación preliminar

Los valores isotópicos del $\delta^{18}\text{O}_{\text{smow}}$ para el H₂O en equilibrio con carbonatos, a una temperatura de unos 350° C, muestran valores entorno a 24.6‰. Estos valores apuntan a una participación de aguas pesadas, las cuales parecen proceder de una fuente metamórfica (reacciones metamórficas de desvolatización). En tal sentido, parecen igualmente apuntar los datos del $\delta\text{D}_{\text{show}}$ en inclusiones fluidas presentes en esmeraldas

Los valores isotópicos del $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ para el CO₂ en equilibrio con los carbonatos de venas, a una temperatura entorno a 350°C, muestran valores entorno a -16‰. 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.

La composición isotópica del H₂S ($\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$) en equilibrio con piritas (en rocas y en venas), a una temperatura promedio de 350°C, es de un valor entorno a 12‰. Esto sugiere que el azufre de las piritas se relaciona más con un azufre de origen evaporítico, tal como se sigue en Hoefs (2004).

6. CONCLUSIONES

- La litología presente en los sectores de Las minas de Oriente y San Pedro (Corte San Gregorio), se caracteriza por presentar lutitas albitizadas y evaporitas albitizadas con lentejones de sulfuros (estas rocas preserva sus estructuras evaporíticas a manera relictos).
- Las venas con esmeraldas se relacionan fundamentalmente con las rocas evaporíticas albitizadas, mientras que las brechas tectónicas con albitización y dolomitización, se relacionan con lodolitas albitizadas, localizadas al interior del paquete evaporítico albitizado.
- Con base en la fábrica de las rocas, su petrografía y composición mineralógica, se pudieron reconocer al interior de la Mina Pedro (Corte San Gregorio), las siguientes dos zonas: Zona I, compuesta de evaporitas albitizadas (evento de albitización 1) y; zona II, evaporitas albitizadas con brechificación y con albitización (evento de albitización 2) y dolomitización.
- Por otro lado, con los mismos criterios anteriormente mencionados, al interior de la Mina de Oriente, se pudieron identificar las siguientes tres zonas: Zona I, compuesta de lutitas albitizadas (evento de albitización 1) con sulfuros diseminados; Zona II, compuesta de evaporitas albitizadas (evento de albitización 1) y brechas con albitización (evento de albitización 2) y dolomitización y; Zona III, compuesta por lutitas albitizadas (evento de albitización 1).
- Las albitas generadas durante el primer evento de albitización, se caracterizan por estar diseminadas en las rocas, presentar morfologías irregulares y tamaños $<5\mu\text{m}$. Esta albitización, debió tener lugar con anterioridad al evento generador de los depósitos de esmeraldas. Las

albitas, presentes en venas hidrotermales y relacionadas temporalmente con el evento generador de las esmeraldas, se caracterizan por presentar cristales euhedrales y por sus tamaños entre 200 y 300µm.

- Dos tipos de venas hidrotermales se reconocen en las áreas de estudio: Venas de calcita y ±pirita, por lo general paralelas a la estratificación y Venas de albita, ±dolomita, ±pirita y ocasionalmente esmeralda, las cuales se presentan cortando o paralelas a la estratificación.
- El orden de cristalización de minerales, determinado con análisis de microscopía óptica es: Albita → Carbonatos → Sulfuros → Esmeralda.
- Los estudios de inclusiones fluidas en dolomitas y esmeraldas presentes en las venas de tipo 2, apuntan a que los fluidos mineralizantes son de tipo $H_2O+NaCl+CaCl_2+KCl+FeCl_2+LiCl+(\pm CsCl, GaCl_3)+CO_2+N_2$. Las temperaturas mínimas de atrapamiento de estos fluidos, oscilan entre 300 y 340°C.
- Los análisis de isótopos estables del oxígeno ($\delta^{18}O$) en carbonatos de venas (en equilibrio con el agua), sugieren que los fluidos (agua) son de origen metamórfico. Por otro lado, el análisis del azufre ($\delta^{34}S$) de las piritas diseminadas en las rocas y en venas (en equilibrio con el H_2S), indican que este procede de un reservorio evaporítico.
- La alteración supergénica de los materiales hidrotermales relacionados con la mineralización esmeraldífera, dan origen a un material de tonalidades ocres, denominado por los mineros del área como “Cascoche”. Este, se compone de minerales tales como la hematita, alunita y jarosita, entre otros.
- La presencia de brechas tectónicas con oquedades entre fragmentos, en las cuales se presentan ocasionalmente fragmentos de venas hidrotermales con esmeraldas, sugieren que el área fue afectada por un

evento tectónico posterior a la mineralización, pero muy reciente en tiempo. Este último evento deformativo, en sectores puntuales del área, destruye la mineralización esmeraldífera y facilita el flujo descendente de aguas meteóricas.

- Con base en los estudios realizados, se identificaron los siguientes criterios de exploración, los cuales servirán para determinar nuevas áreas con potencial esmeraldífero en los sectores circunvecinos: 1) Presencia de rocas evaporíticas albitizadas de edad Cretácico Inferior, pertenecientes a la Formación Calizas del Guavio; 2) Presencia de niveles con brechificación tectónica, albitizados y dolomitizados; 3) Presencia de venas hidrotermales con albita+dolomita±sulfuros; 4) Presencia de fluidos acuoso salinos carbónicos (con halita), a manera de inclusiones fluidas primarias y secundarias, en materiales de relleno hidrotermal; 5) Presencia de carbonatos con signaturas isotópicas del carbono, típicas de oxidación de materia orgánica; y 6) Presencia de sulfuros en venas, con valores isotópicos típicos de azufre de procedencia evaporítica.

7. RECOMENDACIONES

Sería un gran complemento para la determinación del área afectada por la albitización, realizar una cartografía detallada de las zonas donde aparecen las evaporitas albitizas, según los lugareños, existen evaporitas sin alterar en áreas aledañas.

Es necesario conocer completamente la tectónica que rige los sectores analizados, así como su relación con la mineralización de esmeraldas. Por esto se sugiere la realización de un estudio estructural detallado, en el cual se tomen datos de diaclasas, venas, fracturas y orientación de pliegues.

Se recomienda realizar dataciones que permitan definir más específicamente, la historia de exhumación del área, para poder a su vez establecer relaciones de temporalidad con otros eventos identificados.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARHAN, T, 1993. *Etude structurale des gisements à émeraude de la bordure Est de la Cordillère orientale de Colombie. Mémoire DEA, Nancy, INPL, 73.*

BEUS, A. A. (1979). *Sodium – A Geochemical Indicator of Emerald Mineralization in the Cordillera Oriental, Colombia. Journal of Geochemical Exploration, N° 11. Págs. 195-208.*

BEUS, A.A. & MINEEV, D.A., 1972. *Some geological and geochemical features of the Muzo Coscuez emerald zone, Cordillera Oriental, Colombia. INGEOMINAS, Inf. 1689. 50.*

BOTTINGA, Y. (1968). *Calculation of fractionation factors for carbon and oxygen isotopic exchange in the system calcite-carbon dioxide-water. J. Phys. Chem. 72, Págs. 800-808.*

BRANQUET, Y. 1999. *Étude structurale et métallogénique des gisements d'émeraude de Colombie. Contribution à l'histoire tectono-sédimentaire de la Cordillère Orientale de Colombie. Tesis de Doctorado (PhD). Institut National Polytechnique de Lorraine, Vandoeuvre-les-Nancy, France, 295.*

BRANQUET, Y., CHEILLETZ, A., GIULIANI, G, LAUMONIER, B. y BLANCO, O., 1999a. *Fluidized hydrothermal breccia in dilatant faults during thrusting: the Colombian emerald deposits. In: McCaffrey, K.J.W., Lonergan, L. & Wilkinson, J.J. (eds.) Fractures, Fluid Flow and Mineralization. Geological Society, London, Special Publications, 155, 183-195.*

BRANQUET, Y., LAUMONIER, B., CHEILLETZ, A. y GIULIANI, G., 1999b. *Emeralds in the Eastern Cordillera of Colombia : Two tectonic settings for one mineralization. Geology, V.27; No. 7; 597-600.*

BRANQUET, Y., CHEILLETZ, A., COBBOLD, P.R., BABY, P., LAUMONIER, B. y GIULIANI, G., 2002. *Andean deformation and rift inversion, eastern edge of Cordillera Oriental (Guateque – Medina area), Colombia. Journal of South American Earth Science*, 15:391-407.

CHEILLETZ, A., FÉRAUD, G., GIULIANI, G & RODRÍGUEZ, C., T., (1991). *40Ar/39Ar Laser-Probe Dating of the Colombian Emerald Deposits: Metallogenic Implications. S.G.A. Meeting, 25 Years Anniversary*, Págs. 373 - 376.

CHEILLETZ, A., GIULIANI, G., ZIMMERMANN, J. L., RIBEIRO-ALTHOFF, A. M. (1995). *Ages, Geochemical Signaturas and Origin of Brazilian and Colombian emerald deposits: A Magmatic versus Sedimentary Model. Mineral Deposits*. Págs. 569-572.

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

CHEILLETZ, A., GIULIANI, G., BRANQUET, Y., LAUMONIER, B., SANCHEZ, A.J., FERAUD, G. y ARHAN, T., 1997. *Datation K-Ar 40Ar/39Ar à 65 ± 3 Ma des gisements d'émeraude du district de Chivor - Macanal : argument en faveur d'une déformation précoce dans la Cordillère orientale de Colombie. C.R. Acad. Sci., Paris, t.324, série II a*, 369-377

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.

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

ESCOVAR, R., 1975. Geología y geoquímica de las minas de esmeralda de Gachalá (Cundinamarca). INGEOMINAS, Inf. 1684. 42.

ESCOVAR, R., 1979. Geología y geoquímica de las minas de esmeralda de Gachalá (Cundinamarca). INGEOMINAS, Bol. Geol. 22(3):116-153.

FAURE, G. (1986). *Principles of Isotope Geology (Segunda edición)*, Edit. John Wiley & Sons. 589 Págs.

GIULIANI, G., FRANCE-LANORD, C., CHEILLETZ, A., COGET, P., BRANQUET, Y. y LAUMOMNIER, B. (2000). *Sulfate Reduction by Organic Matter in Colombian Emerald Deposits: Chemical and Stable Isotope (C, O, H) Evidence. Economic Geology*, Vol. 95. Págs. 1129-1153.

GIULIANI, G., CHEILLETZ, A., ARBOLEDA, C., CARRILLO, V., RUEDA, F. y BAKER, J.H., 1995a. *An evaporitic origin of the parent brines of Colombian emeralds: fluid inclusión and sulphur isotope evidence. Eur. J. Mineral.* 7:|151-165.

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.

GOLDSTEIN, R. y REYNOLDS, J. (1994): *Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals, Semp short course 31. EPM Society for sedimentary geology.* USA. 198 Págs.

GOLYSHEV, S.I., PADALCO, N.L. & PECHENKIN, S.A. (1981). *Fractionation of Stable Oxygen and Carbon Isotopes in Carbonate Systems. Geochemistry International* 18, Págs. 85-99.

HALL, M., (1976). Mineralogía y Geoquímica de las vetas esmeraldíferas de Muzo, Departamento de Boyacá con implicaciones en la prospección futura de esmeraldas en otras partes de Colombia. Universidad Nacional. Bogotá. 326.

HOEFS, J. (2004). *Stable Isotopes Geochemistry.* Editorial Springer.

INGEOMINAS – GEOSTRATOS LTDA., (2005). Levantamiento de información estratigráfica y muestreo paleontológico, geoquímico e isotópico en secciones estratigráficas en el terreno del cretáceo inferior del sector central de la cordillera oriental. Sección Chivor-Boyacá. P. 12.

INVIAS. Mapa Vial de los Departamentos de Cundinamarca y Boyacá. www.invias.gov.co.

KERRICK, D., EMINHIZER, L., and VILLAUME, J. (1973). *The role of carbon film thickness in electron microprobe analysis. American Mineralogist*, Vol. 58, pp. 920-925.

LAING, M. (2001) Una introducción a la cobertura, potencial y aplicaciones del análisis por rayos – x. Unión internacional de Cristalografía. University Collage Cardiff Press. Cardiff, Gales.

LUNAR, R. y OYARZUN, R. (1991). Yacimientos Minerales: Técnicas de Estudio-Tipos, Evolución Metalogenética-Exploración. Centro de Estudios Ramón Areces S.A. Págs. 79-146.

MANTILA, L.C., UIS – INGEOMINAS (2006). Investigación Petrográfica y geoquímica de las Sedimentitas del Cretácico Inferior (K1) y sus Manifestaciones Hidrotermales Asociadas; Planchas 169, 170, 189, 190 (Cordillera Oriental): Implicaciones en la Búsqueda de Esmeraldas. Informe Final. 234 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 Porhyry 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, Págs. 509-567.

OTTAWAY, T.L., WICKS, F.J., BRYNDZIA, L.T., KYSER, T.K. y SPOONER, E.T.C., 1994. *Formation of the Muzo hydrothermal emerald deposit in Colombia*. *Nature*, 369: 552-554.

O'NEIL, J.R., CLAYTON, R.N. AND MAYEDA, T.K. (1969). Oxygen Isotope Fractionation in Divalent Metal Carbonates. *J. Chem. Phys.* 51, Págs. 5547-5558.

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

RESTREPO, H., 1958. Reconocimiento de las minas de esmeraldas de Muzo, Departamento de Boyacá. Servicio Geológico Nacional. Inf. 1309. 20.

RESTREPO, H., 1959. Reconocimiento de las minas de esmeraldas de Muzo, Departamento de Boyacá. Servicio Geológico Nacional. Vol. VII. Nos. 1-3, 61-84.

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

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

SCHEIBE, R., 1916. Informe geológico sobre la mina de esmeralda de Muzo. En: *Compilación de los estudios geológicos oficiales en Colombia 1917 – 1933*. Comisión Científica Nacional. P. 169 – 199.

SHEPPARD, S.M.F. AND SCHWARCZ, H.P. (1970). Fractionation of Carbon and Oxygen Isotopes and Magnesium Between Coexisting Metamorphic Calcite and Dolomite. *Contrib. Mineral. Petrol.* 26, Págs. 161-198.

SHEPPERD, T., RANKIN, A.H., y ALDERTON, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusions studies, Blakie, Glasgow, 235 p.

ULLOA, M. C. (1980). Ambiente geológico de los yacimientos esmeraldíferos en Colombia. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, N° 65. Págs. 157-170.

ULLOA, C. & RODRÍGUEZ, E., 1979. Geología del Cuadrángulo K-12, Guateque. Inf. 1701. Bol. Geol. del INGEOMINAS. 22 (1): 1-55.

ULLOA, C., ARIAS, A. y SOLANO, F., (2000). Caracterización de unidades geológicas y geomorfológicas de Colombia. Calizas del Guavio. INGEOMINAS. P. 40 – 52.

VAN DE KERKHOF, A. y HEIN, U.F. (2001). Fluid Inclusion Petrography. *Lithos* 55. Págs. 27-47.

VÁSQUEZ, L.E. (2006). Gamma Espectrometría Portátil en los Cinturones Esmeraldíferos Colombianos, Coscuez – Borbur – Pauna (Occidente), Chivor-Ubalá (Oriente). Boyacá, INGEOMINAS, Bogotá, D. C.

VELASCO, F. (2004). Introducción al estudio de la inclusiones fluidas. Universidad del País Vasco (España). Auspiciado por UNESCO y SEG (Society of Economic Geologist).

WILSON, C. J. L. (1994). Cristal Growth During a Single-Stage Opening Event and its Implications for Syntectonic Veins. *Journal of Structural Geology*, Vol. 16, N°9. Págs. 1283-1296.

WOKITTEL, R. y MUTIS, V., 1954. Yacimientos esmeraldíferos de los municipios de Ubalá, Gachalá, Almeida, Macanal y Somondoco. Servicio Geológico Nacional. Inf. 1150. 28.

ZHENG Y.-F. (1999). Oxygen Isotope Fractionation in Carbonate and Sulfate Minerals. *Geochemical Journal*, 33, Págs. 109-126.

Recursos de Internet:

<http://usal.es/~isotopos/>

www.google-earth.es

<http://www.geo.ucalgary.ca/UCLEMA/>

www.invias.gov.co

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

<http://www.uned.es/cristamine/mineral/metodos/sem.htm>

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

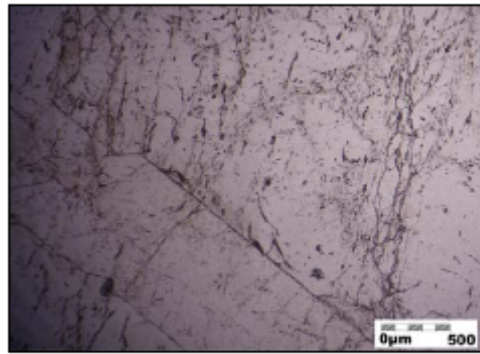
<http://webmineral.com/>

http://www.ggl.ulaval.ca/cgi-bin/isotope/generisotope_4alpha.cgi

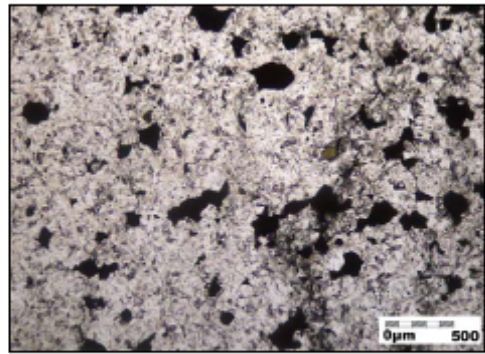
ANEXOS

OBSERVACIONES

a



b



a. Microfotografía de luz plana no analizada en la que se observa el contacto entre cristales de esmeralda (cristal en la mitad superior) y partícula de clorita de aproximadamente 80 μ m en el primer cuadrante. Aumento de objetivo de 5x



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES**

REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA

N° COR 008 007	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueras	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
N° de campo: COR 008 007	Origen:	Describió: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Gauvio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR 008	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de color blanco (N9), compuesta fundamentalmente por albita, esmeralda y pirita. Los cristales de albita presentan un agregado masivo. Los cristales de esmeralda son de moderada calidad, bien formados. Las piritas se presentan en formas prismáticas. Se observa algo de roca encajante, una lodolita arenosa con antiguas estructuras augen reemplazadas ahora por albitización.

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: vena compuesta por albita, esmeralda y pirita. La roca encajante, la cual es poco observable, se compone por albita, sulfuros y moscovita (con algo de alteración a clorita). Los cristales albita tienen una media de tamaño de 600 a 2000µm, los cristales de berilo tienen un promedio de 800µm y los cristales de minerales opacos tienen un promedio de 300µm. En la roca caja los cristales tienen tamaños que van de 20 a 200µm. Los cristales de plagioclasa son comunes en los bordes de venas, mientras las esmeraldas se ubican en su interior.

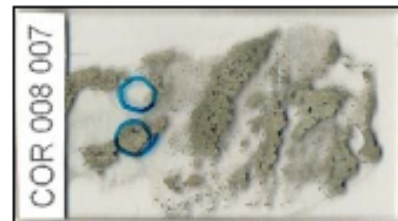
MINERALES

Minerales principales:

Feldespato sodico: (71%) cristales de albita de tipo hidrotermal que están en contacto neto con esmeraldas y piritas, la cantidad de plagioclasa en la vena no es constante, aumenta al acercarse a la roca caja, de lo que se sugiere que precipita primero. El tamaño alcanzado de estos cristales es de 600 a 2000µm.

Berilo: (11%) se encuentran cristales bien desarrollados de hasta 1000µm, se presentan en contacto neto con las albitas de los bordes.

Opacos: (18%) aparentemente son sulfuros por sus formas prismáticas y por revisiones en muestra de mano y de difracción de rayos x. Están bien distribuidos en toda la sección, con contacto neto con albitas.



Tipo de cemento:

Calcreo

Tipo de Matriz:

NOMBRE COMPOSICIONAL:

Vena de albita, sulfuros y esmeralda

ESTRUCTURAS

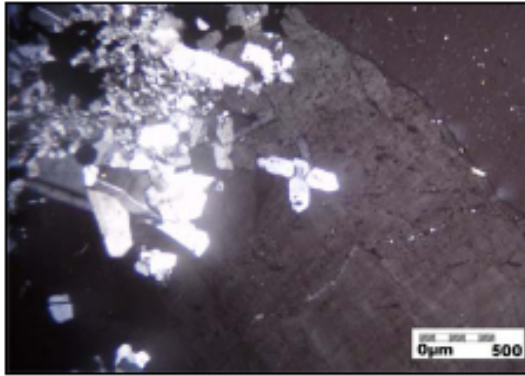
Vena masiva de albita, sulfuros y esmeralda, no hay estructuras observables

DESCRIPCION DE LA ROCA

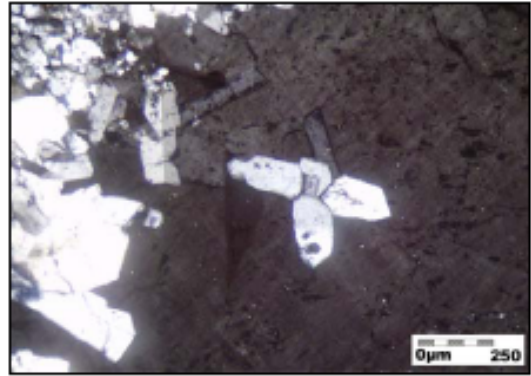
Vena masiva conformada por albita hidrotermal (71%), sulfuros (18%) y berilos (11%). El orden de cristalización corresponde a: Albita - Sulfuros - Esmeralda

OBSERVACIONES

a



b



a. Microfotografía de luz plana analizada en la que se muestra un agregado de cristales de plagioclasa incluidos en un gran cristal de esmeralda. Se puede ver además, parte del contacto con la roca encajante. Aumento de objetivo de 5x

b. Microfotografía de luz plana analizada mostrando un acercamiento de la foto anterior. Se observa la inclusión de plagioclasa dentro de un cristal de esmeralda. Se puede ver además, parte del contacto con la roca encajante. Aumento de objetivo de 10x



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR 012 001	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR 012 001	Origen:	Describió: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 012	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa con vena de dolomita

Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa con nodulos de pirita, la vena observada está compuesta principalmente por cristales de dolomita. Cuenta con una matriz de albita y arcilla.

Color: gris claro (N7) con vena de calcita blanca (N9). La muestra está completamente fresca

Laminación: laminación delgada subparalela con venas de calcita discordantes. Estructuras augen que se han conservado de evaporitas albitizadas. No se observa orientación de los granos, la laminación es determinada por variación de granulación

Grado de bioturbación: no se observa

Grado de meteorización: la muestra consiste de una roca fresca

Partición: las fracturas observadas son contundentes, es aquí donde se ubican las venas. La roca se mantiene competente

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: la homogeneidad de la roca se ve interrumpida por una vena de carbonatos que ha lavado ciertos minerales a medida de que avanza, pero también permite la permanencia de otros. La roca encaja mantiene una estructura augen bien marcada, mas los componentes de la misma ya no son evaporíticos pues se ha sufrido un proceso de albitización. La roca encajante tiene granos de 5 a 40µ, todos ellos subangulares, con calibrado moderado. La vena tiene cristales de 200 a 600µ. Los planos más débiles corresponden a los que presentan las acumulaciones de sulfuros, así como en fallas sintectónicas, es allí donde se ubican las venas.

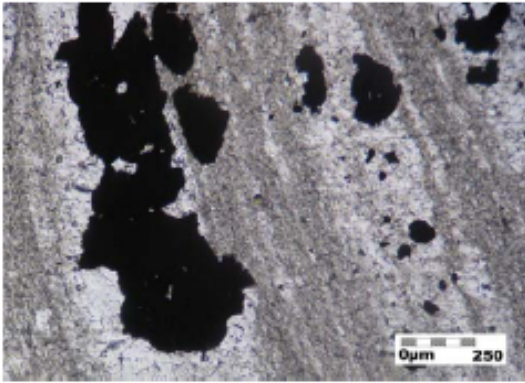
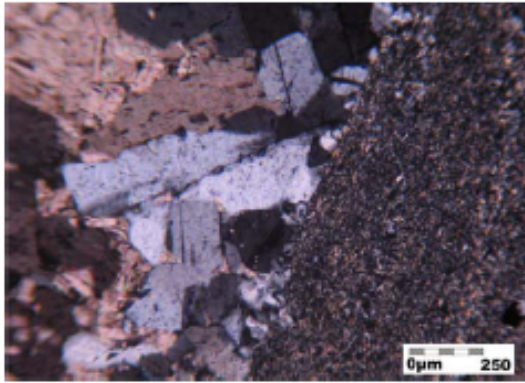
Rango de tamaños: el tamaño promedio es de 10µm, muestra un calibrado moderado

Selección: moderada selección, connotación de una roca submadura termalmente

Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: elongado

GRAVA:	ARENA: 25%	LODO: 75%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 80µm	Arcilla: 15%	Limo: 60%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 30µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subsférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 20%	
Concavo - Convexo: 80%	Saturado:		
ESTRUCTURAS			
<p>La laminación observada en la roca caja corresponde a estructuras augen, las cuales no conservan la mineralogía original. Se observan venas que rellenan planos de debilidad como son acumulaciones de pirita por reducción de sulfatos de materia orgánica y fallas sintectónicas. Las venillas se conforman principalmente por carbonatos que sufren procesos de albitización. Se observa también agrietamientos menores, paralelos a la laminación, mas no han sido rellenos. Las láminas son diferenciadas composicionalmente, unas son conformadas por albitas de 20 a 40µm, las otras láminas contienen moscovita y albita menores a 5µm.</p>			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita arenosa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Feldespatos:			
<p>Sódico: (71%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas, así como en los bordes de las venas. Los tamaños de partículas de este mineral varían mucho puesto que se presenta reemplazando carbonatos y minerales evaporíticos, el rango de tamaños varía entre 1 y 400µm. El contacto con otros minerales es cóncavo - convexo y longitudinal con minerales opacos, los cuales permanecen intactos.</p>			
Micas:			
<p>Moscovita arcillosa: (21%) se observa como material de láminas acompañando a la albita, de tamaño muy pequeño (menores a 5µm). Se presenta únicamente en la roca caja, donde aparece con la albita en contacto cóncavo - convexo. Se muestran algo orientadas. También es posible hallarlas cerca de los lugares por donde han pasado fluidos hidrotermales, allí alcanzan dimensiones de 40µm, posiblemente se trata de una recristalización, no están orientadas. Clorita: (<1%) se puede afirmar que algunas micas están sufriendo un proceso de clorización, sin embargo este no alcanza el 1% del total de la roca.</p>			
Opacos:			
<p>Sulfuros: (5%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta en acumulaciones producidas por la reducción de sulfatos de materia orgánica en bolsas características de estructuras augen. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de los cristales, los cuales se encuentran como prismas perfectos de bordes bien definidos. Algunas de estas piritas, provenientes de la roca encajante, aparecen en venas, lo que determina que estos sulfuros permanecen en lugares donde otros minerales fueron reemplazados por el material hidrotermal. Existe otra aparición de pirita en las venas, evidencia de ello se encuentra en piritas con inclusiones de carbonatos.</p>			
CEMENTO			
(1%) compuesto principalmente por albita y algunos carbonatos, la forma predominante es anhedral			
ORTOQUIMICOS			
<p>Dolomita: (2%) se presenta en venas y rara vez en la roca encajante. Cuando se observa en la roca caja, su tamaño no supera los 3µm, su forma es subsférica, subangular; se presenta una variación composicional, aumentando a medida en que se acerca a las venas y disminuyendo cuando se aleja de ellas. En venas alcanza tamaños de 1000µm, se observan íntimamente relacionados con los cristales de albita, con los que se presenta en contacto cóncavo - convexo. Se muestran en el interior de las venas. Su tamaño varía de 60 a 400 µm.</p>			

POROSIDAD	
Primaria: no se observa	
Secundaria: prácticamente nula, pues la única zona fracturada está rellena por albita, dolomita y pirita. Las piritas provenientes de roca caja, por entre las cuales pasa el fluido hidrotermal de las venas, se encuentran algo fracturas y es posible encontrar algo de oquedad.	
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)	
Lodolita de plagioclasa	
CLASIFICACION	
Lodolita arenosa de plagioclasa con venas de carbonatos. Grano fino, con calibrado moderado, granos subangulares y elongados. Predomina la plagioclasa (71%), algo de micas (21%), opacos (5%) y una vena de carbonatos que constituyen el 2% del total de la roca. Termalmente submadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal. Contiene un 1% de cemento, conformado por albita y carbonatos.	
OBSERVACIONES	
a	b
	
a. Microfotografía de luz plana no analizada mostrando laminación tipo augen en la roca conformada por láminas de albita y de opacos, estas acumulaciones responden aparentemente a sulfuros. En el medio de la fotografía se muestra un grano de clorita. Aumento de objetivo 10x.	b. Microfotografía de luz plana analizada mostrando el contacto entre la roca caja y una vena que corta la laminación. La vena se compone por cristales de albita y carbonatos, algunos minerales opacos observados en la vena provienen de la roca encajante. Aumento de objetivo 10x.



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. 012 002	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Pinnas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR. 012 002	Origen:	Describió: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR. 012	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de color blanco (Nº), compuesta fundamentalmente por albita, pirita y calcita. Los cristales de albita y calcita presentan un agregado masivo; las piritas se observan en cristales de tamaños menores a 2mm, están diseminadas por toda la muestra.

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: vena compuesta por dolomita, calcita, plagioclasa y sulfuros con algo de cemento calcáreo; se puede observar algo de la roca que encaja la vena, la cual es una roca con antiguas estructuras evaporíticas, compuesta principalmente por plagioclasa y sulfuros.

MINERALES

Miñerales principales:

Carbonatos (38%): cristales de dolomita y calcita que han sufrido procesos de albitización, con estas albitas se encuentran en contacto neto a cóncavo - convexo. El contacto observado con sulfuros es de tipo neto a longitudinal. Algunos cristales se encuentran incluidos en minerales opacos.

Opacos (31%): cristales de sulfuros con formas prismáticas, tamaños que van desde 20µm de diámetro

Feldespató sódico (31%): cristales de albita que están con los carbonatos, la cantidad de plagioclasa en la vena no es constante, aumenta al acercarse a la roca caja

Tipo de cemento:

Calcáreo



Miñerales de alteración:

Tipo de Matriz:

NOMBRE COMPOSICIONAL:

Vena de albita

ESTRUCTURAS

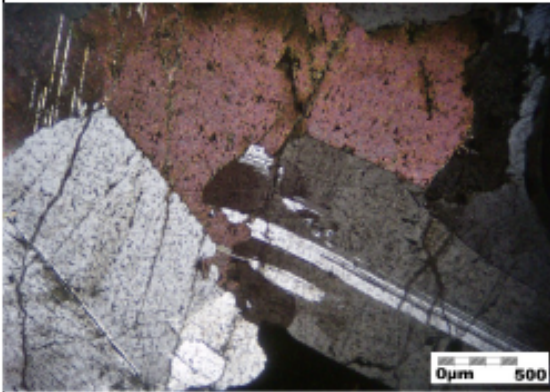
Vena masiva de carbonatos, plagioclasa y sulfuros, no hay estructuras observables

DESCRIPCION DE LA ROCA

Vena masiva conformada por dolomita, y calcita (38%), albita hidrotermal (31%) y minerales opacos, aparentemente sulfuros (31%). El orden de cristalización corresponde a: Albita - Carbonatos - Pirita

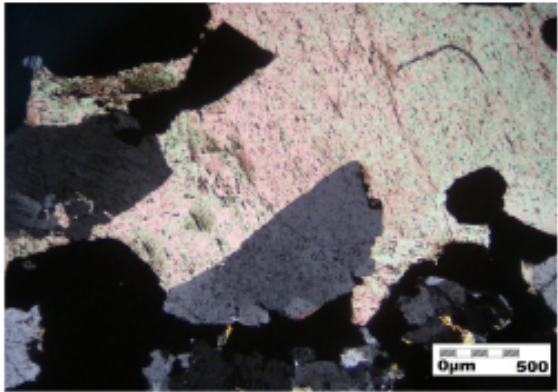
OBSERVACIONES

a



a. Microfotografía de luz plana analizada donde se muestra el contacto entre carbonatos y plagioclasa en la vena. Aumento de objetivo de 5x

b




b. Microfotografía de luz plana analizada mostrando cristales de plagioclasa, sulfuros y dolomita. Aumento de objetivo de 5x



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR. 012 003	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR 012 003	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 012	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

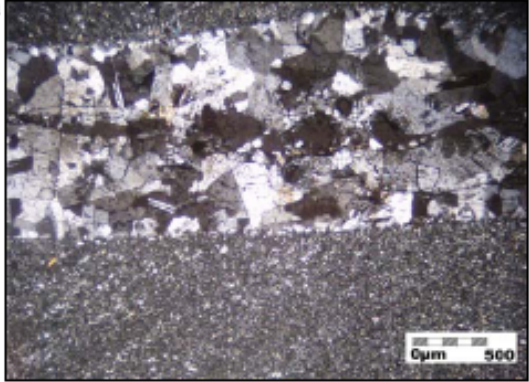
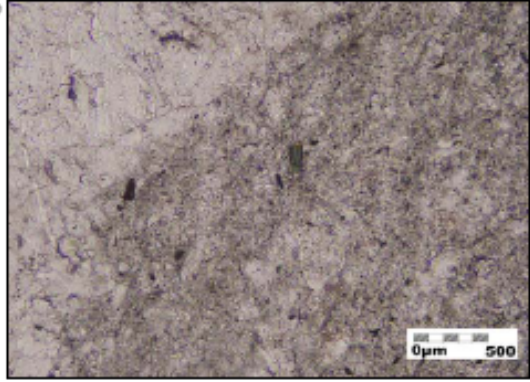
DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa con venillas de cuarzo	
Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa, delgadas venillas de cuarzo que no superan 1mm de espesor	
Color: gris oliva claro (5Y 8/1)	
Laminación: masiva con venillas de cuarzo distribuidas de forma regular	
Grado de bioturbación: no se observa	
Grado de meteorización: Roca fresca	
Partición: Microfracturas que han sido rellenadas por cuarzo, manteniendo la roca compacta.	
Reacción al HCl: Si: No: X	
Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:	

ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA
Homogeneidad: las partículas que conforman principalmente la roca tienen un tamaño promedio de 30µm, las formas observadas son irregulares, no se ve orientación preferencial en los minerales. Tiene un mal calibrado, se muestra laminación ondulosa generada por antiguas estructuras augen, se determina por variación granulométrica, el espesor de estas láminas varía entre 100 y 400 µm
Rango de tamaños: el tamaño de grano es de 1 a 80 µm, la roca está mal calibrada
Selección: mala selección, inmadura termalmente
Redondez promedio: subangular
Esfericidad promedio: elongado

GRAVA:	ARENA: 45%	LODO: 55%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 70µm	Arcilla: 20%	Limo: 35%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 20µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subesférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 10%	
Concavo - Convexo: 90%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
Entre las estructuras presentes, se observa principalmente una laminación ondulosa de antiguas estructuras evaporíticas, las láminas son de tipo compuestas, con espesores entre 100 y 400µm. Se presenta una vena compuesta por calcita y albita, casi toda la calcita ha sido reemplazada por albita, prácticamente toda la vena está conformada por albita.			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita arenosa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Feldespatos:			
Sódico: (86%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas, así como reemplazando la calcita que conforma originalmente las venas. Este mineral se encuentra formando agregados masivos de individuos microcristalinos de tamaños de 1 a 40µm. Se presentan en la roca encajante y en la vena. La forma de los cristales es subangular y subesférica. Los cristales observados en la vena alcanzan dimensiones de 60µm, de formas subhedrales			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (12%) Tiene un tamaño promedio de 1 a 2µm, se encuentra en láminas constituyendo parte de la matriz, los granos tienen forma alargada y subangular. Sólo se observan en la roca encajante. Clorita: (<1%) se presenta como alteración de la moscovita, se observan en una proporción mínima, las partículas alcanzan dimensiones de 100µm, tienen formas prismáticas alargadas, en forma de tablillas. Se puede observar el proceso de cloritización en algunos cristales de moscovita			
Opacos:			
Sulfuros: (1%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta diseminada por toda la sección, no es tan común observar acumulaciones de este mineral. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de los mismos, minerales prismáticos con bordes bien definidos			
CEMENTO			
(1%) compuesto principalmente por albita, la forma predominante es anhedral			
ORTOQUIMICOS			
Calcita: (1%) se presenta en la vena y rara vez en la roca encajante. Está altamente reemplazada por albita. La aparición de calcita aumenta en la roca caja al acercarse a la vena. Sus cristales son anhedrales con bordes irregulares de hasta 40µm			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: prácticamente nula, pues la única zona fracturada está rellena por calcita			

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)	
Lodolita arenosa de plagioclasa	
CLASIFICACION	
Lodolita arenosa de plagioclasa, de grano fino a muy fino, con mal calibrado, granos subangulares elongados, albita predominante (86%), moscovita (12%), sulfuros (1%), texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, cemento silíceo, porosidad prácticamente nula.	
OBSERVACIONES	
<p>a</p>  <p>a. Microfotografía de luz plana analizada mostrando una vena de albita dentro de una roca encajante conformada principalmente por albita, moscovita y sulfuros. Nótese la fractura no rellena posterior al hidrotermalismo. Aumento de objetivo de 5x</p>	<p>b</p>  <p>b. Microfotografía de luz plana no analizada mostrando una partícula de clorita. Aumento de objetivo de 5x</p>



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR. 012 008	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR. 012 008	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR. 012	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa con venas de sulfuros

Textura - Composición: textura lodosa conformada principalmente por plagioclasa. Se observan sulfuros a lo largo de láminas.

Color: gris claro (N7)

Laminación: Delgada subondulosa y subparalela con venas de sulfuros

Grado de bioturbación: no se observa

Grado de meteorización: la muestra consiste de una roca fresca

Partición:
se observa muy poca

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: la roca está conformada por granos de tamaños muy pequeños que oscilan entre 1 y 5µm, tiene una selección moderada. Se observa laminación de tipo augen debido a estructuras augen heredadas, mas esta no está muy marcada y se determina por variaciones granulométricas. No existe orientación de las partículas. Las láminas observadas varían su grosor de 100 a 800 µm.

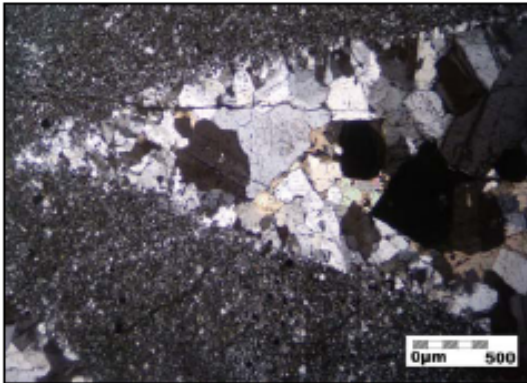
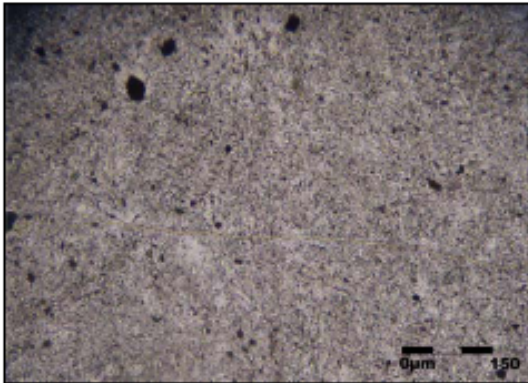
Rango de tamaños: el promedio de los tamaños de grano va de 1 a 5µm, tiene una selección moderada

Selección: moderada selección, connotación de una roca submadura termalmente

Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: subsférico

GRAVA:	ARENA: 10%	LODO: 90%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 70µm	Arcilla: 10%	Limo: 80%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 4µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subsférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 20%	
Concavo - Convexo: 80%	Saturado:		
ESTRUCTURAS			
La geometría de las láminas tiene características de laminación augen, aunque se observa esta estructura la roca ha sufrido un intenso proceso de albitización en el que no se han mantenido los minerales originales. La variación de espesores de la laminación va de 100 a 800µm para las láminas más gruesas. No es muy notoria la acumulación de sulfuros en bolsas, estos se observan diseminados en toda la roca. Se presenta una venilla compuesta por calcita, sulfuros y albita			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Arcillolita			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Feldespatos:			
Sódico: (81%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas. Este mineral se encuentra formando agregados masivos de individuos microcristalinos de tamaños menores a 5µm. Se presenta conformando la mayoría de roca. También se observa en venas con carbonatos. Tiene contacto cóncavo convexo con prácticamente todos los minerales			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (2%) Tiene un tamaño promedio de 1 a 2µm, se encuentra en láminas constituyendo parte de la matriz, los granos tienen forma alargada y subangular. Sólo se observan en la roca encajante. Clorita: (<1%) se presenta como alteración de la moscovita, es muy poco común y las partículas no superan las 2µm, algunas moscovitas presentan indicios de cloritización			
Opacos:			
Sulfuros: (15%) se compone aparentemente por pirita, la cual proviene de reducción de sulfatos de la materia orgánica. La identificación se realiza mediante el análisis de la forma de los minerales, los cuales son prismáticos de bordes muy regulares. Están muy diseminados por la roca, también se observan en una diminuta venilla de calcita.			
CEMENTO			
(1%) compuesto principalmente por albita, la forma predominante es anhedral			
ORTOQUIMICOS			
Calcita: (1%) se presenta en venas y rara vez en la roca encajante. Cuando se observa en la roca caja, su tamaño no supera los 3 µm, su forma es subsférica, subangular; se presenta una variación composicional, aumentando a medida en que se acerca a las ve			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: prácticamente nula, pues la única zona fracturada está rellena por calcita y albita			


NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)	
Arcillolita de plagioclasa	
CLASIFICACION	
Arcillolita de plagioclasa, de grano fino a muy fino, con moderado calibrado, granos subangulares, plagioclasa predominante (78%), con algunos sulfuros en roca caja y en vena proveniente de la roca caja (15%); algo de mica moscovita (2%) y algo de calcita en vena (1%). Texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, cemento silíceo, poca porosidad, parte de ella es secundaria (1%)	
a	b
	
a. Microfotografía de luz plana analizada mostrando la terminación de una vena conformada por plagioclasa, sulfuros y carbonatos. Aumento de objetivo de 5x	b. Microfotografía de luz plana no analizada donde se observa una partícula de clorita ubicada en el primer cuadrante, esta clorita alcanza la 40µm. Aumento de objetivo de 40x



ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA

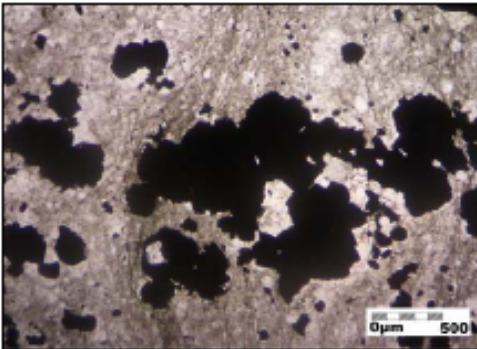
N° COR.012 010	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
N° de campo: COR.012 010	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyaca	Vereda:
Estación: COR.012	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita con sulfuros. Laminación delgada plano paralela. Reemplazamientos de pirita en laminas y disoluciones	
Textura - Composición: textura lodosa conformada principalmente por materia orgánica, cuarzo y pirita	
Color: gris oscuro (N3)	
Laminación: delgada, plano paralela	
Grado de bioturbación: no se observa	
Grado de meteorización: la muestra consiste de una roca fresca	
Partición: no se observa con claridad, la roca permanece compacta	
Reaccion al HCl: Si: No: X	
Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:	

ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA			
Homogeneidad: los granos que conforman principalmente la roca tienen tamaños entre 5 y 15µm, tiene una laminación marcada la cual es determinada por la coloración, así como por la variación de materia orgánica presente en las laminas. Se conforma principalmente por plagioclasa, cuarzo, moscovita, pirita y materia orgánica; todos ellos distribuidos a lo largo de las laminas. Laminas de 50 a 1000µm			
Rango de tamaños: el tamaño de grano es de 5 a 15µm, la roca está mal calibrada			
Selección: mala selección, inmadura termalmente			
Redondez promedio: subangular			
Esféricidad promedio: subsférico			
GRAVA:	ARENA: 5%	LODO: 95%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 50µm	Arcilla: 50%	Limo: 45%
		Tamaño promedio de la fracción limo:	
Redondez:	Redondez: subangular	Menores a 5µm	
Esféricidad:	Esféricidad: subsférica		

CONTACTO ENTRE GRANOS		
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 10%
Concavo - Convexo: 90%	Saturado:	
ESTRUCTURAS		
Entre las estructuras presentes, se observa principalmente una laminación plano paralela		
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)		
Lodolita de plagioclasa		
COMPOSICION		
TERRIGENOS		
Cuarzo: (21%) es uno de los principales constituyentes de la muestra, se observa a manera de granos subredondeados, semiesféricos, con contacto nudo con plagioclasas y opacos		
Feldespato:		
Sódico: (33%) albíta como principal conformante de la matriz, se observa en forma de granos subsféricos, subredondeados de tamaños menores a 5µm, estos tamaños varían según la laminación.		
Micas:		
Moscovita arcillosa: (18%) Tiene un tamaño promedio de 1 a 2µm, se encuentra en láminas constituyendo parte de la matriz, las partículas tienen forma alargada y subangular. Sólo se observan en la roca encajante.		
Opacos:		
Sulfuros: (23%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta diseminada por toda la sección, es común observar acumulaciones de este mineral. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de los minerales, así como por la descripción macroscópica		
CEMENTO		
(5%) compuesto principalmente por materia orgánica amorfa		
POROSIDAD		
Primaria: no se observa		
Secundaria: prácticamente nula, la roca es muy compacta		
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)		
Lodolita de plagioclasa		
CLASIFICACION		
Lodolita de plagioclasa de tamaño de grano muy fino, con mal calibrado, granos subredondeados y subsféricos, predomina la albíta (20%), así como el cuarzo (30%), la moscovita (20%) y los sulfuros (25%), en menor medida se observa materia orgánica (5%). Texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, porosidad prácticamente nula.		
OBSERVACIONES		
		
Microfotografía de luz plana no analizada donde se observa la laminación característica de la muestra así como masivas acumulaciones de sulfuros. Aumento de objetivo de 5x		



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 HIDROTHERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA

Nº COR.012.011	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR.012.011	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR.012	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita con sulfuros. Laminación delgada plano paralela. Reemplazamientos de pirita en láminas y disoluciones.

Textura - Composición: textura lodosa conformada principalmente por materia orgánica, cuarzo y pirita

Color: gris oscuro (N3)

Laminación: delgada a media, plano paralela

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

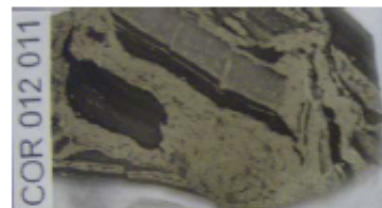
la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

no se observa con claridad, la roca permanece compacta

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: las partículas que conforman principalmente la roca no muestran una orientación aparente, tienen un tamaño promedio de 50µm, tiene una laminación marcada la cual es determinada por la coloración, así como por la variación de materia orgánica presente en las láminas. Se conforma principalmente por pirita, albita, moscovita, cuarzo y materia orgánica; todos ellos distribuidos a lo largo de las láminas. Láminas de 20 a 200µm

Rango de tamaños: el tamaño de granos promedio es de 1µm, la roca está mal calibrada

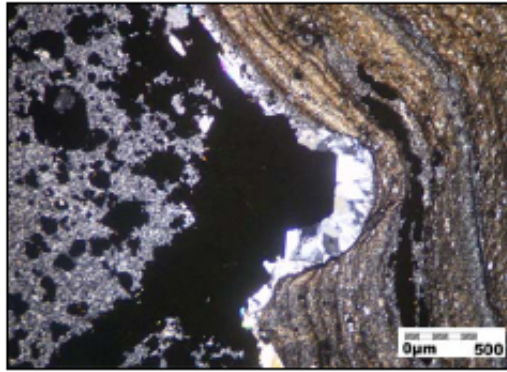
Selección: mala selección, inmadura texturalmente

Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: subesférico

GRAVA:	ARENA: 15%	LODO: 85%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 45µm	Arcilla: 50%	Limo: 45%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Menores a 5µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subesférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 10%	
Concavo - Convexo: 90%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
Entre las estructuras presentes, se observa principalmente una laminación plano paralela			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita de plagioclasa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Cuarzo: (17%) es uno de los principales constituyentes de la muestra, se observa a manera de granos subredondeados, semiesféricos, con contacto neto con plagioclasas y opacos			
Feldespatos:			
Sódico: (23%) albita como principal conformante de la matriz, se observa en forma de partículas subesféricas, subredondeados de tamaños menores a 10µm, estos tamaños varían según la laminación			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (20%) Tiene un tamaño promedio de fino, se encuentra en láminas constituyendo parte de la matriz, las partículas tienen forma alargada y subangular. Sólo se observan en la roca encajante.			
Opacos:			
Sulfuros: (30%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta diseminada por toda la sección, es común observar acumulaciones de este mineral. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de las partículas, así como por la descripción macroscópica			
CEMENTO			
(10%) micrítico, compuesto principalmente por materia orgánica amorfa			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: prácticamente nula, la roca es muy compacta			
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)			
Lodolita de plagioclasa			
CLASIFICACION			
Lodolita de plagioclasa de tamaño de grano muy fino, con mal calibrado, granos subredondeados y subesféricos, predomina la pirita (30%), así como la albita (23%), la moscovita (20%) y el cuarzo (17%), en menor medida se observa materia orgánica (10%). Texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, porosidad prácticamente nula.			

OBSERVACIONES



Microfotografía de luz plana analizada mostrando acumulación de material hidrotermal en un microplegamiento por propagación de falla. Aumento de objetivo de 5x



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR. 012 024	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR. 012 024	Origen:	Describo: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR. 012	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa

Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa con nódulos de pirita cuyas partículas van de 1 a 5mm. La matriz se compone de albita y arcilla.

Color: gris oliva claro (5Y 6/1)

Laminación: laminación determinada por estructuras augen que se han conservado de evaporitas albitizadas. No se observa orientación de los granos, la laminación es observada por variación de coloración

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca

Partición: no se observa

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: los granos que conforman la roca alcanzan tamaños muy finos, con un promedio de 8µm. La forma de las partículas es subsférica. Se observa un calibrado moderado. Laminación ondulosa determinada por antiguas estructuras evaporíticas, el espesor de estas láminas varía entre 50 y 100µm, las cuales son diferenciadas por variaciones en el color

Rango de tamaños: el tamaño promedio es de 8µm, muestra un calibrado moderado

Selección: moderada selección, la roca es submadura termalmente

Redondez promedio: subsférico

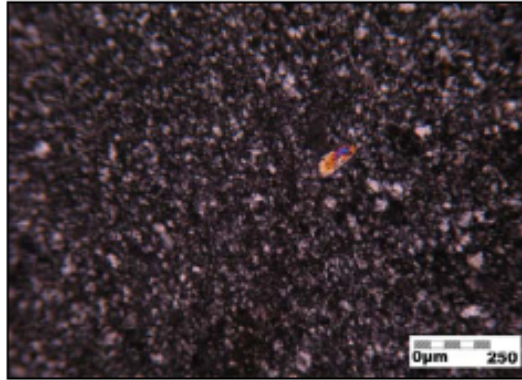
Esfericidad promedio: elongado

GRAVA:	ARENA: 20%	LODO: 80%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 80µm	Arcilla: 15%	Limo: 65%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 30µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subsférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 20%	
Concavo - Convexo: 80%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
La geometría de láminas es ondulada, heredada de estructuras augen, las láminas son compuestas, el espesor varía entre 50 y 100µm, la medida más alta es alcanzada en engrosamientos de las láminas, aquí se ubican las cantidades más altas de sulfuros.			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Arcillolita			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Feldespatos:			
Sódico: (85%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas. Este mineral se encuentra formando agregados masivos de individuos microcristalinos de tamaños menores a 3µm. Prácticamente toda la roca se compone por este mineral. Tiene un contacto cóncavo-convexo con minerales opacos			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (5%) Tiene un tamaño promedio de 1µm, se encuentra en láminas constituyendo parte de la matriz, los minerales tienen forma alargada y subangular. Clorita: (<1%) se presenta como alteración de los granos de moscovita, es muy poco común hallar estos minerales, algunas moscovitas están pasando por el proceso de cloritización			
Opacos:			
Sulfuros: (9%) se componen aparentemente por pirita, la cuar proviene de reducción de sulfatos de la materia orgánica. La identificación se realiza mediante el análisis de la forma de los granos, los cuales son prismáticos angulares, algunos alcanzan grandes dimensiones, hasta 3mm de diámetro			
CEMENTO			
(1%) compuesto principalmente por albita, la forma predominante es anhedral			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: prácticamente nula, no se observan fracturas			
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)			
Arcillolita de plagioclasa			

CLASIFICACION

Arcillolita de plagioclasa, de grano fino a muy fino, con calibrado moderado, granos subesféricos, elongados, plagioclasa predominante (85), se observa algo de mica moscovita conformando parte de la matriz de la roca (5%), algunos minerales opacos son observados (9%). Composicionalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, cemento silíceo (1%), porosidad nula.

OBSERVACIONES



Microfotografía de luz plana analizada mostrando el mineral clorita en una matriz conformada por plagioclasa, moscovita y sulfuros. Aumento de objetivo de 10x

**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES**

REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCION DELGADA

N° COR. 012 033	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueras	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
N° de campo: COR. 012 033	Origen:	Describo: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR. 012	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Brecha calcárea de color negro grisáceo (N2) y gris amarillento (5Y 7/2), tamaño de grano que va de arenisca media a muy fina. Esta altamente meteorizada

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: brecha compuesta por partículas subsféricas, en su mayoría carbonatos. El material cementante se conforma principalmente por material silíceo de un tamaño menor a 5µm, se observa también algo de cuarzo, moscovita, óxidos, pirita y material orgánico. La oxidación está íntimamente relacionada con la presencia de sulfuros. Alta porosidad

Selección:

% de granos del armazón: 40	Redondez promedio: subredondeado
% de matriz: 60	Esféricidad promedio: subsférico
Tamaño de grano promedio de la roca: 50µm	Contacto entre granos: flotante

MINERALES

Minerales principales:

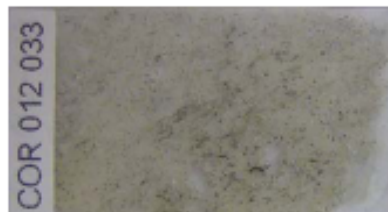
Carbonatos: (28%) grandes partículas de hasta 100 µm, se encuentran diseminados a lo largo de toda la sección. El contacto predominante entre ellos es neto, el contacto entre la matriz es flotante

Albita: (20%) es la principal constituyente de la matriz, con granos menores a 5µm, subredondeados y subsféricos. Con contacto flotante entre ellos

Cuarzo: (12%) constituye parte de la matriz con pequeños granos de tamaños menores a 5µm, estos cristales son subangulares y subsféricos.

Moscovita: (10%) las partículas de mica se observan diseminadas por toda la muestra en la matriz, se muestran como pequeños granos de casi 20µm, sin orientación aparente

Opacos: (8%) aparentemente se trata de pirita, basándose en los análisis macroscópicos y en la forma prismática de los mismos. Se presentan diseminados en toda la muestra



Minerales de alteración:

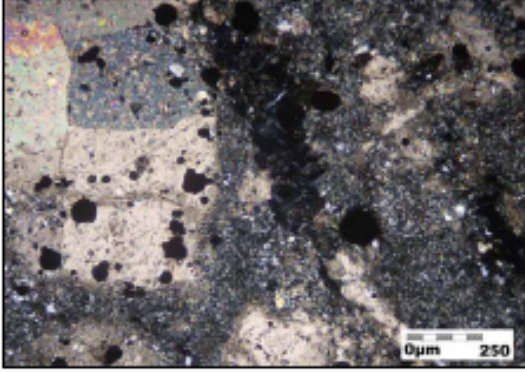
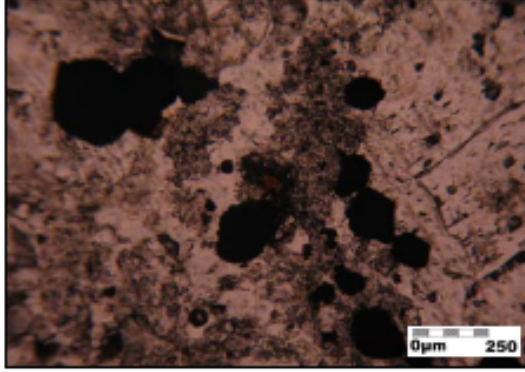
Óxidos: (3%) se presentan como alteración supergénica de sulfuros, con los cuales se presenta en contacto neto - ondulado.

Tipo de cemento:

Silíceo

Tipo de Matriz:

Silíceo con materia orgánica (60%)

NOMBRE COMPOSICIONAL:	
Brecha calcarea	
ESTRUCTURAS	
Brechoide	
DESCRIPCION DE LA ROCA	
Brecha calcarea compuesta fundamentalmente por particulas angulares de carbonatos y sulfuros en una matriz de albita, moscovita y sulfuros, los cuales atraviezan un proceso de oxidación visible en los bordes de dichos minerales.	
OBSERVACIONES	
a	b
	
<p>a. Microfotografía de luz plana analizada mostrando la estructura brechoide así como equedades comunes en la roca. Aumento de proceso de oxidación de sulfuros. Aumento de objetivo de 10x</p> <p>b. Microfotografía de luz plana no analizada donde se muestra el brechoide así como equedades comunes en la roca. Aumento de proceso de oxidación de sulfuros. Aumento de objetivo de 10x</p>	



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCIÓN FLUIDO - ROCA EN EL CINTURÓN
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACIÓN DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTÉRMICOS
REGISTRO PARA DESCRIPCIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS (>50% DE
TERRÍGENOS) EN SECCIÓN DELGADA**

Nº COR 012 035	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR 012 035	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 012	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

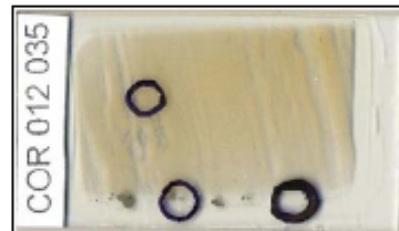
Tipo de roca: arenisca lodosa de plagioclasa con vena de dolomita, albita y esmeralda

Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa con nódulos de pirla, la vena observada está compuesta principalmente por cristales de dolomita, albita y esmeralda. Cuenta con una matriz de albita y arcilla. La plagioclasa observada en la vena es un evento hidrotermal posterior a la albitización de la roca caja. Es común encontrar estructuras de tipo augen.

Color: vena blanca (N9). Roca caja con bandas de colores gris medio oscuro (N4) y gris oliva claro (5Y 6/1)

Laminación: laminación delgada subparalela. Estructuras augen que se han conservado de evaporitas albitizadas. No se observa orientación de los granos, la laminación es determinada por variación de coloración. La vena observada es paralela a la laminación.

Grado de bioturbación: no se observa.
Grado de meteorización: la muestra consiste de una roca fresca.
Partición: la única fractura observada es rellenada por la vena manteniendo la compactación de la roca.
Reacción al HCl: Si: No: X
Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANÁLISIS MICROSCÓPICO

TEXTURA

Homogeneidad: los granos que conforman la roca alcanzan tamaños muy finos, menores a 5µm. La forma de las partículas es un poco elongada. Se observa un moderado calibrado. Laminación ondulosa determinada por antiguas estructuras evaporíticas, el espesor de dichas láminas va de 50 a 600µm.

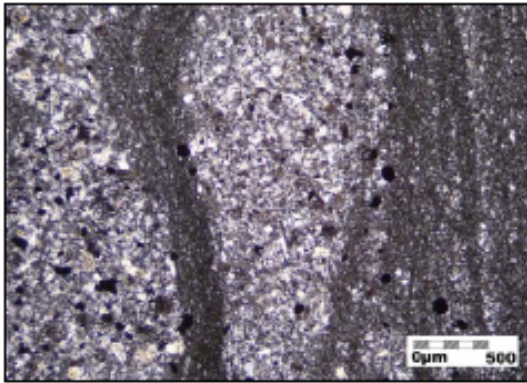
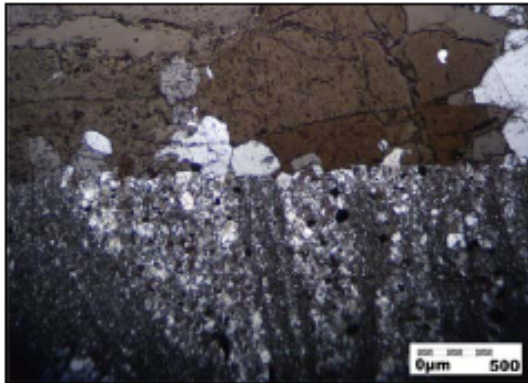
Rango de tamaños: el tamaño de los granos varía entre 50 y 100µm, muestra un calibrado moderado

Selección: moderada selección, connotación de una roca submadura termalmente

Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: elongado

GRAVA:	ARENA: 55%	LODO: 45%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 80µm	Arcilla: 5%	Limo: 40%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 40µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subsférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 10%	
Concavo - Convexo: 90%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
La geometría de láminas es ondulada, heredada de estructuras augen, las láminas son compuestas, el espesor varía entre 50 y 600µm, la medida más alta es alcanzada en engrosamientos de las láminas, aquí se ubican las cantidades más altas de sulfuros. La determinación de láminas se hace por variaciones de granulación. Como estructura principal se encuentra una vena conformada por cristales de carbonatos y albita, paralela a la estratificación.			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita arenosa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Feldespatos:			
Sódico: (82%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas. Este mineral se encuentra formando agregados masivos de individuos microcristalinos de tamaños menores a 3µm. Se presentan en la roca encajante y en venas. La forma de los granos en la matriz es subsférica angular. Los cristales observados en la vena están muy bien formados que van desde 100µm, cristalizan de los bordes al interior.			
Berilo:			
Esmeralda: (5%) grandes cristales ubicados en bordes de venas, de cristalización posterior a la de albitas hidrotermales. Se presentan cristales desde 200µm, tienen contacto neto con plagioclasas.			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (3%) Tiene un tamaño promedio de 2 a 3µm, se encuentra en láminas constituyendo parte de la matriz, estas partículas tienen forma alargada y subangular. Sólo se observan en la roca encajante. Clorita: (<1%) se presenta como alteración de la moscovita.			
Opacos:			
Sulfuros: (10%) se componen aparentemente por piritita, la cual proviene de reducción de sulfatos de la materia orgánica. La identificación se realiza mediante el análisis de la forma de las partículas, las cuales son prismáticas angulares. Se forman tanto en la matriz como en la vena, aparentemente proveniente de la roca caja.			
CEMENTO			
(1%) compuesto principalmente por albita, la forma predominante es anhedral			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: prácticamente nula, pues las zonas fracturadas son rellenas por venas de dolomita, albita y esmeralda			

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)	
Lodolita arenosa	
CLASIFICACION	
Lodolita arenosa, de grano fino, con mal calibrado, granos subangulares a elongados, plagioclasa predominante en roca caja y venas (82%), grandes cristales de esmeralda (5%), algunas micas se presentan en la roca encajante (3%), sulfuros en roca caja y vena, aparentemente provenientes de la roca caja (10%). Composicionalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, cemento silíceo (1%), porosidad prácticamente nula.	
OBSERVACIONES	
a	b
	
a. Microfotografía de luz plana analizada mostrando la laminación tipo augen presentada por la roca. Aumento de objetivo de 5x	b. Microfotografía de luz plana analizada donde se observa el contacto entre la vena y la roca encajante, notándose que la dirección de la vena rompe la laminación. Esta vena se compone por albita y esmeralda. Aumento de objetivo de 5x



**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. 012 036	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR. 012 036	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR. 012 036	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena blanca (N9) conformada por calcita blanca, calcita rosada, dolomita, plagioclasa y pirita. Los cristales de carbonatos y plagioclasa se observan en agregados masivos. Se alcanza a observar algo de roca caja, compuesta por plagioclasa y reemplazamientos de pirita en láminas de antiguas estructuras augen. Las venas se presentan paralelas y no paralelas a la laminación.

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: la muestra se compone por venas de calcita, dolomita, plagioclasa y pirita. Los minerales que conforman las venas tienen formas subhedrales. Los cristales de calcita y dolomitas han sido en gran parte alterados a albita. Se observan minerales opacos, aparentemente sulfuros por las formas prismáticas observadas. La roca encajante se compone por albita y sulfuros organizados en láminas de antiguas estructuras augen con tamaños de grano que van de 1 a 20 µm. Las láminas se dan por variación de granulación y tienen espesores que van de 5 a 25 µm. Las venas cuyo contenido es esencialmente plagioclasa son posteriores a las venas de carbonatos, esas mismas se dividen en paralelas y no paralelas a la laminación; las paralelas a la estratificación son más recientes que las otras.

Selección: la roca caja está moderadamente calibrada

% de granos del armazon: 60	Redondez promedio: subredondeada
% de matriz: 40	Esféricidad promedio: subelongada
Tamaño de grano promedio de la roca: arenisca muy fina a lodo	Contacto entre granos: longitudinal a cóncavo - convexo

MINERALES

Minerales principales:

Carbonatos: (11%) conforman la vena, aunque muchos de ellos han sido reemplazados por plagioclasa al sufrir el proceso de albitización, el contacto de grano con las albitas es cóncavo - convexo y longitudinal con los sulfuros

Sulfuros: (4%) se presentan como cristales opacos de formas prismáticas diseminados a lo largo de la vena, provenientes de la roca caja



Minerales de alteración:

Feldespatosódico: (85%) plagioclasa que reemplaza una gran cantidad de carbonatos, se encuentra a lo largo de toda la vena

NOMBRE COMPOSICIONAL:

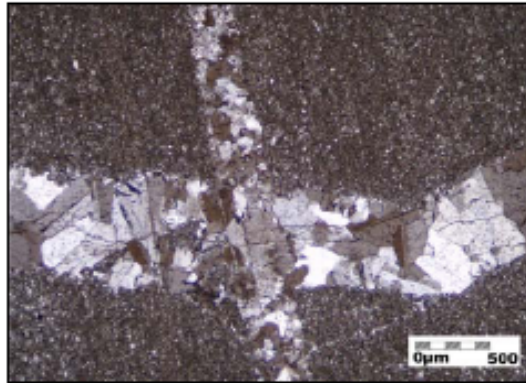
Roca de carbonatos, albita y sulfuros

ESTRUCTURAS

Se observan débilmente estructuras augen en la roca caja conformadas por plagioclasa y piritita a lo largo de láminas. Las venas que intruyen la roca caja pueden ser o no paralelas a la laminación. Los agregados presentes en las venas son masivos

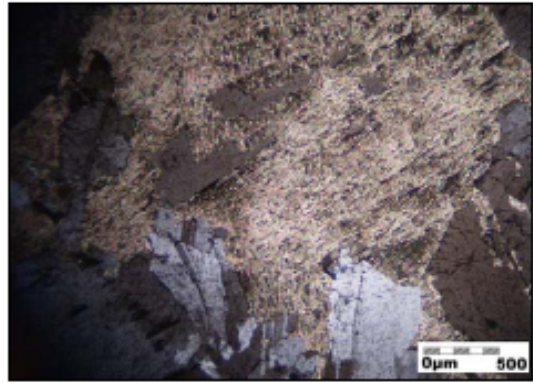
OBSERVACIONES

a



a. Microfotografía de luz plana analizada mostrando la intersección entre dos venas formadas por el mismo fluido hidrotermal, estas venas se ubican en una roca compuesta por plagioclasa mayoritariamente. Aumento de objetivo de 5x

b



b. Microfotografía de luz plana analizada donde se presenta la mineralogía propia de la vena, la cual consiste de albita, carbonatos y sulfuros. Aumento de objetivo de 5x



ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA

Nº COR. 012 038	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Píntas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR. 012 038	Origen:	Describió: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR. 012	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: arenisca lodosa de plagioclasa con vena de dolomita y pirita

Textura - Composición: textura areno lodosa conformada principalmente por plagioclasa, la vena observada está compuesta principalmente por cristales de dolomita y pirita. Cuenta con una matriz de albita y arcilla. Se presenta una zona que reacciona al HCl con una pequeña aparición de esmeralda.

Color: láminas de color amarillo grisáceo (5Y 8/4) y gris medio (N5). Vena de dolomita y pirita de color blanco (N9)

Laminación: laminar delgada plano paralela continua. Estructura augen con reemplazamiento de partículas de calcopirita alargados de 4mm. Vena con cristales de dolomita diminutos y cristales de calcopirita de 1 a 4mm.

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

no se presentan muchas fracturas. La roca se mantiene competente

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: esta muestra tiene un tamaño de grano fino a muy fino. la armazón se compone por granos bien formados de pirita en acumulaciones a lo largo de la laminación. La matriz contiene principalmente plagioclasa, cuarzo y moscovita. La muestra tiene una mala selección. La laminación observada es de tipo augen, propio de evaporitas, la cual ha sido mantenida luego de un evento de albitización, estas láminas tienen espesor promedio de 100µm, generadas por variaciones granulométricas y de mineralogía. No hay orientación aparente.

Rango de tamaños: el tamaño promedio es menor a 10µm, muestra un mal calibrado

Selección: moderada selección, connotación de una roca inmadura texturalmente

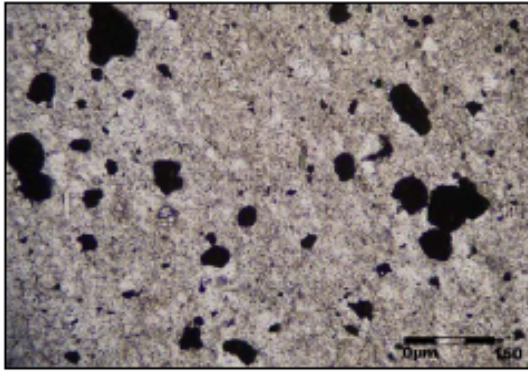
Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: subelongado

GRAVA:	ARENA: 25%	LODO: 75%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 80µm	Arcilla: 15%	Limo: 60%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 30µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subsférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 15%	
Concavo - Convexo: 85%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
La laminación observada es de tipo augen de rocas evaporíticas, la cual ha sido mantenida luego de un evento de albitización. Unas láminas se componen por granos opacos (pirita) bien formados, las otras láminas se componen principalmente por albita, cuarzo y moscovita. No se presentan otras estructuras.			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1964)			
Lodolita arenosa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Cuarzo: (5%) partículas de cuarzo en la matriz, el tamaño de grano medio es de 5 a 10µm. Está bien distribuido a lo largo de toda la sección.			
Feldespatos:			
Sódico: (51%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas. El tamaño de grano medio de estos granos es menor a 1µm, se encuentra distribuido regularmente en toda la sección, a excepción de las láminas de minerales opacos. Se presenta en contacto longitudinal con los sulfuros de las láminas y en contacto cóncavo - convexo con los demás minerales.			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (8%) se observa como material de láminas acompañando a la albita, de tamaño muy pequeño (menores aún). Aparece con la albita en contacto cóncavo - convexo. Se muestran algo orientadas. Clorita: (<1%) se puede afirmar que algunas micas están sufriendo un proceso de clorización, sin embargo este no alcanza el 1% del total de la roca.			
Opacos:			
Sulfuros: (36%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta en acumulaciones producidas por la reducción de sulfatos de materia orgánica en bolsas características de estructuras augen. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de los cristales, los cuales se encuentran como prismas perfectos de bordes bien definidos, lo cual ha sido corroborado macroscópicamente y mediante análisis de difracción de rayos x.			
CEMENTO			
(1%) silíceo, compuesto fundamentalmente por albita			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: prácticamente nula, la roca permanece compacta			
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)			
Lodolita de plagioclasa			
CLASIFICACION			
Lodolita arenosa de plagioclasa. Grano fino a muy fino, con mal calibrado, granos subangulares y subelongados. Predomina la plagioclasa (51%), cuarzo (5%), algo de micas (8%) y opacos (36%). Típicamente submadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal. Contiene un 1% de cemento, conformado principalmente por albita.			

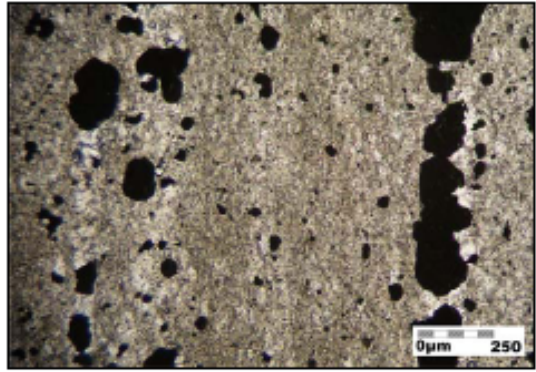
OBSERVACIONES

a



a. Microfotografía de luz plana no analizada donde se pueden observar dos partículas de clorita, una alargada de aproximadamente $4\mu\text{m}$ y otra redondeada de aproximadamente $20\mu\text{m}$. Aumento de objetivo de 40x

b



b. Microfotografía de luz plana no analizada mostrando la laminación origen propia de la roca. Se observan las grandes acumulaciones de sulfuros en láminas. Aumento de objetivo de 10x



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR. 012 042	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR. 012 042	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR. 012	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita con sulfuros. Laminación delgada plano paralela. Reemplazamientos de pirita en láminas y disoluciones

Textura - Composición: textura lodosa conformada principalmente por moscovita, cuarzo, albita, carbonatos, pirita y materia orgánica.

Color: gris oscuro (N3)

Laminación: delgada, plano paralela

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

no se observa con claridad, la roca permanece compacta

Reacción al HCl: Si: X No:

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: esta roca se conforma por pequeños granos de tamaños menores a 5µm, tiene una laminación marcada la cual es determinada por la coloración, probablemente debida a la variación de materia orgánica presente en las láminas. Se conforma principalmente por moscovita, cuarzo, albita, carbonatos, pirita y materia orgánica; todos ellos distribuidos a lo largo de las láminas. Láminas de 100µm

Rango de tamaños: el tamaño de grano es menor a 5µm, la roca está mal calibrada

Selección: mala selección, inmadura texturalmente

Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: subsférico

GRAVA:	ARENA: 1%	LODO: 99%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 50µm	Arcilla: 50%	Limo: 45%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Menores a 5µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subesférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 5%	
Concavo - Convexo: 95%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
Entre las estructuras presentes, se observa principalmente una laminación plano paralela			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita de plagioclasa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Cuarzo: (22%) es uno de los principales constituyentes de la muestra, se observa a manera de granos subredondeados, semiesféricos, con contacto neto con plagioclasas y opacos.			
Feldespatos:			
Sódico: (17%) albita como principal conformante de la matriz, se observa en forma de granos subesféricos, subredondeados de tamaños menores a 5µm.			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (28%) Tiene un tamaño promedio menor a 5µm, se encuentra en láminas constituyendo parte de la matriz, las partículas tienen forma alargada y subangular.			
Opacos:			
Sulfuros: (5%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta diseminada por toda la sección, es común observar acumulaciones de este mineral. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de las partículas, así como por la descripción macroscópica.			
ORTOQUIMICOS			
Dolomita: (5%) se muestra en pequeñas partículas, su tamaño no supera los 5 µm, su forma es subesférica, subangular.			
CEMENTO			
(23%) compuesto principalmente por materia orgánica amorfa			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: se observan muchas fracturas sin rellenar			

NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)
Lodolita de plagioclasa
CLASIFICACION
Lodolita de plagioclasa de tamaño de grano muy fino, con mal calibrado, granos subredondeados y subesféricos, predomina la moscovita arcillosa (28%), así como el cuarzo (22%), la albita (17%), la dolomita (5%) y los sulfuros (5%), también se observa materia orgánica (23%). Texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, se presentan muchas fracturas sin rellenar.
OBSERVACIONES
 <p>Microfotografía de luz plana analizada donde se presentan la laminación plano paralela, así como fracturas sin rellenar con la misma dirección de la laminación. Aumento de objetivo de 5x</p>



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR. 012 045	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR 012 045	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 012	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita con sulfuros de color gris oscuro (N4) y óxidos marrón moderado (5YR 4/4). Laminación delgada ondulada paralela. Reemplazamientos de pirita en láminas. Alta porosidad.

Textura - Composición: textura lodosa conformada principalmente por albita, cuarzo, moscovita, pirita y materia orgánica.

Color: gris oscuro (N4) y óxidos marrón moderado (5YR 4/4)

Laminación: delgada ondulada paralela

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

no se observa con claridad, la roca permanece compacta

Reaccion al HCl: Si: X No:

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: esta roca se conforma por pequeños granos de tamaños menores a 5µm, tiene una laminación ondulada paralela marcada la cual es determinada por la coloración, probablemente debida a la variación de materia orgánica presente en las láminas. Se conforma principalmente por albita, cuarzo, moscovita, pirita y materia orgánica; todos ellos distribuidos a lo largo de las láminas. Láminas de 100 a 800µm

Rango de tamaños: el tamaño de grano es menor a 5µm, la roca está mal calibrada

Selección: mala selección, inmadura texturalmente

Redondez promedio: subangular

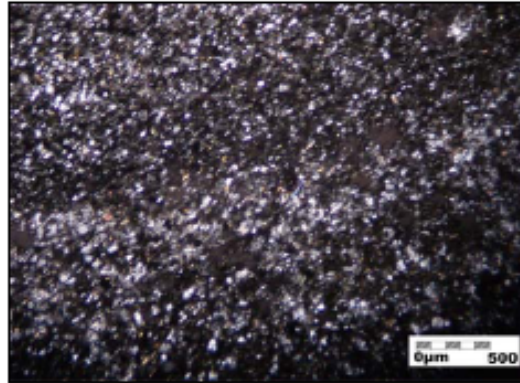
Esfericidad promedio: subsférico

GRAVA:	ARENA: 1%	LODO: 99%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 50µm	Arcilla: 50%	Limo: 45%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Menores a 5µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subesférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 5%	
Concavo - Convexo: 95%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
Entre las estructuras presentes, se observa principalmente una laminación plano paralela			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita de plagioclasa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Cuarzo: (25%) es uno de los principales constituyentes de la muestra, se observa a manera de granos subredondeados, semiesféricos, con contacto neto con plagioclasas y opacos.			
Feldespatos:			
Sódico: (34%) albita como principal conformante de la matriz, se observa en forma de granos subesféricos, subredondeados de tamaños menores a 5µm.			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (6%) Tiene un tamaño promedio menor a 5µm, se encuentra en láminas constituyendo parte de la matriz, los granos tienen forma alargada y subangular.			
Opacos:			
Sulfuros: (8%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta diseminada por toda la sección, es común observar acumulaciones de este mineral. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de las partículas, así como por la descripción macroscópica.			
CEMENTO			
(25%) compuesto principalmente por materia orgánica amorfa			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: se observan muchas fracturas sin rellenar			
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)			
Lodolita de plagioclasa			

CLASIFICACION

Lodolita de plagioclasa de tamaño de grano muy fino, con mal calibrado, granos subredondeados y subsféricos, predomina la albita (34%), el cuarzo (25%), la moscovita (6%) y los sulfuros (8%), también se observa materia orgánica (25%). Texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, se presentan muchas fracturas sin rellenar, lo que alcanza un 3% de la roca.

OBSERVACIONES



Microfotografía de luz plana analizada donde se muestra la apariencia típica de la roca, así como su enriquecimiento en materia orgánica. Aumento de objetivo de 5x



**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 012 048	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.861 Y: 1'077.894
Nº de campo: COR 012 048	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda:
Estación: COR 012	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de color blanco (N9), compuesta fundamentalmente por albita y dolomita. Los cristales de albita y dolomita presentan un agregado masivo. Se observa un cristal de color rosa que podría ser de apatito. Cristales de esmeralda de buena calidad bien formados son observados en la vena.

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: vena compuesta por dolomita y plagioclasa con algo de roca caja compuesta fundamentalmente por albita y moscovita, también se observa algo de porosidad (2%). La roca encajante cuenta con estructuras augen de antiguas evaporitas que han sufrido eventos de albitización, el tamaño de grano es menor a 10 µm. Los tamaños de los cristales de plagioclasas van desde 40 hasta 300µm, las dolomitas alcanzan tamaños de 1600µm y a su vez los berilos tamaños de 2000µm.

MINERALES

Minerales principales:

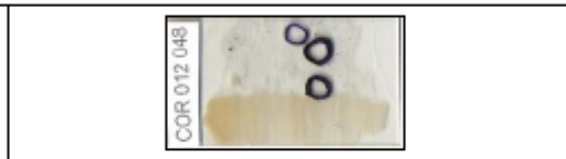
Carbonatos: (7%) cristales de dolomita de 1600µm, con los cristales de albita se encuentran en contacto neto a cóncavo - convexo. No se observa ningún cristal en contacto con esmeraldas.

Berilo: (5%) se encuentran cristales bien desarrollados de hasta 2000µm, se presentan en contacto neto con las albitas de los bordes.

Feldespató sódico: (88%) cristales de albita de tipo hidrotermal que están con los carbonatos, la cantidad de plagioclasa en la vena no es constante, aumenta al acercarse a la roca caja, de lo que se sugiere que precipita primero.

Tipo de cemento:

Calcáreo



Minerales de alteración:

Tipo de Matriz:

NOMBRE COMPOSICIONAL:

Vena de albita, dolomita y esmeralda

ESTRUCTURAS

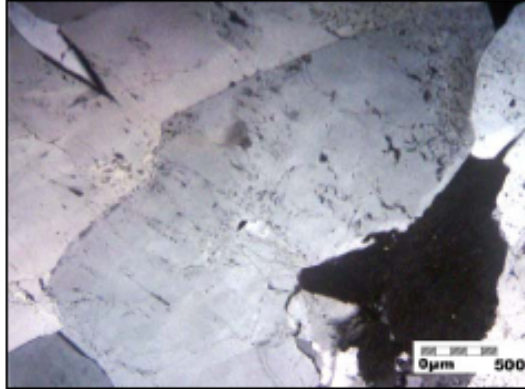
Vena masiva de carbonatos, albita y esmeralda, no hay estructuras observables

DESCRIPCION DE LA ROCA

Vena masiva conformada por dolomita (7%), albita hidrotermal (88%) y berilos (5%). El orden de cristalización corresponde a: Albita - Carbonatos - Esmeralda

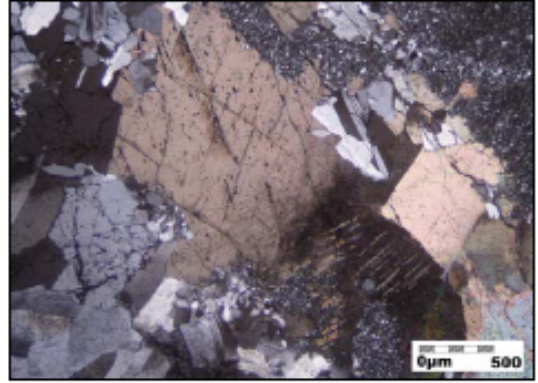
OBSERVACIONES

a



a. Microfotografía de luz plana analizada mostrando el contacto entre fenocristales de plagioclasa y esmeralda (esta última se encuentra en el centro de la fotografía). Aumento de objetivo de 5x

b



b. Microfotografía de luz plana analizada donde se observan cristales de dolomita y de albita. Aumento de objetivo de 5x



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

N° COR 013 001	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
N° de campo: COR 013 001	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR 013	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa con vena de pirita

Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa con módulos de pirita, vena de dolomita paralela a la laminación

Color: vena blanco (N9) a gris claro (N7). Roca gris oliva claro 5Y 6/1. La muestra no muestra meteorización

Laminación: laminación delgada subparalela. Estructuras augen que se han conservado de evaporitas albitizadas. No se observa orientación de los granos, la laminación es determinada por variación de granulación

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

las fracturas observadas son contundentes, es aquí donde se ubican las venas. La roca se mantiene competente

Reaccion al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: la roca sostiene una estructura augen de evaporitas muy marcada, la cual a sufrido un proceso de albitización. La roca encajante tiene partículas de 5 a 50 μ , todos ellos subangulares, con mal calibrado. La vena tiene cristales de minerales opacos de 100 a 400 μ m. Los planos más débiles corresponden a los que presentan las acumulaciones de sulfuros, así como en fallas sintectónicas, es allí donde se ubican las venas. Es común encontrar otro evento de fracturamiento el cual no ha sido rellenado.

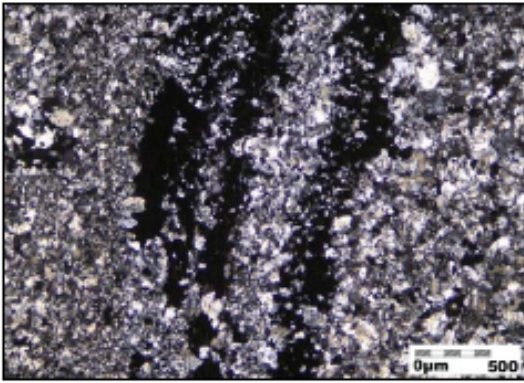
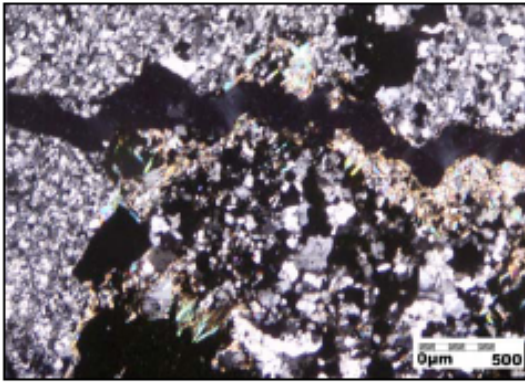
Rango de tamaños: el tamaño promedio es de 20 μ m, muestra un calibrado moderado

Selección: moderada selección, connotación de una roca submadura termalmente

Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: subsférico

GRAVA:	ARENA: 35%	LODO: 65%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 50µm	Arcilla: 15%	Limo: 60%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 20µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subesférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 35%	
Concavo - Convexo: 65%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
La laminación observada en la roca caja corresponde a estructuras augen, las cuales no conservan la mineralogía original. Se observan venas que rellenan planos de debilidad como son acumulaciones de pirita por reducción de sulfatos de materia orgánica y fallas sintectónicas. Se observa también agrietamientos menores, estos no han sido rellenos. Las láminas son diferenciadas composicionalmente, unas son conformadas por minerales opacos de 20 a 50µm y las otras por albitas de 15µm de diámetro.			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita arenosa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Cuarzo: (10%) se encuentran pequeños granos de este mineral, de diámetro menor a 10 µm. Están bien distribuidos en toda la roca, se encuentran en toda la matriz. Estos granos son subangulares, subesféricos.			
Feldespatos:			
Sódico: (43%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas, en los bordes de las venas aparece como material producto de hidrotermalismo. Los tamaños de las partículas de este mineral varían mucho puesto que se presenta reemplazando carbonatos y minerales evaporíticos, el rango de tamaños varía entre 5 y 60µm. El contacto con otros minerales es cóncavo - convexo a longitudinal.			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (37%) se observa como material de láminas acompañando a la albita, de tamaño muy pequeño (menores a 5µm). Se presenta únicamente en la roca caja, donde aparece con la albita en contacto cóncavo - convexo. Se muestran algo orientadas. También es posible hallarlas cerca de los lugares por donde han pasado fluidos hidrotermales, allí alcanzan dimensiones de 20 µm, posiblemente se trata de una recristalización, no están orientadas.			
Opacos:			
Sulfuros: (7%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta en acumulaciones producidas por la reducción de sulfatos de materia orgánica en bolsas características de estructuras augen, así como en venas compuestas principalmente por este mineral. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de los cristales, los cuales se encuentran como prismas perfectos de bordes bien definidos.			
CEMENTO			
(1%) compuesto principalmente por albita, la forma predominante es anhedral			
ORTOQUIMICOS			
Dolomita: (3%) se presenta en venas y rara vez en la roca encajante. Cuando se observa en la roca caja, su tamaño no supera los 5 µm, su forma es subesférica, subangular; se presenta una variación composicional, aumentando a medida en que se acerca a las venas y disminuyendo cuando se aleja de ellas.			

POROSIDAD	
Primaria: no se observa	
Secundaria: las fracturas generadas en una primera etapa han sido rellenadas por pirita y albita principalmente, existe otra génesis de fracturas que no han sido rellenadas.	
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)	
Lodolita de plagioclasa	
CLASIFICACION	
Lodolita arenosa de plagioclasa con venas de carbonatos y sulfuros. Grano fino, con mal calibrado, granos subangulares y subsféricos. Predomina la plagioclasa (43%), algo de mica moscovita (37%), cuarzo (10%), opacos (%) y carbonatos de vena que constituyen el 3% del total de la roca. Termalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal. Contiene un 1% de cemento, conformado por albita.	
OBSERVACIONES	
a	b
	
a. Microfotografía de luz plana analizada donde se pueden ver acumulaciones de sulfuros a lo largo de la laminación tipo augen. Aumento de objetivo de 5x	b. Microfotografía de luz plana analizada mostrando fracturas sin rellenar, así como agujas de moscovita asociadas a sulfuros y oquedades. Aumento de objetivo de 5x



ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA

N° COR 013 002	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Rcolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
N° de campo: COR 013 002	Origen:	Describió: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyaca	Vereda: La Jagua
Estación: COR 013	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita con sulfuros. Laminación delgada plano paralela. Reemplazamientos de pirita en láminas

Textura - Composición: textura lodosa conformada principalmente por materia orgánica, albita, cuarzo, moscovita y pirita

Color: gris medio oscuro (N4)

Laminación: delgada, plano paralela

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

no se observa con claridad, la roca permanece compacta

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: los granos que conforman principalmente la roca tienen tamaños entre 5 y 30µm, tiene una laminación marcada la cual es determinada por la coloración, así como lo que aparenta ser la variación de materia orgánica presente en las láminas. Se conforma principalmente por plagioclasa, cuarzo, moscovita, pirita y materia orgánica; todos ellos distribuidos a lo largo de las láminas. Láminas de 50 a 100µm

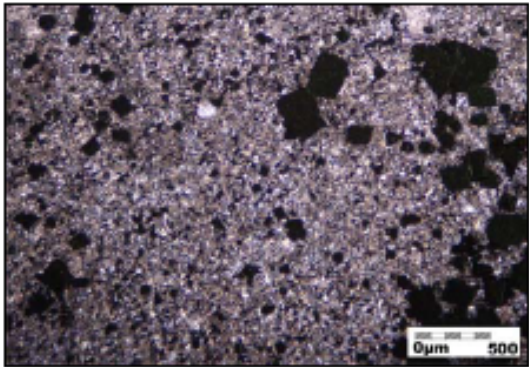
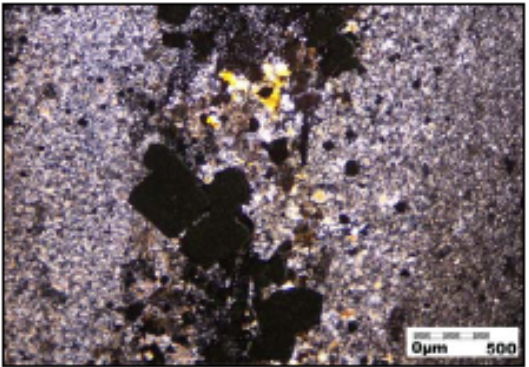
Rango de tamaños: el tamaño de grano es de 5 a 30µm, la roca está mal calibrada

Selección: mala selección, inmadura termalmente

Redondez promedio: subangular

Esféricidad promedio: subsférico

GRAVA:	ARENA: 5%	LODO: 95%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 50µm	Arcilla: 50%	Limo: 45%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Menores a 5µm	
Esféricidad:	Esféricidad: subsférica		

CONTACTO ENTRE GRANOS		
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 10%
Concavo - Convexo: 90%	Saturado:	
ESTRUCTURAS		
Entre las estructuras presentes, se observa principalmente una laminación plano paralela		
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)		
Lodolita de plagioclasa		
COMPOSICION		
TERRIGENOS		
Cuarzo: (18%) es uno de los principales constituyentes de la muestra, se observa a manera de partículas subredondeadas, semiesféricas, con contacto neto con plagioclasas y opacos		
Feldespatos:		
Sódico: (38%) albíta como principal conformante de la matriz, se observa en formas de granos subesféricos, subredondeados de tamaños menores a 10µm, estos tamaños varían según la laminación		
Micas:		
Moscovita arcillosa: (25%) Tiene un tamaño promedio de 3µm, se encuentra en lamina constituyendo parte de la matriz, las partículas tienen forma alargada y subangular.		
Opacos:		
Sulfuros: (10%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta diseminada por toda la sección, es común observar acumulaciones de este mineral. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de las partículas, así como por la descripción macroscópica. Óxidos: (1%) constituyen una alteración supergénica de las partículas de sulfuros, se muestran en forma de manchas eurojeadas a los bordes de los cristales		
CEMENTO		
(8%) compuesto principalmente por materia orgánica amorfa		
POROSIDAD		
Primaria: no se observa		
Secundaria: prácticamente nula, la roca es muy compacta		
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)		
Lodolita de plagioclasa		
CLASIFICACION		
Lodolita de plagioclasa de tamaño de grano muy fino, con mal calibrado, granos subredondeados y subesféricos, predomina la albíta (38%), así como el cuarzo (18%), la moscovita (25%) y los sulfuros (11%), en menor medida se observa materia orgánica amorfa (8%). Texturalmente inmadura, granos con contacto concavo - convexo a longitudinal, porosidad prácticamente nula.		
OBSERVACIONES		
a	b	
		
a. Microfotografía de luz plana analizada mostrando la apariencia general de la roca, se muestran las grandes acumulaciones de sulfuros. Aumento de objetivo de 5x	b. Microfotografía de luz plana analizada donde se presenta el proceso de oxidación de sulfuros en forma de manchas amarillentas a rojizas en los bordes de granos. Aumento de objetivo de 5x	



**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 013 003	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR 013 003	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR 013	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:


DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de color blanco (N9), compuesta fundamentalmente por dolomita, albita y pirita. Los cristales de albita y dolomita presentan un agregado masivo; las piritas se observan en cristales de tamaños menores a 1mm. La roca encajante de esta vena es una lodolita arenosa con conservación de estructuras augen de rocas evaporíticas, se compone principalmente por albita (35%), cuarzo (8%), moscovita (5%) y pirita (42%). Las venas son introducidas en los lugares más frágiles como en las acumulaciones de pirita en la laminación augen.

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: vena compuesta por dolomita, plagioclasa y sulfuros con algo de cemento calcáreo; se puede observar algo de la roca que encaja la vena, la cual es una roca con antiguas estructuras evaporíticas, compuesta principalmente por plagioclasa y sulfuros. El rango de tamaños en la roca caja va de 5 a 400µm, y en la vena va de 60 a más de 2000µm. La pirita observada en venas parece ser relicta de la roca caja, aparentemente no viene con el fluido hidrotermal.

MINERALES

Minerales principales:	
Dolomita: (59%) cristales de dolomita que se encuentran en contacto neto a cóncavo - convexo con albitas. El contacto observado con sulfuros es de tipo neto a longitudinal. Algunos cristales se encuentran incluidos en minerales opacos.	
Feldespató sódico: (36%) cristales de albita que se ubican en los bordes de venas. Aparentemente se trata del primer mineral en precipitar.	
Opacos: (5%) cristales opacos amorfos, aparentemente sulfuros según la descripción macroscópica y la difracción de rayos x. Estos cristales parecen provenir de la roca caja.	Minerales de alteración:
Tipo de cemento: Calcáreo	Tipo de Matriz:

NOMBRE COMPOSICIONAL:

Vena de dolomita, albita y sulfuros

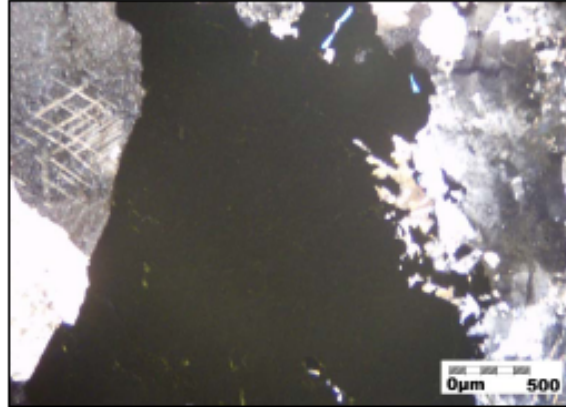
ESTRUCTURAS

Vena masiva de dolomita, albita y sulfuros, no hay estructuras observables

DESCRIPCION DE LA ROCA

Vena masiva conformada por dolomita (59%), albita hidrotermal (36%) y minerales opacos, aparentemente sulfuros (5%). El orden de cristalización corresponde a: Albita - Dolomita - Pirita

OBSERVACIONES



Microfotografía de luz plana analizada donde se observan sulfuros provenientes de la roca encajante en una vena de albita, dolomita y pirita. Aumento de objetivo de 5x



ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES

REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA

Nº COR. 013 004A	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR 013 004A	Origen:	Describió: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivó
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR 013	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa con vena de albita, sulfuros y ocasionalmente esmeralda

Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa con nódulos de pirita y moscovita, la vena observada es compuesta principalmente por cristales de albita y sulfuros, también se encuentran fenocristales de berilo; la roca caja también es atravesada por una vena de pirita que forma parte del mismo evento hidrotermal que forma las otras venas. Cuenta con una matriz de albita y arcilla.

Color: vena blanco (N9). Roca gris oliva claro (5Y 6/1). La muestra está completamente fresca

Laminación: laminación delgada subparalela con venas de albita y sulfuros. Estructuras augen que se han conservado de evaporitas albitizadas. No se observa orientación de los granos, la laminación es determinada por variación mineralógica; son observados dos niveles bien diferenciados: uno rico en moscovita y otro empobrecido en este mineral.

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

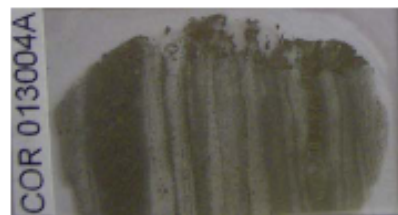
la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

las fracturas observadas son contiguas, es aquí donde se ubican las venas. La roca se mantiene competente.

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: esta muestra está marcada por la presencia de venas concordantes y discordantes con la laminación. La roca caja mantiene una estructura augen bien marcada, mas los componentes de la misma ya no son evaporíticos pues se ha sufrido un proceso de albitización. La roca encajante tiene granos de 5 a 70µ, todos ellos subangulares, con mal calibrado. La vena tiene cristales de 200 a 1000µ. Los planos débiles corresponden a los que presentan las acumulaciones de sulfuros, así como en fallas sintectónicas, es allí donde se ubican las venas. Las venas paralelas a la laminación se reducen a venas de pirita fibrosa, son las venas que cortan la laminación las que contienen mineralizaciones importantes de albita y esmeralda

Rango de tamaños: el tamaño promedio es de 10µm, muestra un calibrado moderado

Selección: moderada selección, connotación de una roca submadura termalmente

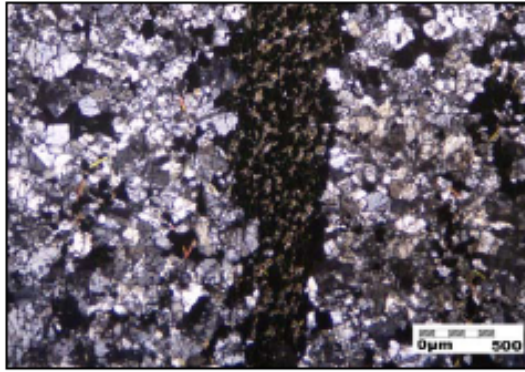
Redondez promedio: subangular

Esféricidad promedio: subsférico

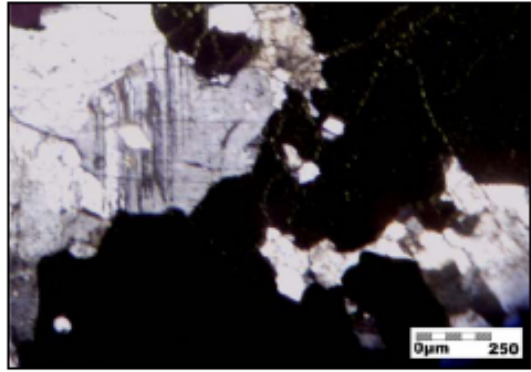
GRAVA:	ARENA: 40%	LODO: 60%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 50µm	Arcilla: 15%	Limo: 60%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 30µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subsférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 20%	
Concavo - Convexo: 80%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
<p>La laminación observada en la roca caja corresponde a estructuras augen, las cuales no conservan la mineralogía original. Se observan venas que rellenan planos de debilidad como son acumulaciones de pirita por reducción de sulfatos de materia orgánica y fallas sintectónicas. Las venillas se conforman principalmente por albita, pirita y esmeralda o por sólo pirita. Las láminas son diferenciadas composicionalmente, unas son conformadas por albitas de 20µm, las otras láminas contienen moscovita y sulfuros menores a 5µm.</p>			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita arenosa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
<p>Cuarzo: (11%) es visible en forma de granos que no superan las 10µm de diámetro, se presenta en las láminas ricas en albitas y pirita, con ambos minerales mantiene contactos netos.</p>			
<p>Feldespatos:</p> <p>Sódico: (42%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas, así como de origen hidrotermal en los bordes de las venas. Los tamaños de las partículas de este mineral varían mucho según su origen, es decir de alteración o hidrotermal. El rango de tamaños varía entre 10 y 40µm. El contacto con otros minerales es cóncavo - convexo y longitudinal con minerales opacos.</p>			
<p>Micas:</p> <p>Moscovita arcillosa: (21%) se observa como material de láminas acompañada de pirita, dichos granos son de tamaño muy pequeño (menores a 5µm). Se presenta únicamente en algunas láminas de la roca caja. Se muestran algo orientadas.</p>			
<p>Opacos:</p> <p>Sulfuros: (13%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta en acumulaciones producidas por la reducción de sulfatos de materia orgánica en bolsas características de estructuras augen, así como de origen hidrotermal en venas. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de los cristales, los cuales se encuentran como prismas perfectos de bordes bien definidos. Óxidos: (3%) son el producto de la meteorización de los sulfuros, con los cuales mantiene un contacto neto, se presentan como una coloración rojiza en los bordes de minerales opacos.</p>			
CEMENTO			
(1%) compuesto principalmente por material silíceo, la forma predominante es anhedral.			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: prácticamente nula, pues la única zona fracturada está rellena por albita y pirita o sólo por pirita.			
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)			
Lodolita de plagioclasa			
CLASIFICACION			
Lodolita arenosa de plagioclasa con venas de albitas y sulfuros. Grano fino, con mal calibrado, granos subangulares y subredondados. Predomina plagioclasa (42%), algo de micas (31%), cuarzo (11%) y opacos (13%) con algo de oxidación (3%). Termalmente submadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal. Contiene un 1% de cemento, conformado por material silíceo.			

OBSERVACIONES

a



b



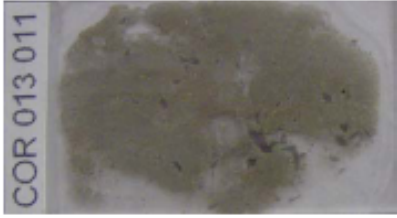
a. Microfotografía de luz plana analizada donde se observan los dos tipos. Microfotografía de luz plana analizada en la que se muestra la vena de laminación de la roca, uno conformada principalmente por albita y el otro por moscovita y sulfuros. Aumento de objetivo de 5x

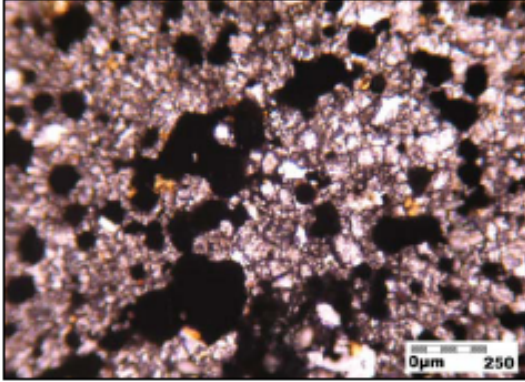
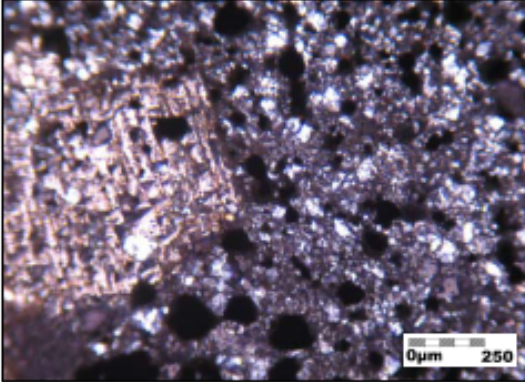
que corta la roca caja, esta se compone por albita, sulfuros y esmeralda. Aumento de 10x



**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

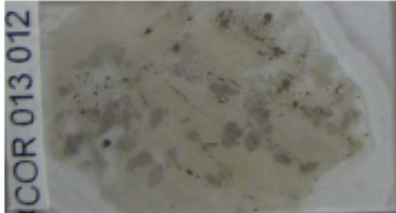
Nº COR. 013 011	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR. 013 011	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR. 013	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:
DESCRIPCION MACROSCOPICA		
Brecha calcárea de color gris oliva claro (SY 6/1), tamaño de grano que va de arenisca media a muy fina. Está altamente meteorizada. Contiene cristales de pirita de 1 a 5mm, dolomita, albita y yeso neoformado.		
ANALISIS MICROSCOPICO		
Homogeneidad de la roca: brecha compuesta por granos subangulares, en su mayoría carbonatos. El material cementante se conforma principalmente por material silíceo de un tamaño menor a 5µm, se observa también algo de pirita, óxidos y material orgánico. La oxidación está íntimamente relacionada con la presencia de sulfuros. Alta porosidad.		
Selección:		
% de granos del armazon: 35	Redondez promedio: subangular	
% de matriz: 65	Esfericidad promedio: subsférico	
Tamaño de grano promedio de la roca: 60µm	Contacto entre granos: flotante	
MINERALES		
Minerales principales:		
Dolomita: (24%) grandes acumulaciones de carbonatos angulares anhedrales, se encuentran en contacto flotante dentro de una matriz silícea en su mayoría.		
Albita: (30%) es la principal constituyente de la matriz, con granos menores a 5µm, subredondeados y subsféricos. Con contacto flotante a cóncavo - convexo entre ellos.	Minerales de alteracion:	
Opacos: (30%) aparentemente se trata de pirita, basándose en los análisis macroscópicos y en la forma prismática de los mismos. Se presentan diseminados en toda la muestra, en forma de pequeños cristales euhedrales con tamaños que van de 20 a 400µm.	Óxidos: (4%) se presentan como alteración supergénica de sulfuros, con los cuales se presenta en contacto neto - ondulante.	
Tipo de cemento:	Tipo de Matriz	
Silíceo	Silícea con materia orgánica (65%)	

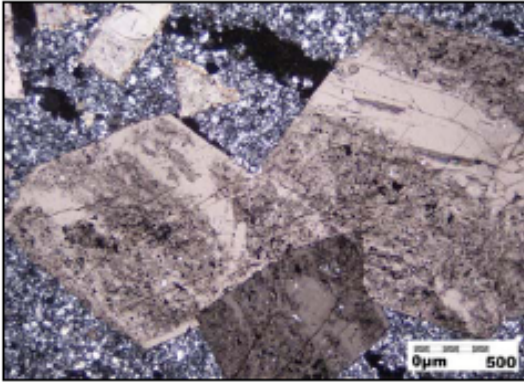
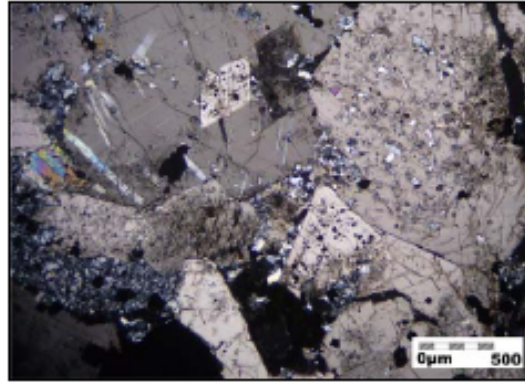
NOMBRE COMPOSICIONAL:	
Brecha calcárea	
ESTRUCTURAS	
Brechoide	
DESCRIPCION DE LA ROCA	
Brecha calcárea compuesta fundamentalmente por partículas angulares de carbonatos y sulfuros en una matriz de albita, los cuales atraviezan un proceso de oxidación visible en los bordes de los cristales.	
OBSERVACIONES	
a	b
	
a. Microfotografía de luz plana no analizada donde se muestra la apariencia de la muestra, así como el proceso de oxidación de sulfuros, observable como una coloración amarillenta en los bordes de granos. Aumento de objetivo de 10x	b. Microfotografía de luz plana analizada en la cual se observa un grano angular de carbonato ubicado en el borde izquierdo de la foto. Aumento de objetivo de 10x



**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 013 012	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR 013 012	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR 013	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:
DESCRIPCION MACROSCOPICA		
Brecha calcárea de color gris oliva claro (5Y 6/1), tamaño de grano que va de arenisca media a muy fina. Son comunes las fracturas sin relleno		
ANALISIS MICROSCOPICO		
Homogeneidad de la roca: brecha compuesta por granos subsféricos, en su mayoría carbonatos. El material cementante se conforma principalmente por material silíceo de un tamaño menor a 5 µm, se observa también algo de sulfuros. Alta porosidad secundaria		
Selección:		
% de granos del armazon: 30	Redondez promedio: subredondeado	
% de matriz: 70	Esfericidad promedio: subsférico	
Tamaño de grano promedio de la roca: 50µm	Contacto entre granos: flotante	
MINERALES		
Minerales principales:		
Carbonatos: (45%) grandes particulass de hasta 1000µm, se encuentran diseminados a lo largo de toda la sección. El contacto predominante entre ellos es neto, el contacto entre la matriz es flotante		
Albita: (48%) es la principal constituyente de la matriz, con granos menores a 5µm, subredondeados y subsféricos. Con contacto flotante entre ellos	Minerales de alteracion:	
Opacos: (7%) aparentemente se trata de pirita, basándose en los análisis macroscópicos y en la forma prismática de los mismos. Se presentan diseminados en toda la muestra		
Tipo de cemento:	Tipo de Matriz:	
Silíceo	Silíceo con materia orgánica (60%)	

NOMBRE COMPOSICIONAL:	
Brecha calcárea	
ESTRUCTURAS	
Brechoide	
DESCRIPCION DE LA ROCA	
Brecha calcárea compuesta fundamentalmente por granos angulares de carbonatos y algunos sulfuros en una matriz de albita y sulfuros. Es común el fracturamiento si rellena, aumentando la capacidad de permeabilidad en la roca	
OBSERVACIONES	
a	b
	
<p>a. Microfotografía de luz plana analizada en la que se muestran las partículas de carbonatos así como algunos contactos flotantes. Aumento de objetivo de 5x</p>	<p>b. Microfotografía de luz plana analizada mostrando granos de carbonatos, sulfuros y plagioclasa. Aumento de objetivo de 5x</p>



ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA

N° COR. 013 17B	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
N° de campo: COR. 013 17B	Origen:	Describió: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR. 013	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa con venillas de carbonatos y albita

Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa, delgadas venillas de carbonatos y albita que no superan 1mm de espesor

Color: vena blanco (N9) a gris claro (N7). Roca gris oliva claro (5Y 6/1)

Laminación: masiva con venillas de cuarzo distribuidas de forma regular

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

no se observa con claridad, donde se han producido pequeñas fracturas ha sido rellenado por cuarzo, manteniendo la roca compacta

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: las partículas que conforman principalmente la roca tienen un tamaño promedio de 20µm, las formas observadas son irregulares, no se ve orientación preferencial en los granos. Tiene un mal calibrado, se muestra laminación ondulosa generada por antiguas estructuras anagen, se determina por variación granulométrica, el espesor de estas láminas varía entre 20 y 50µm

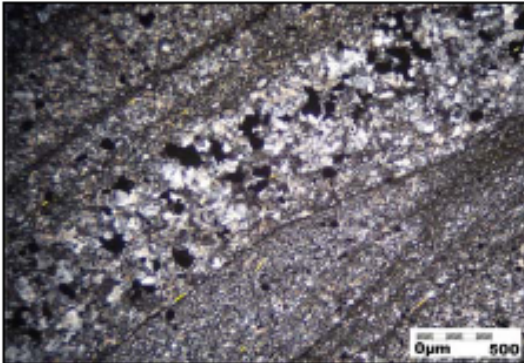
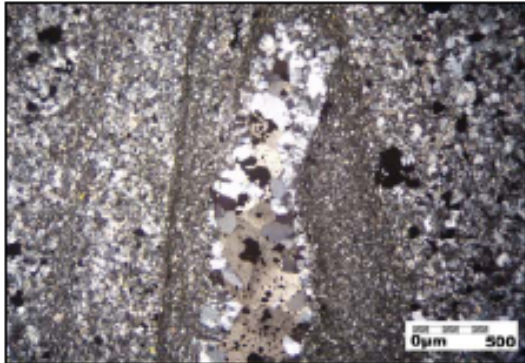
Rango de tamaños: el tamaño de granos es de 5 a 300µm, la roca está mal calibrada

Selección: mala selección, inmadura texturalmente

Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: subsférico

GRAVA:	ARENA: 35%	LODO: 65%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 60µm	Arcilla: 20%	Limo: 35%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 20µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subsférica		

CONTACTO ENTRE GRANOS		
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 10%
Concavo - Convexo: 90%	Suturado:	
ESTRUCTURAS		
Entre las estructuras presentes, se observa principalmente una laminación ondulosa de antiguas estructuras evaporíticas, las láminas son de tipo compuestas, con espesores entre 20 y 500µm. Se presenta una vena compuesta por carbonatos y albita.		
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)		
Lodolita arenosa		
COMPOSICION		
TERRIGENOS		
Feldespato:		
Sódico: (73%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas, así como de origen hidrotermal en venas. Este mineral se encuentra formando agregados masivos de individuos microcristalinos de tamaños de 1 a 40µm. Se presentan en la roca encajante y en la vena. La forma de las partículas es subangular y subesférica. Los cristales observados en la vena alcanzan dimensiones de 30µm, de formas subhedrales		
Opacos:		
Sulfuros: (11%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta diseminada por toda la sección, no es tan común observar acumulaciones de este mineral. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de los mismos, granos primarios con bordes bien definidos		
CEMENTO		
(1%) compuesto principalmente por albita, la forma predominante es anhedral		
ORTOQUIMICOS		
Carbonatos: (12%) se presenta en la vena. Sus cristales son subhedrales con bordes irregulares de hasta 400µm		
POROSIDAD		
Primaria: no se observa		
Secundaria: prácticamente nula, pues la única zona fracturada está rellena por carbonatos		
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)		
Lodolita arenosa de plagioclava		
CLASIFICACION		
Lodolita arenosa de plagioclava, de grano fino a muy fino, con mal calibrado, granos subangulares subesféricos, albita predominante (73%), sulfuros (11%), y dolomita en venas (12%) texturalmente inmadura, granos con contacto concavo - convexo a longitudinal, cemento silíceo, porosidad prácticamente nula.		
a	b	
		
a. Microfotografía de luz plana analizada en la que se observa la laminación ondulada característica de la muestra. Aumento de objetivo de 5x	b. Microfotografía de luz plana analizada mostrando una vena paralela a la laminación, conformada por albita (en los bordes de la vena) y carbonatos. Aumento de objetivo de 5x	



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCIÓN FLUIDO - ROCA EN EL CINTURÓN
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACIÓN DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES**

REGISTRO PARA DESCRIPCIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN SECCIÓN DELGADA

Nº COR 013 017T	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR 013 017T	Origen:	Describió: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR 013	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Brecha calcárea de color negro grisáceo (N2), tamaño de grano que va de arenisca media a muy fina. Está algo meteorizada

ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Homogeneidad de la roca: brecha compuesta por granos subsféricos, en su mayoría carbonatos. El material cementante se conforma principalmente por material albitico de un tamaño menor a 10µm, se observa también algo de sulfuros y óxidos. La oxidación está íntimamente relacionada con la presencia de sulfuros.

Selección:

% de granos del armazón: 40	Redondez promedio: subredondeado
% de matriz: 60	Esféricidad promedio: subsférico
Tamaño de grano promedio de la roca: 70µm	Contacto entre granos: flotante

MINERALES

Minerales principales:

Carbonatos: (47%) grandes partículas de hasta 100 µm, se encuentran diseminados a lo largo de toda la sección. El contacto predominante entre ellos es neto, el contacto entre la matriz es flotante

Albita: (41%) es la principal constituyente de la matriz, con granos menores a 5µm, subredondeados y subsféricos. Con contacto flotante entre ellos

Opacos: (9%) aparentemente se trata de pirita, basándose en los análisis macroscópicos y en la forma prismática de los mismos. Se presentan diseminados en toda la muestra



Minerales de alteración:

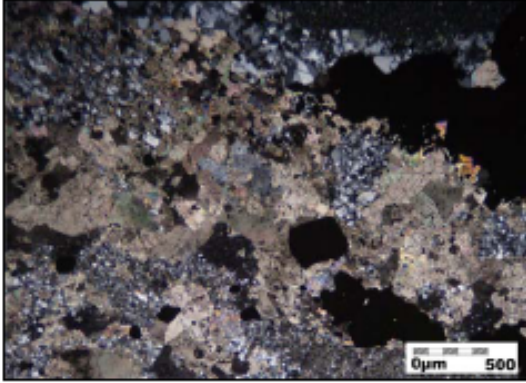
Óxidos: (3%) se presentan como alteración supergénica de sulfuros, con los cuales se presenta en contacto neto - ondulado. Se hace visible como una mancha alrededor de los sulfuros

Tipo de cemento:

Silíceo

Tipo de Matriz:

Silíceo con materia orgánica (50%)

NOMBRE COMPOSICIONAL:
Brecha calcárea
ESTRUCTURAS
Brechoide
DESCRIPCION DE LA ROCA
Brecha calcárea compuesta fundamentalmente por partículas angulares de carbonatos y sulfuros en una matriz de albita y sulfuros, los cuales atraviezan un proceso de oxidación visible en los bordes de los granos.
OBSERVACIONES

Microfotografía de luz plana analizada donde se muestra la apariencia general de la roca, compuesta principalmente por carbonatos, sulfuros y plagioclasas. Aumento de 5x



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR. 013 020	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR. 013 020	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR. 013	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa con vena de dolomita, calcita, pirita y albita

Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa con nódulos de pirita, la vena observada está compuesta principalmente por cristales de dolomita y calcita. Cuenta con una matriz de albita y arcilla.

Color: vena blanco (N9). Roca gris oliva claro (5Y 6/1). La muestra está completamente fresca

Laminación: laminación delgada subparalela con venas de calcita discordantes. Estructuras augen que se han conservado de evaporitas albitizadas. No se observa orientación de los granos, la laminación es determinada por variación de granulación y composicional

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

las fracturas observadas son contundentes, es aquí donde se ubican las venas. La roca se mantiene competente

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: la muestra presenta una importante vena compuesta por carbonatos, pirita y algo de albita. La roca caja mantiene una estructura augen bien marcada, mas los componentes de la misma ya no son evaporíticos pues se ha sufrido un proceso de albitización. La roca encajante tiene granos de un promedio de tamaño de 5µm, todos ellos subangulares, con mal calibrado. La vena tiene cristales de 200 a más de 2000µm. Los planos más débiles corresponden a los que presentan las acumulaciones de sulfuros, así como en fallas sintectónicas, es allí donde se ubican las venas.

Rango de tamaños: el tamaño promedio es de 10µm, muestra un calibrado moderado

Selección: moderada selección, connotación de una roca submadura ternalmente

Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: subsférico

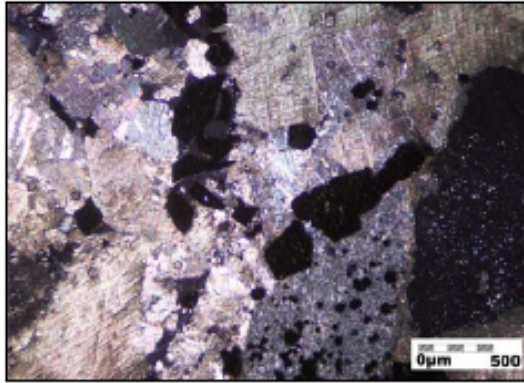
GRAVA:	ARENA: 35%	LODO: 65%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 45µm	Arcilla: 15%	Limo: 60%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 30µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subsférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 20%	
Concavo - Convexo: 80%	Sufurado:		
ESTRUCTURAS			
<p>La laminación observada en la roca caja corresponde a estructuras augen, las cuales no conservan la mineralogía original. Se observan venas que rellenan planos de debilidad como son acumulaciones de pirita por reducción de sulfatos de materia orgánica y fallas sintectónicas. Las venillas se conforman principalmente por carbonatos, albitas y piritas. Se observa también agrietamientos menores, paralelos a la laminación, mas no han sido rellenos. Las láminas son diferenciadas composicionalmente, unas son conformadas por albitas de 15µm, las otras láminas contienen moscovita y albita menores a 5µm.</p>			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita arenosa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Feldespato:			
<p>Sódico: (15%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas, así como de origen hidrotermal en los bordes de venas. Los tamaños de los granos de este mineral varían mucho puesto que se presenta reemplazando carbonatos y minerales evaporíticos, el rango de tamaños varía entre 5 y 50µm. El contacto con otros minerales es cóncavo - convexo y longitudinal con minerales opacos.</p>			
Micas:			
<p>Moscovita arcillosa: (12%) se observa como material de láminas acompañada de pirita, dichas partículas son de tamaño muy pequeño (menores a 5µm). Se presenta únicamente en algunas láminas de la roca caja. Se muestran algo orientadas.</p>			
Opacos:			
<p>Sulfuros: (11%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta en acumulaciones producidas por la reducción de sulfatos de materia orgánica en bolsas características de estructuras augen, así como en venas con o sin carbonatos. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de los cristales, los cuales se encuentran como prismas perfectos de bordes bien definidos.</p>			
CEMENTO			
(1%) compuesto principalmente por albita, la forma predominante es anhedral			
ORTOQUIMICOS			
<p>Carbonatos: (62%) se presentan en venas junto con pirita y algo de plagioclasa. En dichas venas alcanza tamaños de 2000µm, se observan íntimamente relacionados con los granos de albita, con los que se presenta en contacto cóncavo - convexo. Se muestran en el interior de las venas.</p>			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: prácticamente nula, pues la única zona fracturada está rellena por carbonatos, albita y pirita.			
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)			
Lodolita de plagioclasa			

CLASIFICACION

Lodolita arenosa de plagioclasa con venas de carbonatos, albita y pirita. Grano fino, con mal calibrado, granos subangulares y subredondeados. Predomina la plagioclasa (15%), algo de micas (12%), opacos (11%) y una vena de carbonatos que constituyen el 62% del total de la roca. Termalmente submadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal. Contiene un 1% de cemento, conformado por material siliceo.

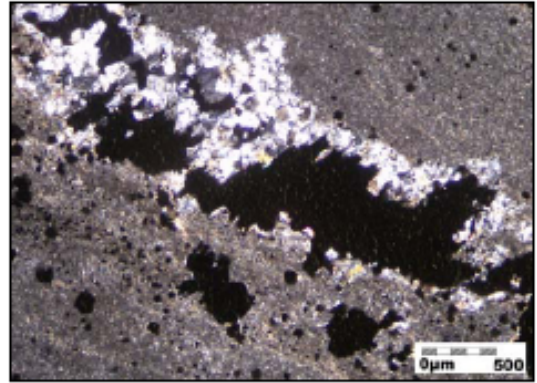
OBSERVACIONES

a



Microfotografía de luz plana analizada donde se muestra la apariencia particular de la vena en contacto con la roca encajante. Se observan los principales constituyentes de la vena: carbonatos y sulfuros. Aumento de objetivo de 5x

b



Microfotografía de luz plana analizada donde se observan lentes con albita hidrotermal y sulfuros de roca caja. Aumento de objetivo de 5x



**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 013 030A	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR 013 030A	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR 013	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:


DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de color blanco (N9), compuesta fundamentalmente por albita, sulfuros y esmeralda. Los cristales de albita presentan un agregado masivo, mientras que los de esmeralda y pirita están muy bien formados.

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: vena compuesta por dolomita y plagioclasa con una pequeña parte de roca de roca caja compuesta por albita (48%), moscovita (47%), sulfuros (4%), así como algo de cemento silíceo (1%). La roca encajante cuenta con estructuras augen de antiguas evaporitas que han sufrido eventos de albitización, el tamaño de grano es menor a 10 µm. Los tamaños de los cristales de plagioclasas van desde 100 hasta 2000µm, los berilos de 10 a 1600µm y los sulfuros de 20 a 2000µm.

MINERALES

Minerales principales:	
Feldespato sódico: (86%) cristales de albita de tipo hidrotermal que están en contacto neto con esmeraldas y piritas, la cantidad de plagioclasa en la vena no es constante, aumenta al acercarse a la roca caja, de lo que se sugiere que precipita primero.	
Berilo: (5%) se encuentran cristales bien desarrollados de hasta 1600µm, se presentan en contacto neto con las albitas de los bordes. No se observan contactos con sulfuros.	Minerales de alteración:
Opacos: (9%) aparentemente son sulfuros por sus formas prismáticas y por revisiones en muestra de mano y de difracción de rayos x. Están bien distribuidos en toda la sección, con contacto neto con albitas.	
Tipo de cemento:	Tipo de Matriz:
Calcáreo	

NOMBRE COMPOSICIONAL:

Vena de albita, pirita y esmeralda

ESTRUCTURAS

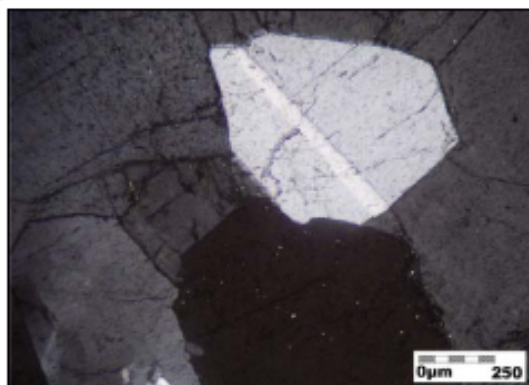
Vena masiva de albita, pirita y esmeralda, no hay estructuras observables

DESCRIPCION DE LA ROCA

Vena masiva conformada por albita hidrotermal (86%), sulfuros (9%) y berilos (5%). El orden de cristalización corresponde a: Albita - Pirita - Esmeralda

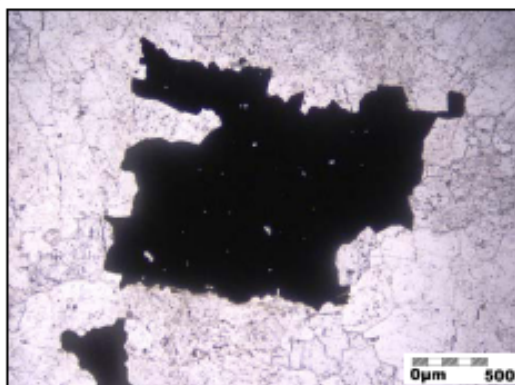
OBSERVACIONES

a



a. Microfotografía de luz plana analizada donde se observan cristales de albita en contacto con un gran cristal de esmeralda (en color gris claro). Aumento de objetivo de 10x

b



b. Microfotografía de luz plana no analizada mostrando acumulaciones de sulfuros en la vena. Aumento de objetivo de 5x



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR 012 032	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR 012 032	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de San Pedro	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR 012	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa con vena de dolomita gris.

Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa, se presentan antiguas estructuras augen con reemplazamientos de albita y pirita. Se presenta una vena de dolomita de coloración gris.

Color: vena blanco (N9) a gris claro (N7). Roca gris oliva claro 5Y 6/1

Laminación: Laminar delgada a media plano paralela continua. Estructuras augen. Reemplazamientos de pirita. Vena de dolomita.

Grado de bioturbación:

no se observa.

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca.

Partición:

no se observa con claridad, existe una red de fracturas que son rellenas por material dolomítico.

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: la homogeneidad de la roca se ve interrumpida por una vena de carbonatos que ha lavado ciertos minerales a medida de que avanza, pero también permite la permanencia de otros. La roca caja mantiene una estructura augen bien marcada, mas los componentes de la misma ya no son evaporíticos pues se ha sufrido un proceso de albitización. La roca encajante tiene granos de 5 a 40µ, todos ellos subangulares, con calibrado moderado. La vena tiene cristales de 200 a 600µ. Los planos más débiles corresponden a los que presentan las acumulaciones de sulfuros, así como en fallas sintectónicas, es allí donde se ubican las venas.

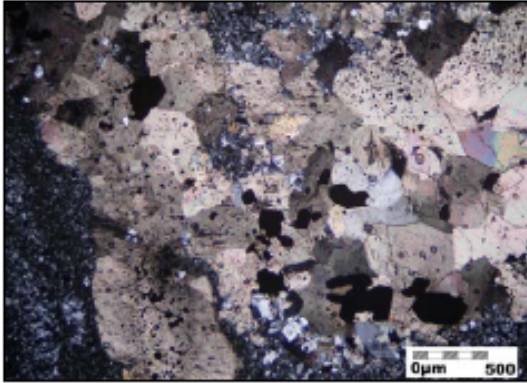
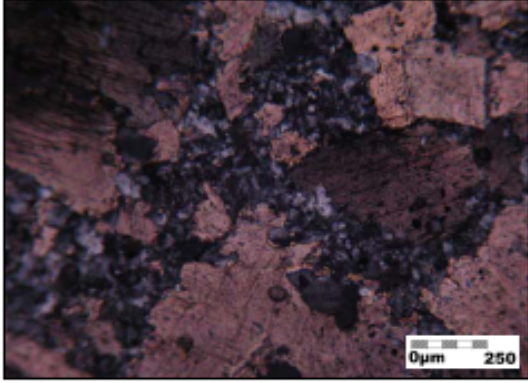
Rango de tamaños: el tamaño de granos en la roca caja es de 5 a 40µm y en la vena van de 200 a 600µm. La selección es moderada.

Selección: moderada selección, inmadura terminalmente

Redondez promedio: subangular

Esfericidad promedio: subelongado

GRAVA:	ARENA: 40%	LODO: 60%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 50µm	Arcilla: 20%	Limo: 40%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 8µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subesférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 10%	
Concavo - Convexo: 90%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
<p>La laminación observada en la roca caja corresponde a estructuras augen, las cuales no conservan la mineralogía original. Se observan venas que rellenan planos de debilidad como son acumulaciones de pirita por reducción de sulfatos de materia orgánica y fallas sintectónicas. Las venillas se conforman principalmente por carbonatos que sufren procesos de albitización. Se observa también agrietamientos menores, paralelos a la laminación, mas no han sido rellenos. Las láminas son diferenciadas composicionalmente, unas son conformadas por albitas de 20 a 40µm, las otras láminas contienen moscovita y albita menores a 5µm.</p>			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Lodolita arenosa			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
<p>Cuarzo: (4%) es un componente de la matriz de la roca, se observa diseminado en toda la sección, con partículas subesféricas, subredondeadas con tamaños menores a las 5µm.</p>			
<p>Feldespatos:</p> <p>Sódico: (24%) albita de alteración de antiguas rocas evaporíticas, así como en los bordes de las venas. Los tamaños de los granos de este mineral varían mucho puesto que se presenta reemplazando carbonatos y minerales evaporíticos, el rango de tamaños varía entre 1 y 400µm. El contacto con otros minerales es cóncavo - convexo y longitudinal con minerales opacos, los cuales permanecen intactos.</p>			
<p>Micas:</p> <p>Moscovita arcillosa: (4%) se observa como material de láminas acompañando a la albita, de tamaño muy pequeño (menores a 5µm). Se presenta únicamente en la roca caja, donde aparece con la albita en contacto cóncavo - convexo. Se muestran algo orientadas. También es posible hallarlas cerca de los lugares por donde han pasado fluidos hidrotermales, allí alcanzan dimensiones de 40 µm, posiblemente se trata de una recristalización, no están orientadas. Clorita: (<1%) se puede afirmar que algunas micas están sufriendo un proceso de cloritización, sin embargo este no alcanza el 1% del total de la roca.</p>			
<p>Opacos:</p> <p>Sulfuros: (10%) se componen aparentemente por pirita, la cual se presenta en acumulaciones producidas por la reducción de sulfatos de materia orgánica en bolsas características de estructuras augen. La determinación del mineral se hace mediante el análisis de la forma característica de las partículas, las cuales se encuentran como prismas perfectos de bordes bien definidos. Algunas de estas piritas, provenientes de la roca encajante, aparecen en venas, lo que determina que estos sulfuros permanecen en lugares donde otros minerales fueron reemplazados por el material hidrotermal. Existe otra aparición de pirita en las venas, evidencia de ello se encuentra en piritas con inclusiones de carbonatos.</p>			
CEMENTO			
(28%) compuesto principalmente por ortoquímicos, entre los que se encuentran la albita.			
ORTOQUIMICOS			
<p>Dolomita: (30%) se hace referencia a los carbonatos observados en venas, se observan íntimamente relacionados con los cristales de albita, con los que se presenta en contacto cóncavo - convexo. Se observan en el interior de las venas. Su tamaño varía de 60 a 400 µm.</p>			

POROSIDAD	
Primaria: no se observa	
Secundaria: prácticamente nula, pues la única zona fracturada está rellena por albita, dolomita y pirita. Las piritas provenientes de roca caja, por entre las cuales pasa el fluido hidrotermal de las venas, se encuentran algo fracturas y es posible encontrar algo de oquedad.	
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)	
Lodolita arenosa de plagioclasa	
CLASIFICACION	
Lodolita arenosa de plagioclasa, de grano fino a muy fino, con calibrado moderado, granos subangulares a subelongados, plagioclasa predominante (24%), sulfuros (10%), cuarzo (4%), moscovita (4%) y clorita (<1%). Texturalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, cemento silíceo, escasa porosidad.	
OBSERVACIONES	
a	b
	
a. Microfotografía de luz plana analizada mostrando la apariencia característica de la brecha. Aumento de objetivo de 5x	b. Microfotografía de luz plana analizada en la que se observan partículas subangulares de carbonatos con contactos flotantes. Aumento de objetivo de 10x



**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. 013 034	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
N° de campo: COR. 013 034	Origen:	Describo: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR. 013	Sección delgada: X	Sección delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Brecha calcárea de color gris oscuro (N9) con laminación remanente plano paralela continua

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: brecha compuesta por granos subsféricos, en su mayoría carbonatos. El material cementante se conforma principalmente por material silíceo de un tamaño menor a 5µm, se observa también algo de albita, cuarzo, moscovita, óxidos, pirita y material orgánico. La oxidación está íntimamente relacionada con la presencia de sulfuros. Se observa porosidad secundaria muy alta y una alta cantidad de disoluciones

Selección:

% de granos del armazón: 30	Redondez promedio: subredondeado
% de matriz: 70	Esféricidad promedio: subsférico
Tamaño de grano promedio de la roca: 50µm	Contacto entre granos: flotante

MINERALES

Minerales principales:

Carbonatos: (18%) grandes granos de hasta 80µm, se encuentran diseminados a lo largo de toda la sección. El contacto predominante entre ellos es neto, el contacto entre la matriz es flotante

Albita: (15%) es de los principales constituyentes de la matriz, con granos menores a 5µm, subredondeados y subsféricos. Con contacto flotante entre ellos

Cuarzo: (10%) constituye parte de la matriz con pequeños granos de tamaños menores a 5µm, estas partículas son subangulares y subsféricos.

Moscovita: (15%) las partículas de mica se observan a través de toda la muestra en la matriz, se muestran como pequeños granos de alrededor de 10µm, sin orientación aparente

Opacos: (8%) aparentemente se trata de pirita, basándose en los análisis macroscópicos y en la forma prismática de los mismos. Se presentan diseminados en toda la muestra



Minerales de alteración:

Oxidos: (4%) se presentan como alteración supergénica de sulfuros, con los cuales se presenta en contacto neto - ondulante.

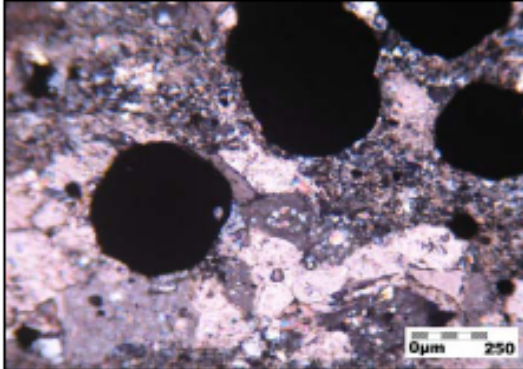
Tipo de cemento:

Silíceo

Tipo de Matriz:

Silíceo con materia orgánica (18%)

Porosidad %: 12

NOMBRE COMPOSICIONAL:
Brecha calcarea con material siliceo
ESTRUCTURAS
Brechoide
OBSERVACIONES

Microfotografía de luz plana analizada mostrando la apariencia típica de la brecha, conformada principalmente por carbonatos, albita, cuarzo, moscovita y sulfuros. Aumento de objetivo de 10x



**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. 013 035	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR. 013 035	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR. 013	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de color blanco (N9) a gris claro (N9), compuesta fundamentalmente por dolomita y albita.

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: roca cortada por una serie de venas paralelas a la laminación, éstas se ubican en los niveles más frágiles de la roca, en las acumulaciones de sulfuros, producto de la reducción de sulfatos de materia orgánicas. Los cristales que forman la vena tienen dimensiones de 100 a 400µm. Los cristales mejor formados corresponden a albitas, las cuales se ubican en los bordes de venas, hacia el centro se presentan las dolomitas.

MINERALES

Minerales principales:

Carbonatos: (44%) cristales de dolomita que se encuentran en contacto neto a cóncavo - convexo. Presenta inclusiones de sulfuros de la roca encajante.

Opacos: (17%) cristales de sulfuros con formas prismáticas, tamaños que van desde 20µm de diámetro. Parte de estos cristales provienen de la roca encajante, observable en inclusiones de estos minerales en carbonatos.



Minerales de alteración:

Feldespato sódico: (39%) cristales de albita que están acompañando a los carbonatos, pero que se forman primero hacia los bordes

Tipo de cemento:

Calcáreo

Tipo de Matriz:

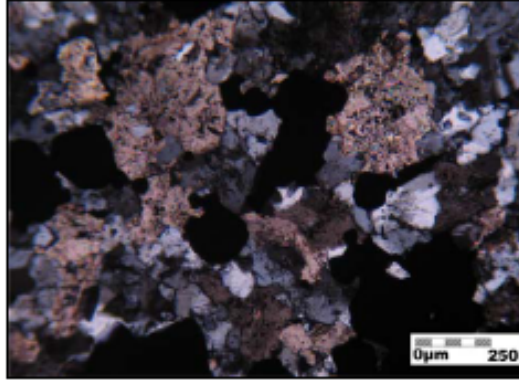
NOMBRE COMPOSICIONAL:

Vena de dolomita y albita

ESTRUCTURAS

Vena masiva de carbonatos, plagioclasa y sulfuros, no hay estructuras observables

OBSERVACIONES



Microfotografía de luz plana analizada mostrando la apariencia de la vena. Aumento de objetivo de 10x



**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.013 037	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR.013 037	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Laguna
Estación: COR.013	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de color blanco (N9) a gris claro (N7), compuesta fundamentalmente por calcita y pirita. Los cristales de calcita presentan un agregado masivo; las piritas se observan en cristales de tamaños entre 2mm y 1,5cm.

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: vena compuesta por calcita, algo de albita, sulfuros y óxidos con algo de cemento calcáreo. La calcita alcanza dimensiones de 800 a más de 2000µm, la pirita tiene un rango de 600 a más de 2000µm y sus respectivos óxidos van de 40 a 200µm. La presencia de albita es mínima, con cristales mucho menores a 5µm. No se observa la roca encajante.

MINERALES

Minerales principales:

Calcita: (68%) cristales de calcita que conforman en su mayoría la vena, se encuentra en contacto neto con albitas y opacos. Algunos cristales se encuentran incluidos en minerales opacos.

Opacos: (26%) cristales de sulfuros, determinados según análisis de muestra de mano, con formas prismáticas, tamaños que van desde 600 a más de 2000µm de diámetro.

Feldespato sódico: (1%) cristales de albita que están con los carbonatos, la cantidad de plagioclasa en la vena no es constante, aumenta al acercarse a la roca caja.

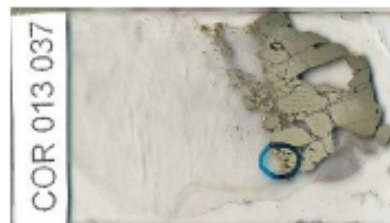
Tipo de cemento:

Calcáreo

Minerales de alteración:

Óxidos de hierro: (5%) se observan como manchas de tonalidades rojizas en los bordes de los cristales opacos.

Tipo de Matriz:



NOMBRE COMPOSICIONAL:

Vena de calcita y pirita

ESTRUCTURAS

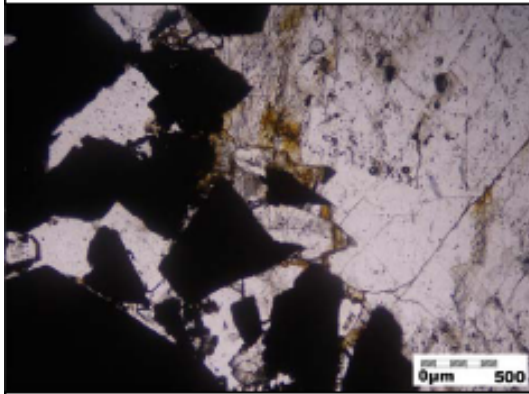
Vena masiva de calcita y pirita, no hay estructuras observables.

DESCRIPCION DE LA ROCA

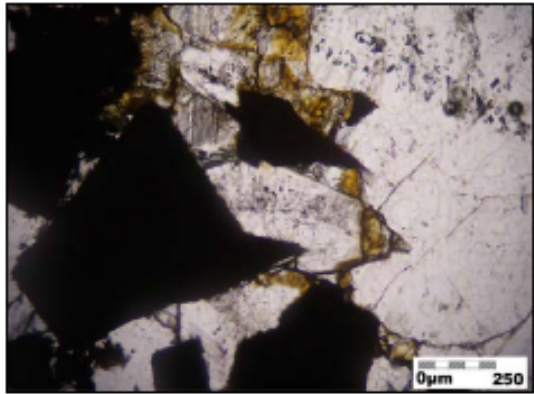
Vena masiva conformada por calcita (68%), albita hidrotermal (1%) y minerales opacos, aparentemente sulfuros (26%), así como óxidos de hierro (5%). El orden de cristalización corresponde a: Albita - Carbonatos - Pirita.

OBSERVACIONES

a



b



a. Microfotografía de luz plana no analizada mostrando la relación entre sulfuros y la oxidación (observable como manchas amarillentas en los bordes de granos). Aumento de objetivo de 5x

b. Microfotografía de luz plana no analizada, se hace un acercamiento de la fotografía anterior. Muestra la oxidación de sulfuros. Aumento de objetivo de 10x



**ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE INTERACCION FLUIDO - ROCA EN EL CINTURON
ESMERALDIFERO ORIENTAL (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA) Y SU IMPORTANCIA EN LA
EXPLORACION DE NUEVOS YACIMIENTOS HIDROTHERMALES
REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLASTICAS (>50% DE
TERRIGENOS) EN SECCION DELGADA**

Nº COR. 013 043	Plancha: 229-I-D	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Planas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: COR. 013 043	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Formación Calizas de Guavio	Departamento: Boyacá	Vereda: La Jagua
Estación: COR. 013	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Tipo de roca: lodolita de plagioclasa

Textura - Composición: textura lodo arenosa conformada principalmente por plagioclasa con nódulos de pirita cuyas partículas van de 1 a 2mm. La matriz se compone de albita y arcilla.

Color: gris claro (N7)

Laminación: laminación determinada por estructuras augen que se han conservado de evaporitas albitizadas. No se observa orientación de los granos, la laminación es observada por variación de coloración y de mineralogía

Grado de bioturbación:

no se observa

Grado de meteorización:

la muestra consiste de una roca fresca

Partición:

no se observa

Reacción al HCl: Si: No: X

Prueba de fosfatos: Positiva: Negativa:



ANALISIS MICROSCOPICO

TEXTURA

Homogeneidad: los granos que conforman la roca alcanzan tamaños muy finos, con un promedio de 10µm. La forma de los cristales es subsférica. Se observa un calibrado moderado a malo. Laminación ondulosa determinada por antiguas estructuras evaporíticas, el espesor de estas láminas varía entre 50 y 300 µm, las cuales son diferenciadas por variaciones en el color

Rango de tamaños: el tamaño promedio es de 15µm, muestra un calibrado moderado a malo

Selección: moderada selección, la roca es submadura termalmente

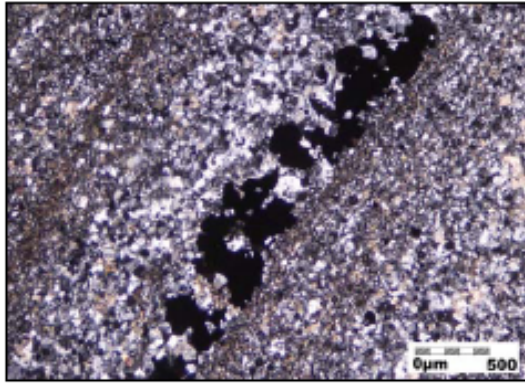
Redondez promedio: subsférico

Esfericidad promedio: semisférico

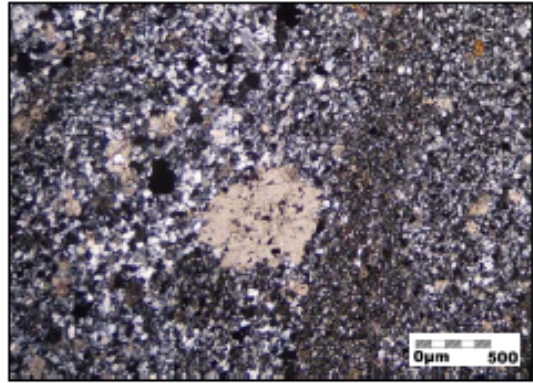
GRAVA:	ARENA: 25%	LODO: 75%	
Tamaño promedio:	Tamaño promedio: 55µm	Arcilla: 15%	Limo: 65%
Redondez:	Redondez: subangular	Tamaño promedio de la fracción limo: Alrededor de 20µm	
Esfericidad:	Esfericidad: subsférica		
CONTACTO ENTRE GRANOS			
Flotante:	Tangencial:	Longitudinal: 20%	
Concavo - Convexo: 80%	Suturado:		
ESTRUCTURAS			
La geometría de láminas es ondulada, heredada de estructuras augen, las láminas son compuestas, el espesor varía entre 50 y 300µm, la medida más alta es alcanzada en engrosamientos de las láminas, aquí se ubican las cantidades más altas de sulfuros.			
NOMBRE TEXTURAL (Folk, 1954)			
Arcillolita			
COMPOSICION			
TERRIGENOS			
Feldespatos:			
Sódico: (64%) albíta de alteración de antiguas rocas evaporíticas. Este mineral se encuentra formando agregados masivos de individuos microcristalinos de tamaños menores a 10µm. Prácticamente toda la roca se compone por este mineral. Tiene un contacto cóncavo-convexo con granos de minerales opacos			
Micas:			
Moscovita arcillosa: (5%) Tiene un tamaño promedio de 1µm, se encuentra en láminas constituyendo parte de la matriz, las partículas tienen forma alargada y subangular.			
Opacos:			
Sulfuros: (19%) se componen aparentemente por pirita, la cual proviene de reducción de sulfatos de la materia orgánica. La identificación se realiza mediante el análisis de la forma de las partículas, las cuales son prismáticas angulares, algunas alcanzan grandes dimensiones, hasta 1mm de diámetro			
CEMENTO			
(1%) compuesto principalmente por albíta y carbonatos, la forma predominante es anhedral			
ORTOQUIMICOS			
Carbonatos: (12%) se presentan la roca con tamaños de grano muy variados que van desde 10µm hasta 500µm. El contacto entre estos cristales es flotante			
POROSIDAD			
Primaria: no se observa			
Secundaria: prácticamente nula, no se observan fracturas			
NOMBRE COMPOSICIONAL (Folk, 1974)			
Lodolita de plagioclasa			
CLASIFICACION			
Lodolita de plagioclasa, de grano fino a muy fino, con calibrado moderado a malo, granos subsféricos, semiredondeados, plagioclasa predominante (64%), se observa algo de mica moscovita conformando parte de la matriz de la roca (5%), algunos minerales opacos son mostrados (19%), así como carbonatos (12%). Composicionalmente inmadura, granos con contacto cóncavo - convexo a longitudinal, cemento silíceo a calcáreo (1%), porosidad nula.			

OBSERVACIONES

a



b



a. Microfotografía de luz plana analizada mostrando acumulaciones de sulfuros a lo largo de láminas de tipo augen. Aumento de objetivo de 5x

b. Microfotografía de luz plana analizada donde se observa una partícula de aproximadamente 600µm de carbonato en la roca caja. Aumento de objetivo de 5x



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 Rodriguez San Gregorio	Plancha:	Escala: 1:25000
Fecha:	Coordenadas Geográficas (GPS)	Coordenadas Pinnas (IGAC)
Recolector: Luis Carlos Mantilla Figueroa	N: E:	X: 1'028.433 Y: 1'077.117
Nº de campo: Rodriguez San Gregorio	Origen:	Describio: Natalia Silva Cruz
Unidad Litoestratigráfica:	Localidad: Minas de Oriente	Municipio: Chivor
Estación:	Departamento: Boyacá	Vereda:
	Seccion delgada: X	Seccion delg. pulida:

DESCRIPCION MACROSCOPICA

Vena de color blanco (N9), compuesta fundamentalmente por albita, pirita y carbonatos. Los cristales de albita y carbonatos presentan un agregado masivo; las piritas se observan en cristales de tamaños menores a 1mm, están diseminadas por toda la muestra.

ANALISIS MICROSCOPICO

Homogeneidad de la roca: vena compuesta por plagioclasa, sulfuros y carbonatos con algo de cemento calcáreo; se puede observar algo de la roca que encaja la vena, la cual es una roca con antiguas estructuras evaporíticas, compuesta principalmente por plagioclasa y sulfuros.

MINERALES

Minerales principales:

Feldespató sódico: (57%) cristales de albita que se ubican hacia los bordes de venas, de lo cual se deduce que precipitan primero. Estos cristales miden de 300 a 2000µm, están muy bien formados, son subhedrales.

Opacos: (36%) cristales de sulfuros con formas prismáticas, tamaños que van desde 150 a 1000µm de diámetro, cristales subhedrales. Esta mineralogía se define según lo analizado en muestra de mano y por difracción de rayos x.

Carbonatos: (6%) cristales de dolomita en contacto neto a cóncavo - convexo con albitas. El contacto observado con sulfuros es de tipo neto a longitudinal.

Moscovita: (1%) pequeñas agujas asociadas a los cristales opacos

Tipo de cemento:

Calcáreo



Minerales de alteración:

Tipo de Matriz:

NOMBRE COMPOSICIONAL:

Vena de albita y sulfuros

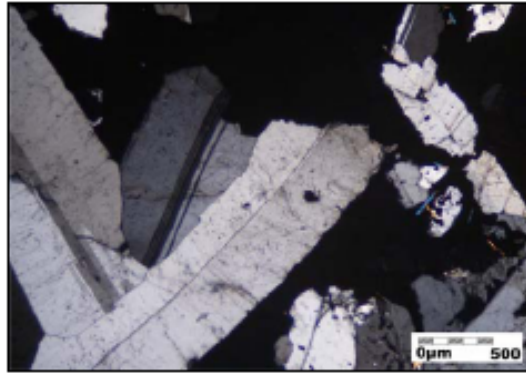
ESTRUCTURAS

Vena masiva de albita, sulfuros y carbonatos, no hay estructuras observables

DESCRIPCION DE LA ROCA

Vena masiva conformada por albita hidrotermal (57%), dolomita (36%) y minerales opacos, aparentemente sulfuros (6%), así como algo de moscovita (1%). El orden de cristalización corresponde a: Albita - Carbonatos - Pirita

OBSERVACIONES

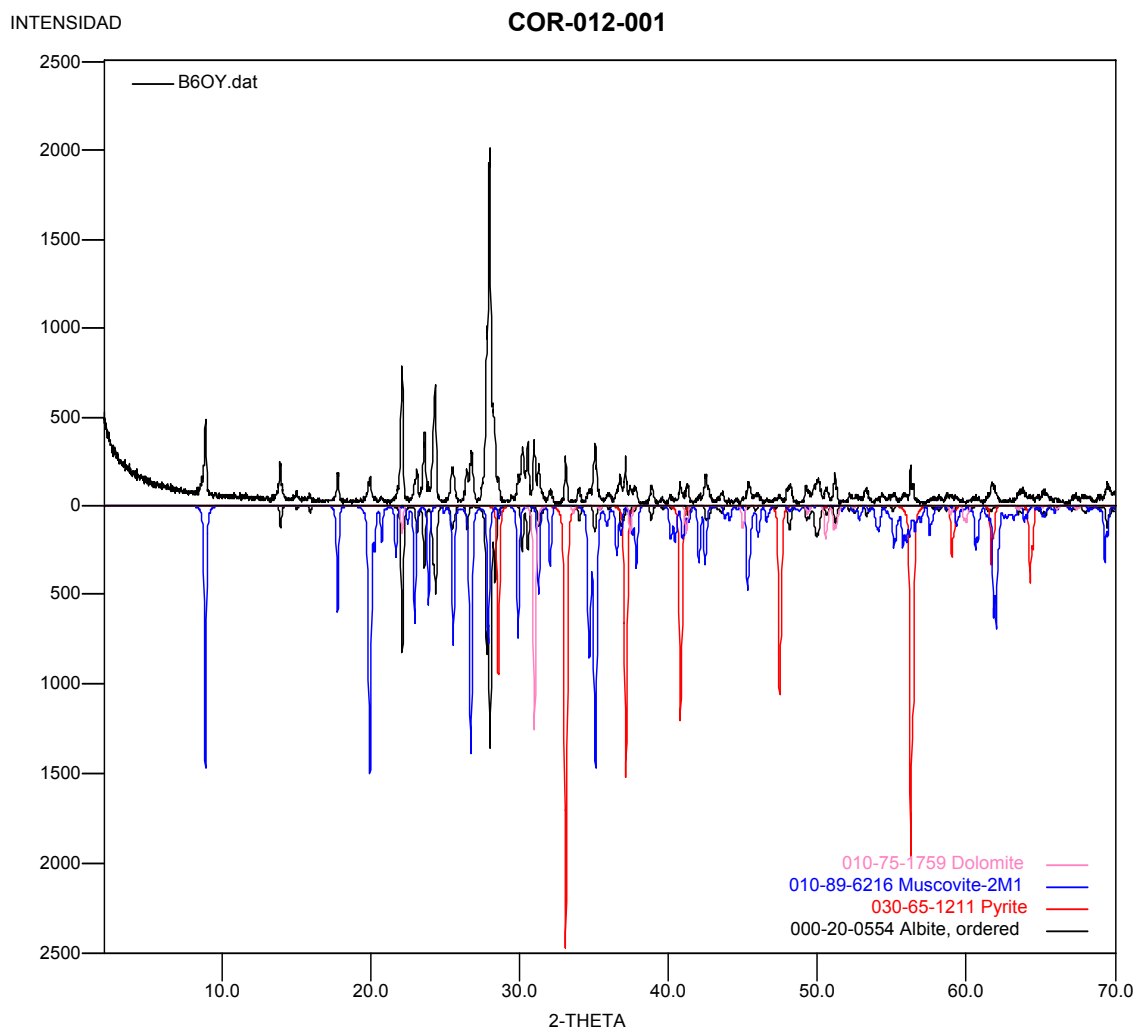


Microfotografía de luz plana analizada en la que se muestra la apariencia general de la vena, compuesta por albita, dolomita y sulfuros. Aumento de objetivo de 5x

ANEXO 2. DIFRACTOGRAMAS DE ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

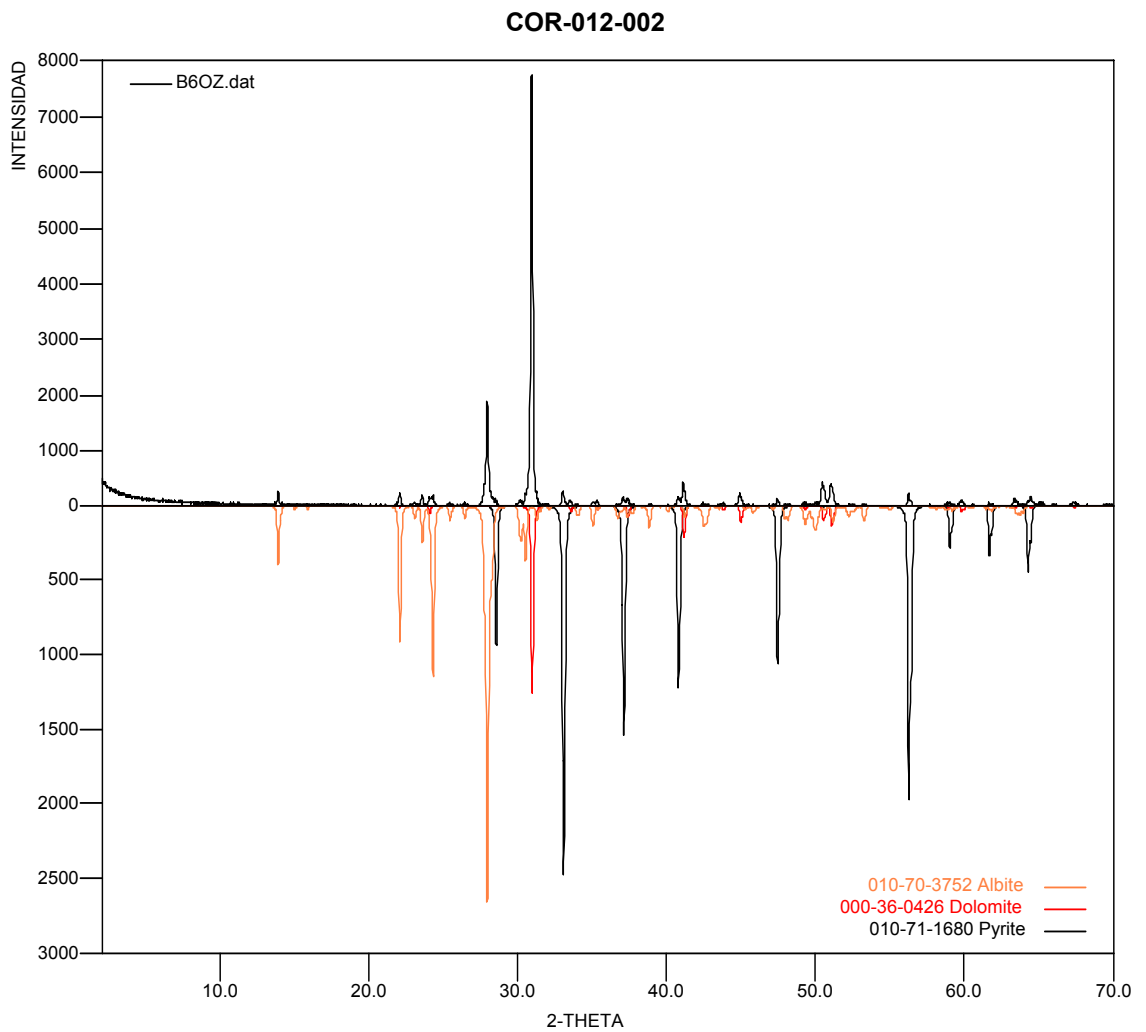
- COR-012-001 (B6OY)**

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	010-89-6216	Moscovita
	$Fe S_2$	030-65-1211	Pirita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	010-75-1759	Dolomita



COR-012-002 (B6OZ)

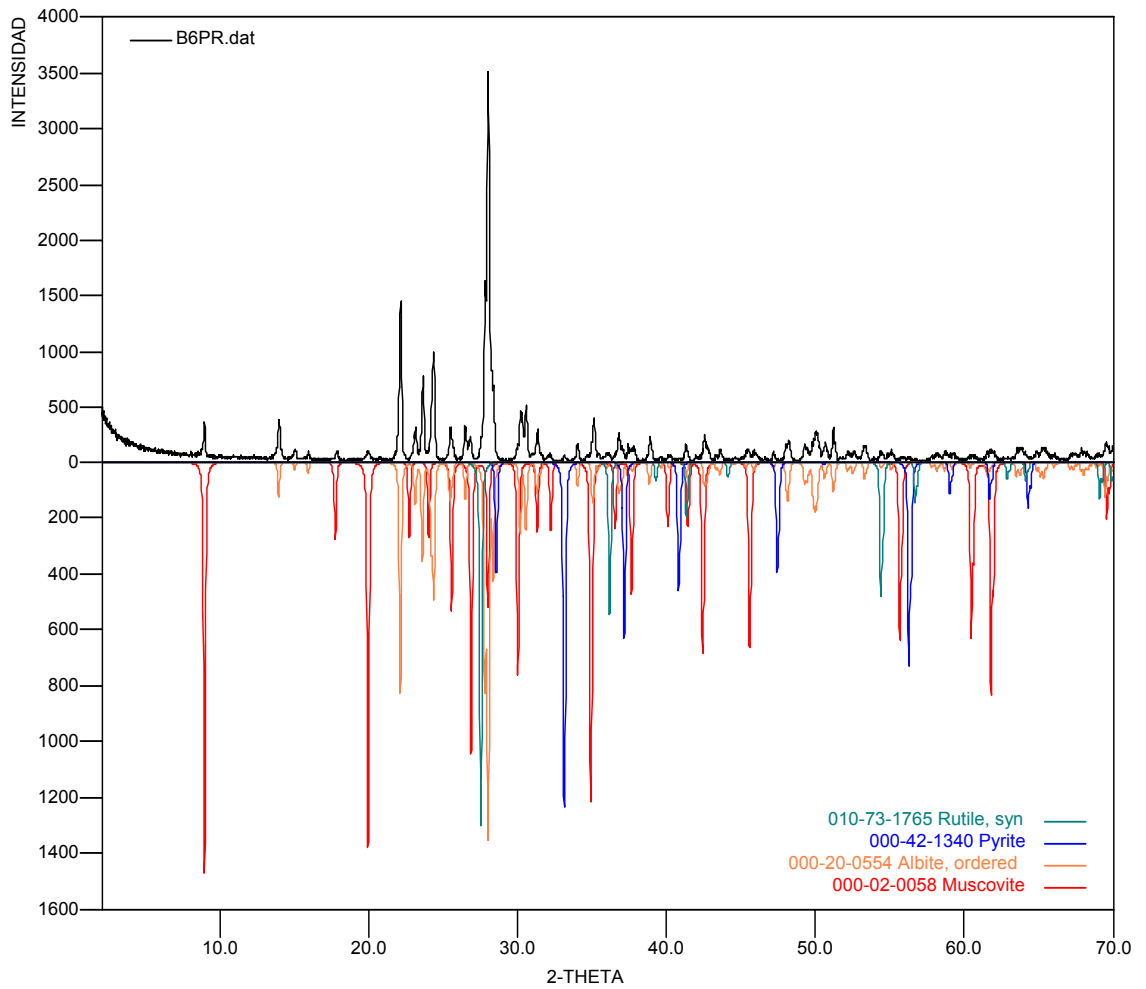
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita



- COR-012-003 (B6PR)

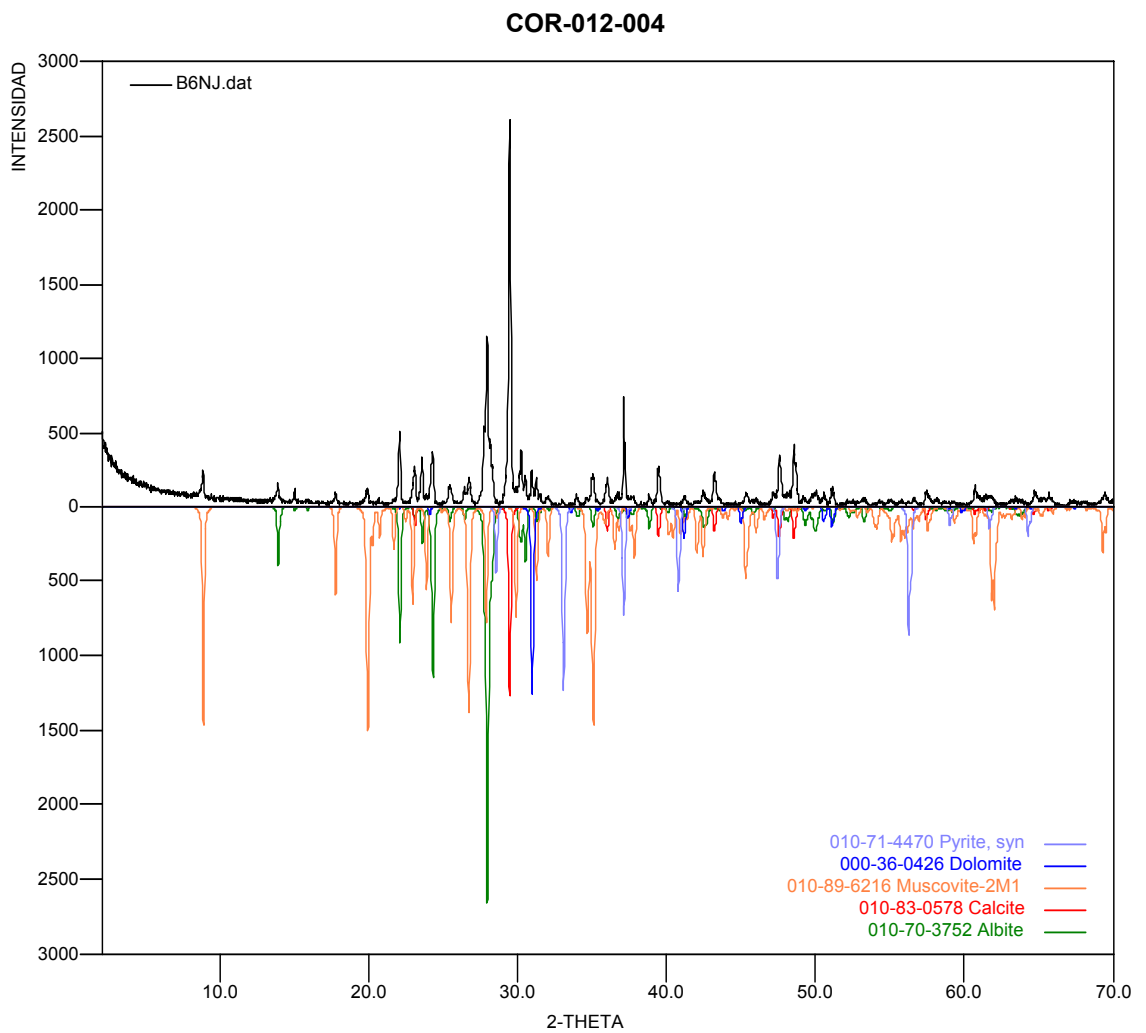
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	TiO_2	010-73-1765	Rutilo
	$KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	000-02-0058	Moscovita
	FeS_2	000-42-1340	Pirita
	$NaAlSi_3O_8$	000-20-0554	Albita

COR-012-003



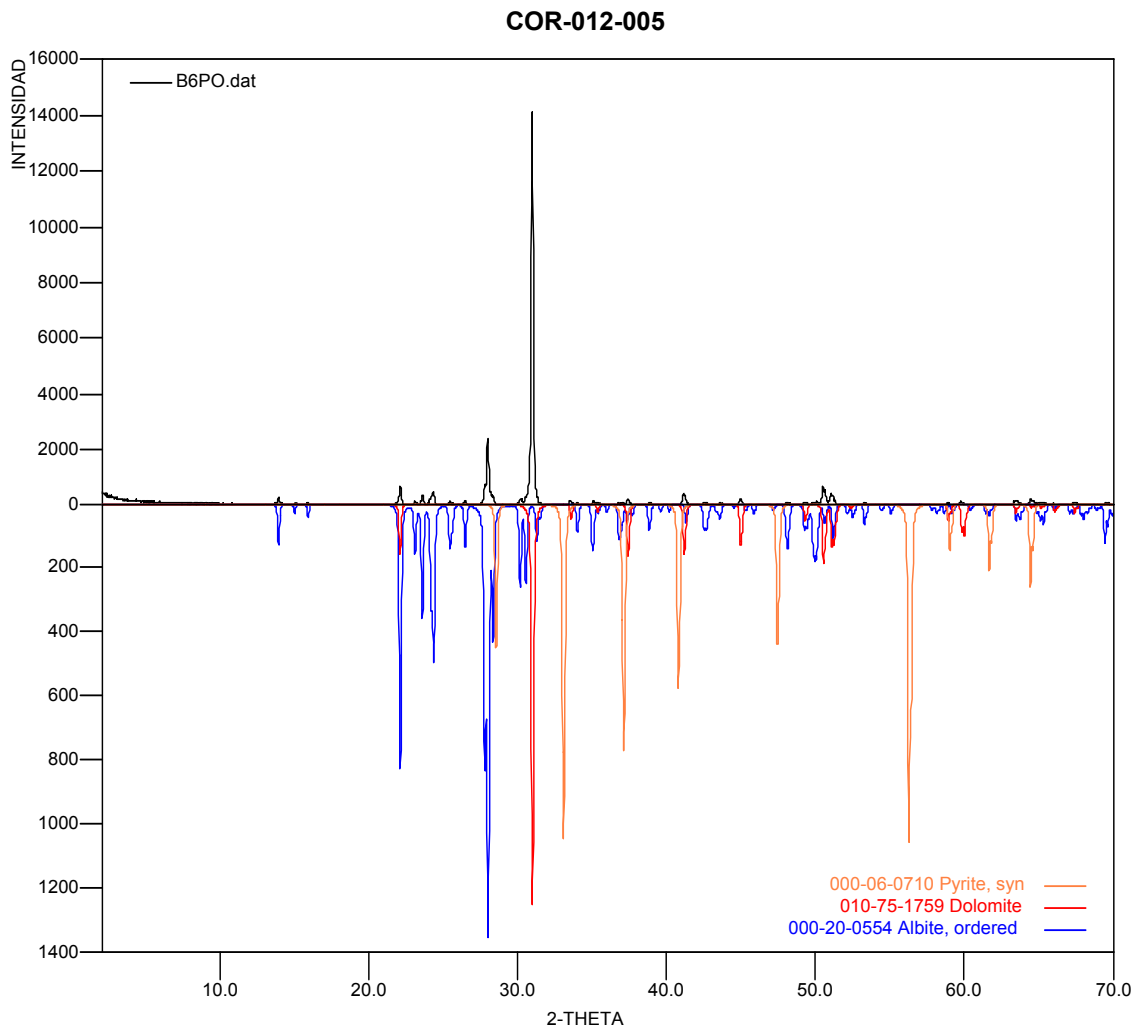
• COR-012-004 (B6NJ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Ca CO_3	010-83-0578	Calcita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita
	$\text{Ca} (\text{Mg, Fe}) (\text{CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	Fe S_2	010-71-4470	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita



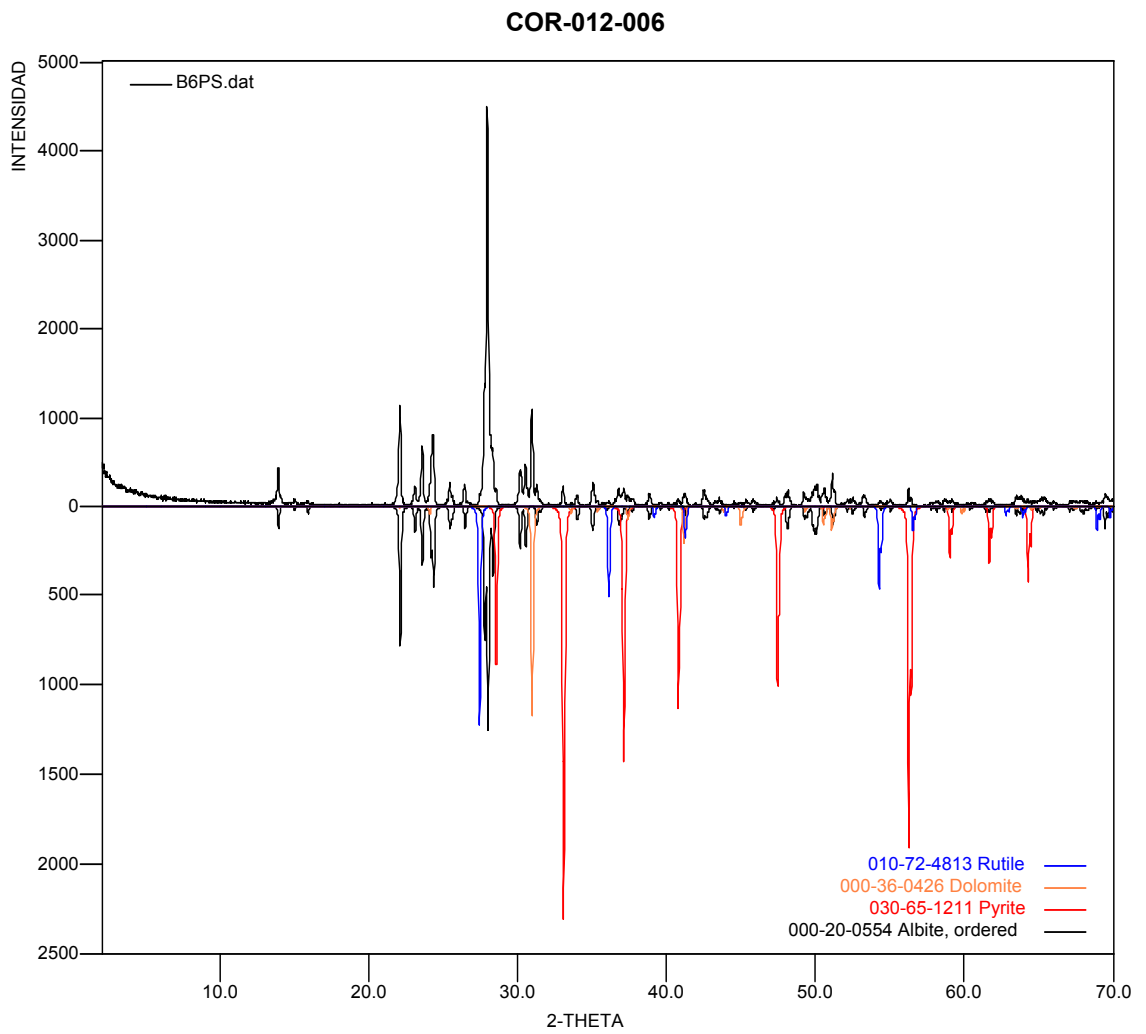
• COR-012-005 (B6PO)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-75-1759	Dolomita
	Fe S_2	000-06-0710	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita



- COR-012-006 (B6PS)

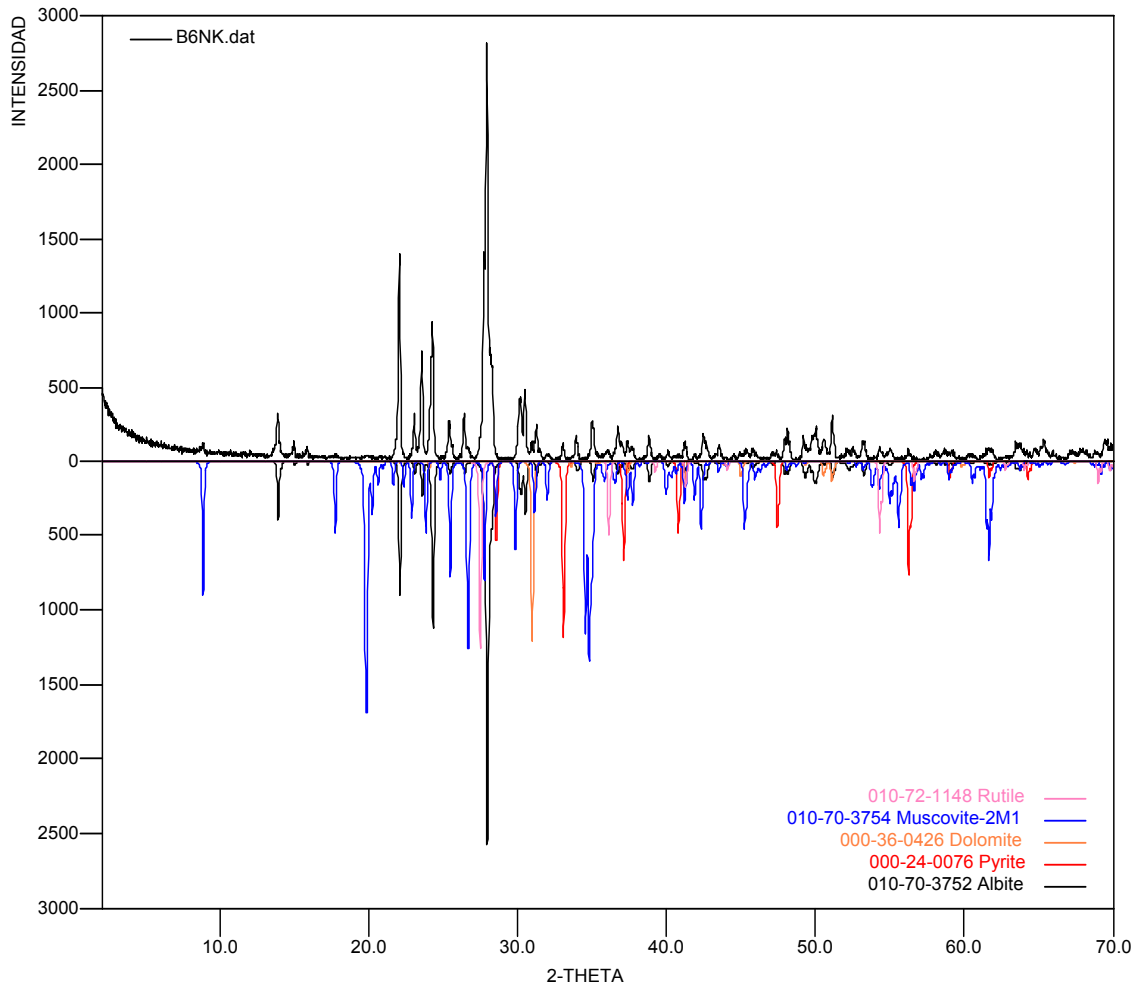
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Ti O ₂	010-72-4813	Rutilo
	Ca (Mg, Fe) (CO ₃) ₂	000-36-0426	Dolomita
	Fe S ₂	030-65-1211	Pirita
	Na Al Si ₃ O ₈	000-20-0554	Albita



- COR-012-007 (B6NK)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino s	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-70-3754	Moscovita
	$\text{Ca} (\text{Mg, Fe}) (\text{CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	Fe S_2	000-24-0076	Pirita
	Ti O_2	010-72-1148	Rutilo

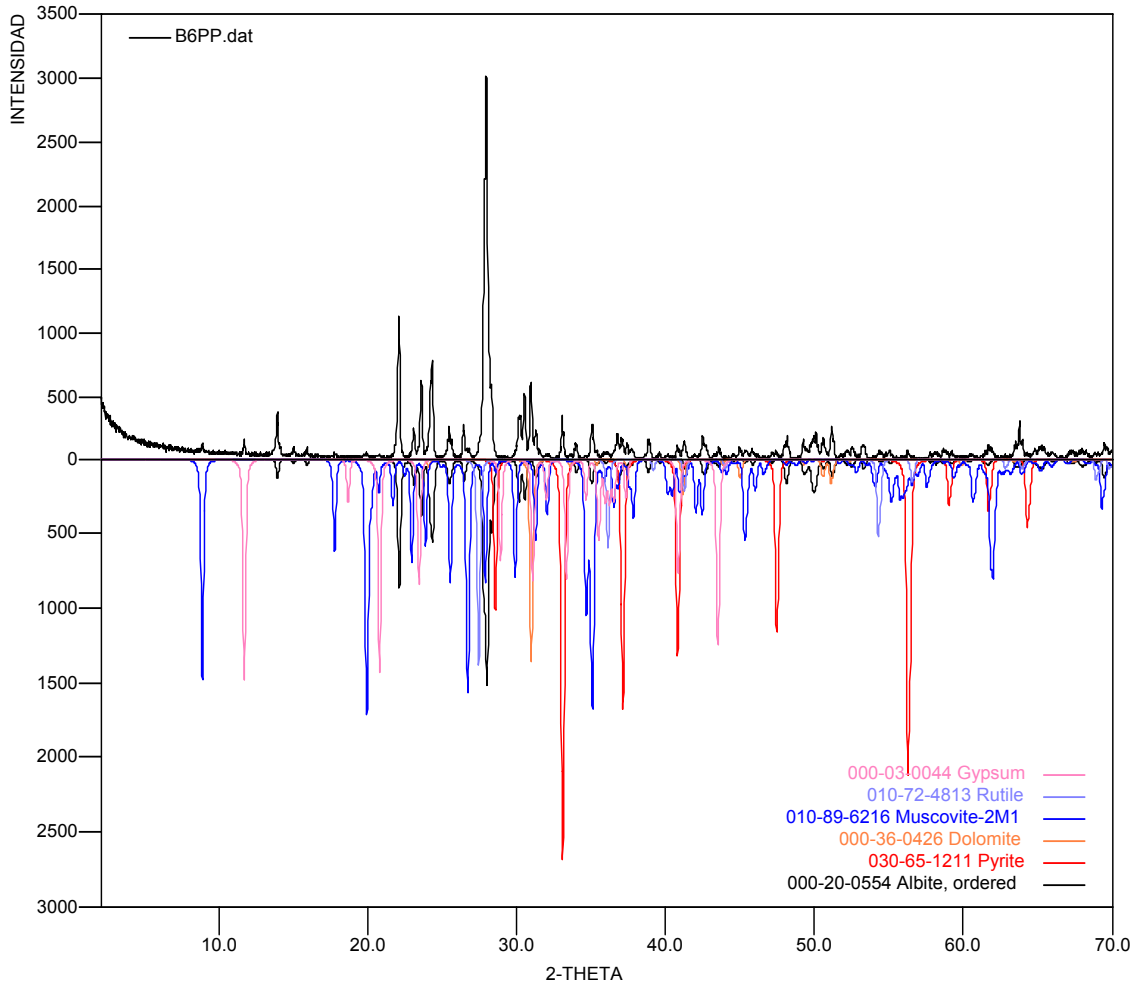
COR-012-007



• COR-012-008 (B6PP)

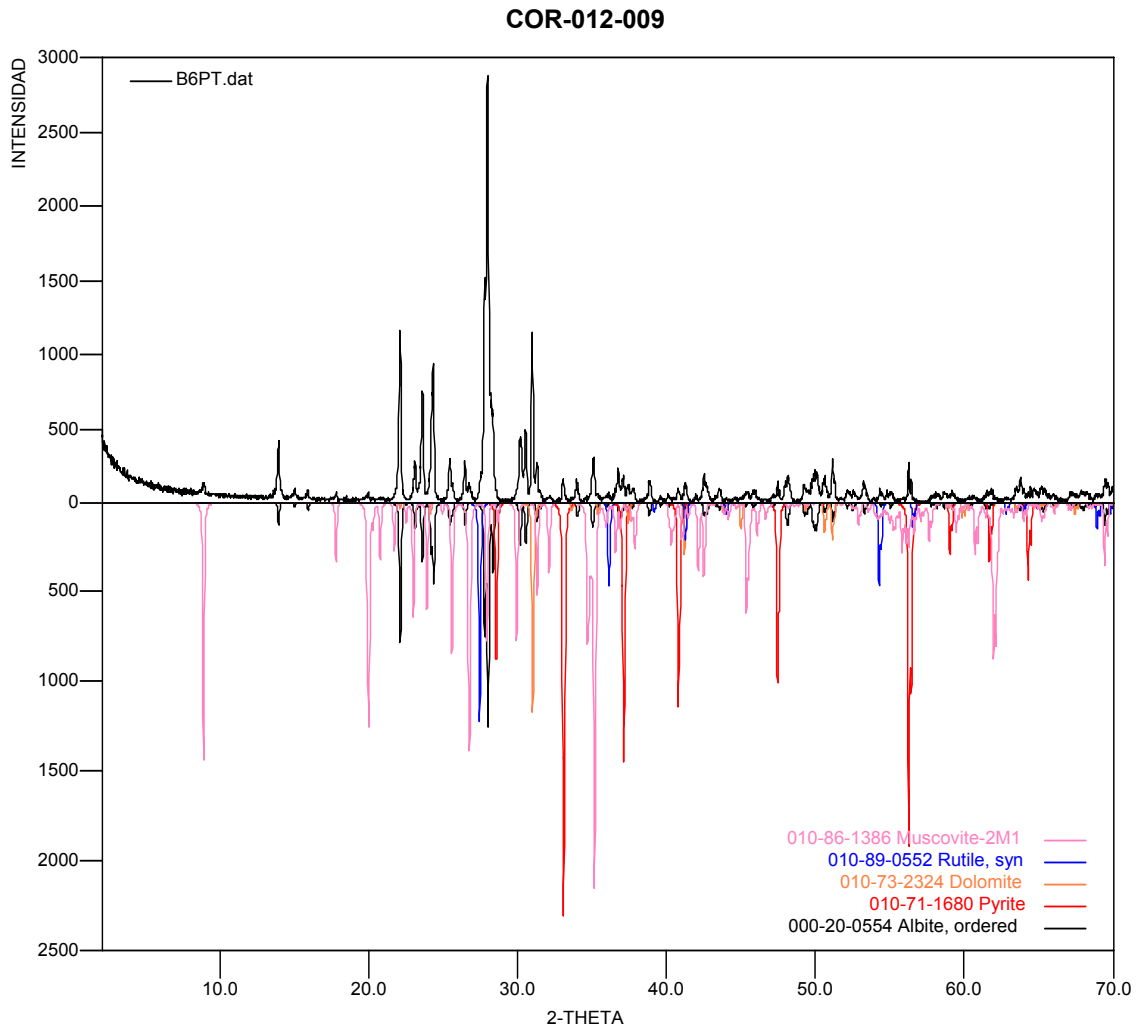
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Ti O_2	010-72-4813	Rutilo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-03-0044	Gypsum
	$\text{Ca} (\text{Mg, Fe}) (\text{CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita

COR-012-008



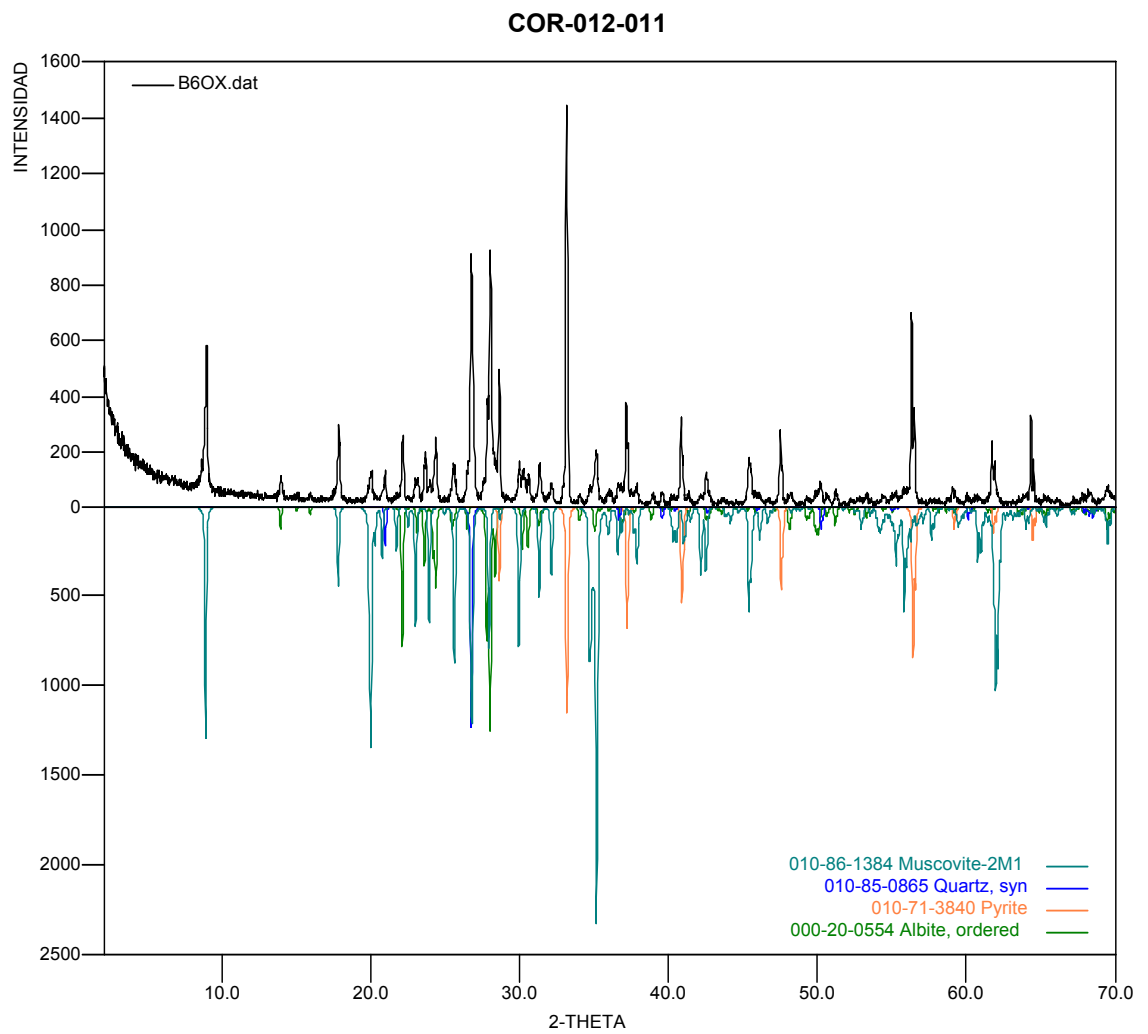
• COR-012-009 (B6PH)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Ti O_2	010-89-0552	Rutilo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-86-1386	Moscovita
	$\text{Ca} (\text{Mg}, \text{Fe}) (\text{CO}_3)_2$	010-73-2324	Dolomita
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita



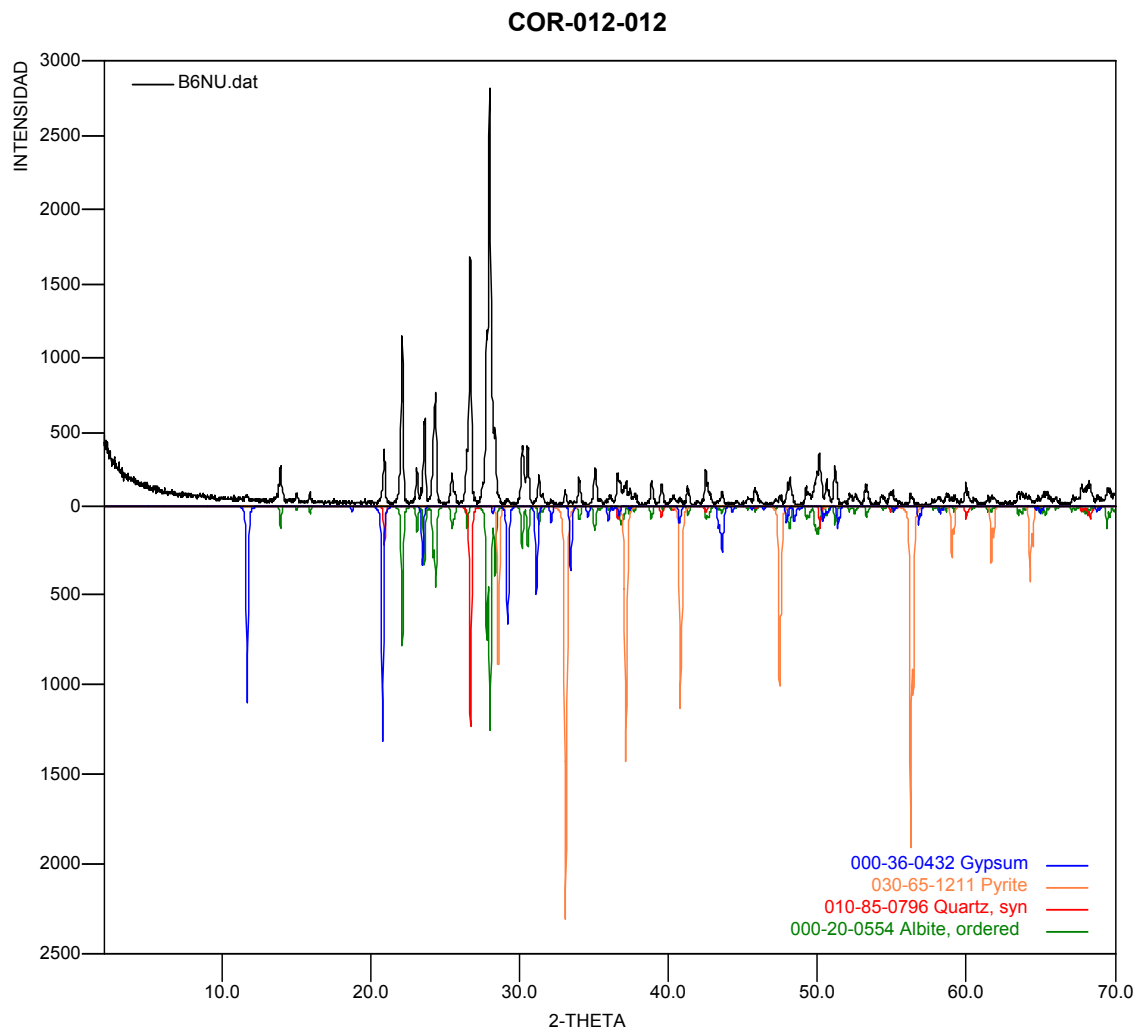
- COR-012-011 (B6OX)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O_2	010-85-0865	Cuarzo
	Fe S_2	010-71-3840	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-86-1384	Moscovita



- COR-012-012 (B6NU)

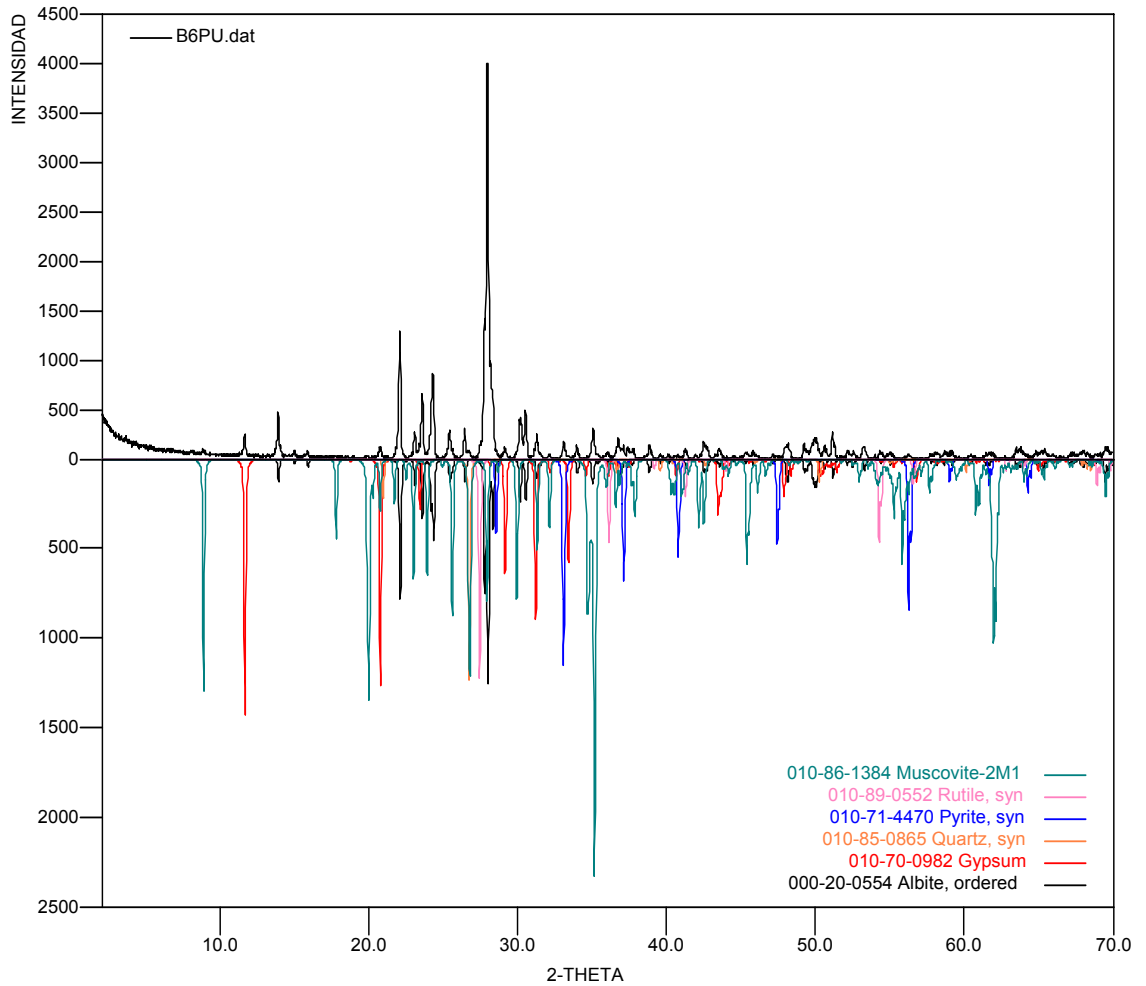
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	<chem>Na Al Si3 O8</chem>	000-20-0554	Albita
	<chem>Fe S2</chem>	030-65-1211	Pirita
	<chem>Si O2</chem>	010-85-0796	Cuarzo
	<chem>Ca SO4 2H2O</chem>	000-36-0432	Gypsum



• COR-012-013 (B6PU)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Ti O_2	010-89-0552	Rutilo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-86-1384	Moscovita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-70-0982	Gypsum
	Si O_2	010-85-0865	Cuarzo
	Fe S_2	010-71-4470	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita

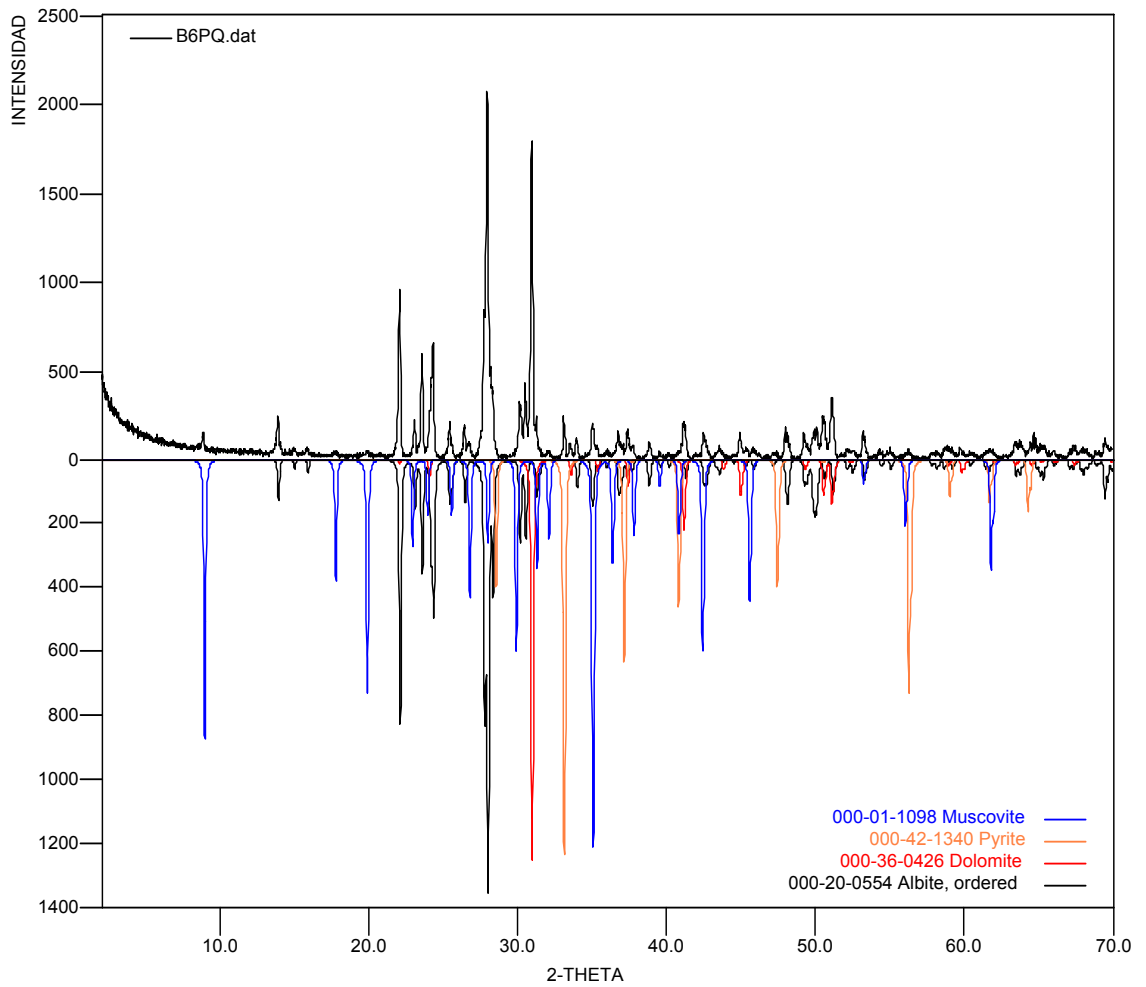
COR-012-013



- **COR-012-014 (B6PQ)**

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	000-01-1098	Moscovita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	$Fe S_2$	000-42-1340	Pirita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita

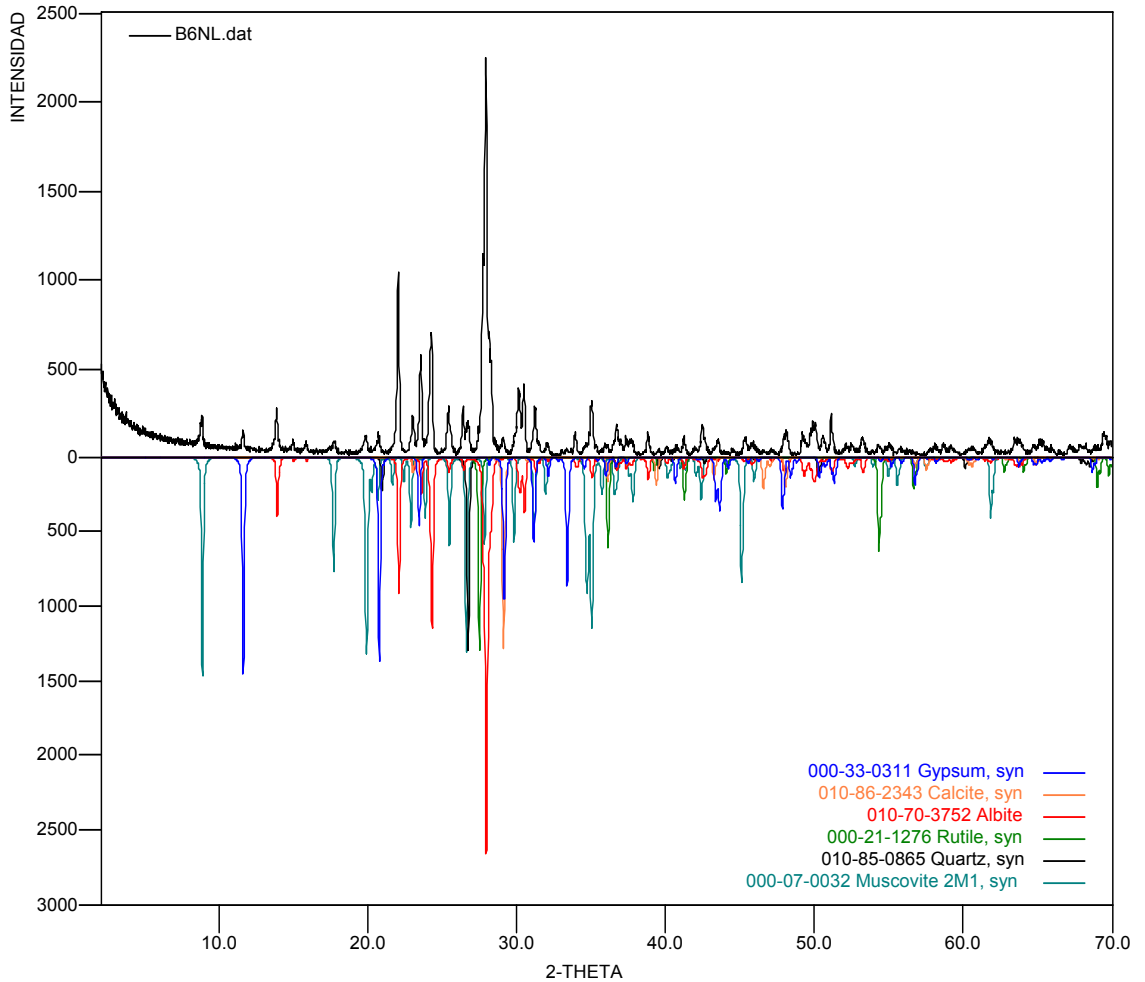
COR-012-014



- COR-012-015 (B6NL)

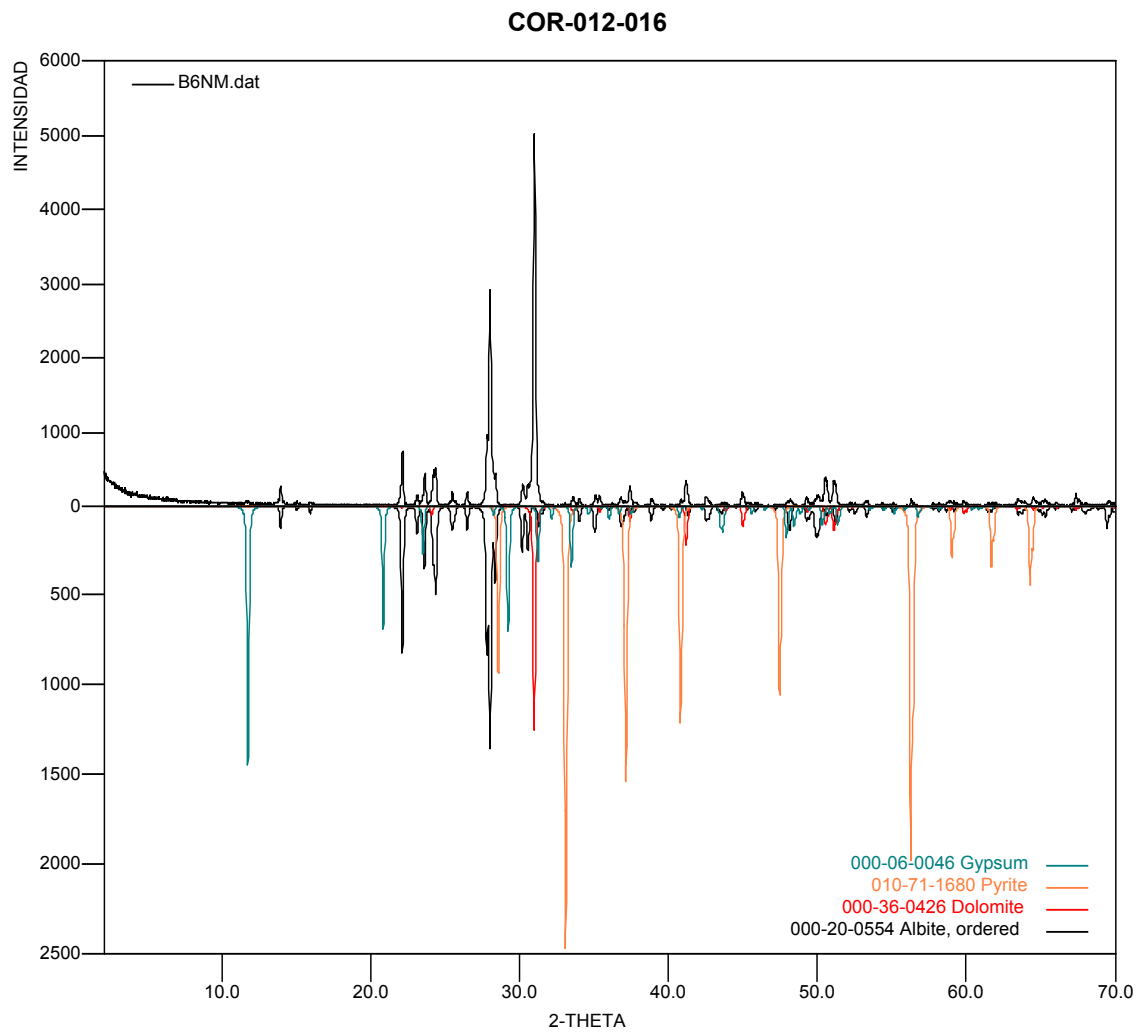
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	Ca CO_3	010-86-2343	Calcita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-33-0311	Gypsum
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0032	Moscovita
	Ti O_2	000-21-1276	Rutilo
	Si O_2	010-85-0865	Cuarzo

COR-012-015



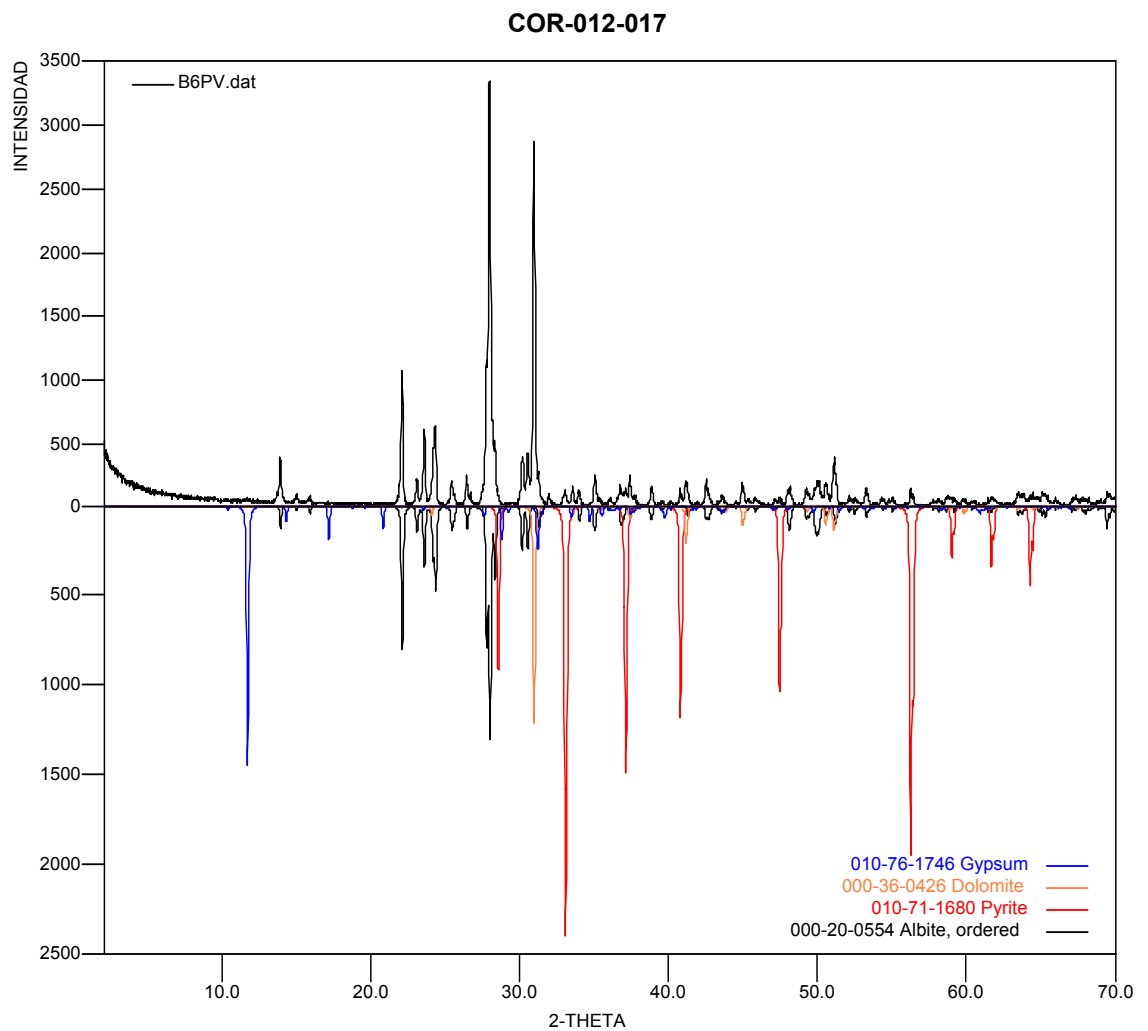
• COR-012-016 (B6NM)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	<chem>Na Al Si3 O8</chem>	000-20-0554	Albita
	<chem>Fe S2</chem>	010-71-1680	Pirita
	<chem>Ca Mg (CO3)2</chem>	000-36-0426	Dolomita
	<chem>Ca SO4 .2H2O</chem>	000-06-0046	Gypsum



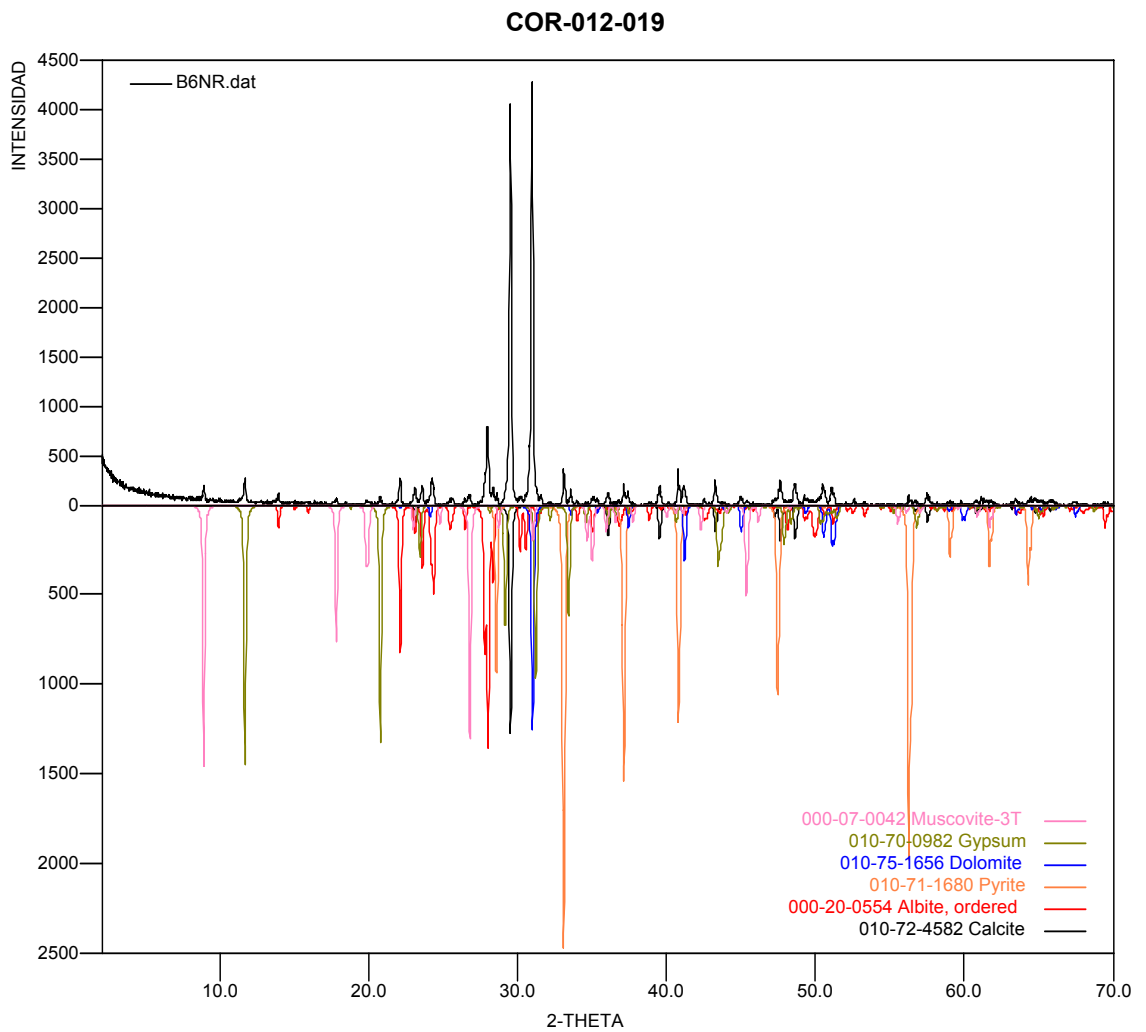
• COR-012-017 (B6PV)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	10-76-1746	Gypsum
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-20-0554	Albita



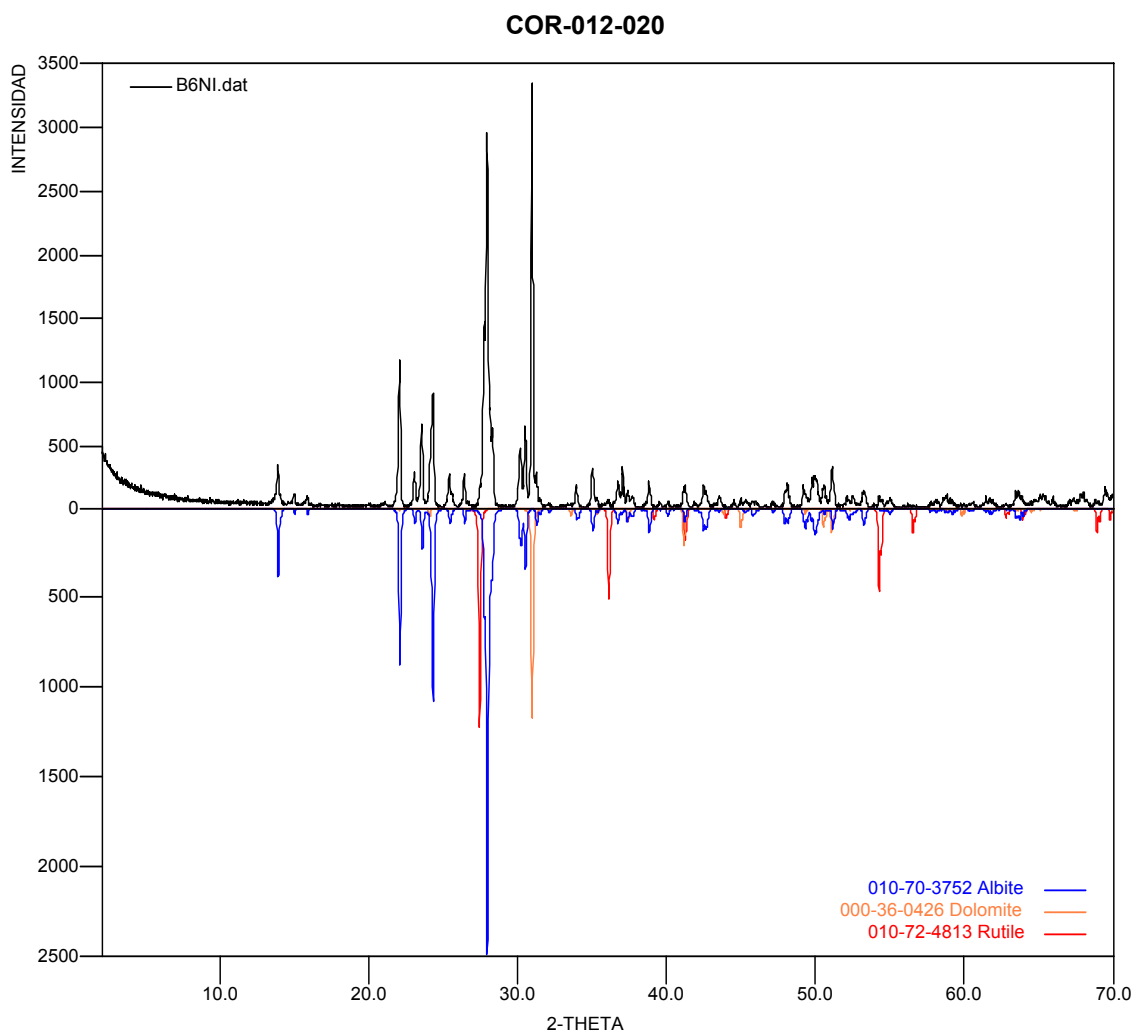
- COR-012-019 (B6NR)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	Ca CO_3	010-72-4582	Calcita
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0042	Moscovita
	$\text{Ca} (\text{Mg, Fe}) (\text{CO}_3)_2$	010-75-1656	Dolomita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-70-0982	Gypsum



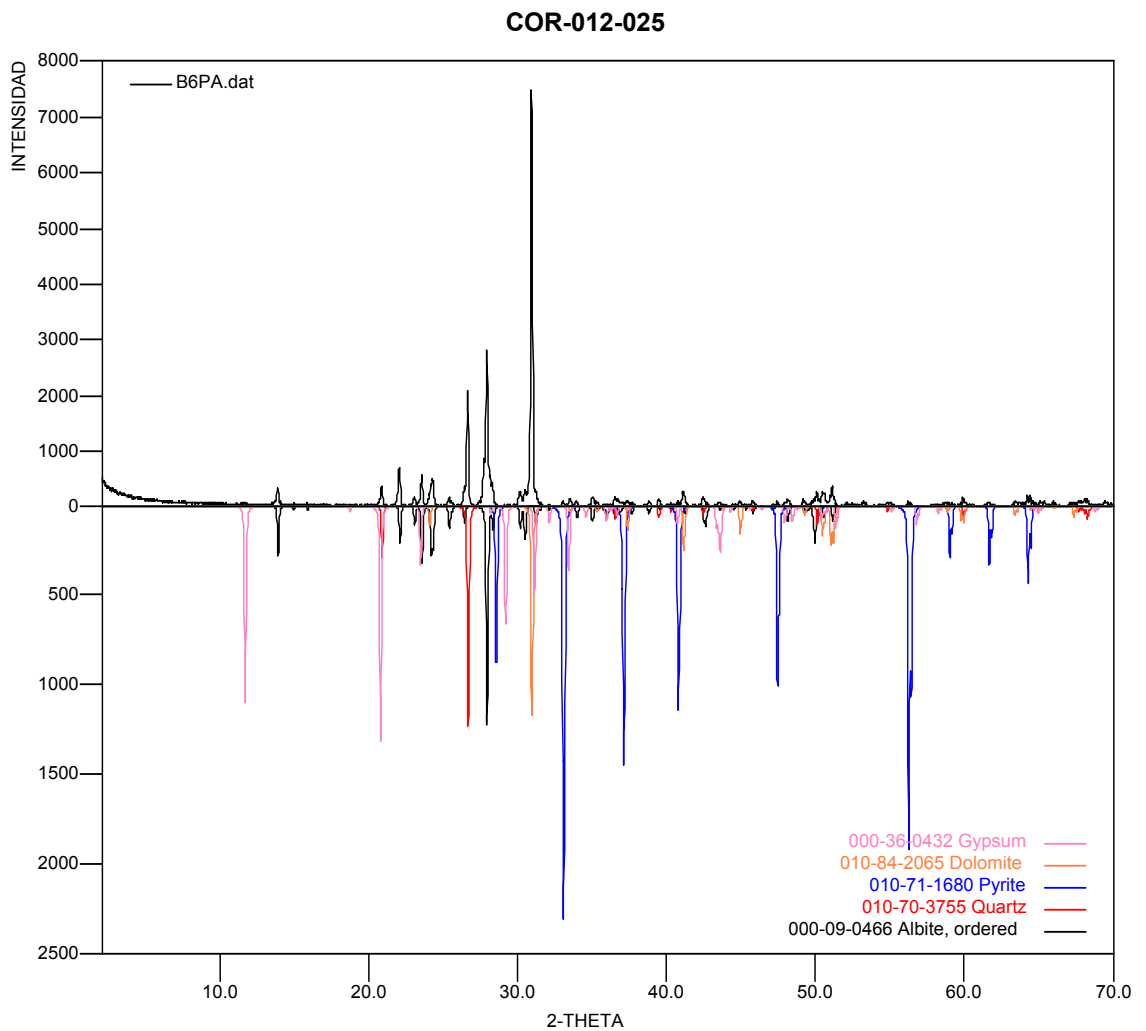
• COR-012-020 (B6NI)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3 \text{)}_2$	000-36-0426	Dolomita
	Ti O_2	010-72-4813	Rutilo



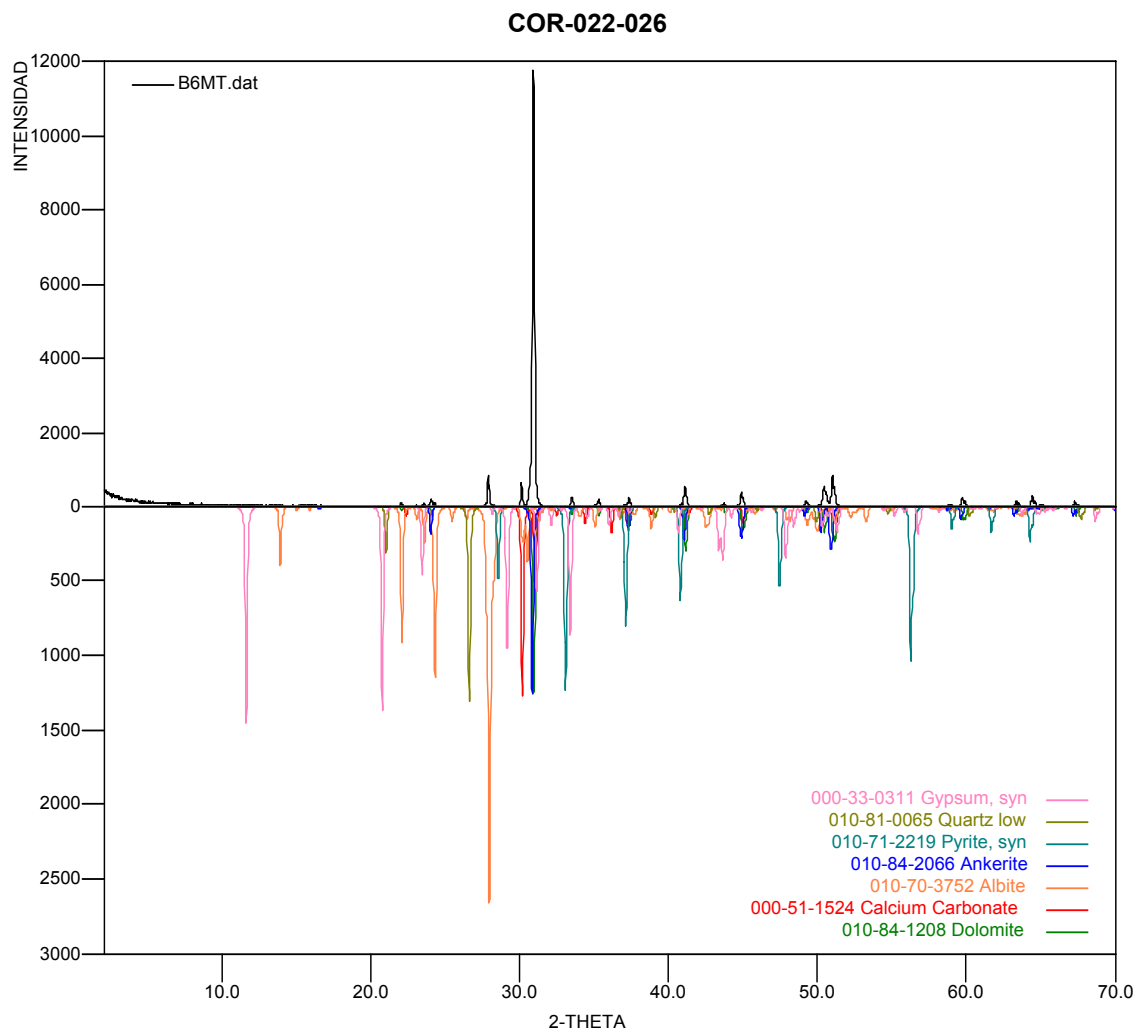
• COR-012-025 (B6PA)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	010-70-3755	Cuarzo
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-36-0432	Gypsum
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-84-2065	Dolomita



- COR-012-026 (B6MT)

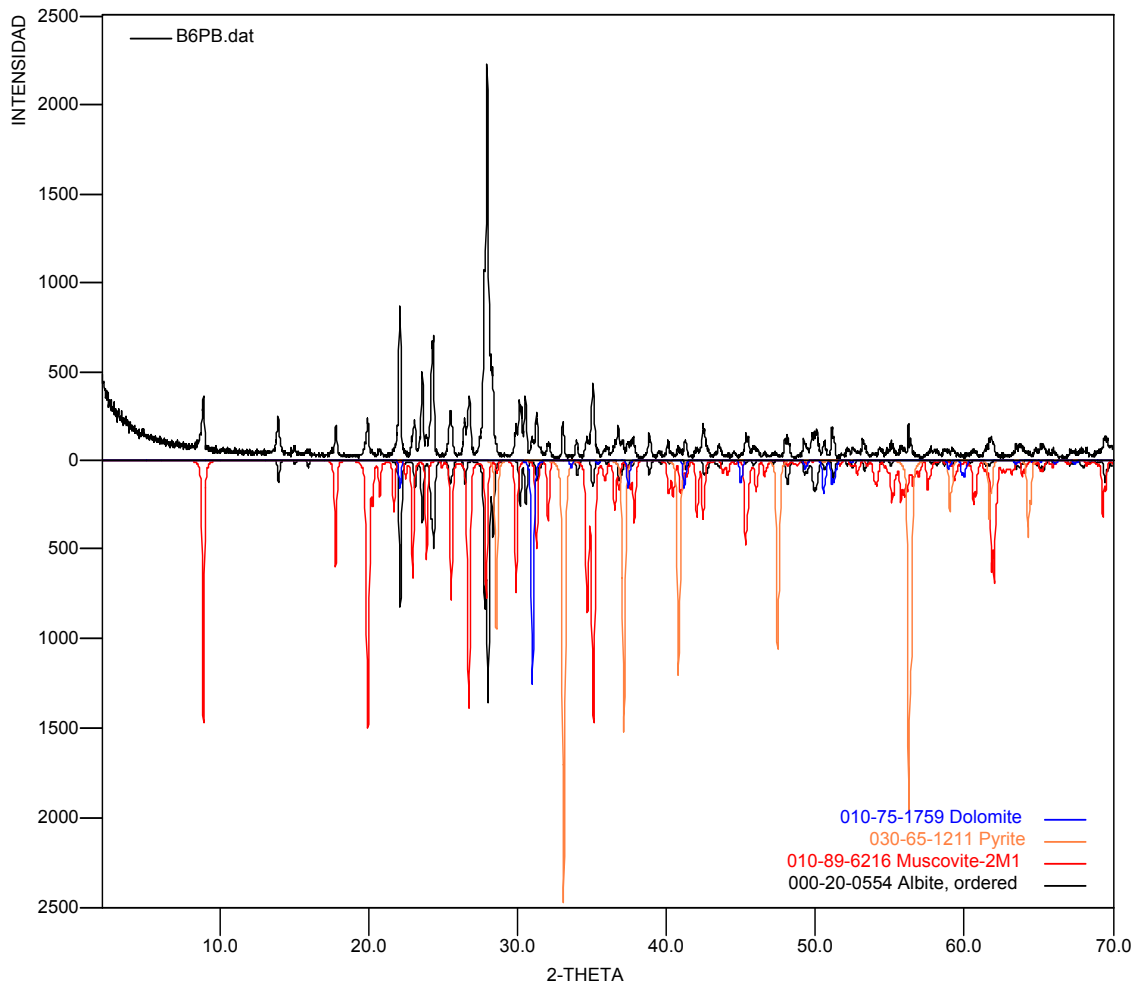
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Ca}_{1.01} \text{Mg}_{0.45} \text{Fe}_{0.54} (\text{CO}_3)_2$	010-84-2066	Ankerita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Ca} (\text{Mg}, \text{Fe}) (\text{CO}_3)_2$	010-84-1208	Dolomita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-33-0311	Gypsum
	Fe S_2	010-71-2219	Pirita
	Si O_2	010-81-0065	Cuarzo
	Ca CO_3	000-51-1524	Calcita



• COR-012-027 (B6PB)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	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
	$\text{Ca} (\text{Mg, Fe}) (\text{CO}_3)_2$	010-75-1759	Dolomita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita

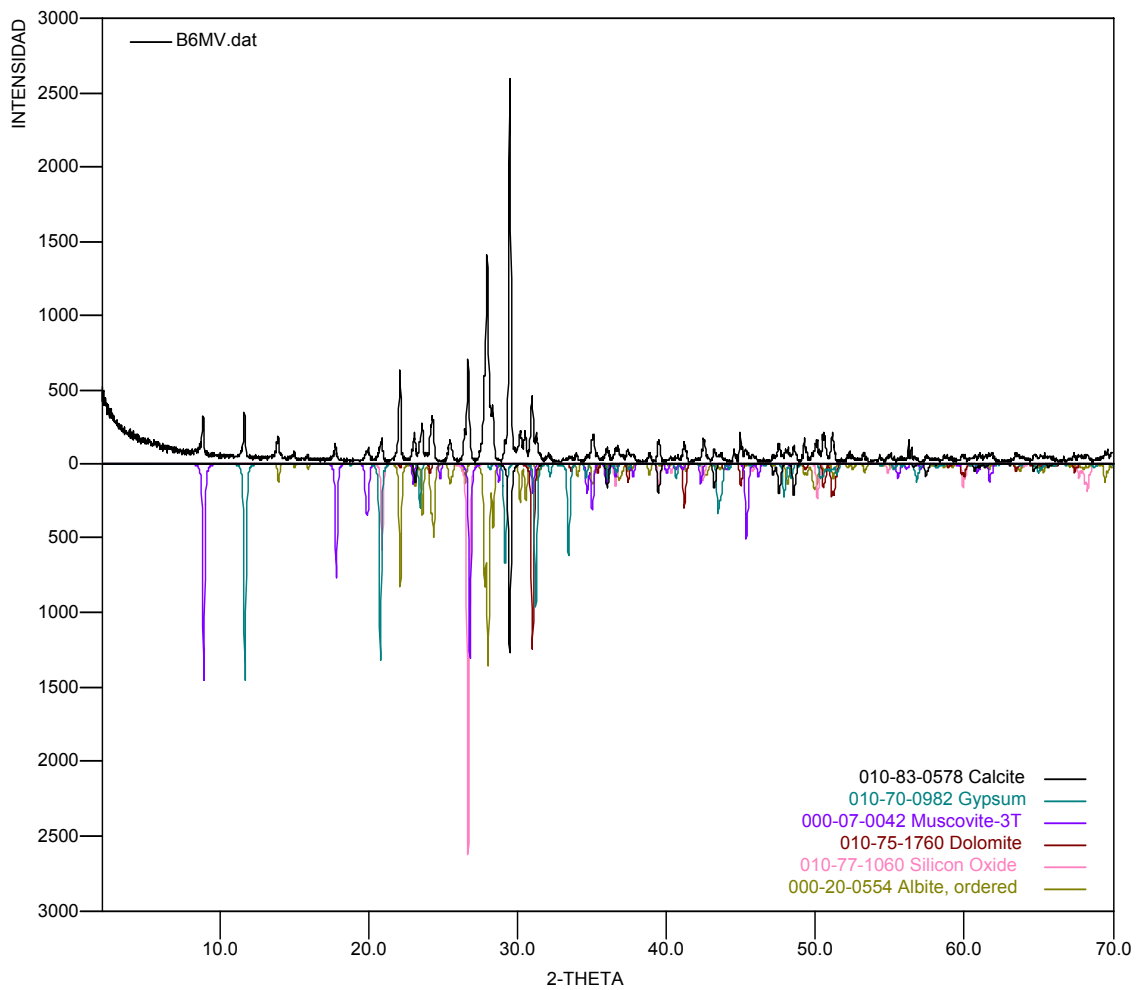
COR-012-027



• COR-012-028 (B6MV)

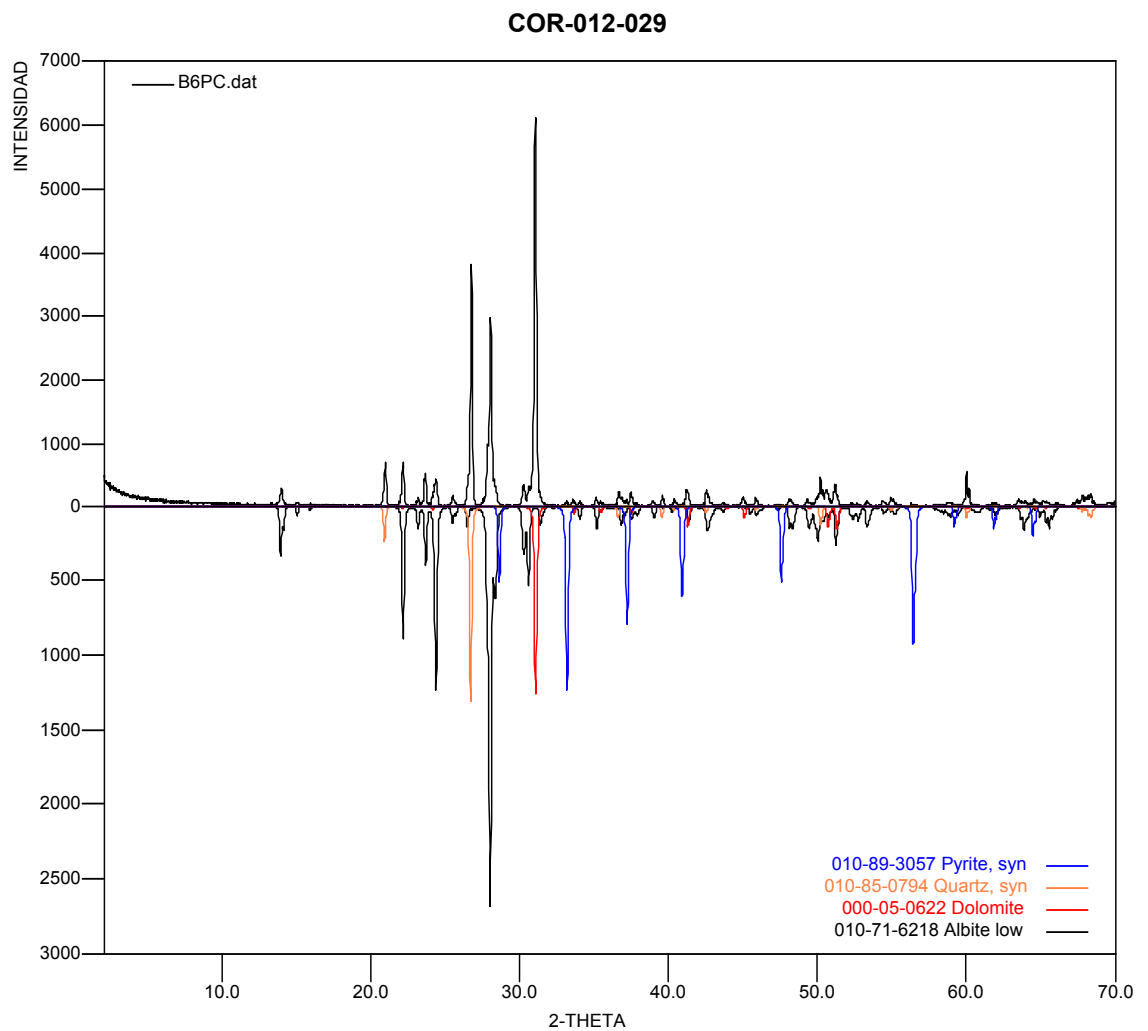
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3 \text{)}_2$	010-75-1760	Dolomita
	Si O_2	010-77-1060	Cuarzo
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-70-0982	Gypsum
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} \text{(OH)}_2$	000-07-0042	Moscovita
	Ca CO_3	010-83-0578	Calcita

COR-022-028



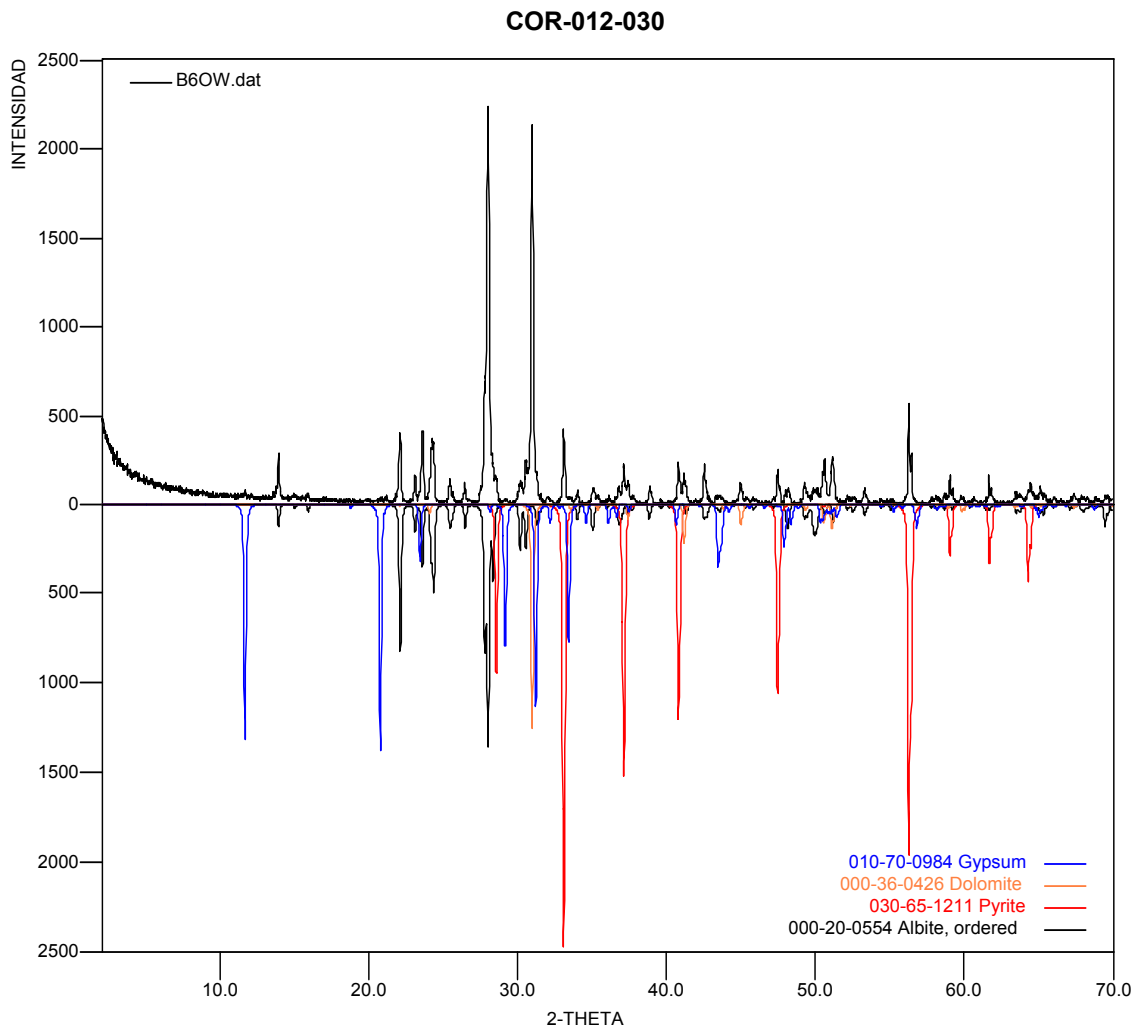
• COR-012-029 (B6PC)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O ₂	010-85-0794	Cuarzo
	Fe S ₂	010-89-3057	Pirita
	Na Al Si ₃ O ₈	010-71-6218	Albita
	Ca (Mg, Fe) (CO ₃) ₂	000-05-0622	Dolomita



- COR-012-030 (B6OW)

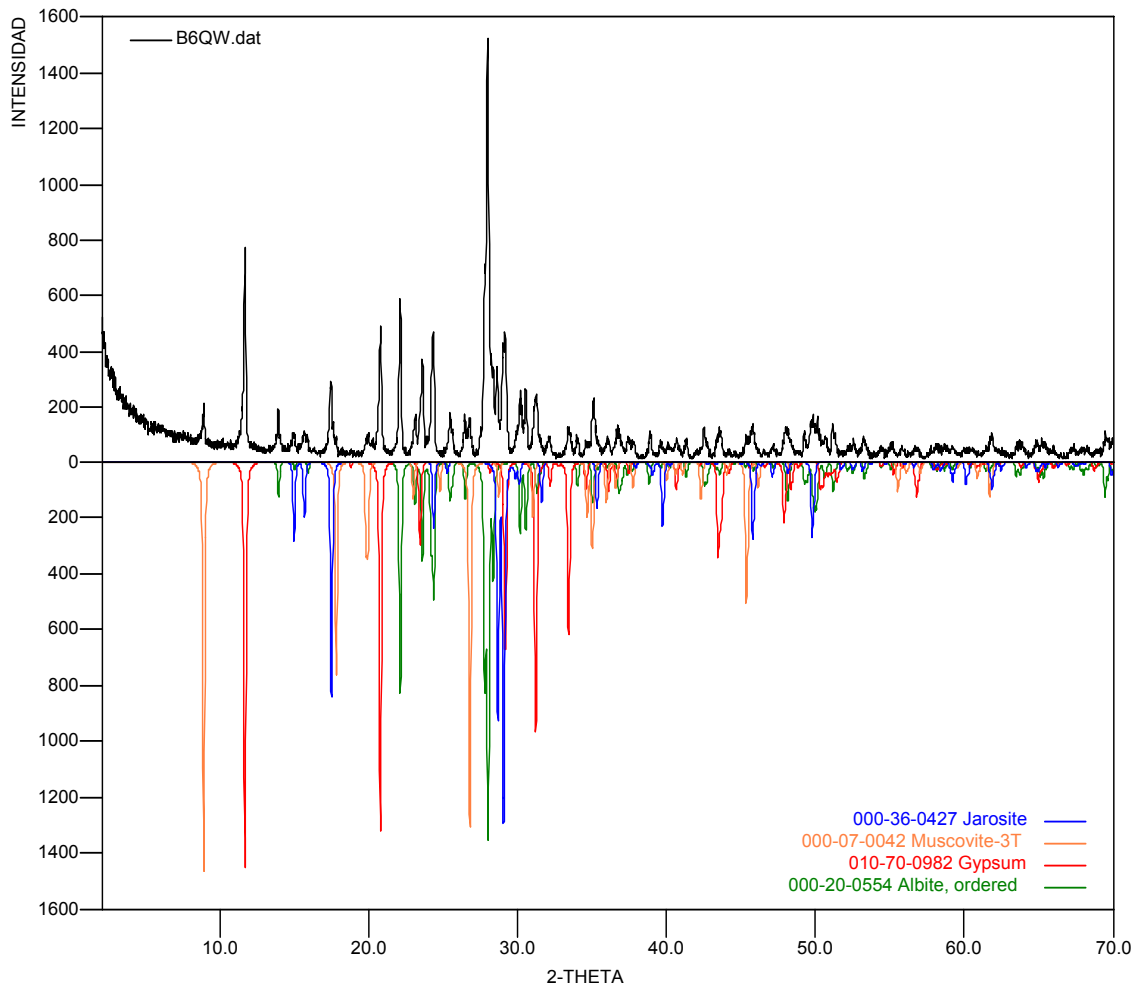
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	<chem>Na Al Si3 O8</chem>	000-20-0554	Albita
	<chem>Fe S2</chem>	030-65-1211	Pirita
	<chem>Ca SO4 2H2O</chem>	010-70-0984	Gypsum
	<chem>Ca (Mg, Fe) (CO3)2</chem>	000-36-0426	Dolomita



- COR-012-031 (B6QW)

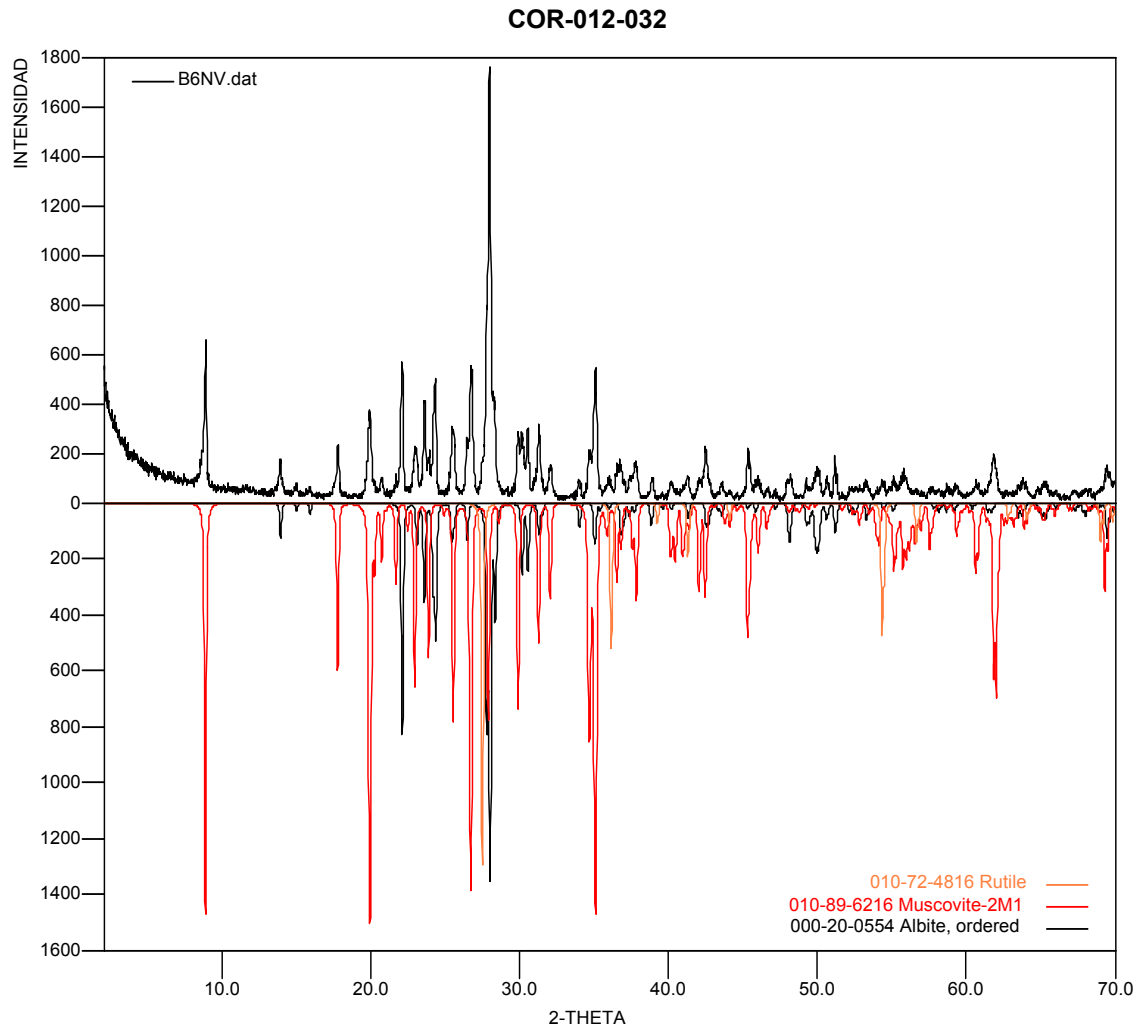
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-70-0982	Gypsum
	$(\text{K, H}_3\text{O}) \text{Fe}_3 (\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6$	000-36-427	Jarosita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0042	Muscovita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita

COR-012-031



• COR-012-032 (B6NV)

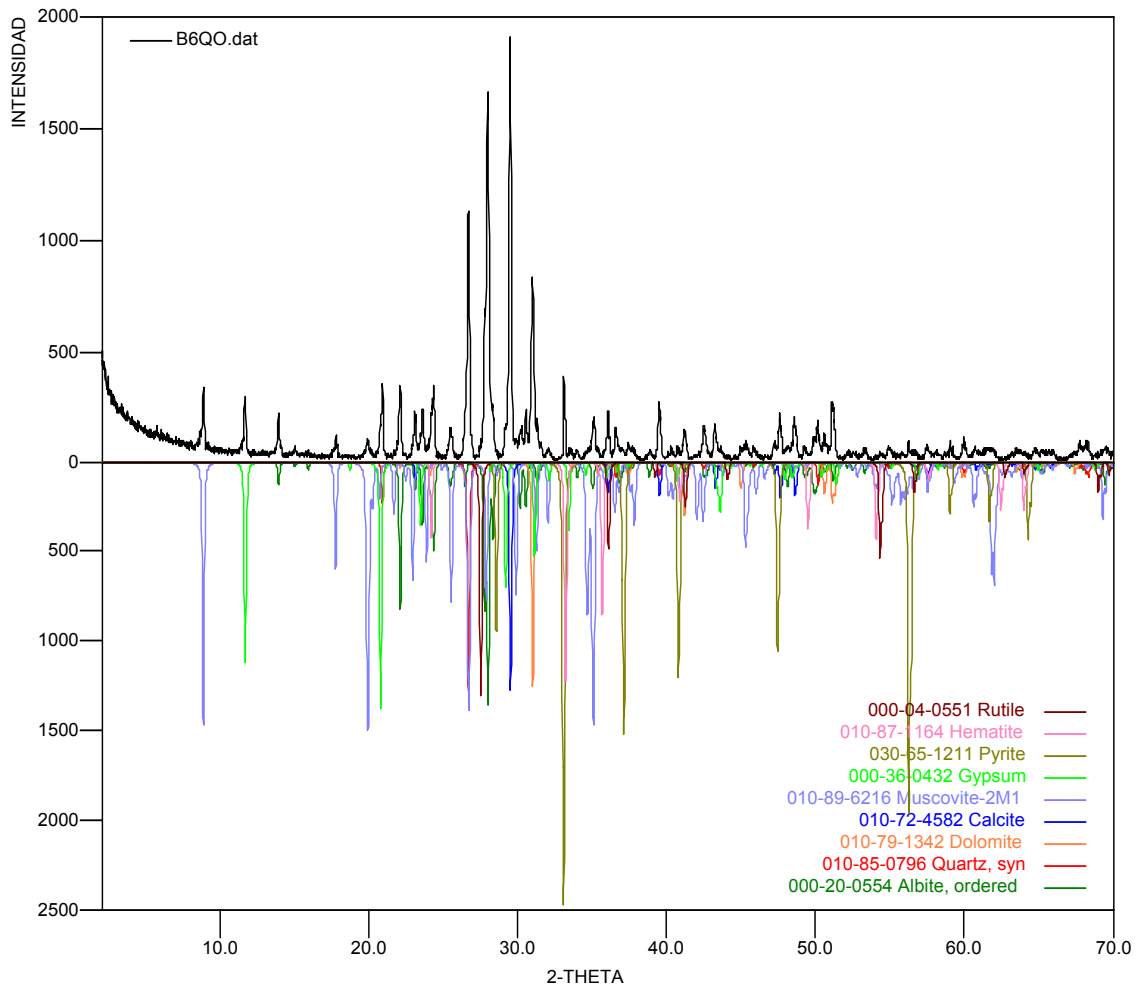
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita
	Ti O_2	010-72-4816	Rutilo



• COR-012-033 (B6QO)

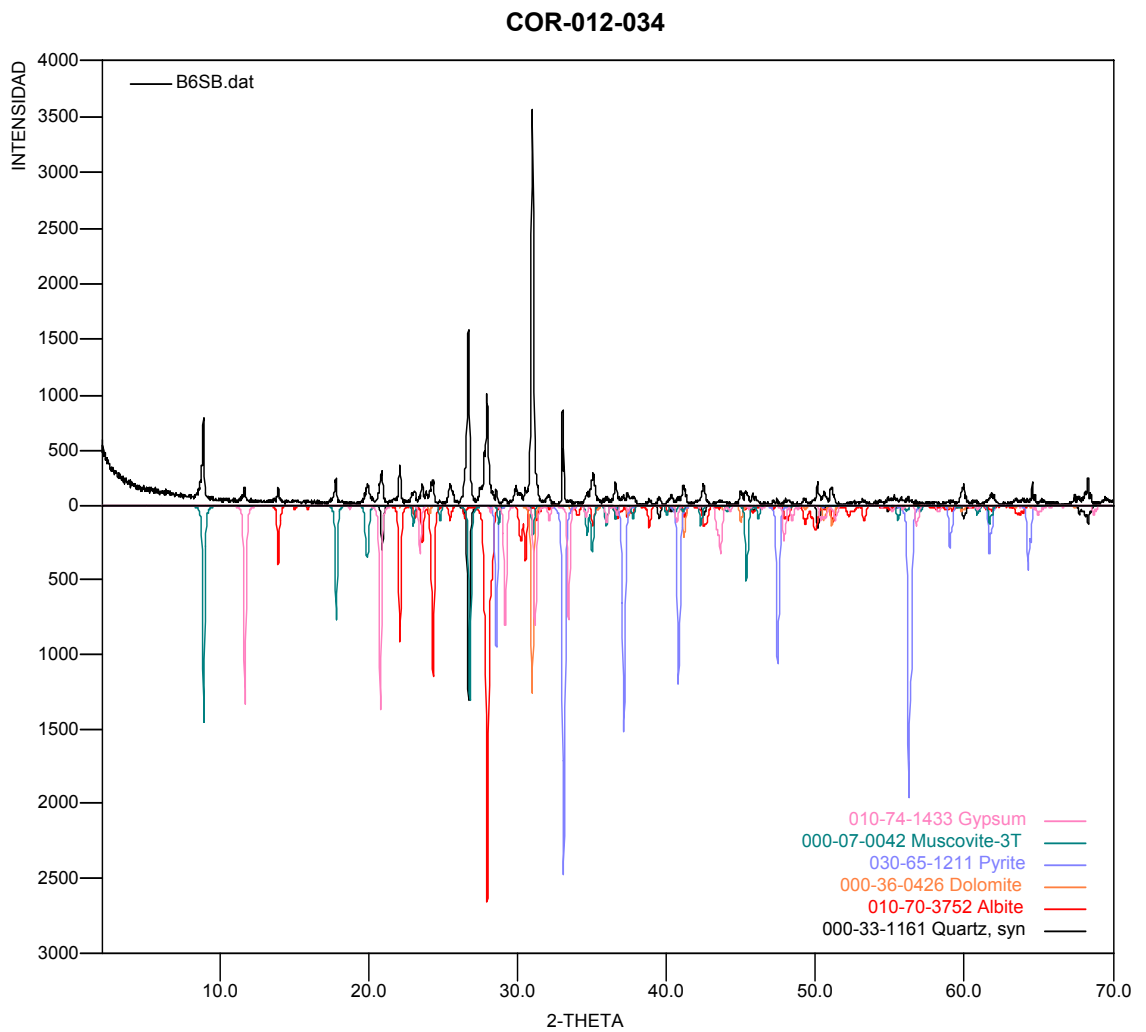
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	010-89-6216	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Ti O_2$	000-04-0551	Rutilo
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	010-79-1342	Dolomita
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-36-0432	Gypsum
	$Fe_2 O_3$	010-87-1164	Hematita
	$Fe S_2$	030-65-1211	Pirita
	$Si O_2$	010-85-0796	Cuarzo
	$Ca CO_3$	010-72-4582	Calcita

COR-012-033



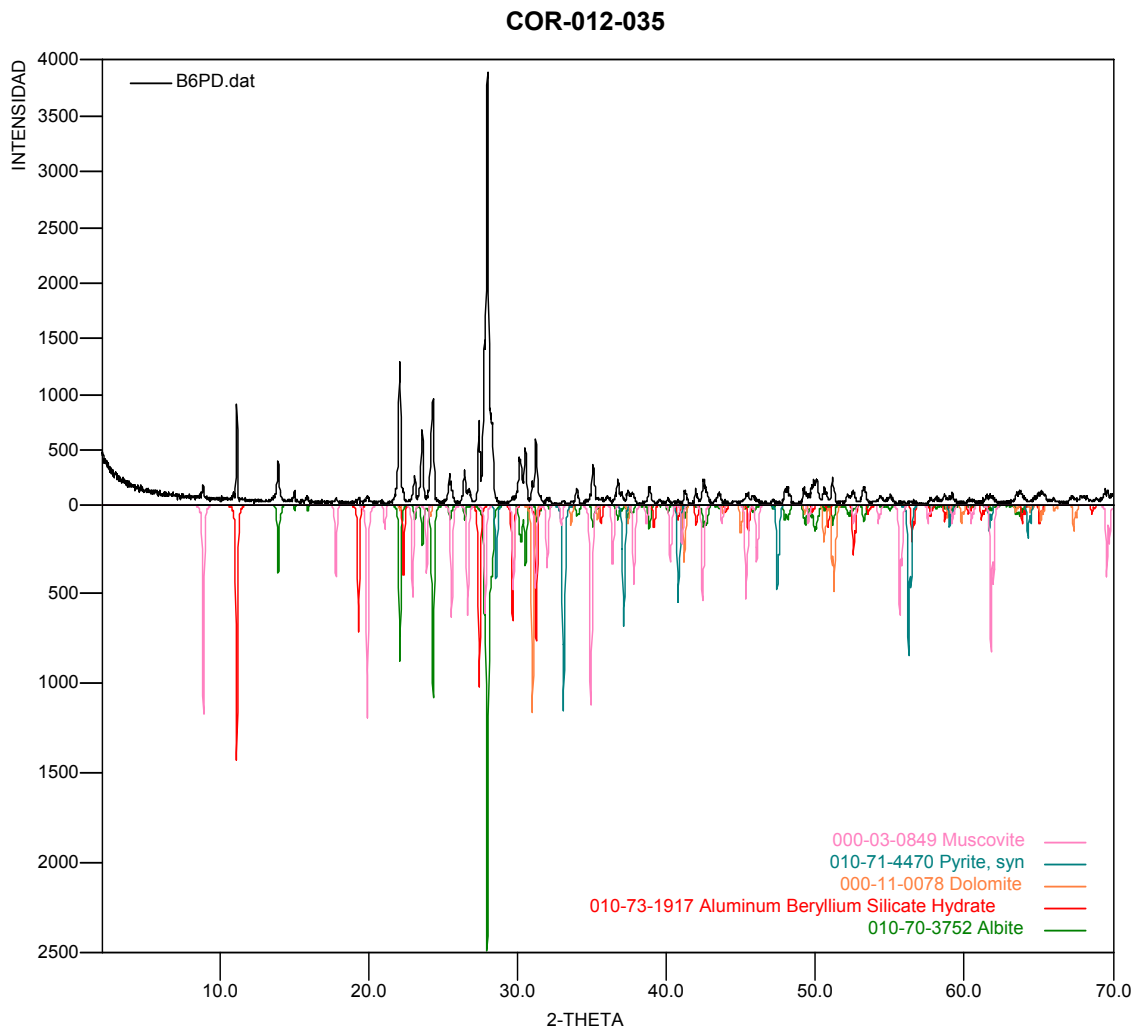
- COR-012-034 (B6SB)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O_2	000-33-1161	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0042	Moscovita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-74-1433	Gypsum
	Fe S_2	030-65-1211	Piriita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Ca} (\text{Mg}, \text{Fe}) (\text{CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita



• COR-012-035 (B6PD)

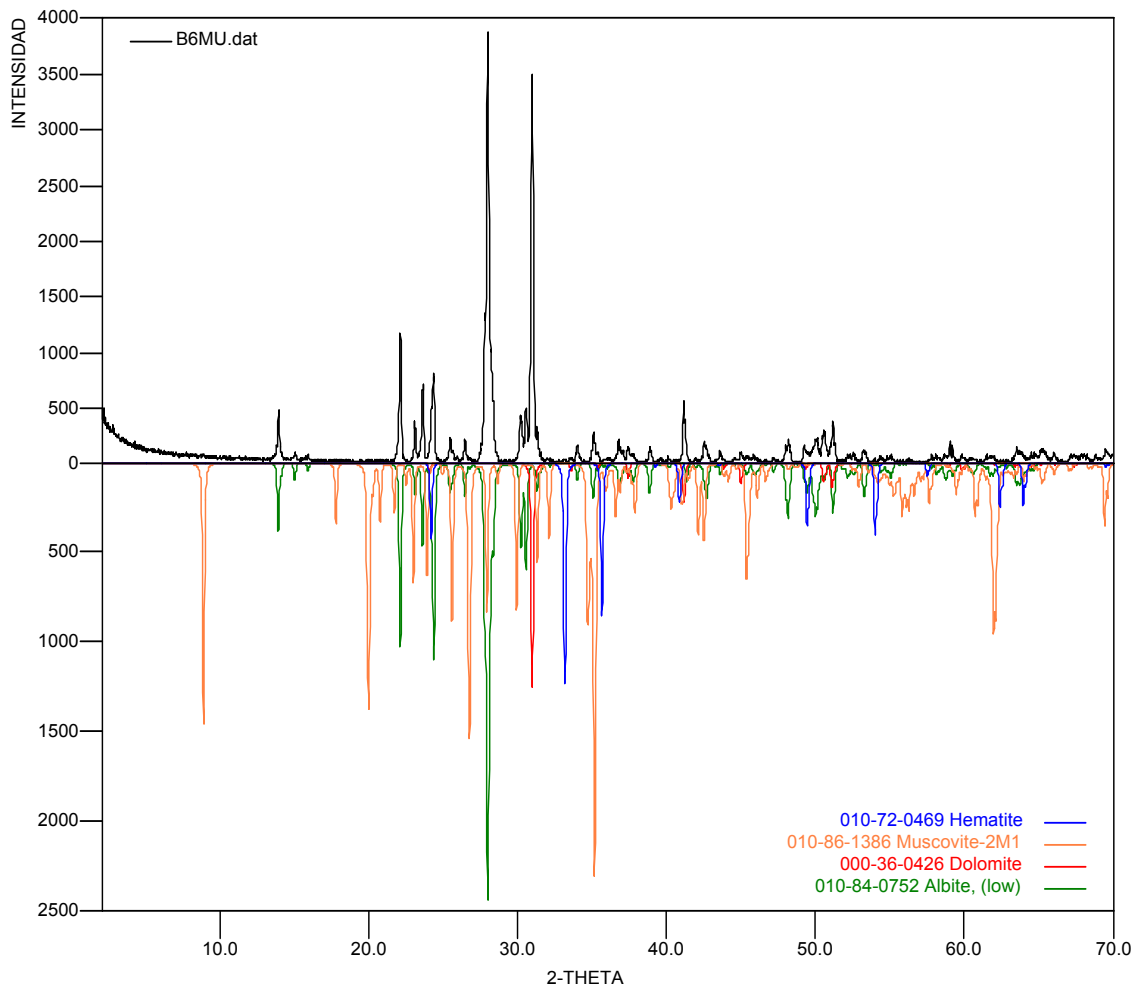
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Al}_2 \text{Be}_3 \text{Si}_6 \text{O}_{18} \text{H}_2\text{O}$	010-73-1917	Esmeralda
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-03-0849	Moscovita
	$\text{Ca} (\text{Mg}, \text{Fe}) (\text{CO}_3)_2$	000-11-0078	Dolomita
	Fe S_2	010-71-4470	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita



• COR-012-036 (B6MU)

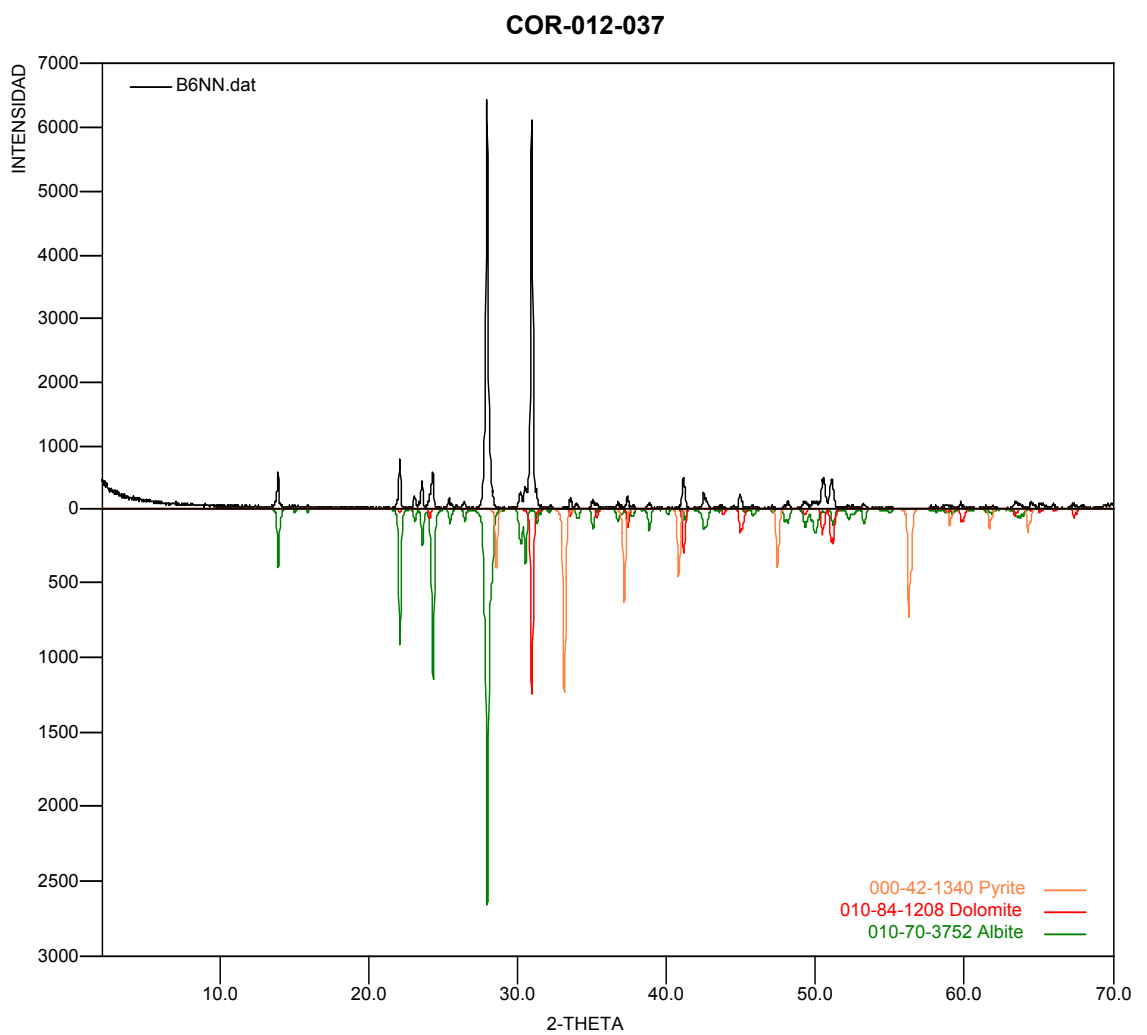
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	010-86-1386	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	010-84-0752	Albita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	$Fe_2 O_3$	010-72-0469	Hematita

COR-022-036



• COR-012-037 (B6NN)

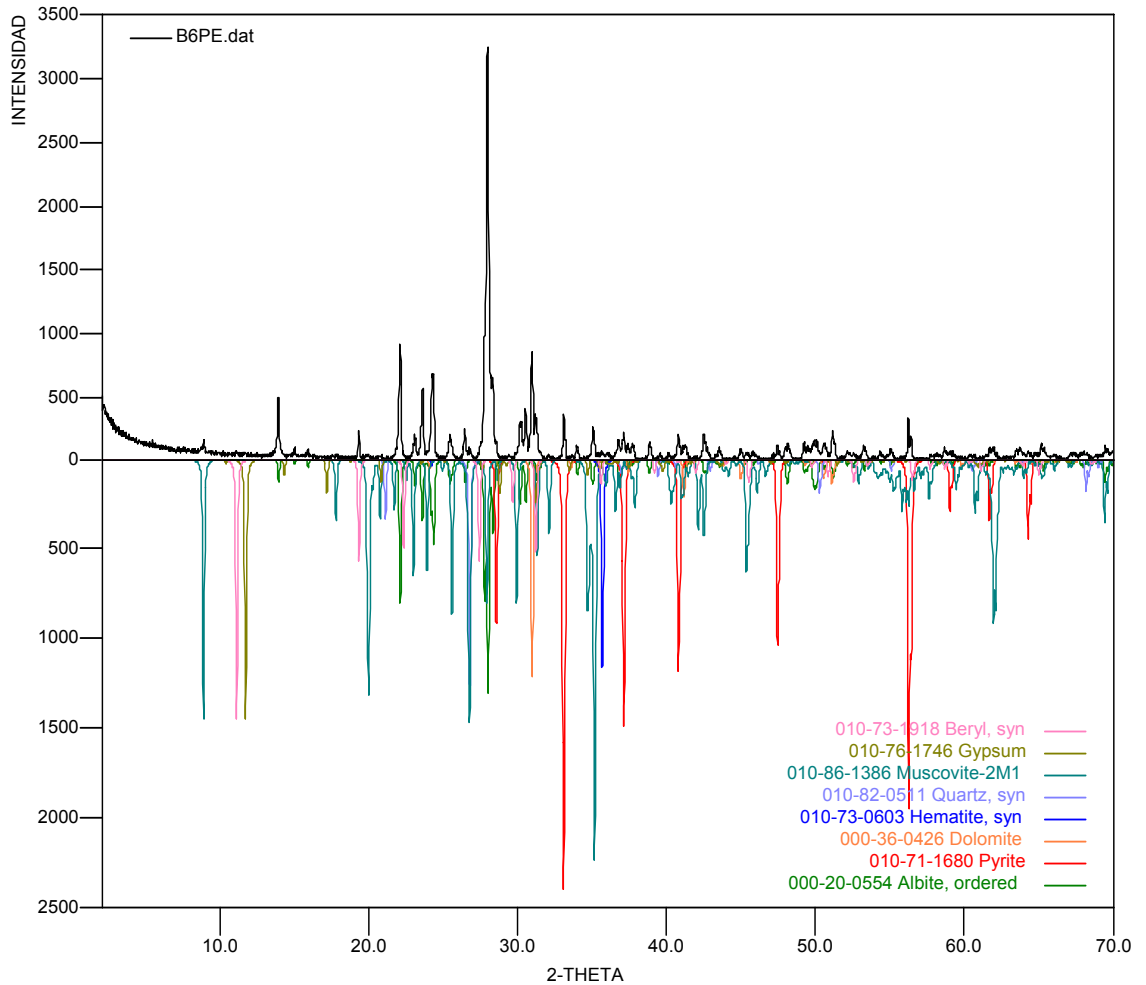
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Na Al Si ₃ O ₈	010-70-3752	Albita
	Fe S ₂	000-42-1340	Pirita
	Ca Mg (CO ₃) ₂	010-84-1208	Dolomita



• COR-012-038 (B6PE)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O_2	010-82-0511	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-86-1386	Moscovita
	$\text{Al}_2 \text{Be}_3 \text{Si}_6 \text{O}_{18} \text{H}_2\text{O}$	010-73-1918	Esmeralda
	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	010-73-0603	Hematita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-76-1746	Gypsum
	$\text{Ca} (\text{Mg}, \text{Fe}) (\text{CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita

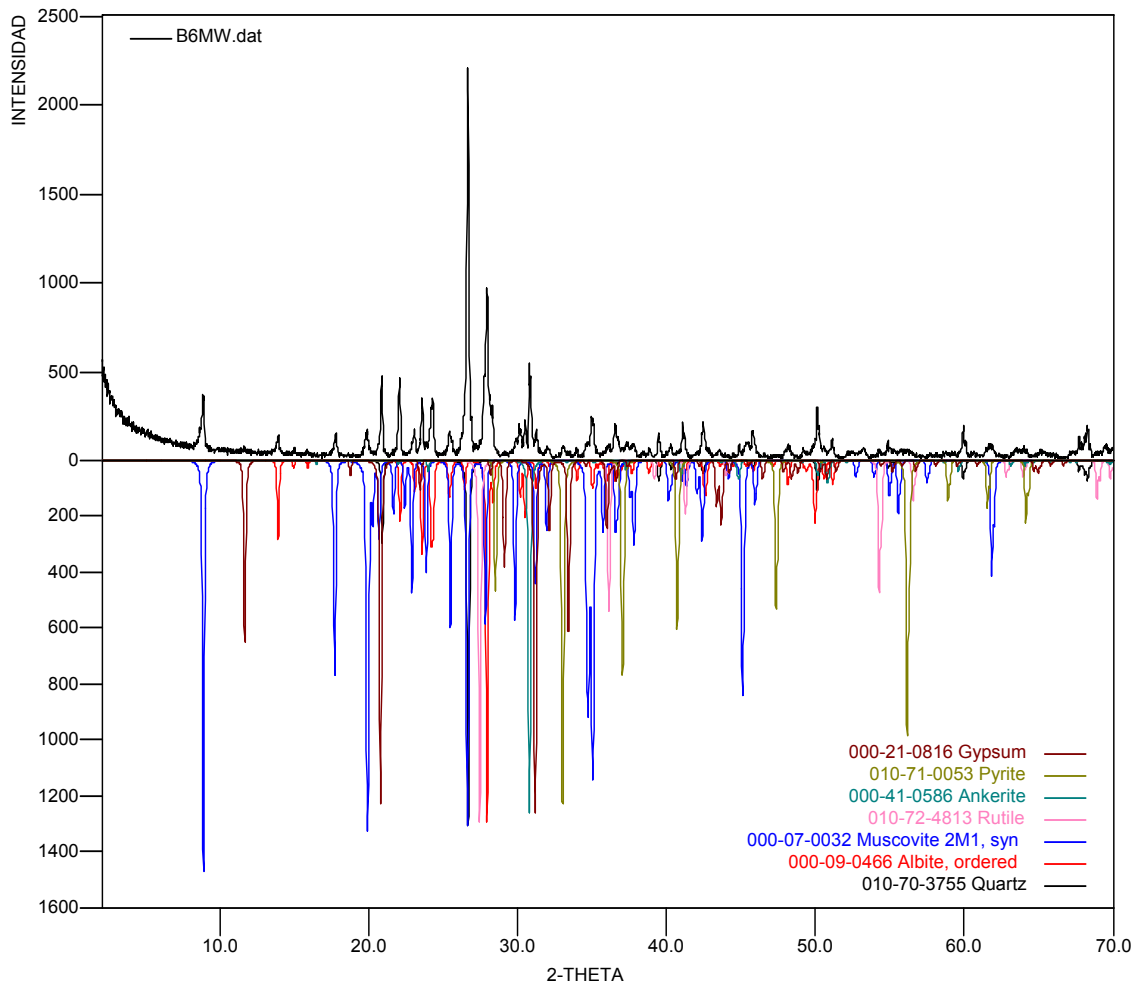
COR-012-038



- COR-012-039 (B6MW)

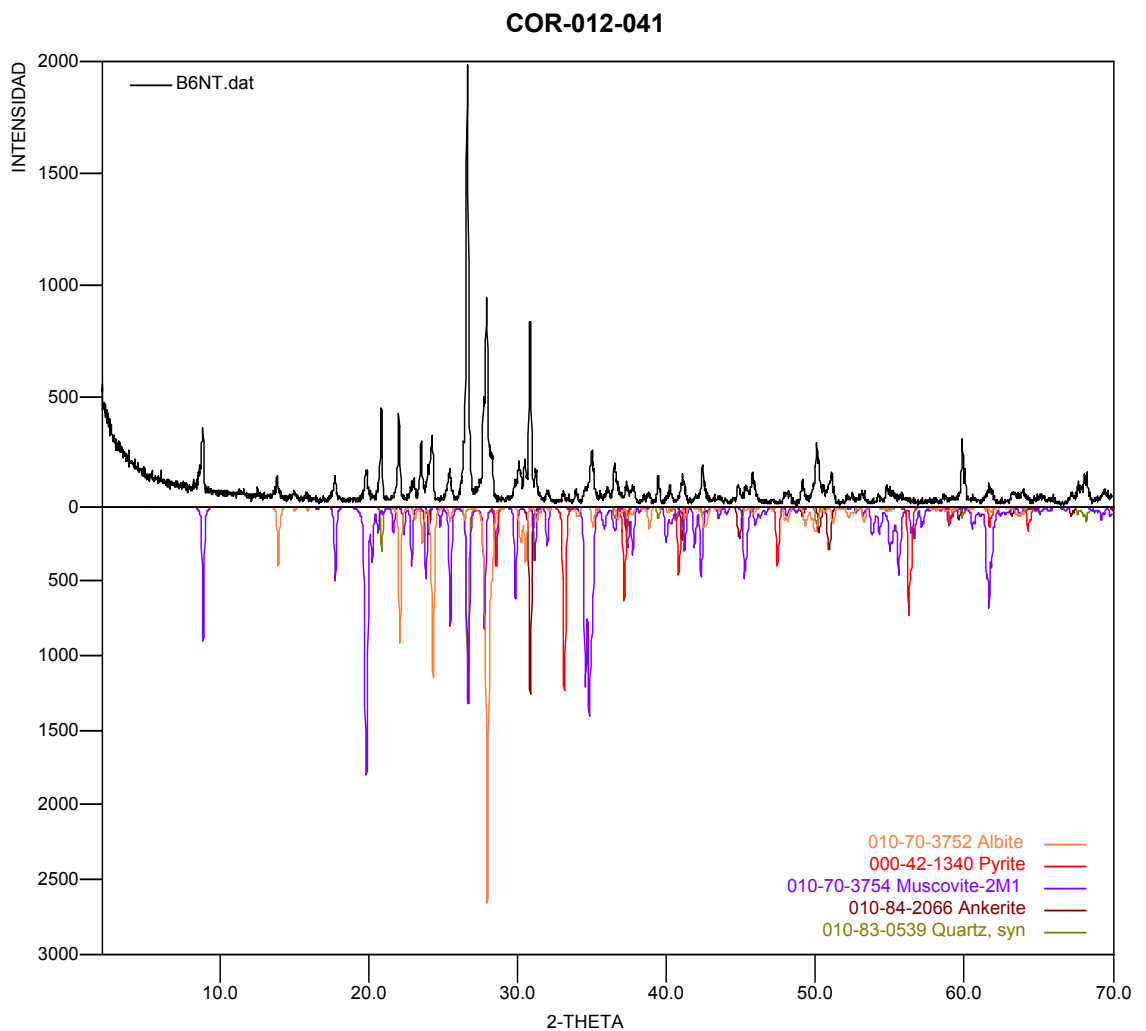
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	000-07-0032	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-09-0466	Albita
	$Ti O_2$	010-72-4813	Rutilo
	$Fe S_2$	010-71-0053	Pirita
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-21-0816	Gypsum
	$Si O_2$	010-70-3755	Cuarzo
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	000-41-0586	Ankerita

COR-022-039



• COR-012-041 (B6NT)

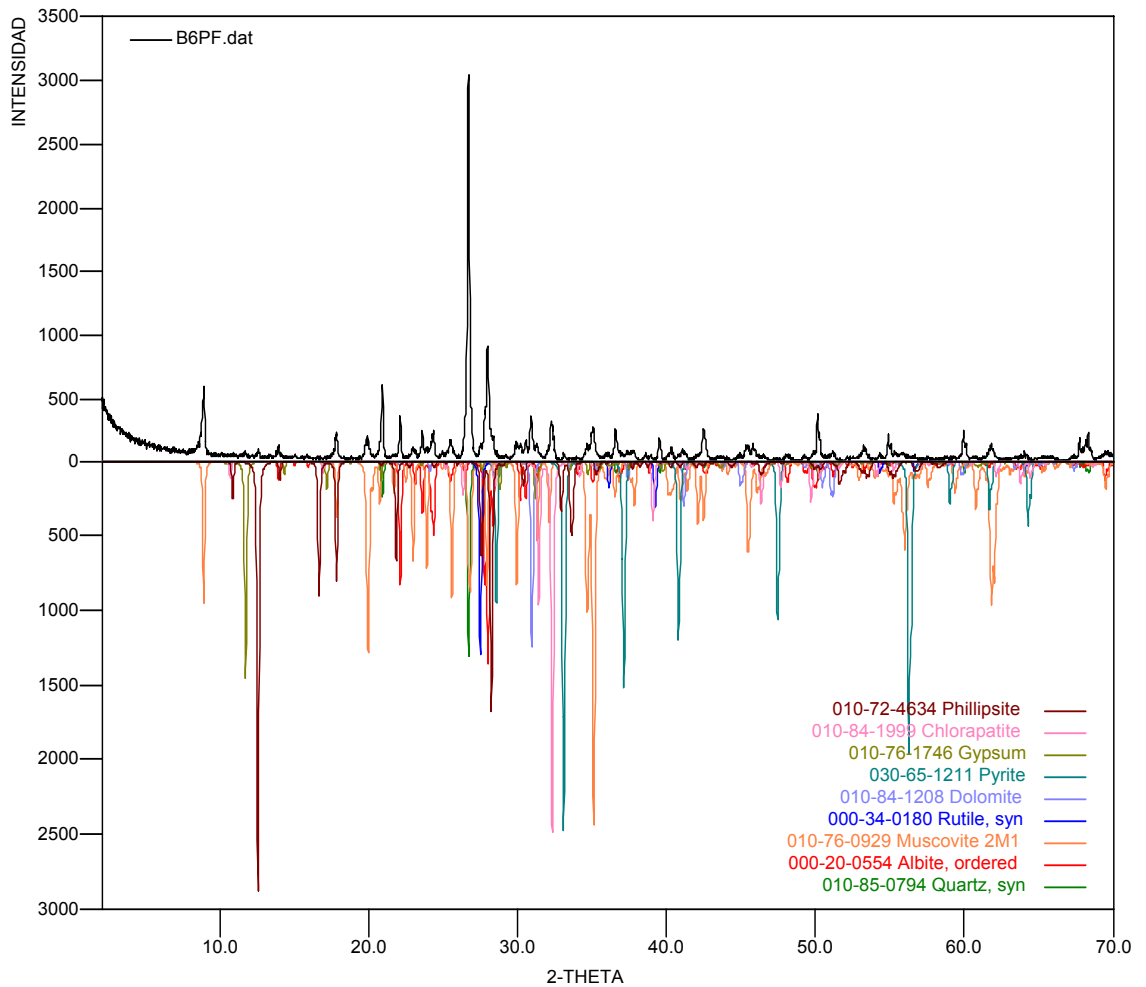
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	Si O_2	010-85-0539	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-70-3754	Moscovita
	Fe S_2	000-42-1340	Pirita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-84-2066	Ankerita



• COR-012-043 (B6PF)

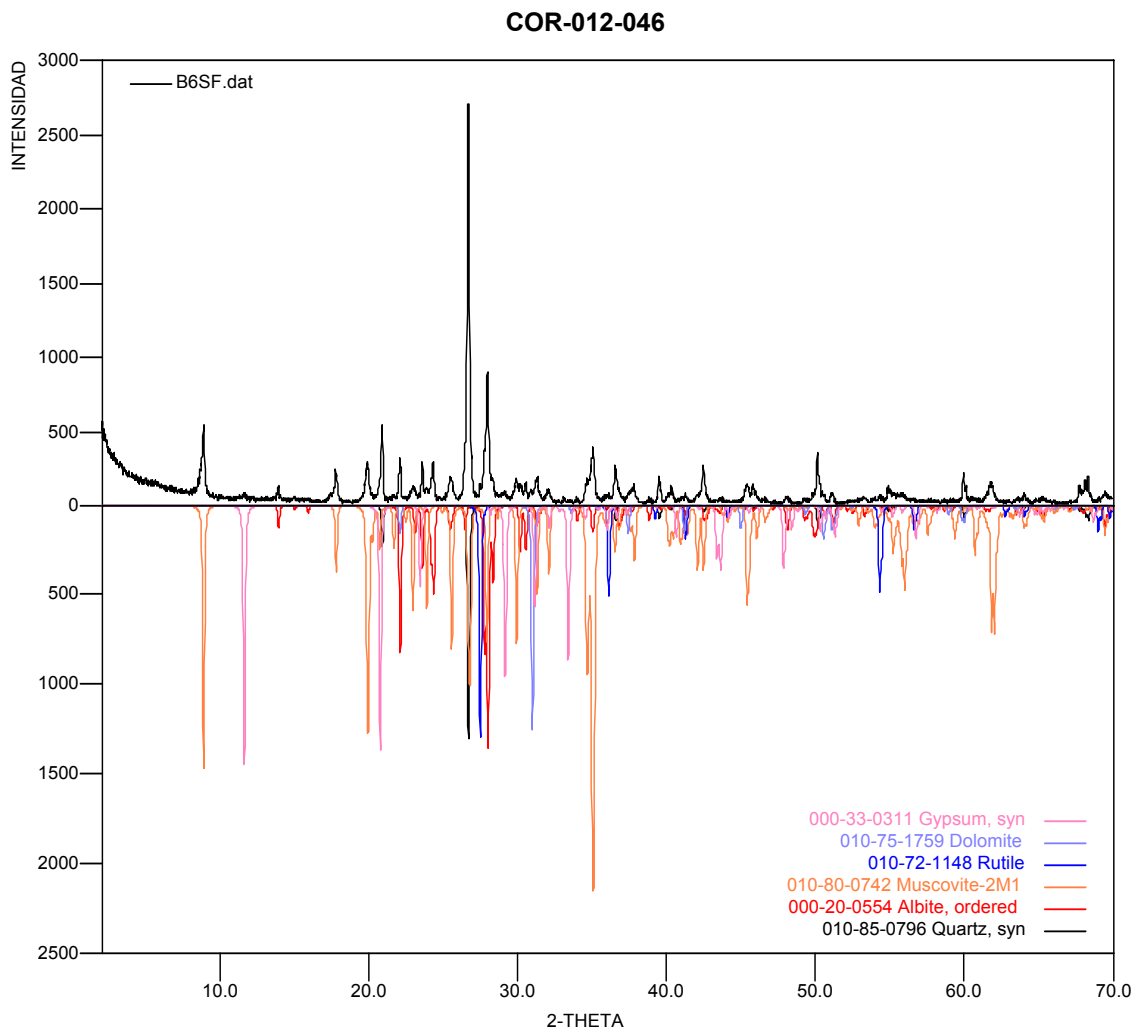
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	010-85-0794	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-76-0929	Moscovita
	$\text{Mg}_{1.52} \text{Na}_{0.88} \text{K}_{0.22} (\text{Al}_{4.5} \text{Si}_{11.5} \text{O}_{32}) (\text{H}_2\text{O})_{10.96}$	010-72-4634	Phillipsita
	$\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{F}_{0.09} \text{Cl}_{0.88}$	010-84-1999	Clorapatita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-76-1746	Gypsum
	Ti O_2	000-34-0180	Rutilo
	$\text{Ca} (\text{Mg, Fe}) (\text{CO}_3)_2$	010-84-1208	Dolomita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita

COR-012-043



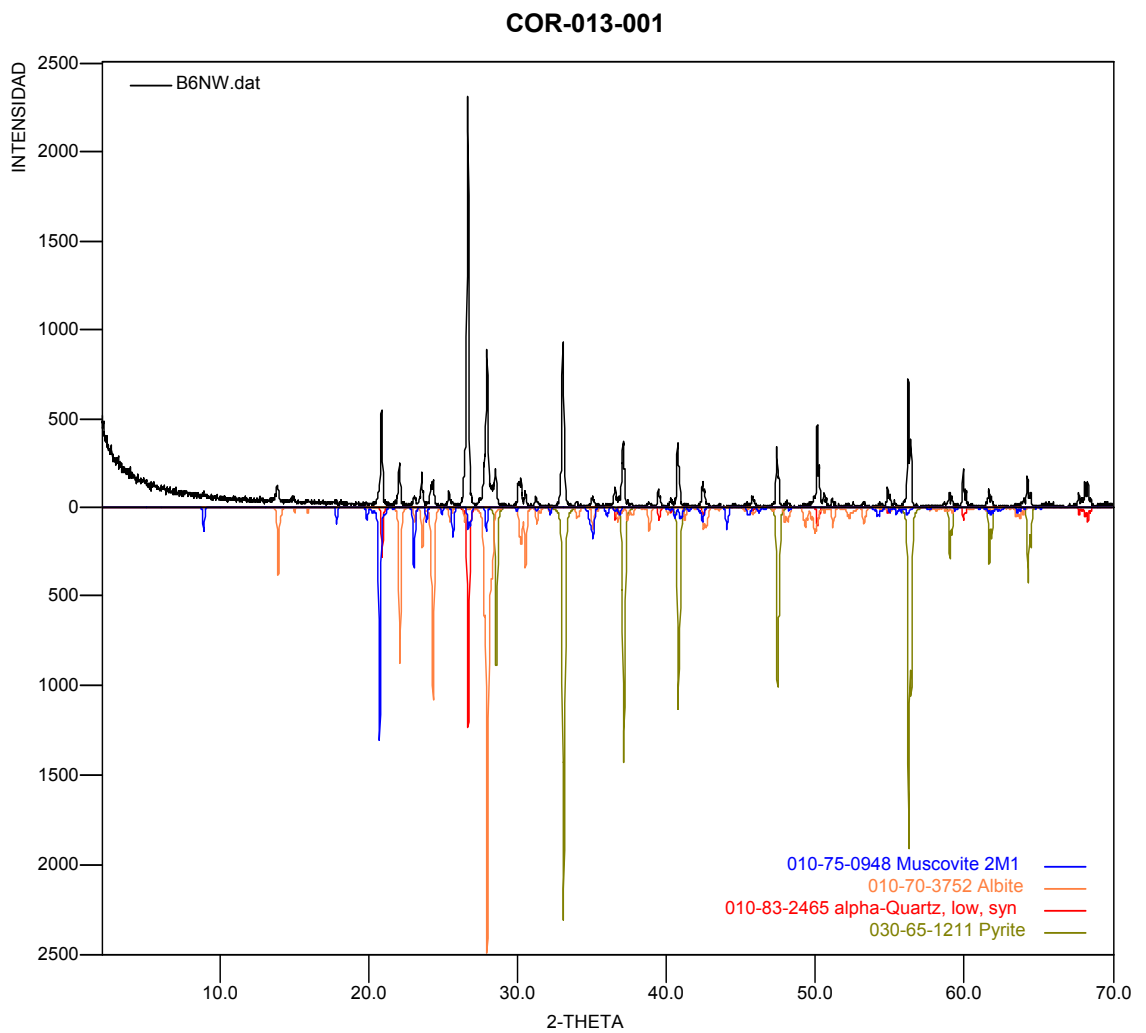
- COR-012-046 (B6SF)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-80-0742	Moscovita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-33-0311	Gypsum
	Ti O_2	010-72-1148	Rutilo
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ca} (\text{Mg, Fe}) (\text{CO}_3)_2$	010-75-1759	Dolomita



- COR-013-001 (B6NW)

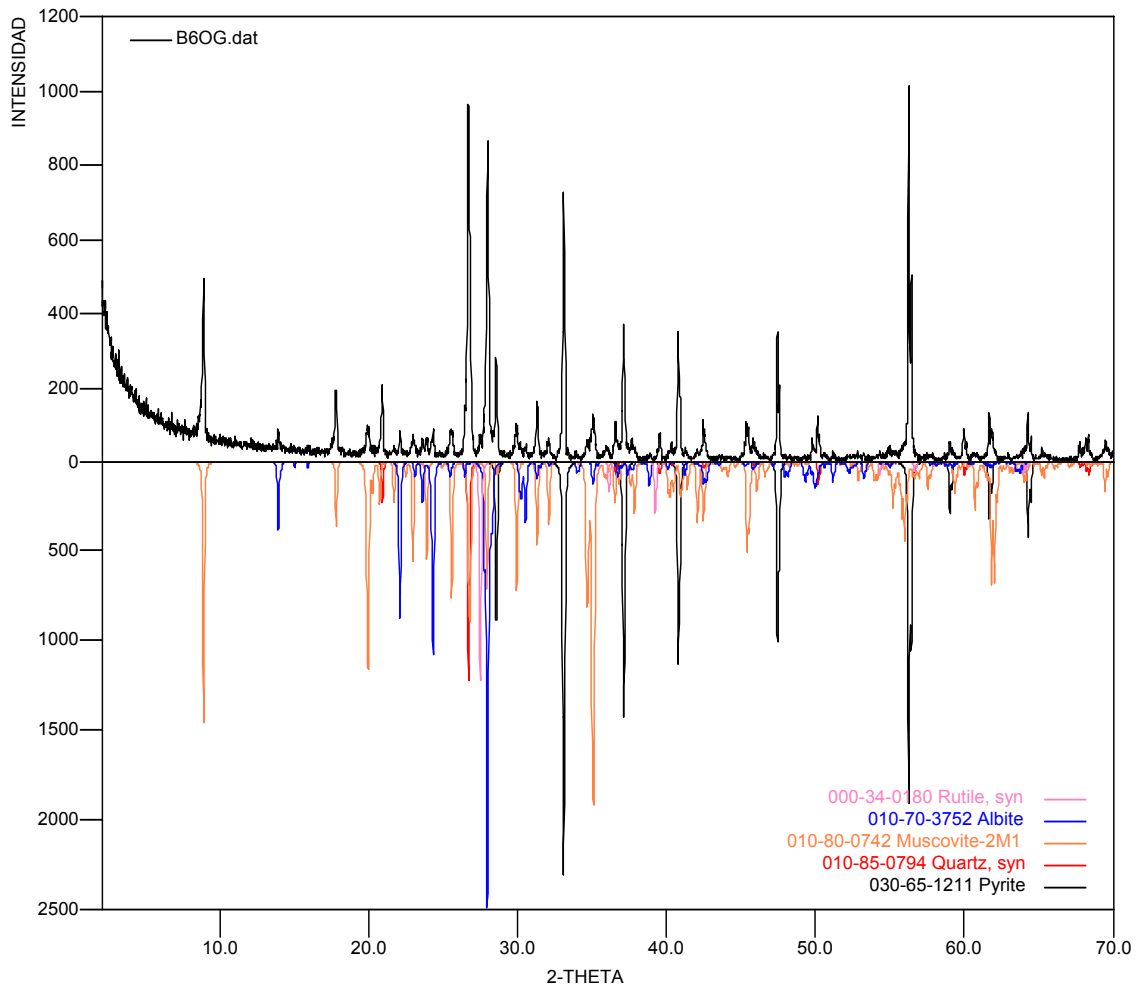
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O_2	010-83-2465	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-75-0948	Moscovita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita



• COR-013-004A (B6OG)

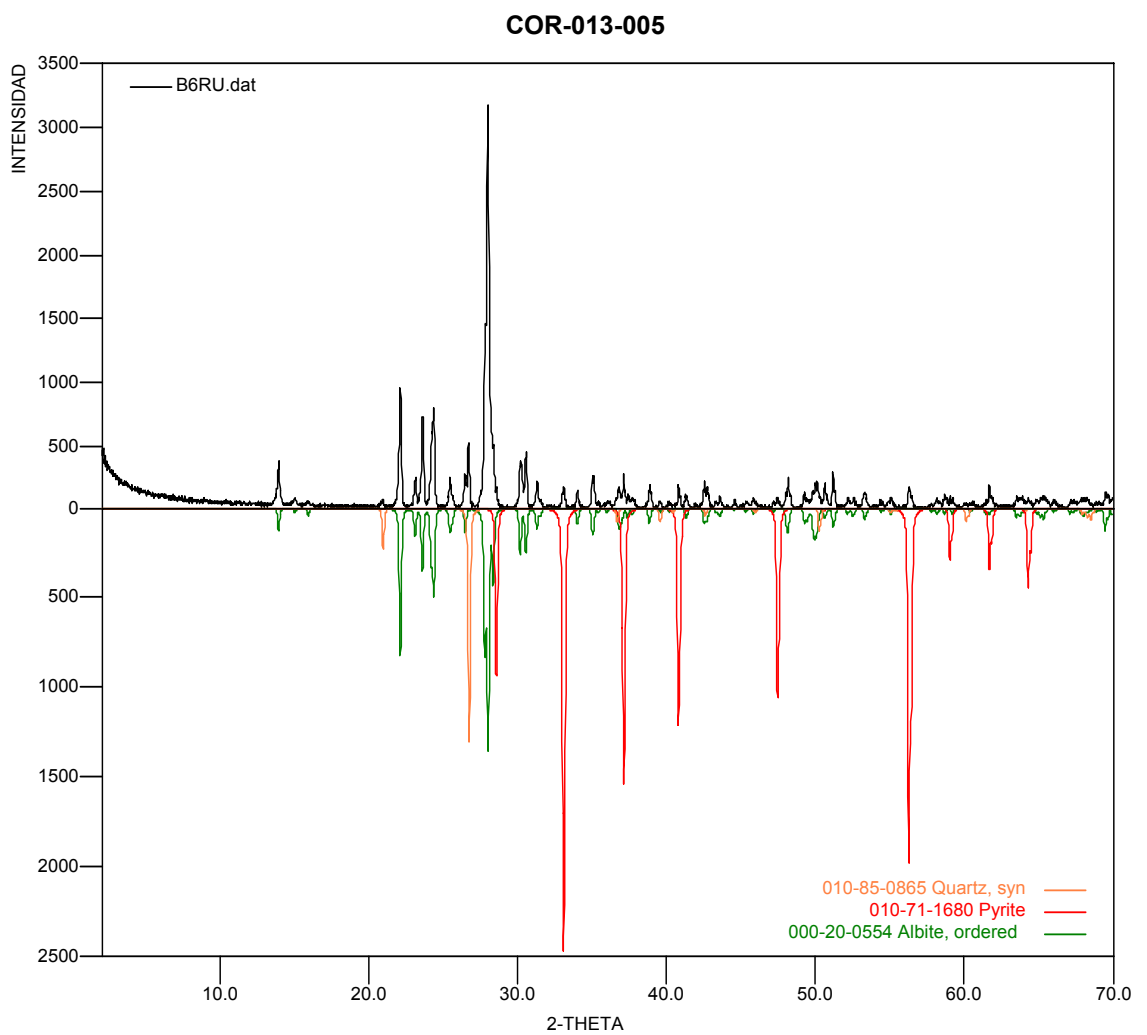
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O ₂	000-78-1253	Cuarzo
	Fe S ₂	000-26-0801	Pirita
	K Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂	000-80-0742	Moscovita
	Ti O ₂	000-34-0180	Rutilo
	Na Al Si ₃ O ₈	000-89-6424	Albita

COR-013-04A



• COR-013-005 (B6RU)

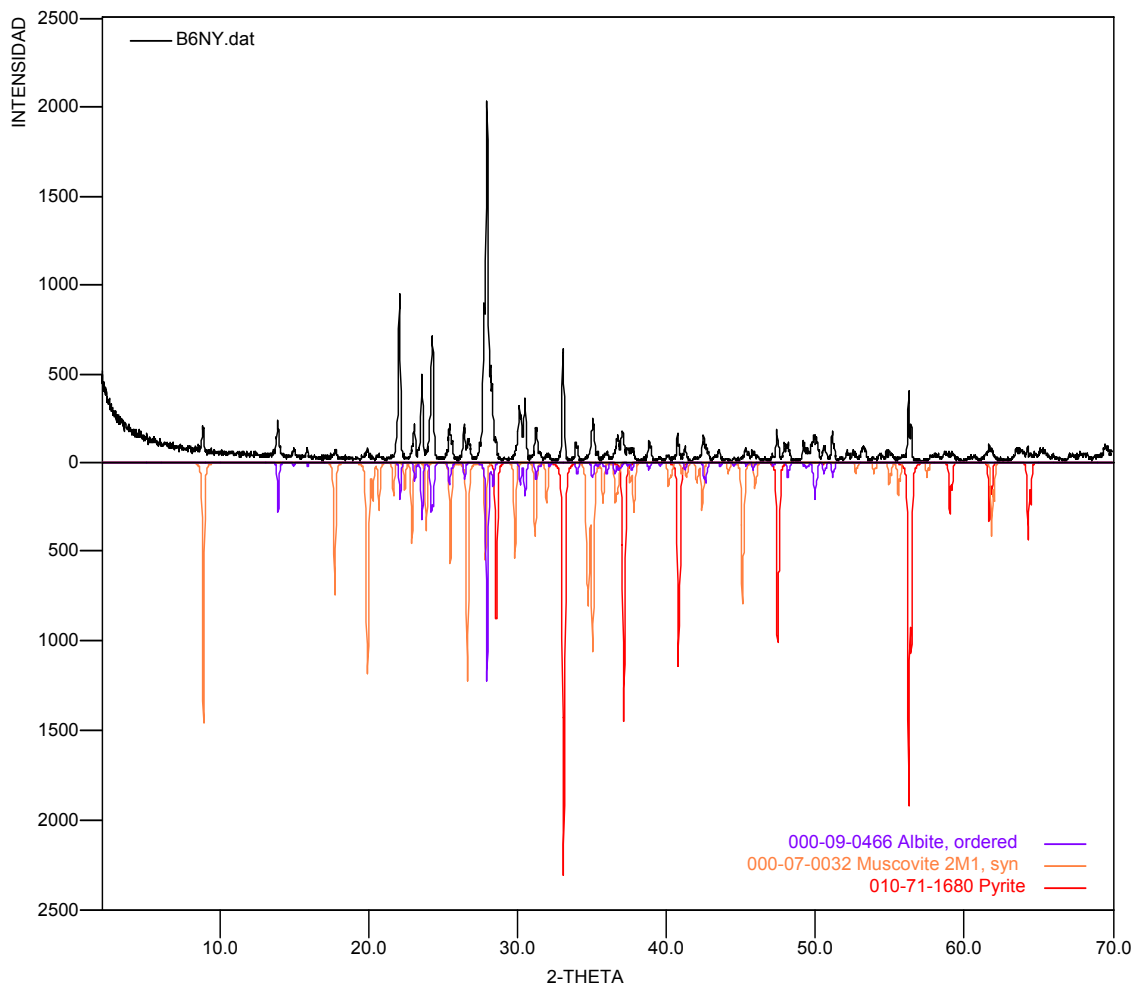
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino s	Na Al Si ₃ O ₈	000-20-0554	Albita
	Si O ₂	010-85-0865	Cuarzo
	Fe S ₂	010-71-1680	Pirita



• COR-013-006 (B6NY)

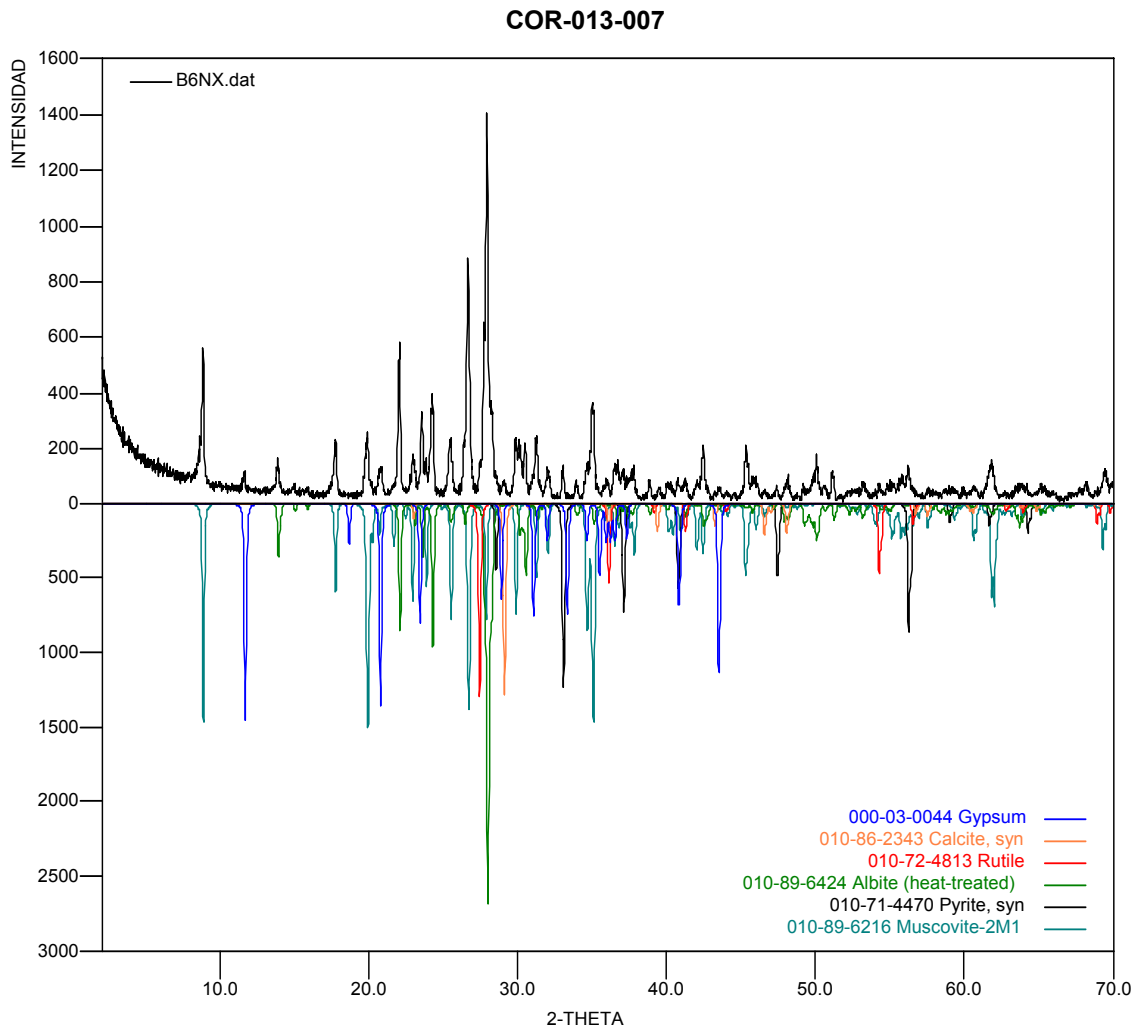
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0032	Moscovita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-09-0466	Albita

COR-013-006



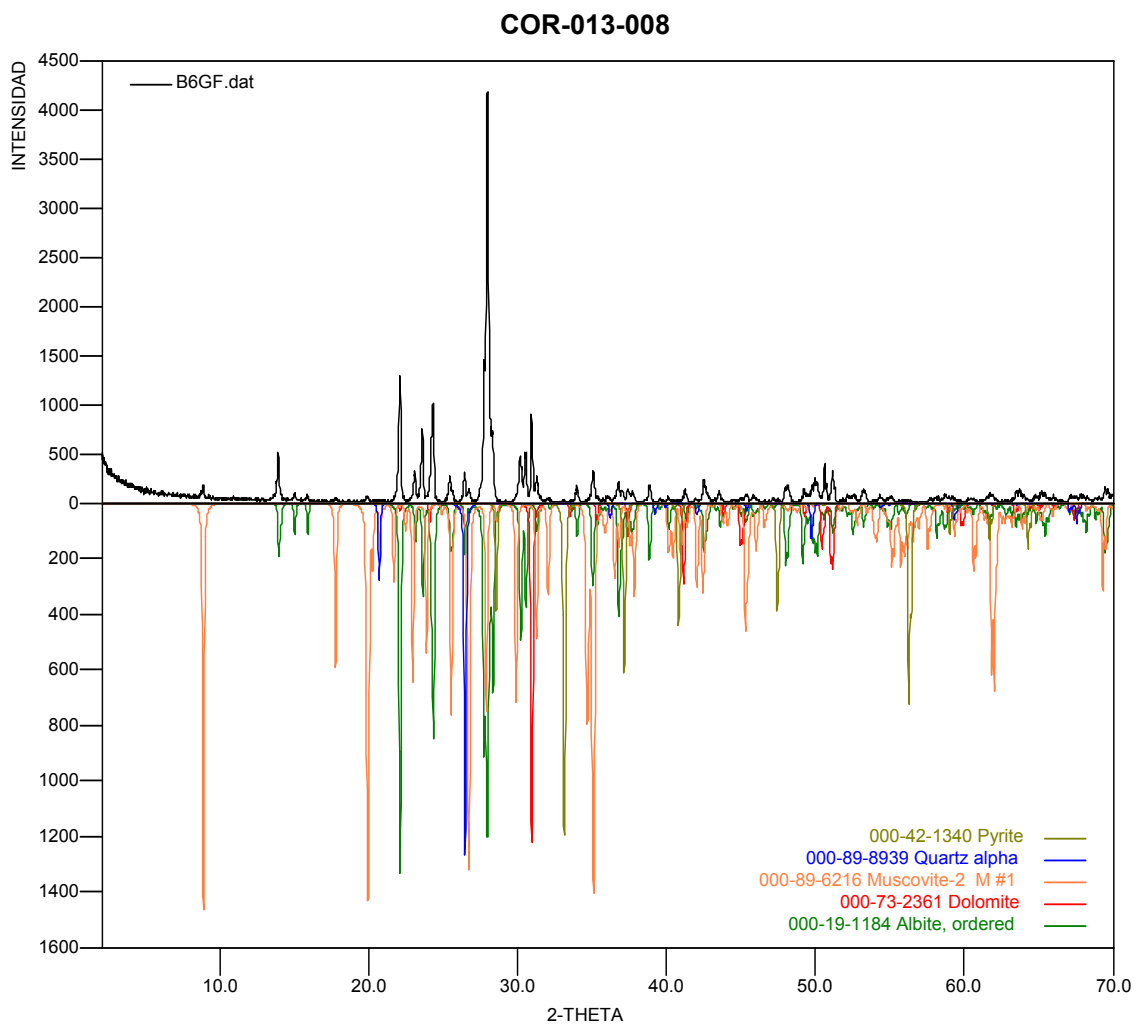
- COR-013-007 (B6NX)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Ca CO_3	010-86-2343	Calcita
	Fe S_2	010-71-4470	Pirita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-03-0044	Gypsum
	Ti O_2	010-72-4813	Rutilo
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-89-6424	Albita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita



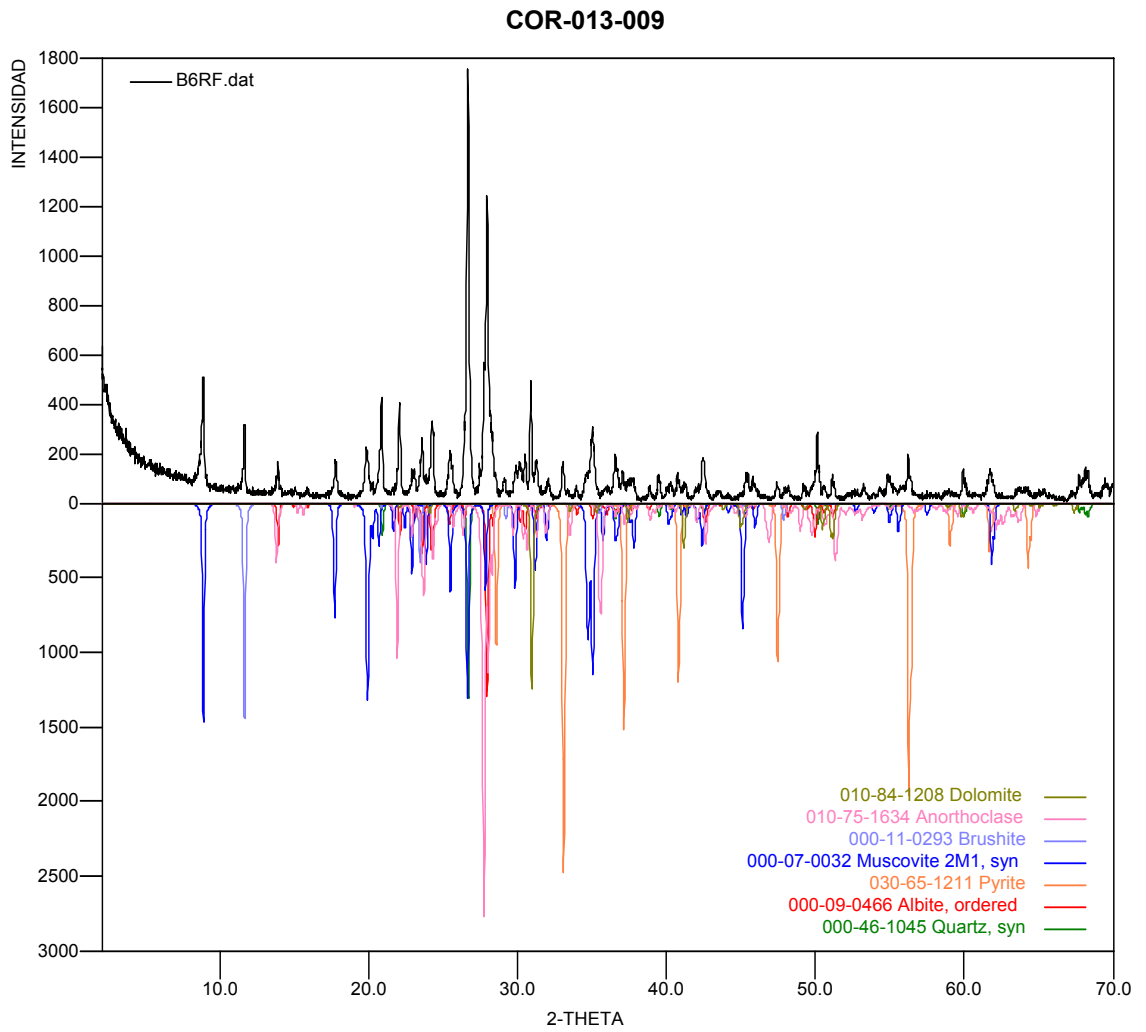
• COR-013-008 (B6GF)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-19-1184	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	000-73-2361	Dolomita
	Fe S_2	000-42-1340	Pirita
	$\text{K Al}_2 \text{ Si}_3 \text{ Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-89-6216	Moscovita
	Si O_2	000-89-8939	Cuarzo



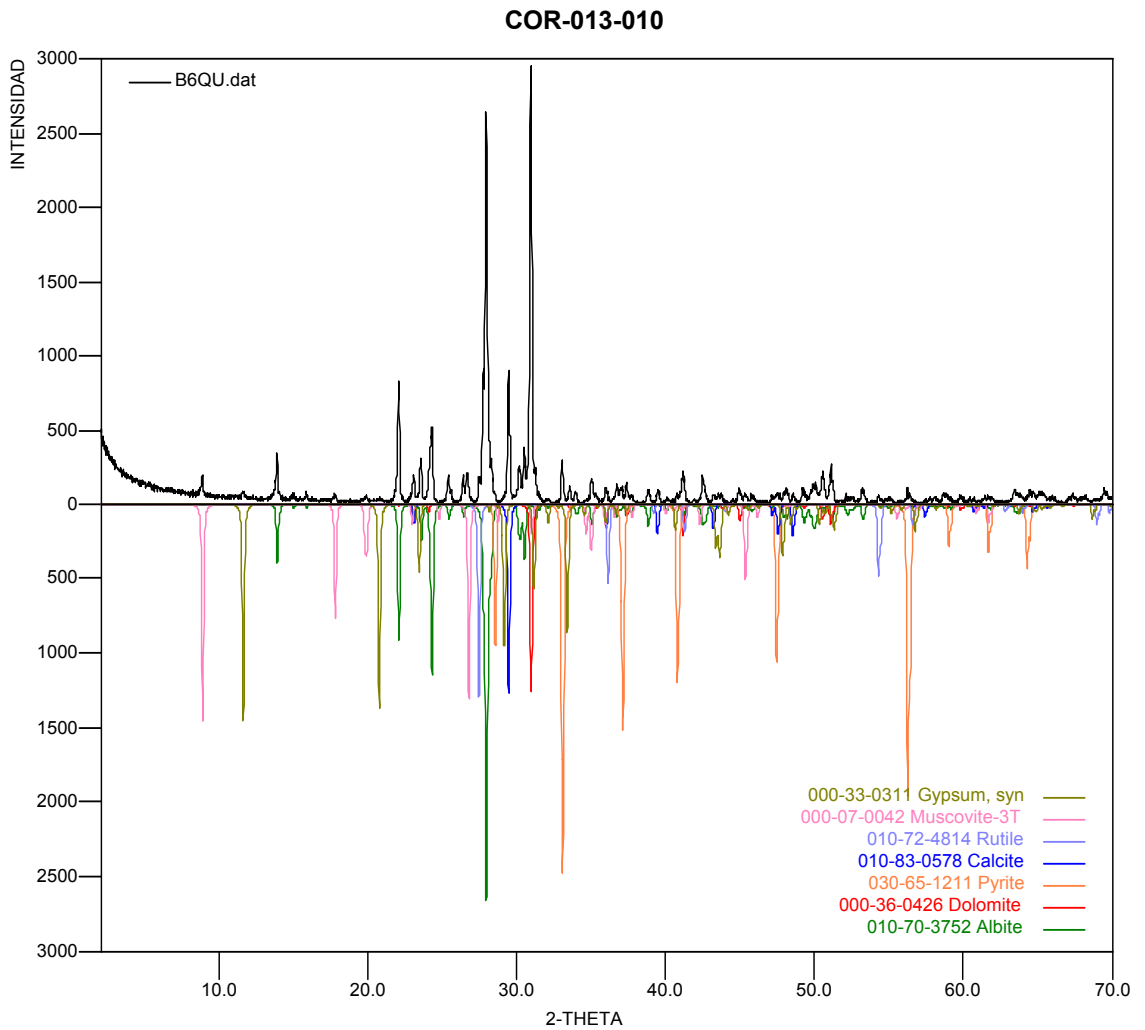
- COR-013-009 (B6RF)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Ca PO}_3 (\text{OH}) 2\text{H}_2\text{O}$	000-11-0293	Brushita
	Si O_2	000-46-1045	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0032	Moscovita
	$(\text{Na}_{0.85} \text{K}_{0.14}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-75-1634	Anortita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	$\text{Ca} (\text{Mg}, \text{Fe}) (\text{CO}_3)_2$	010-84-1208	Dolomita



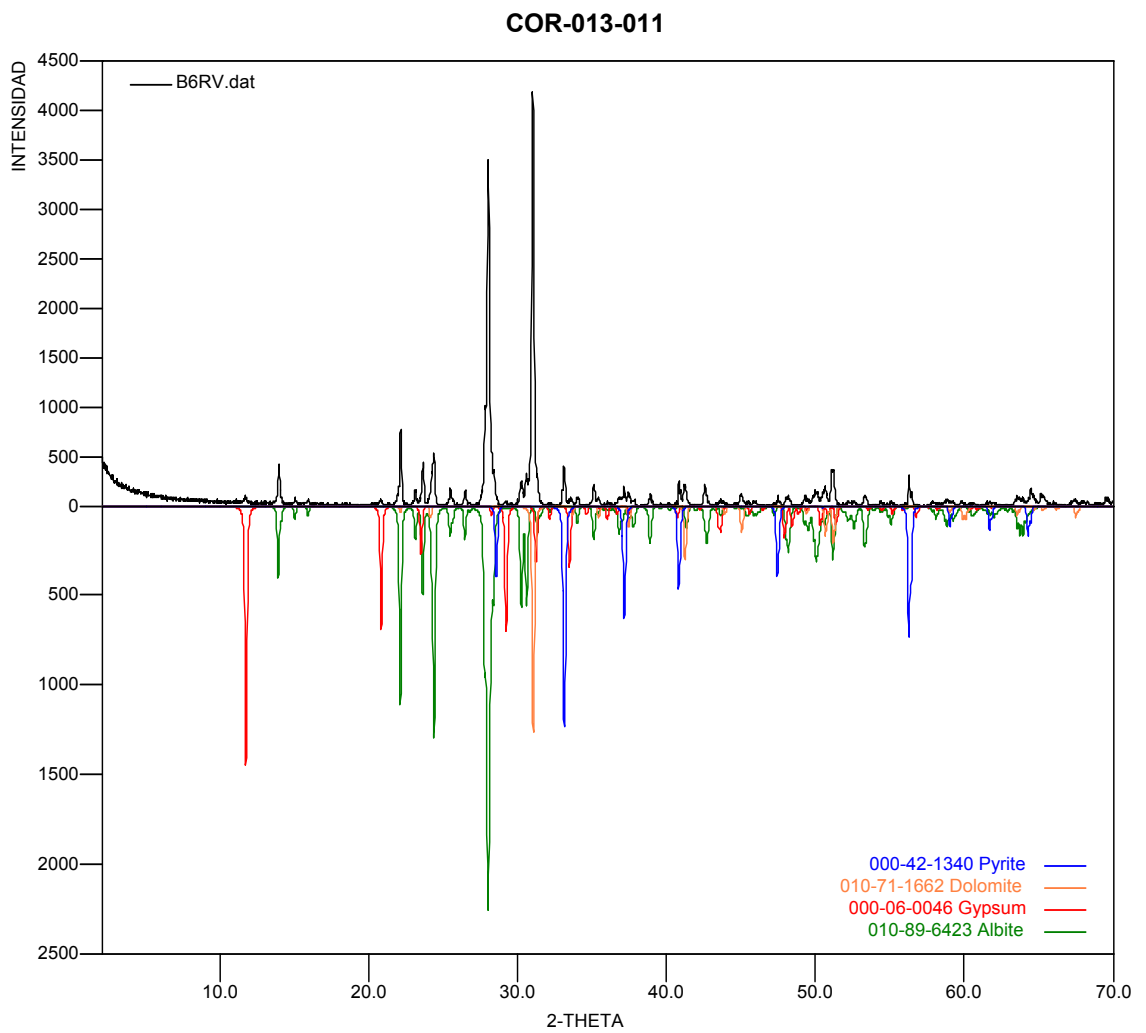
• COR-013-010 (B6QU)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	000-07-0042	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	010-70-3752	Albita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	$Fe S_2$	030-65-1211	Pirita
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-33-0311	Gypsum
	$Ti O_2$	010-72-4814	Rutilo
	$Ca CO_3$	010-83-0578	Calcita



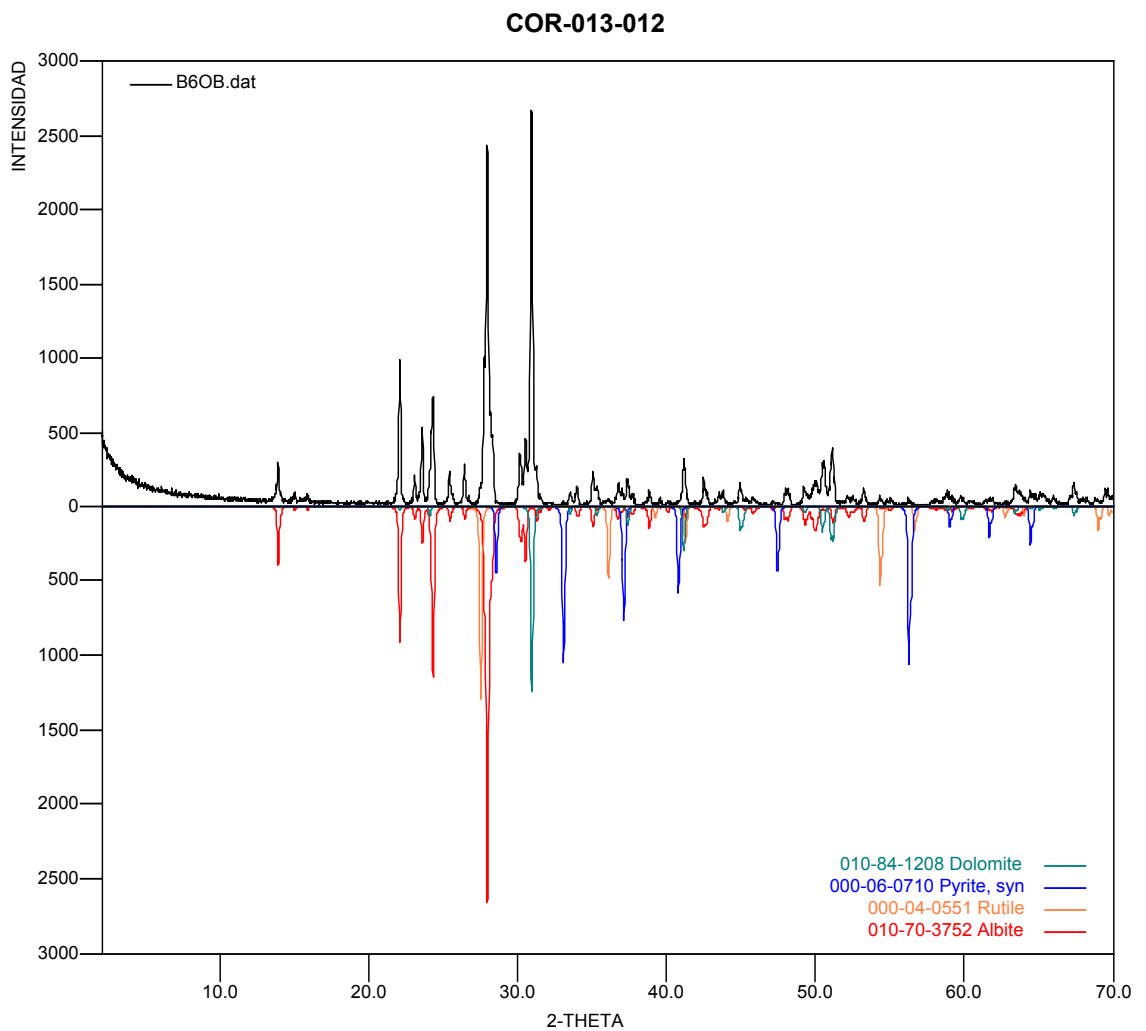
• COR-013-011 (B6RV)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Ca SO ₄ 2H ₂ O	000-06-0046	Gypsum
	Fe S ₂	000-42-1340	Pirita
	Na Al Si ₃ O ₈	010-89-6423	Albita
	Ca (Mg, Fe) (CO ₃) ₂	010-71-1662	Dolomita



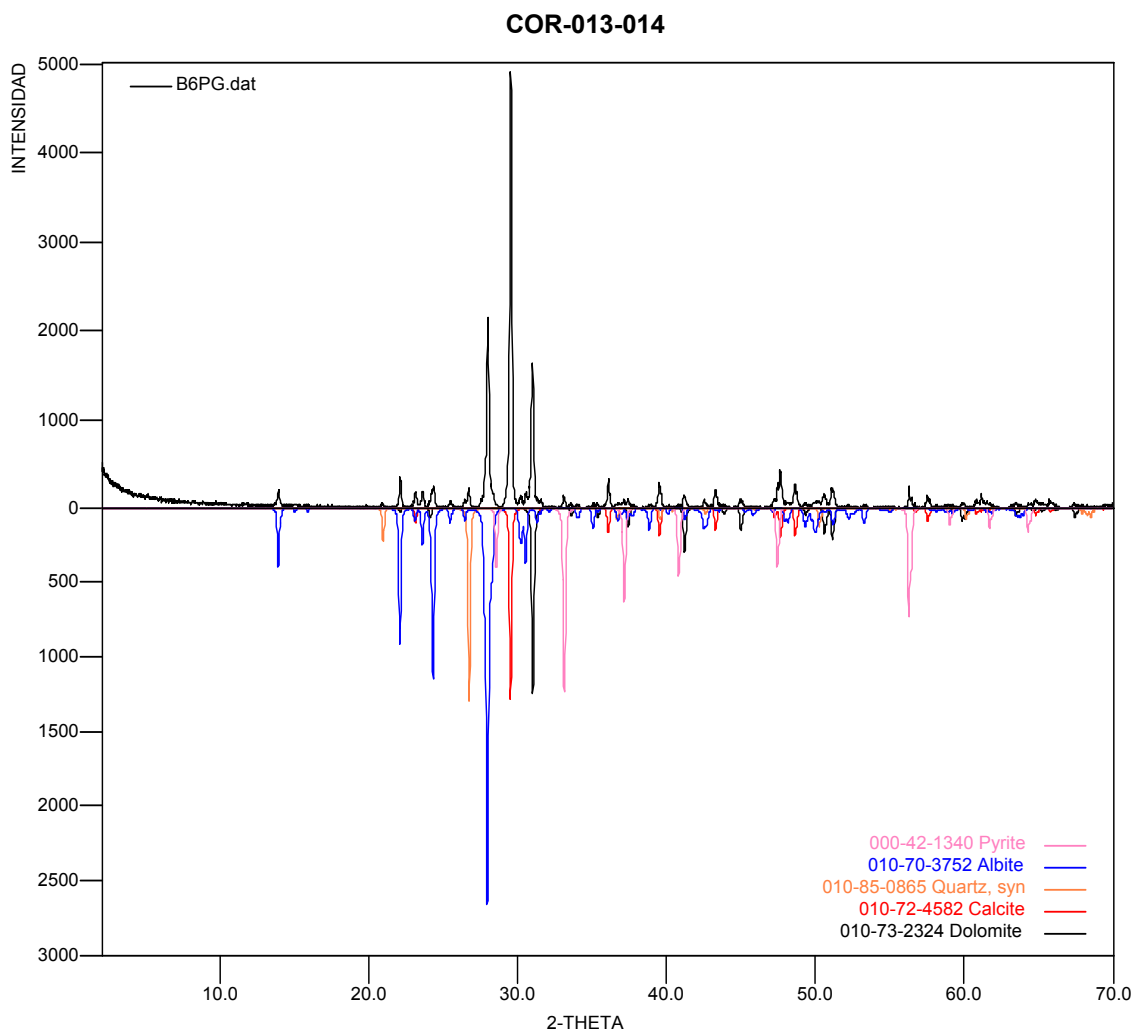
- COR-013-012 (B6OB)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Fe S₂	000-06-0710	Pirita
	Ti O₂	000-04-0551	Rutilo
	Na Al Si₃ O₈	010-70-3752	Albita
	Ca (Mg, Fe) (CO₃)₂	010-84-1208	Dolomita



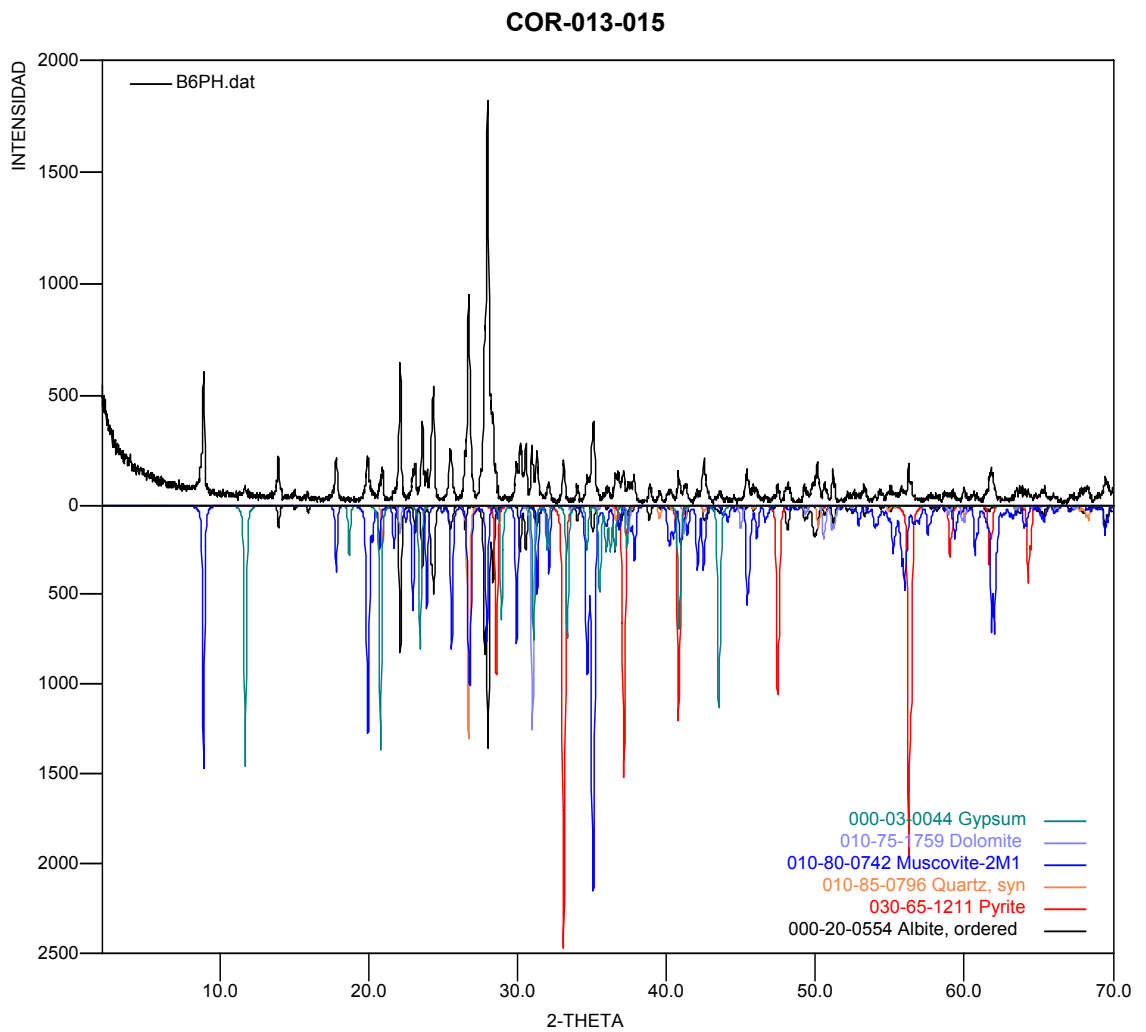
• COR-013-014 (B6PG)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	010-85-0865	Cuarzo
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-73-2324	Dolomita
	Fe S_2	000-42-1340	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	Ca CO_3	000-72-1652	Calcita



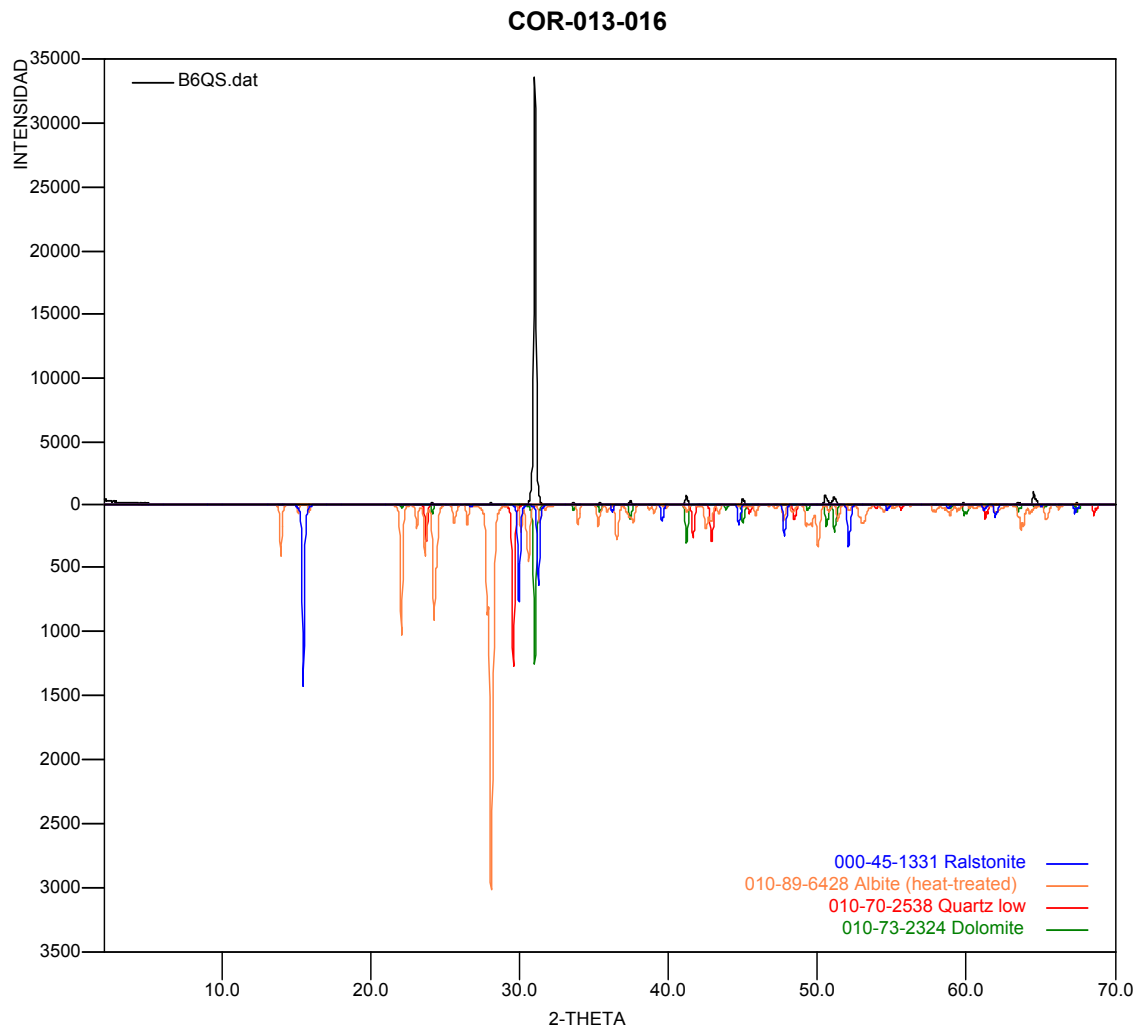
• COR-013-015 (B6PH)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-80-0742	Moscovita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-03-0044	Gypsum
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-75-1759	Dolomita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita



- **COR-013-016 (B6QS)**

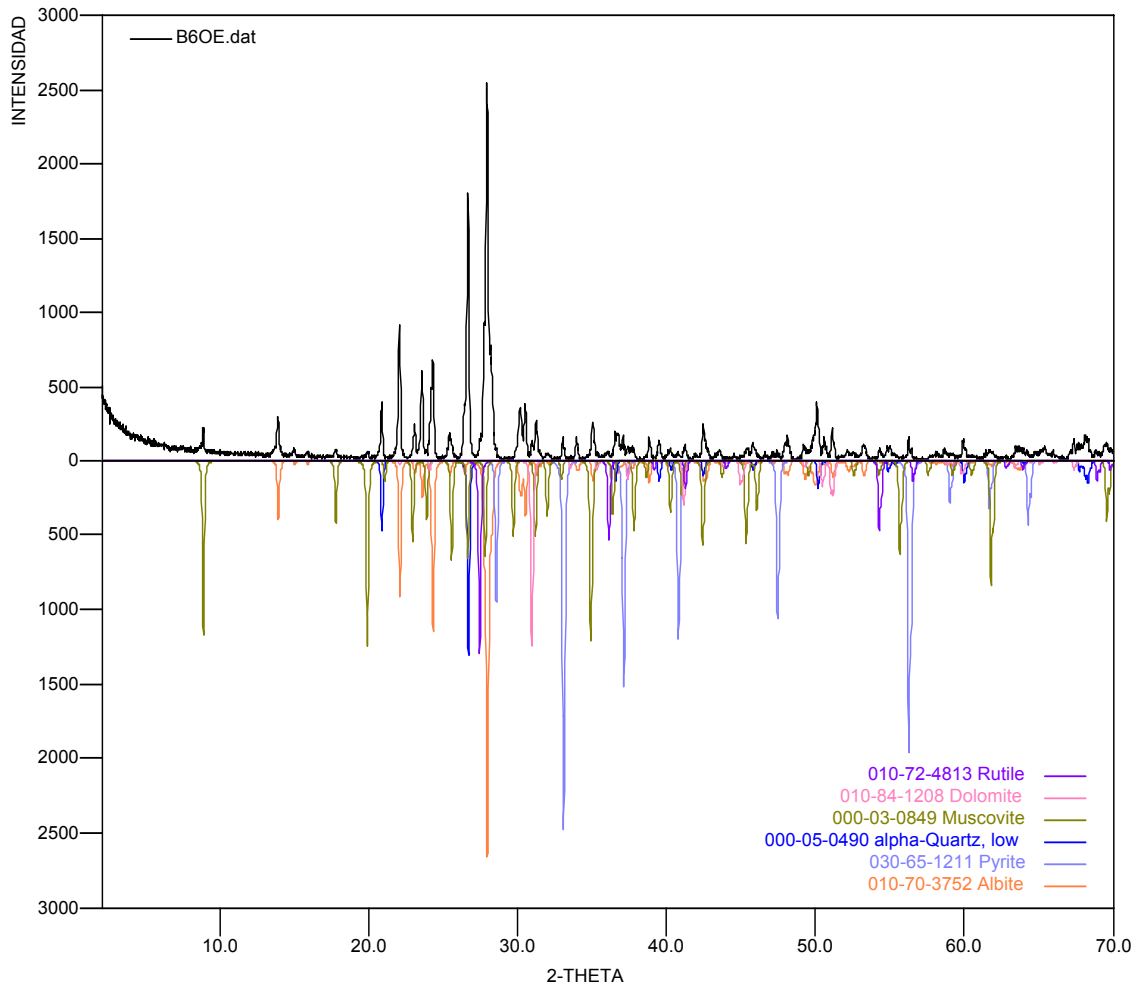
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-89-6428	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-73-2324	Dolomita
	Si O_2	010-70-2538	Cuarzo
	$\text{Na Mg Al (F, OH)}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	000-45-1331	Ralstonita



• COR-013-017 (B6OE)

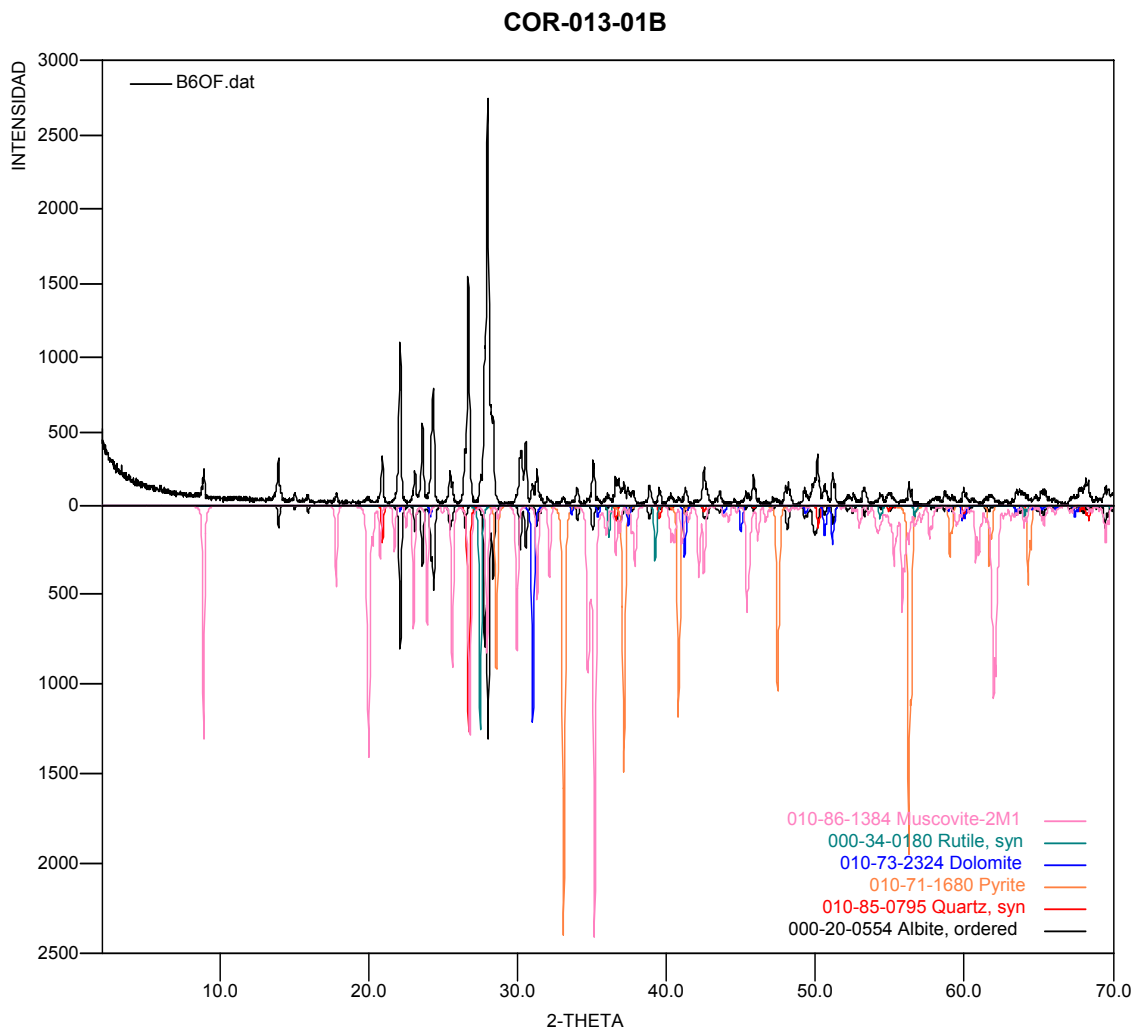
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O_2	000-05-0490	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-03-0849	Moscovita
	Ti O_2	010-72-4813	Rutilo
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-84-1208	Dolomita

COR-013-017



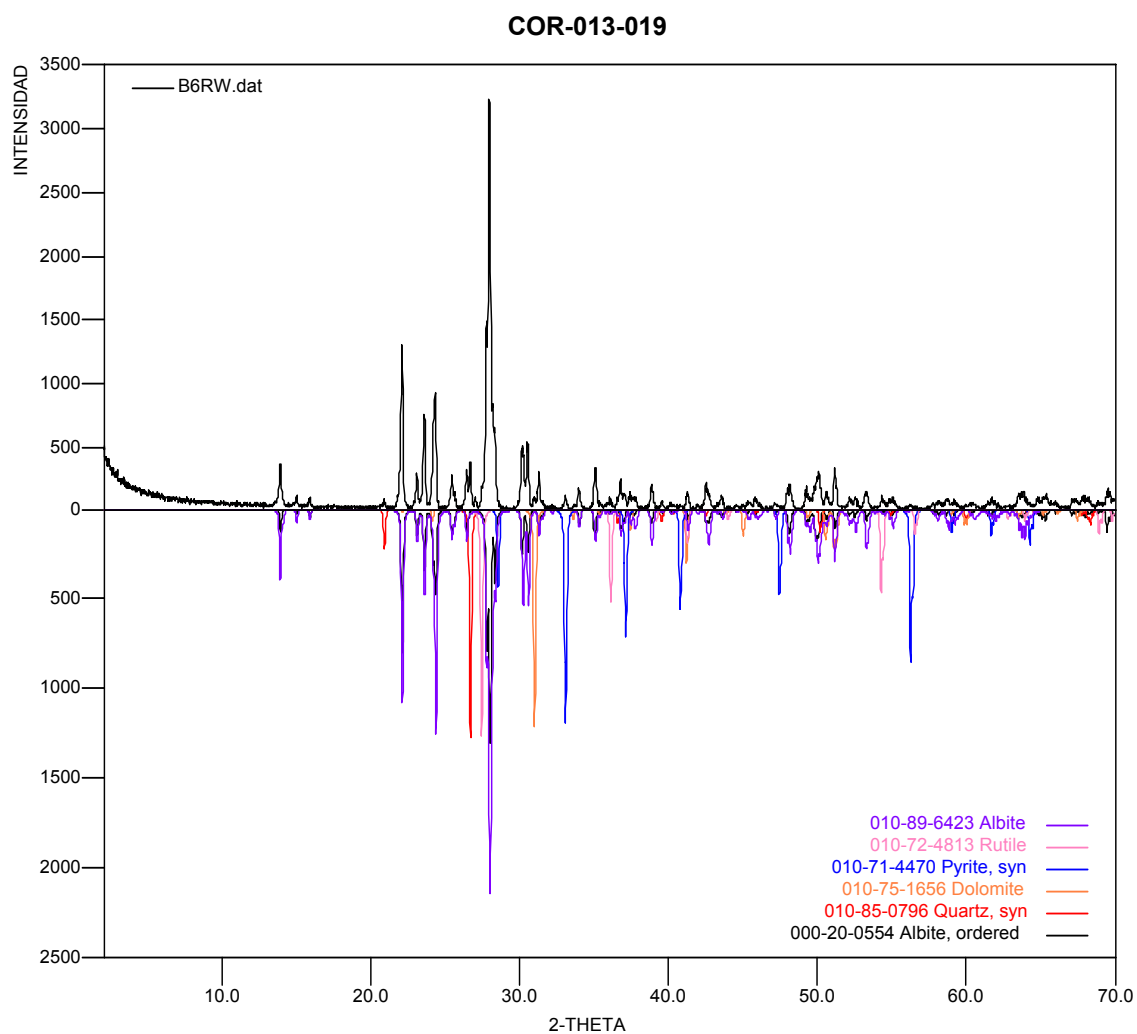
- COR-013-018 (B6OF)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	Si O_2	010-85-0795	Cuarzo
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3 \text{)}_2$	010-73-2324	Dolomita
	$\text{K Al}_2 \text{ Si}_3 \text{ Al O}_{10} \text{ (OH)}_2$	010-86-1384	Moscovita
	Ti O_2	000-34-0180	Rutilo
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita



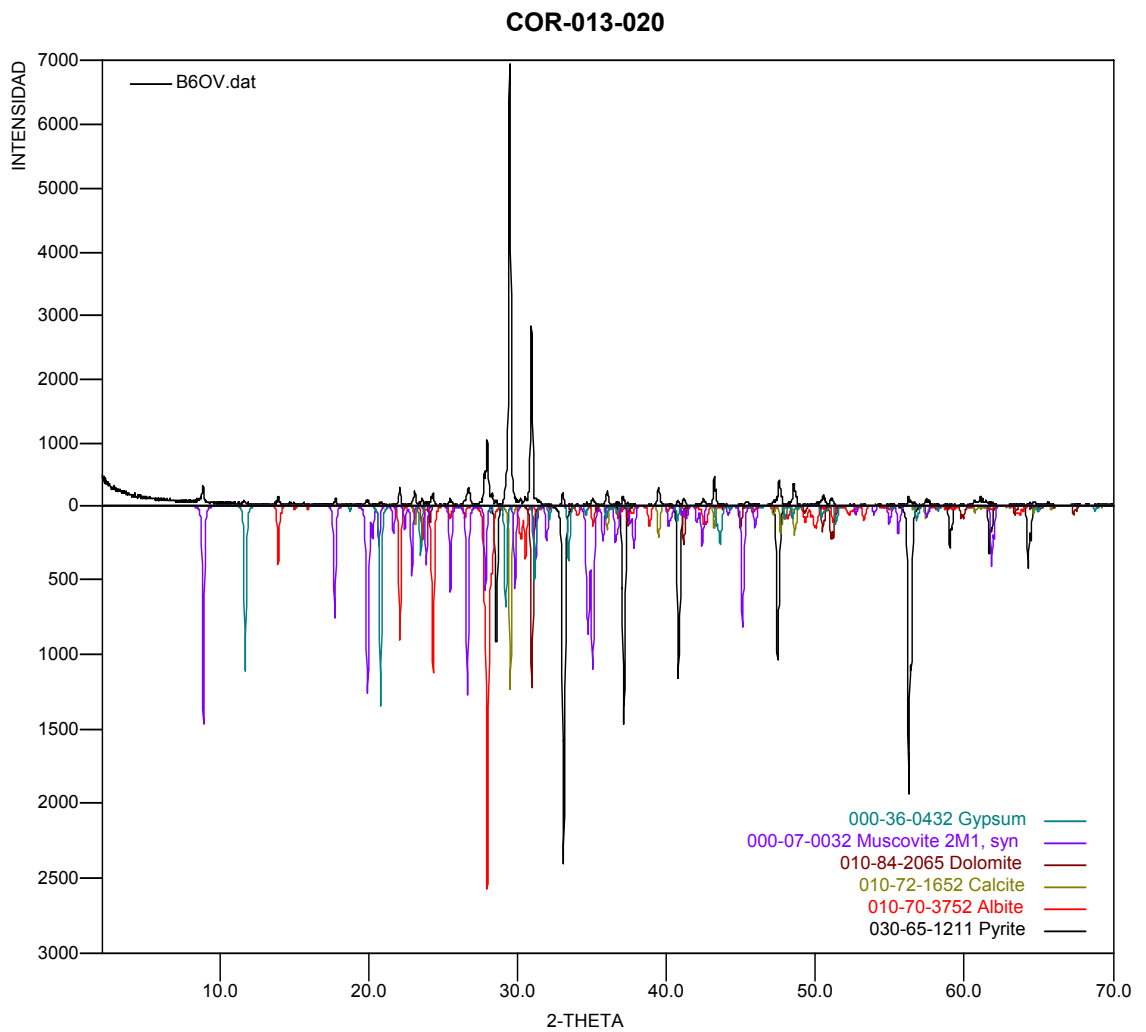
• COR-013-019 (B6RW)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$Ti O_2$	010-72-4813	Rutilo
	$Si O_2$	010-85-0796	Cuarzo
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Na Al Si_3 O_8$	010-89-6423	Albita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	010-75-1656	Dolomita



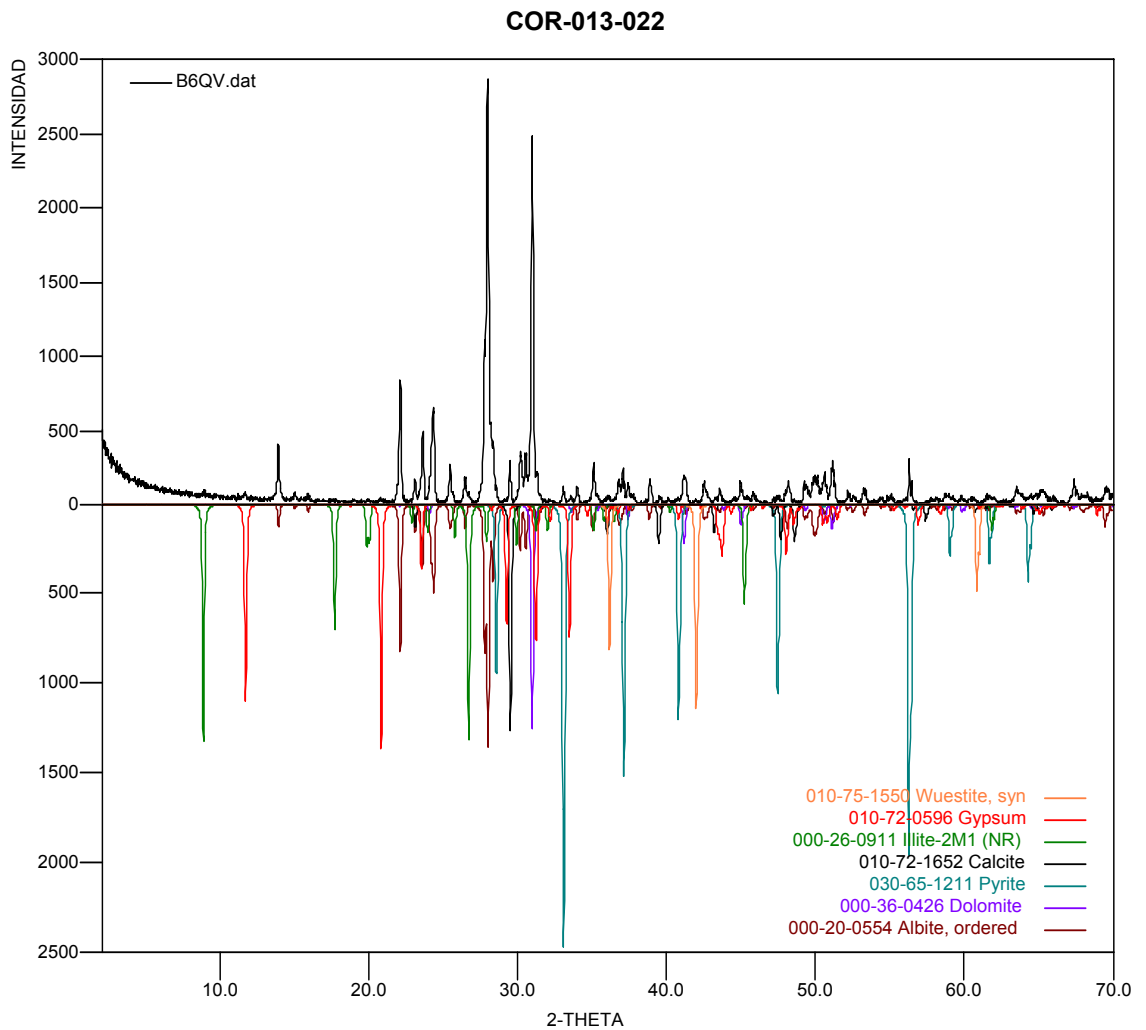
- COR-013-020 (B6OV)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	Ca CO_3	010-72-1652	Calcita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0032	Moscovita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-36-0432	Gypsum
	$\text{Ca} (\text{Mg, Fe}) (\text{CO}_3)_2$	010-84-2065	Dolomita



• COR-013-022 (B6QV)

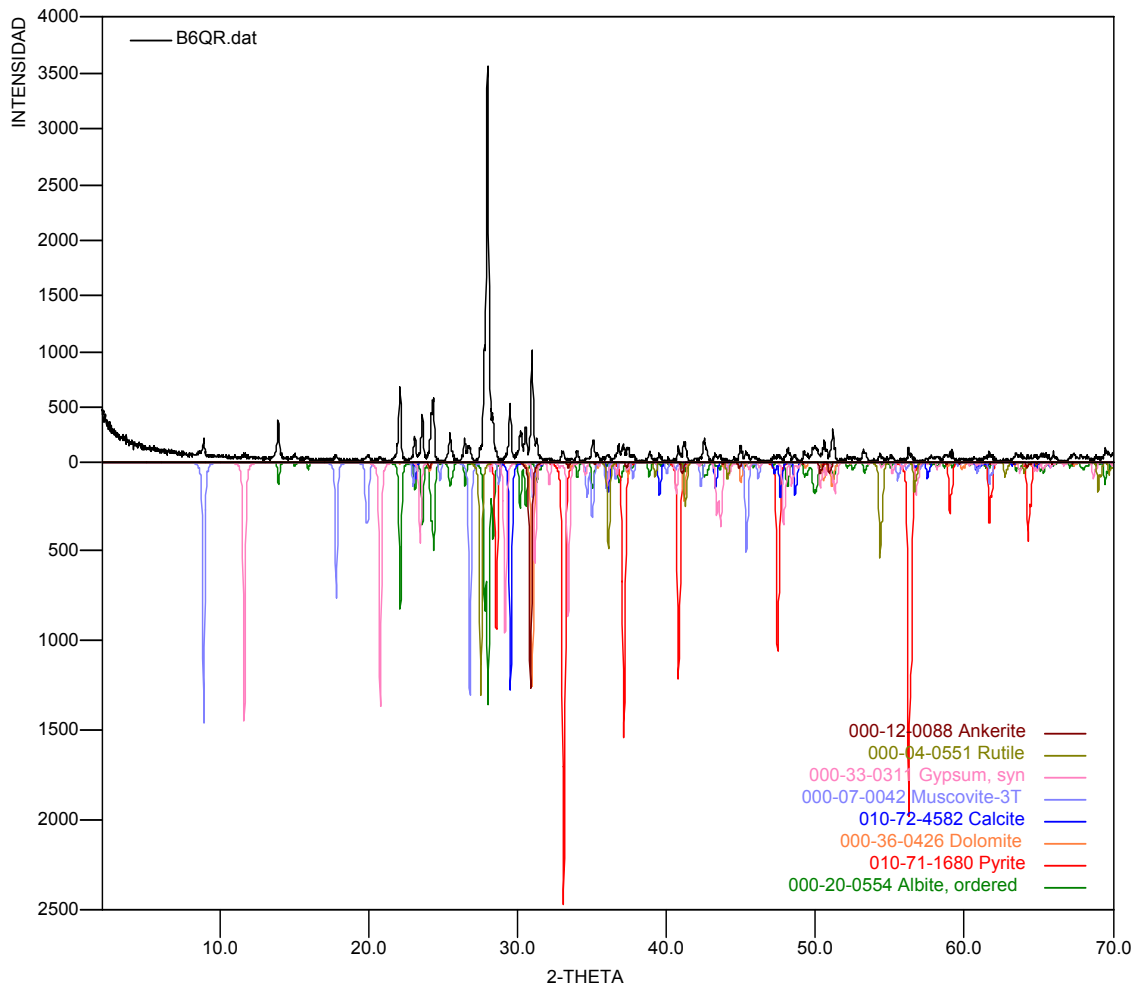
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Ca CO ₃	010-72-1652	Calcita
	Fe S ₂	030-65-1211	Pirita
	Ca SO ₄ 2H ₂ O	010-72-0596	Gypsum
	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂	000-26-0911	Illita
	Fe O	010-75-1550	Wuestita
	Na Al Si ₃ O ₈	000-20-0554	Albita
	Ca (Mg, Fe) (CO ₃) ₂	000-36-0426	Dolomita



• COR-013-023 (B6QR)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$	000-07-0042	Moscovita
	$Na Al Si_3 O_8$	000-20-0554	Albita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	$Ca SO_4 \cdot 2H_2O$	000-33-0311	Gypsum
	$Ti O_2$	000-04-0551	Rutilo
	$Fe S_2$	010-71-1680	Pirita
	$Ca (Mg, Fe) (CO_3)_2$	000-12-0088	Ankerita
	$Ca CO_3$	010-72-4582	Calcita

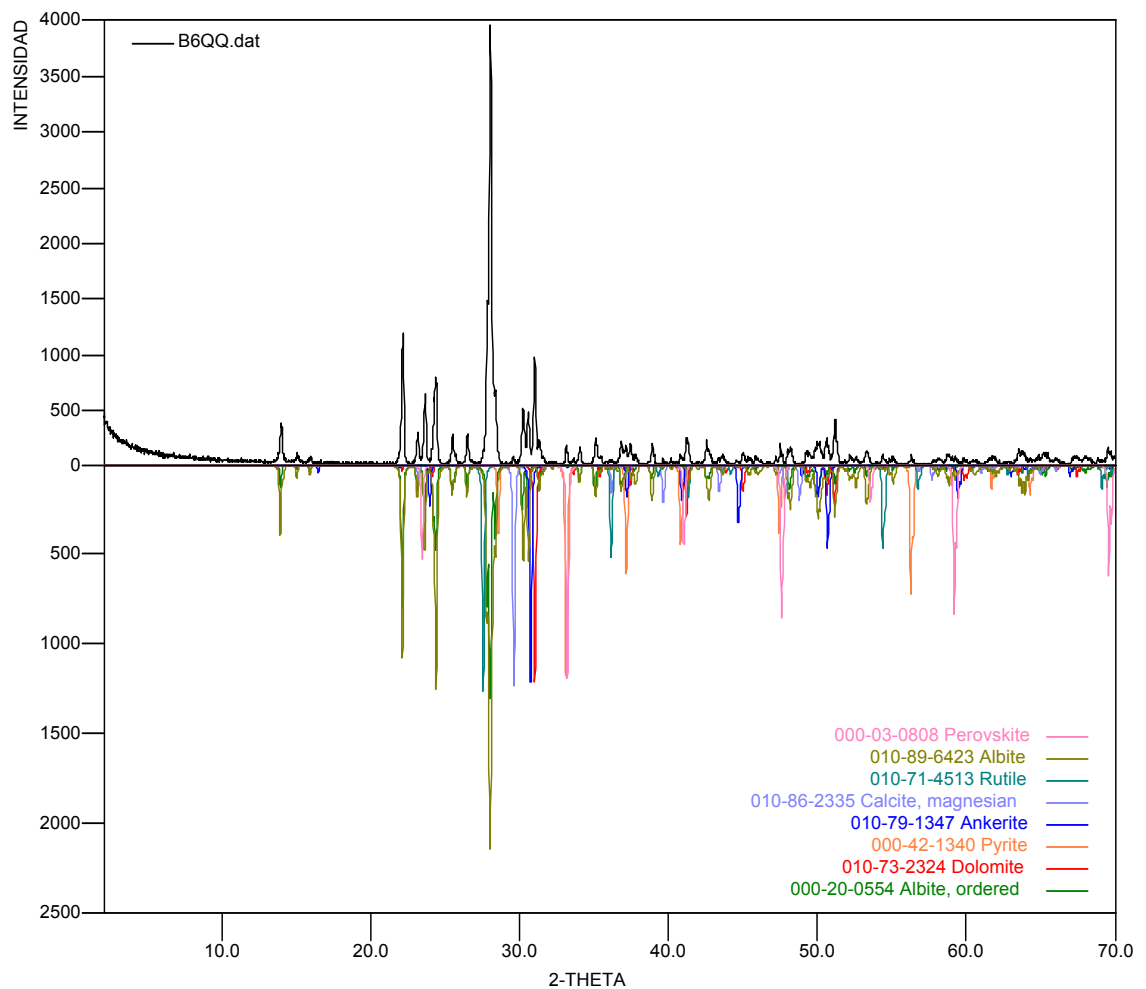
COR-013-023



• COR-013-025 (B6QQ)

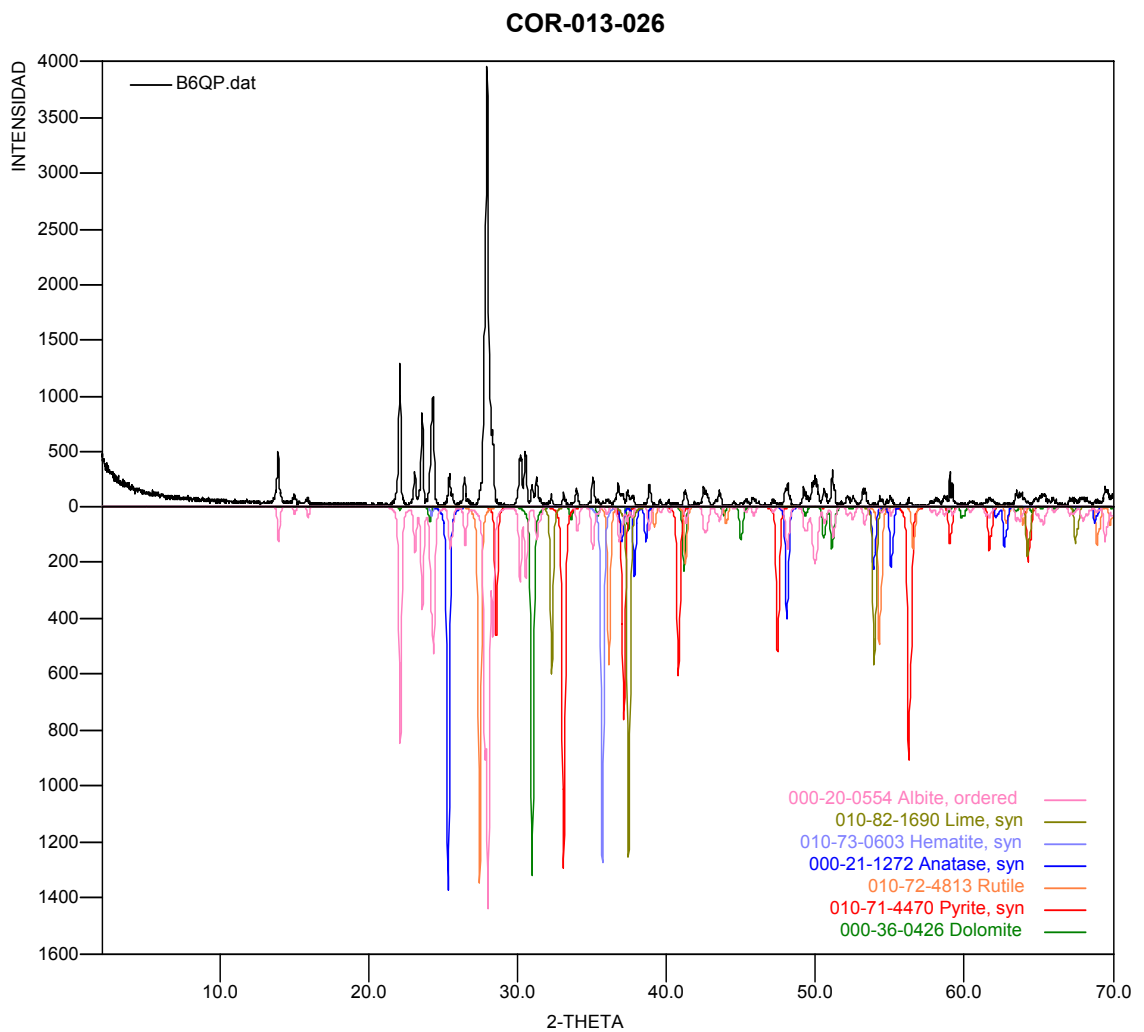
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-73-2324	Dolomita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-89-6423	Albita
	Ti O_2	010-71-4513	Rutilo
	Fe S_2	000-42-1340	Pirita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-79-1347	Ankerita
	$(\text{Mg}_{0.064} \text{Ca}_{0.936}) (\text{CO}_3)$	010-86-2335	Calcita magnesiana
	Ca Ti O_3	000-03-0808	Perovskita

COR-013-025



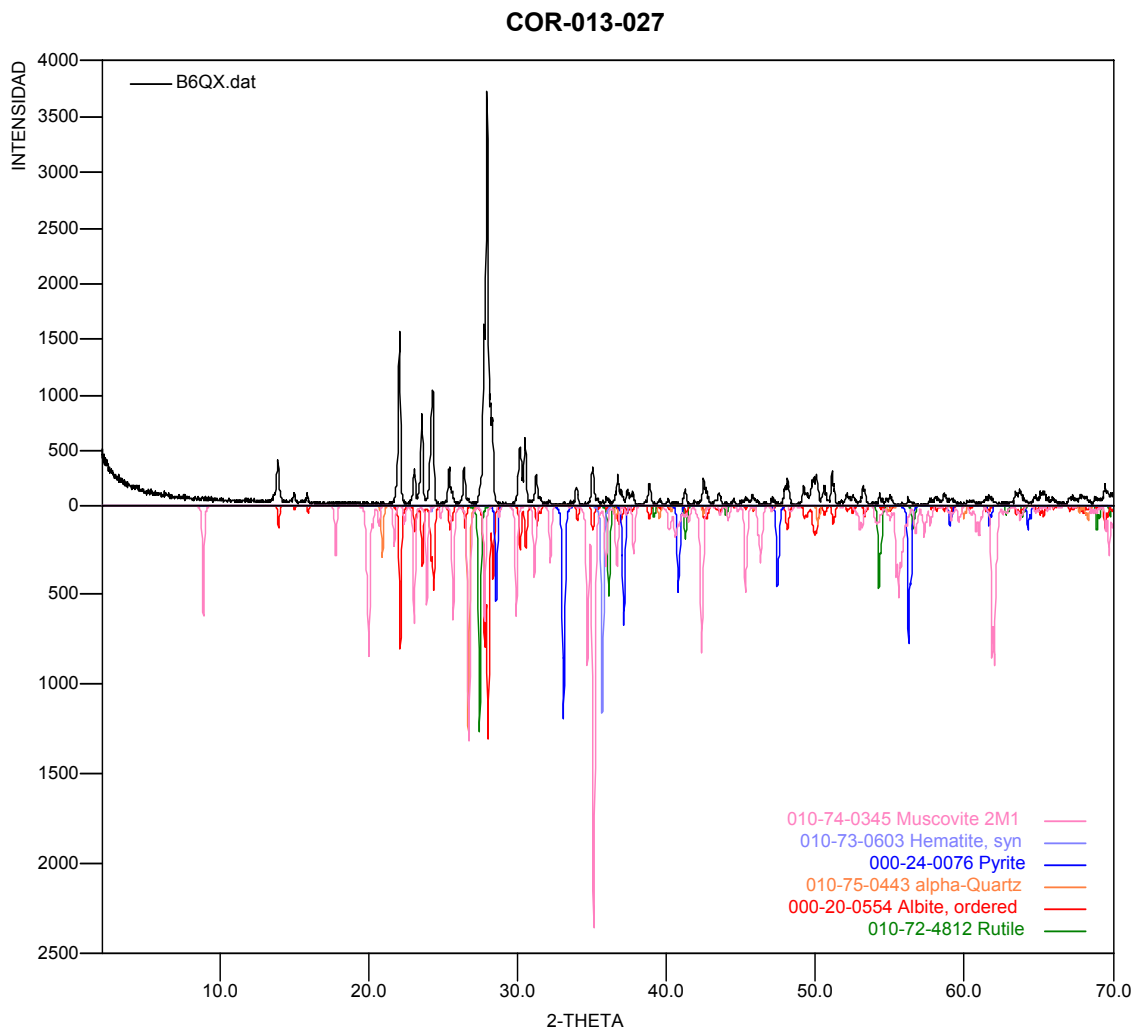
- COR-013-026 (B6QP)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	Ca O	010-82-1690	Limo
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3 \text{)}_2$	000-36-0426	Dolomita
	Fe S_2	010-71-4470	Pirita
	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	010-73-0603	Hematita
	Ti O_2	000-21-1272	Anatasa
	Ti O_2	010-72-4813	Rutilo



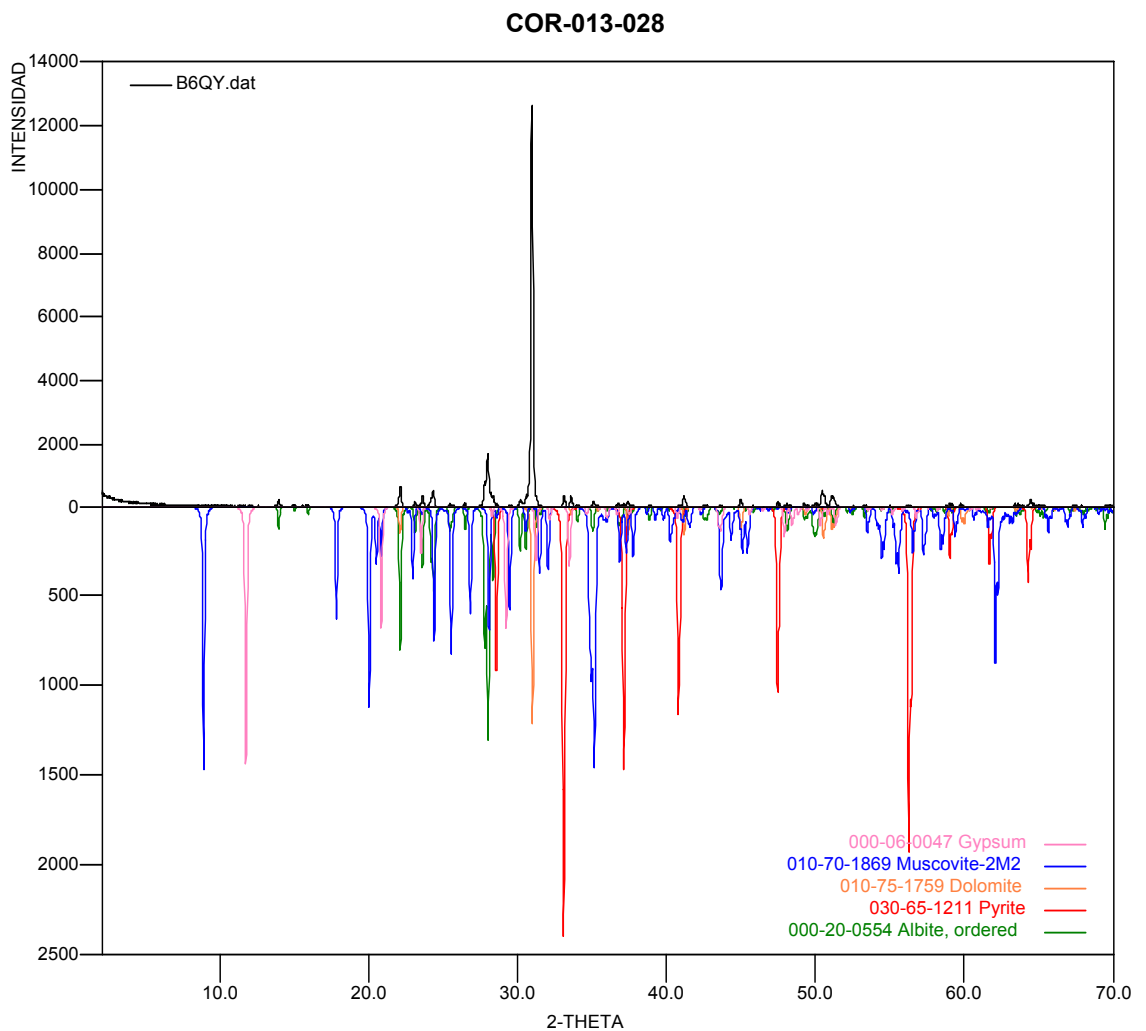
• COR-013-027 (B6QX)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Ti O ₂	010-72-4812	Rutilo
	Si O ₂	010-75-0443	Cuarzo
	K Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂	010-74-0345	Moscovita
	Fe ₂ O ₃	010-73-603	Hematita
	Na Al Si ₃ O ₈	000-20-0554	Albita
	Fe S ₂	000-24-0076	Pirita



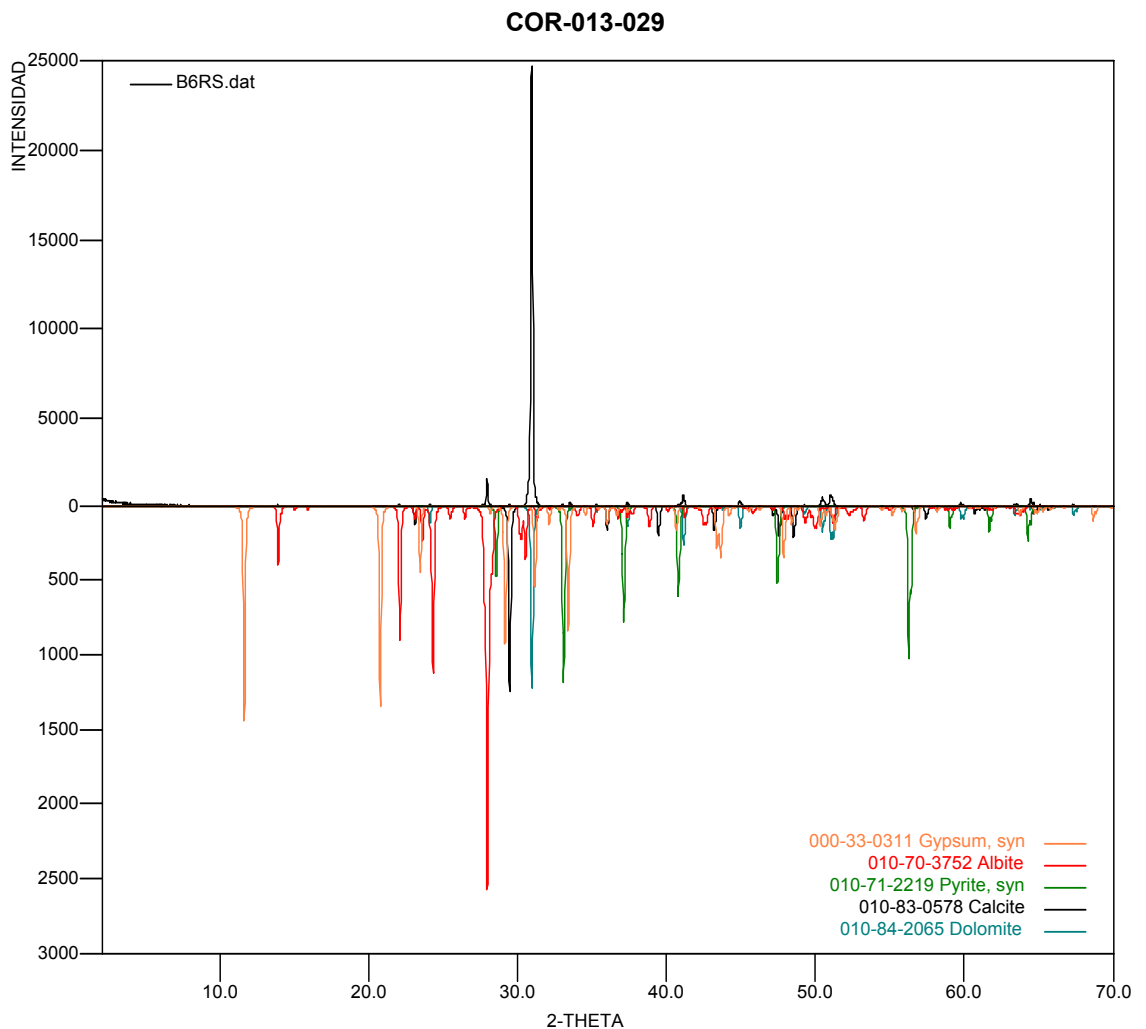
• COR-013-028 (B6QY)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-06-0047	Gypsum
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-70-1869	Moscovita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-75-1759	Dolomita



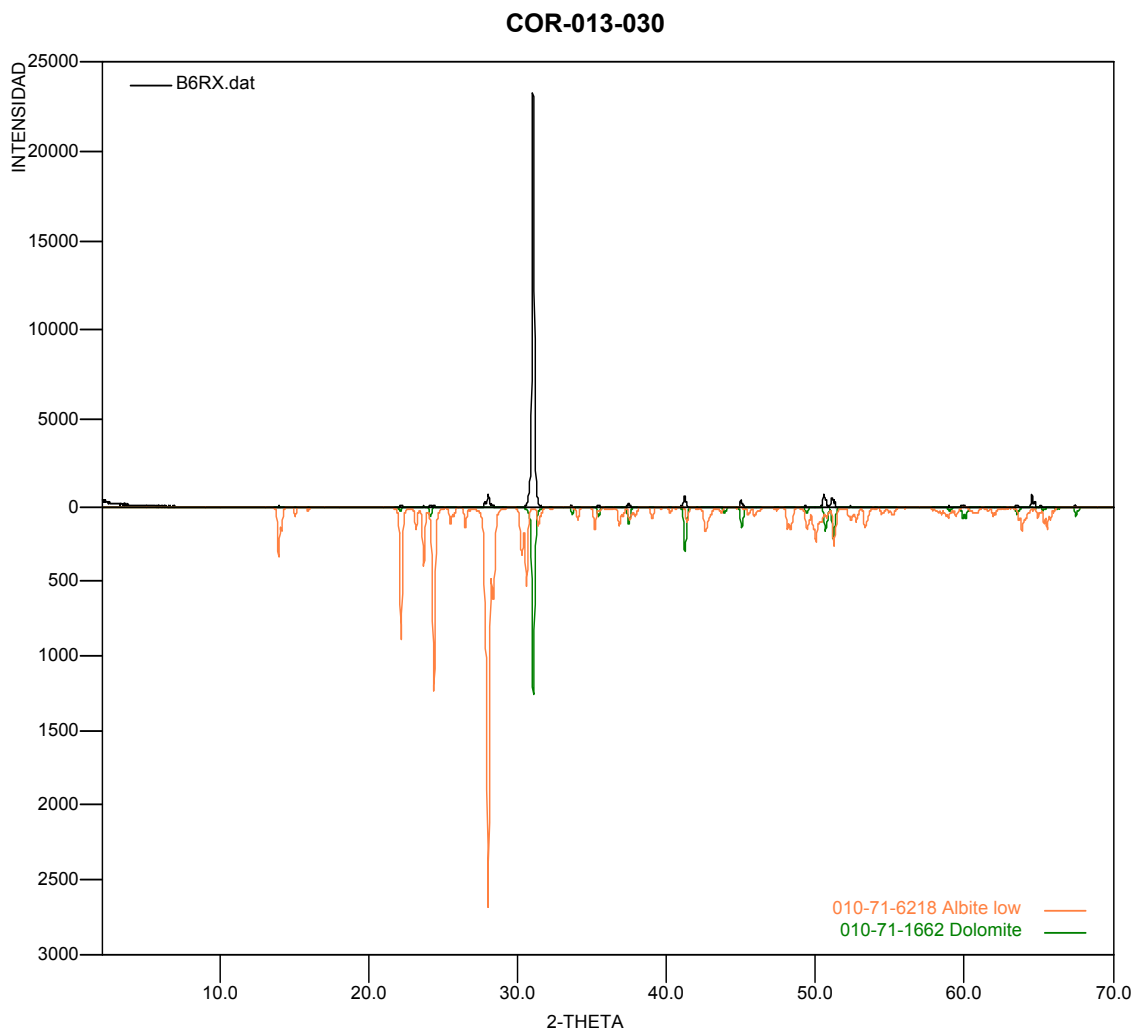
- COR-013-029 (B6RS)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Ca CO_3	010-83-0578	Calcita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-33-0311	Gypsum
	Fe S_2	010-71-2219	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-84-2065	Dolomita



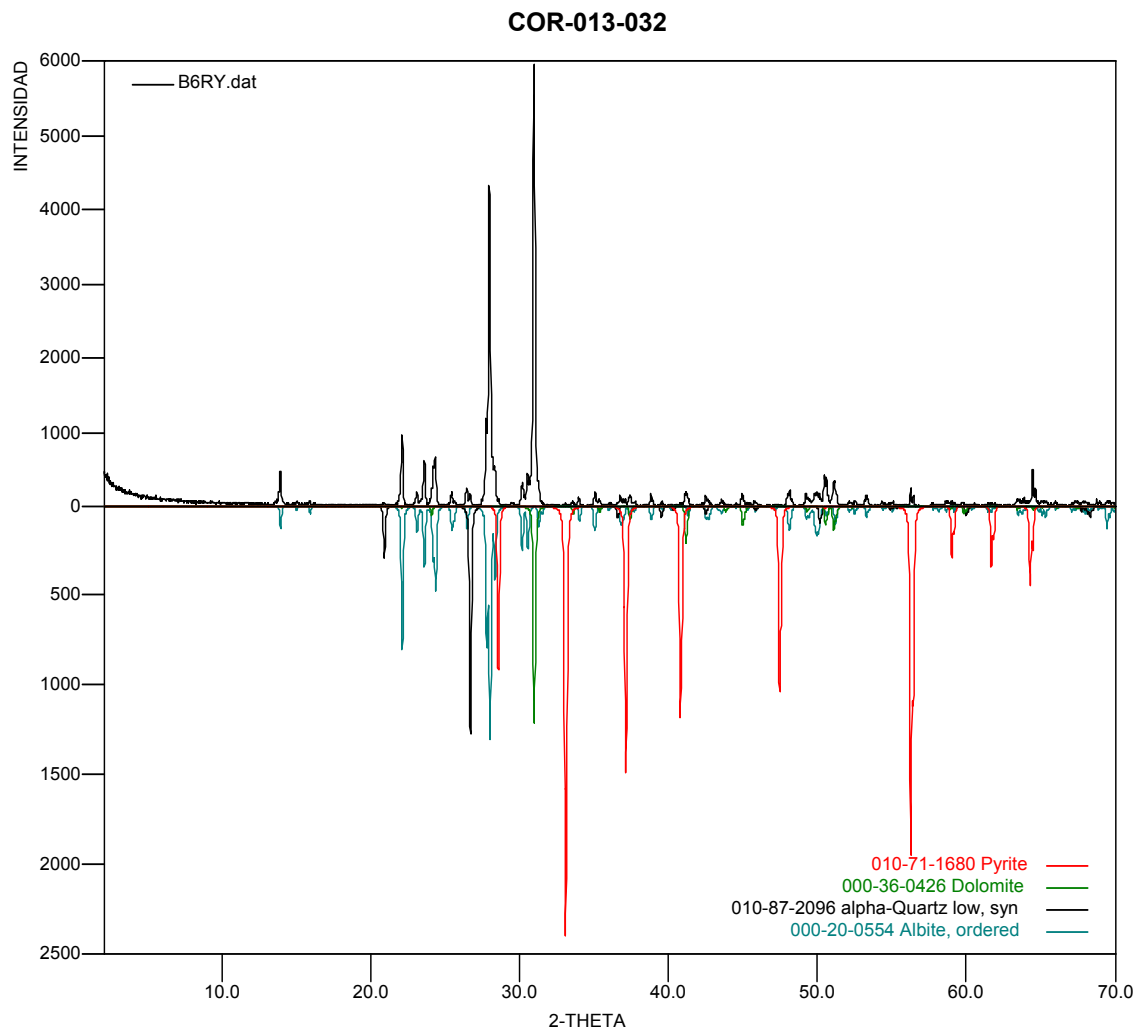
• COR-013-030 (B6RX)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino s	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-71-6218	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-71-1662	Dolomita



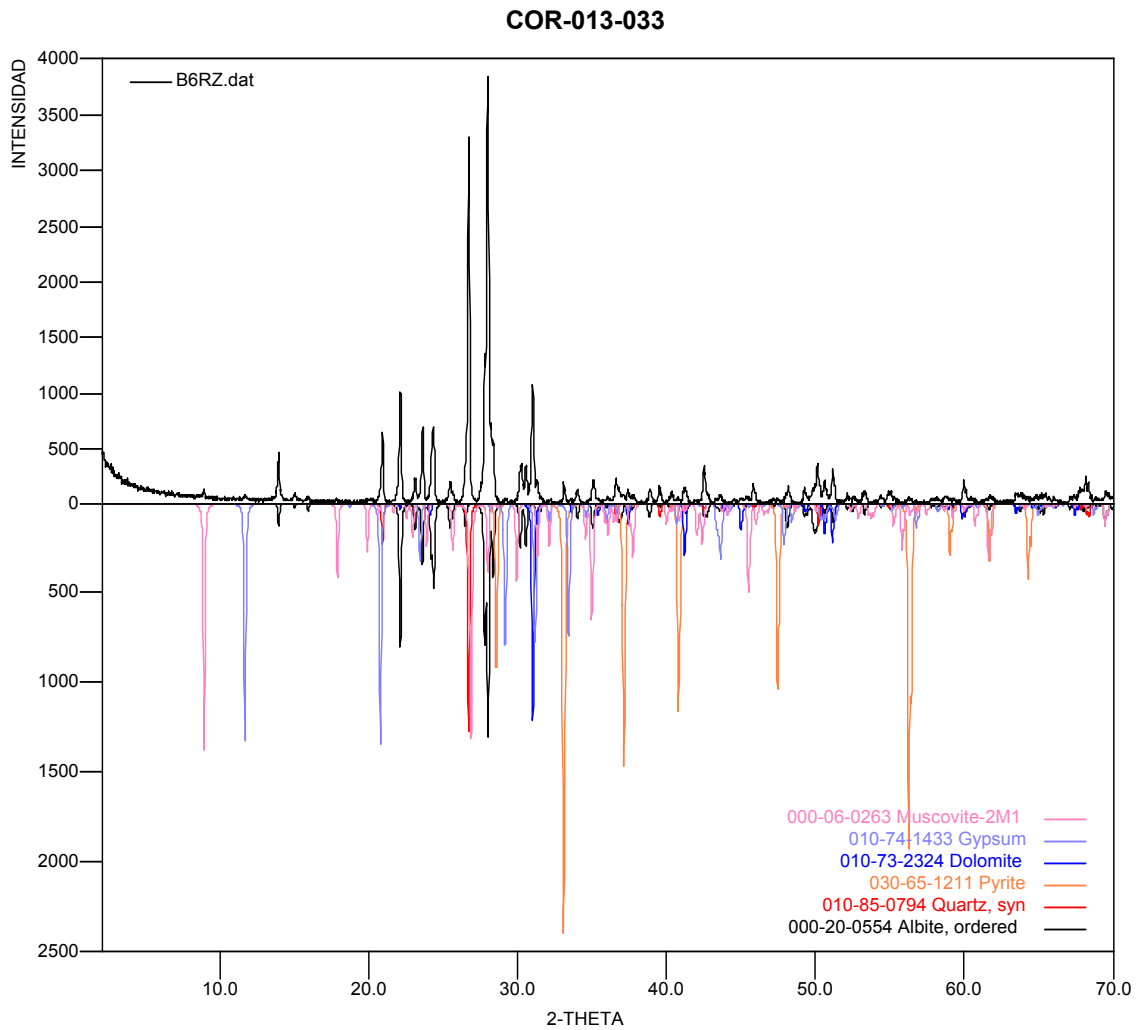
• COR-013-032 (B6RY)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O ₂	010-87-2096	Cuarzo
	Fe S ₂	010-71-1680	Pirita
	Na Al Si ₃ O ₈	000-20-0554	Albita
	Ca (Mg, Fe) (CO ₃) ₂	000-36-2096	Dolomita



- COR-013-033 (B6RZ)

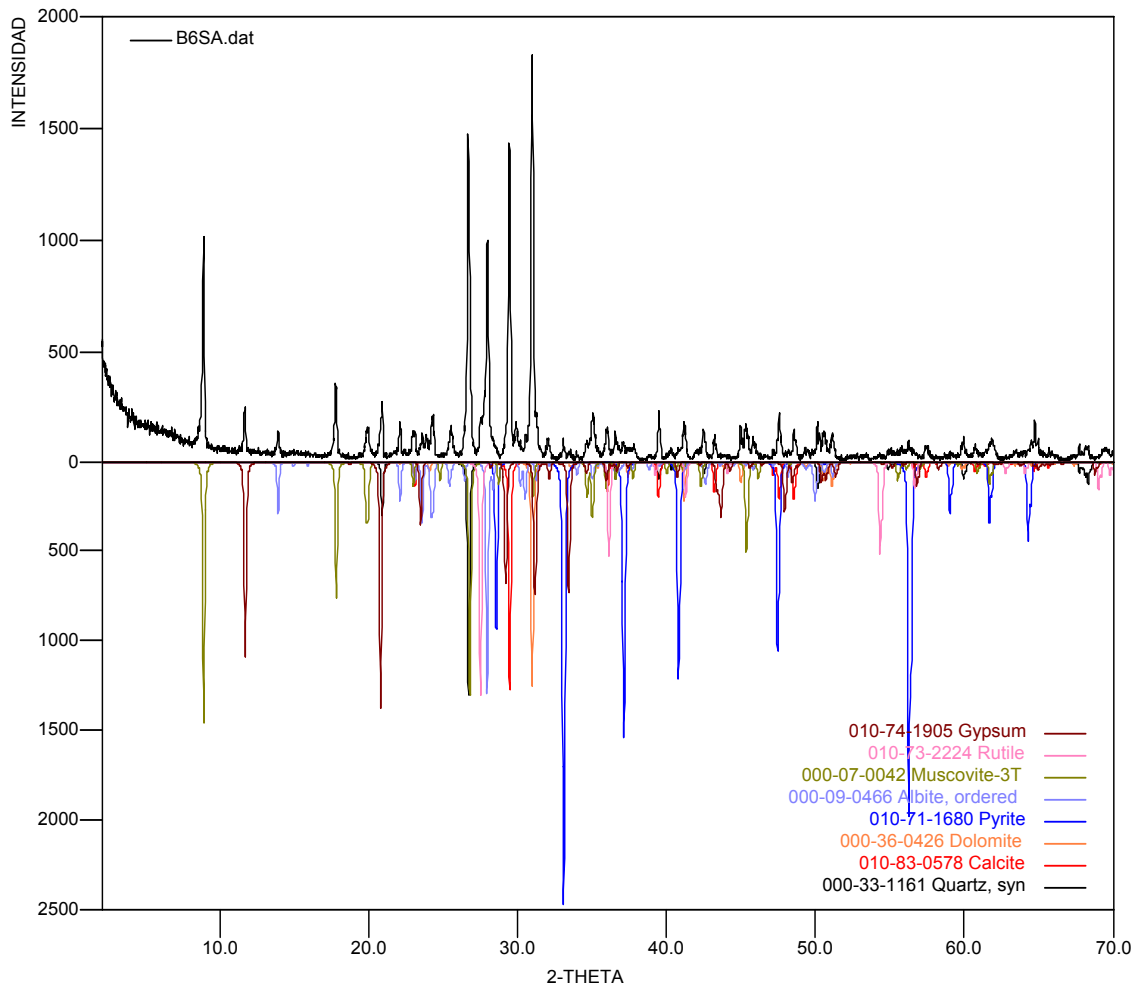
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	Si O_2	010-85-0794	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-06-0263	Moscovita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-74-1433	Gypsum
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-73-2324	Dolomita



• COR-013-034 (B6SA)

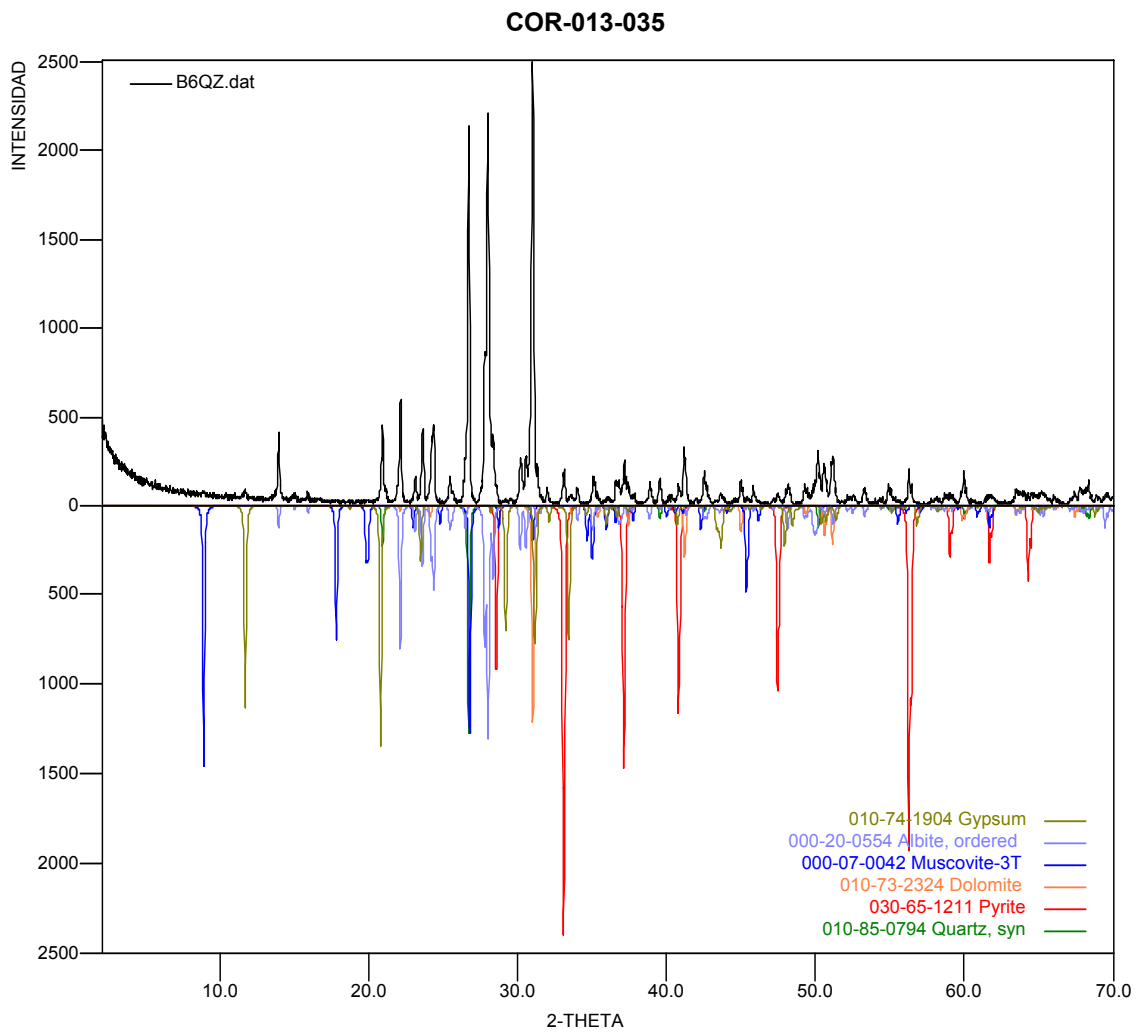
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino s	Si O_2	000-33-1161	Cuarzo
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0042	Moscovita
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	Ti O_2	010-73-2224	Rutilo
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-74-1905	Gypsum
	Ca CO_3	010-83-0578	Calcita
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	$\text{Ca} (\text{Mg}, \text{Fe}) (\text{CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita

COR-013-034



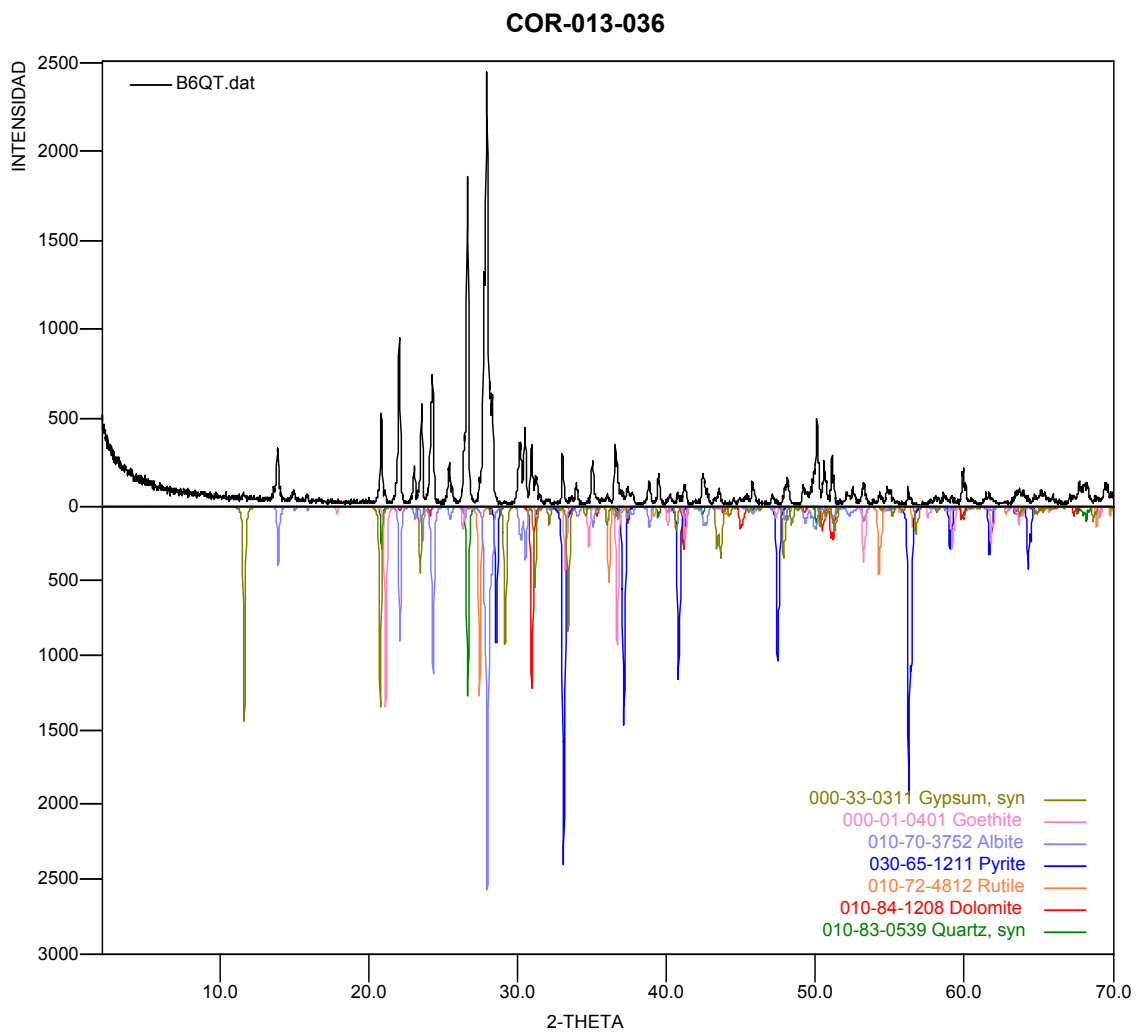
• COR-013-035 (B6QZ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-73-2324	Dolomita
	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
	Si O_2	010-85-0794	Cuarzo
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-74-1904	Gypsum



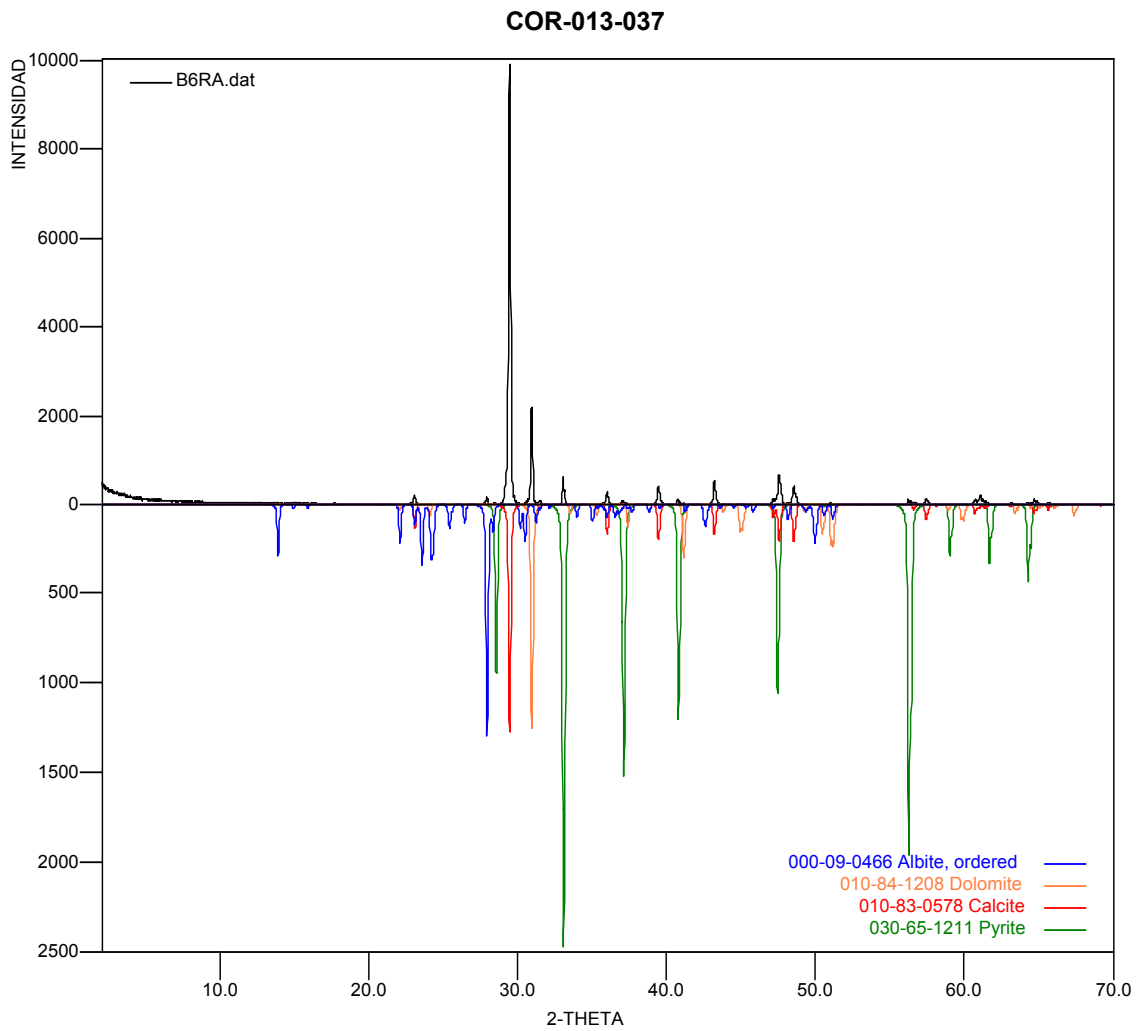
- COR-013-036 (B6QT)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-3752	Albita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3 \text{)}_2$	010-84-1208	Dolomita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-33-0311	Gypsum
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	Fe O (OH)	000-01-0401	Goetita
	Ti O_2	010-72-4812	Rutilo
	Si O_2	010-83-0539	Cuarzo



• COR-0138-037 (B6RA)

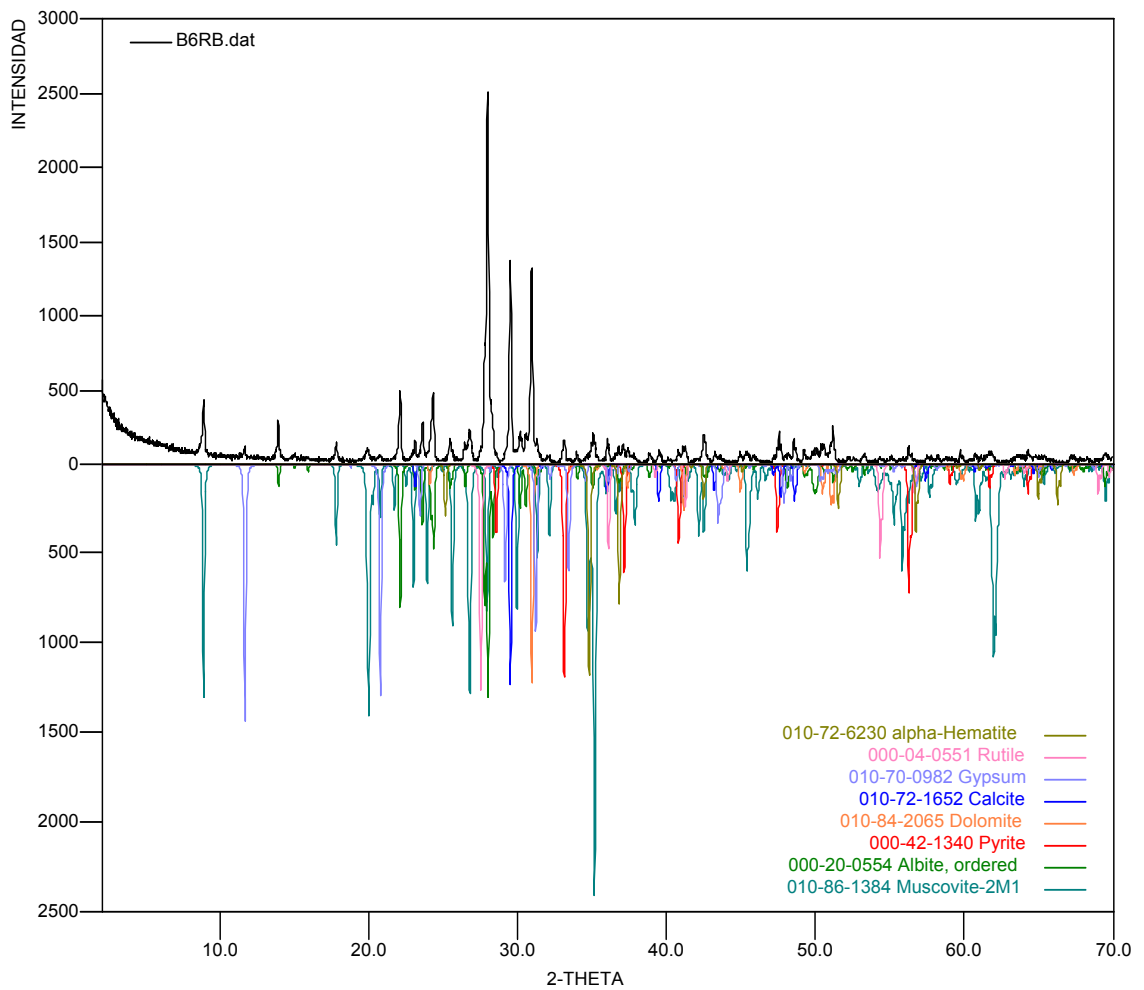
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-09-0466	Albita
	Ca CO_3	010-83-0578	Calcita
	Fe S_2	030-65-1211	Pirita
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-84-1208	Dolomita



• COR-013-038 (B6RB)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	Ca CO_3	010-72-1652	Calcita
	Fe S_2	000-42-1340	Pirita
	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	010-72-6230	Hematita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-86-1384	Moscovita
	Ti O_2	000-04-0551	Rutilo
	$\text{Ca (Mg, Fe) (CO}_3)_2$	010-84-2065	Dolomita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-70-0982	Gypsum

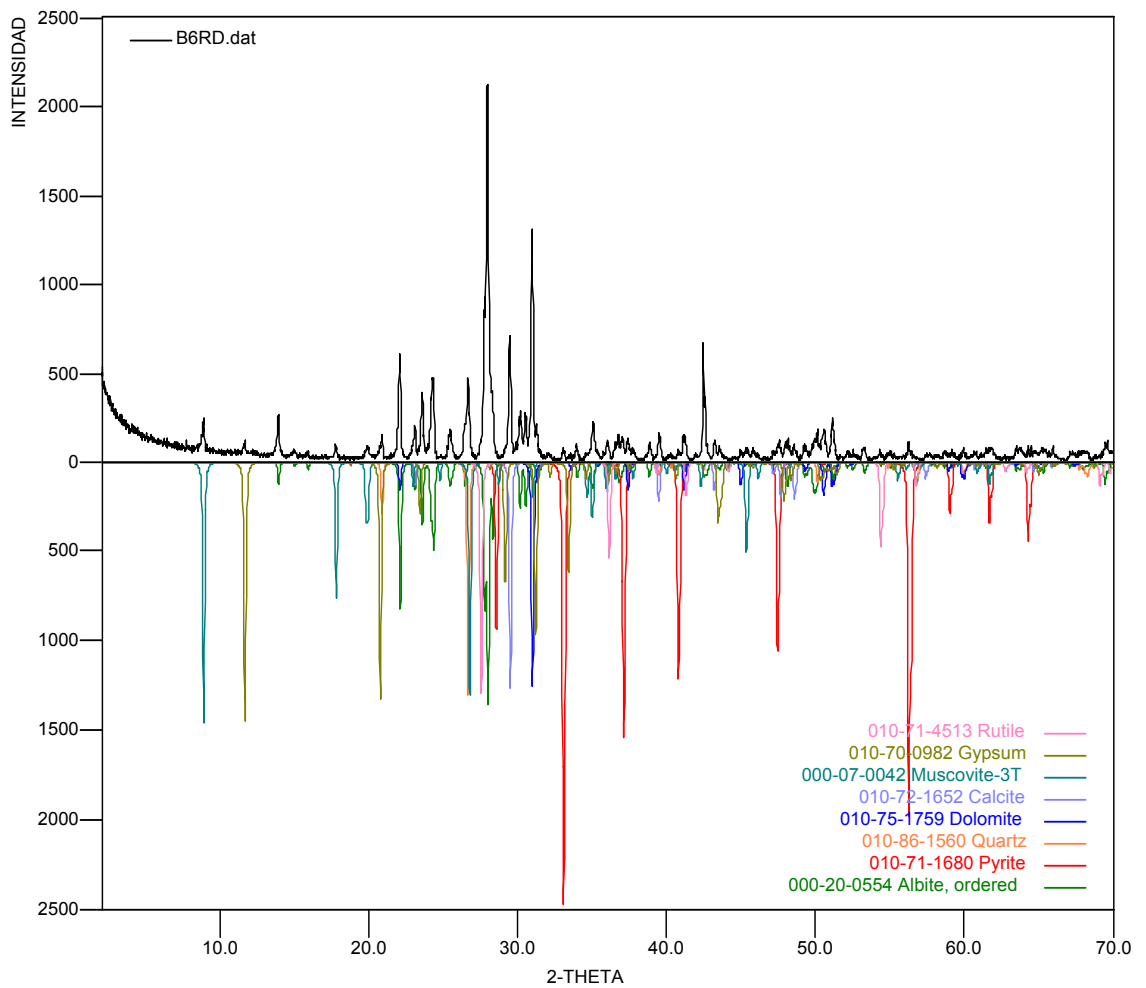
COR-013-038



• COR-013-039 (B6RD)

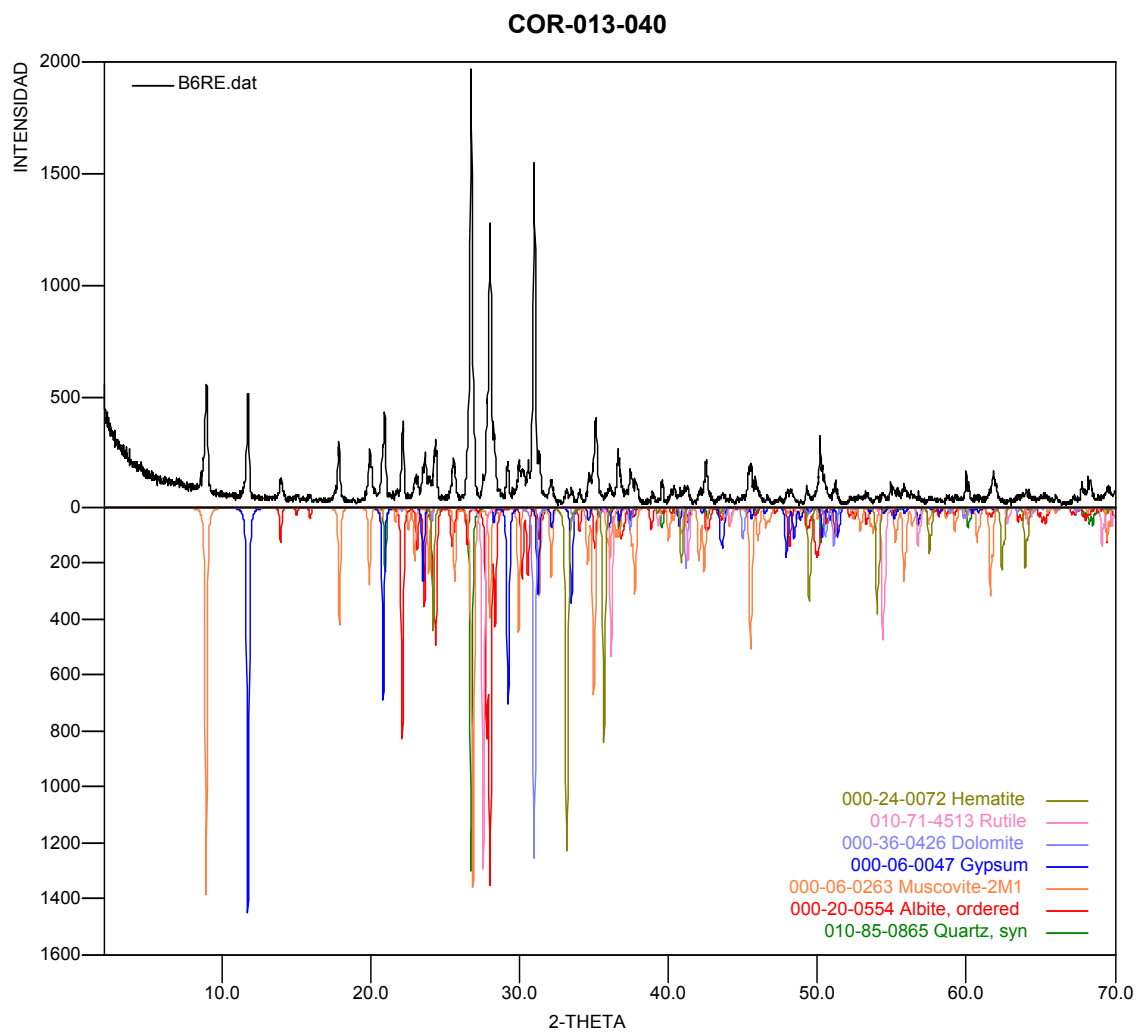
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	Ti O_2	010-71-4513	Rutilo
	Fe S_2	010-71-1680	Pirita
	Ca CO_3	010-72-1652	Calcita
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0042	Moscovita
	$\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$	010-75-1759	Dolomita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	010-70-0982	Gypsum
	Si O_2	010-86-1560	Cuarzo

COR-013-039



- COR-013-040 (B6RE)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalino S	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-20-0554	Albita
	Ti O_2	010-71-4513	Rutilo
	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	000-24-0072	Hematita
	$\text{Ca Mg (CO}_3)_2$	000-36-0426	Dolomita
	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	000-06-0047	Gypsum
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-06-0263	Moscovita
	Si O_2	010-85-0865	Cuarzo



ANEXO 3. TABLAS DE DETERMINACIÓN DE LA FÓRMULA QUÍMICA DE ALBITAS

- Muestra COR 012 002 Minas de Oriente

Análisis 1

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	67,796	60,080	1,128	1,128	2,257	3,0016523
Al ₂ O ₃	19,931	101,960	0,195	0,391	0,586	1,0399573
Na ₂ O	10,180	62,000	0,164	0,328	0,164	0,8735189
TOTAL					3,007	

Factor O 2,660

Análisis 2

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	67,167	60,080	1,118	1,118	2,236	3,0556179
Al ₂ O ₃	19,387	101,960	0,190	0,380	0,570	1,0394026
Na ₂ O	7,478	62,000	0,121	0,241	0,121	0,6593208
TOTAL					2,927	

Factor O 2,733

Análisis 3

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	67,005	60,080	1,115	1,115	2,231	3,0137026
Al ₂ O ₃	19,623	101,960	0,192	0,385	0,577	1,0401325
Na ₂ O	9,462	62,000	0,153	0,305	0,153	0,8247918
TOTAL					2,961	

Factor O 2,702

- Muestra COR 012 035 Minas de Oriente

Análisis 1

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	65,998	60,080	1,099	1,099	2,197	3,2360049
Al ₂ O ₃	17,575	101,960	0,172	0,345	0,517	1,0155559
Na ₂ O	0,098	62,000	0,002	0,003	0,002	0,0093126
TOTAL					2,716	

Factor O 2,946

Análisis 2

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	65,243	60,080	1,086	1,086	2,172	3,2341335
Al ₂ O ₃	17,345	101,960	0,170	0,340	0,510	1,0132775
Na ₂ O	0,246	62,000	0,004	0,008	0,004	0,0236335
TOTAL					2,686	

Factor O 2,978

Análisis 3

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	65,155	60,080	1,084	1,084	2,169	3,2260094
Al ₂ O ₃	17,602	101,960	0,173	0,345	0,518	1,0270935
Na ₂ O	0,153	62,000	0,002	0,005	0,002	0,0146817
TOTAL					2,689	

Factor O 2,975

- Muestra COR 012 048 Minas de Oriente

Análisis 6

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	66,383	60,080	1,105	1,105	2,210	3,1306756
Al ₂ O ₃	18,443	101,960	0,181	0,362	0,543	1,0250448
Na ₂ O	4,400	62,000	0,071	0,142	0,071	0,402163
TOTAL					2,823	

Factor O 2,833

Análisis 7

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	65,576	60,080	1,091	1,091	2,183	3,217503
Al ₂ O ₃	17,880	101,960	0,175	0,351	0,526	1,0338836
Na ₂ O	0,298	62,000	0,005	0,010	0,005	0,0283373
TOTAL					2,714	

Factor O 2,948

Análisis 8

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	65,576	60,080	1,091	1,091	2,183	3,217503
Al ₂ O ₃	17,880	101,960	0,175	0,351	0,526	1,0338836
Na ₂ O	0,298	62,000	0,005	0,010	0,005	0,0283373
TOTAL					2,714	

Factor O 2,948

Análisis 9

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	70,666	60,080	1,176	1,176	2,352	3,080846
Al ₂ O ₃	21,017	101,960	0,206	0,412	0,618	1,0798422

Na ₂ O	5,173	62,000	0,083	0,167	0,083	0,4370893
TOTAL					3,054	

Factor O 2,619

Análisis 10

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	70,666	60,080	1,176	1,176	2,352	3,080846
Al ₂ O ₃	21,017	101,960	0,206	0,412	0,618	1,0798422
Na ₂ O	5,173	62,000	0,083	0,167	0,083	0,4370893
TOTAL					3,054	

Factor O 2,619

- Muestra COR 008 002 Minas de San Pedro

Análisis 1

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	64,389	60,080	1,072	1,072	2,143	2,9243302
Al ₂ O ₃	22,157	101,960	0,217	0,435	0,652	1,1859211
Na ₂ O	8,463	62,000	0,137	0,273	0,137	0,744916
TOTAL					2,932	

Factor O 2,729

Análisis 2

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	66,810	60,080	1,112	1,112	2,224	3,0447997
Al ₂ O ₃	19,594	101,960	0,192	0,384	0,577	1,0523748
Na ₂ O	7,514	62,000	0,121	0,242	0,121	0,6636769
TOTAL					2,922	

Factor O 2,738

- Muestra COR 008 002 ROCA CAJA Minas de San Pedro

Análisis 1

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	67,6758	60,080	1,126	1,126	2,253	2,9657402
Al ₂ O ₃	20,3482	101,960	0,200	0,399	0,599	1,0508865
Na ₂ O	11,5903	62,000	0,187	0,374	0,187	0,9843796
TOTAL					3,039	

Factor O 2,633

Análisis 2

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	65,6132	60,080	1,092	1,092	2,184	2,9141013
Al ₂ O ₃	21,6092	101,960	0,212	0,424	0,636	1,131051
Na ₂ O	11,0419	62,000	0,178	0,356	0,178	0,9504417
TOTAL					2,998	

Factor O 2,668

Análisis 3

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	68,3321	60,080	1,137	1,137	2,275	2,9680185
Al ₂ O ₃	20,9145	101,960	0,205	0,410	0,615	1,0705807
Na ₂ O	10,8836	62,000	0,176	0,351	0,176	0,9161839
TOTAL					3,066	

Factor O 2,610

Análisis 4

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	65,9433	60,080	1,098	1,098	2,195	2,9343572
Al ₂ O ₃	21,0620	101,960	0,207	0,413	0,620	1,104516

Na ₂ O	11,0044	62,000	0,177	0,355	0,177	0,9490234
TOTAL					2,992	

Factor O 2,673

- Muestra COR 008 007

Análisis 1

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	67,866	60,080	1,130	1,130	2,259	2,9891111
Al ₂ O ₃	20,038	101,960	0,197	0,393	0,590	1,040098
Na ₂ O	10,816	62,000	0,174	0,349	0,174	0,9232615
TOTAL					3,023	

Factor O 2,646

Análisis 2

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	63,183	60,080	1,052	1,052	2,103	2,8951611
Al ₂ O ₃	22,757	101,960	0,223	0,446	0,670	1,228903
Na ₂ O	8,250	62,000	0,133	0,266	0,133	0,7326468
TOTAL					2,906	

Factor O 2,753

Análisis 3

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	67,815	60,080	1,129	1,129	2,257	2,984099
Al ₂ O ₃	20,021	101,960	0,196	0,393	0,589	1,0382533
Na ₂ O	11,126	62,000	0,179	0,359	0,179	0,9488439
TOTAL					3,026	

Factor O 2,644

Análisis 4

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	66,149	60,080	1,101	1,101	2,202	2,9970587
Al ₂ O ₃	20,453	101,960	0,201	0,401	0,602	1,0920916
Na ₂ O	8,376	62,000	0,135	0,270	0,135	0,7354902
TOTAL					2,939	

Factor O 2,722

Análisis 5

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	66,588	60,080	1,108	1,108	2,217	2,9501366
Al ₂ O ₃	21,639	101,960	0,212	0,424	0,637	1,1298309
Na ₂ O	9,433	62,000	0,152	0,304	0,152	0,8099612
TOTAL					3,005	

Factor O 2,662

Análisis 6

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	62,709	60,080	1,044	1,044	2,088	2,8478876
Al ₂ O ₃	23,497	101,960	0,230	0,461	0,691	1,2575796
Na ₂ O	9,495	62,000	0,153	0,306	0,153	0,8357111
TOTAL					2,932	

Factor O 2,728

Análisis 7

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	66,514	60,080	1,107	1,107	2,214	3,0051903
Al ₂ O ₃	20,673	101,960	0,203	0,406	0,608	1,1007597
Na ₂ O	7,731	62,000	0,125	0,249	0,125	0,6769597
TOTAL					2,947	

Factor O 2,714

Análisis 8

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	67,997	60,080	1,132	1,132	2,264	3,0314767
Al ₂ O ₃	19,521	101,960	0,191	0,383	0,574	1,025644
Na ₂ O	9,226	62,000	0,149	0,298	0,149	0,7971612
TOTAL					2,987	

Factor O 2,679

Análisis 9

Óxidos principales	Porcentaje en peso	Peso molecular	Proporción molecular	Proporción catiónica	# de oxígenos	# de cationes 8 oxígenos
SiO ₂	68,469	60,080	1,140	1,140	2,279	2,9833142
Al ₂ O ₃	20,110	101,960	0,197	0,394	0,592	1,0326358
Na ₂ O	11,473	62,000	0,185	0,370	0,185	0,9688359
TOTAL					3,056	

Factor O 2,618