

**ESTUDIO DE LAS ALTERACIONES POSTMAGMÁTICAS DEL INTRUSIVO LA
CORONA, MUNICIPIO DE LA VICTORIA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

**JAIRO CONDE GÓMEZ
CÓDIGO1993432**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2007**

**ESTUDIO DE LAS ALTERACIONES POSTMAGMÁTICAS DEL INTRUSIVO LA
CORONA, MUNICIPIO DE LA VICTORIA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

**JAIRO CONDE GÓMEZ
CÓDIGO 1993432**

**Trabajo de Grado realizado como requisito parcial para optar el título de
Geólogo**

**Director
Geólogo Ph.D Luís Carlos Mantilla Figueroa
Codirector
Geólogo Ms.C Oscar Mauricio castellanos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2007**

AGRADECIMIENTOS

Al Geólogo Ph.D Luís Carlos Mantilla Figueroa, por haberme dado la oportunidad de participar en este proyecto, así como haber sido mi director y guía durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Geólogo Ms.C Oscar Mauricio Castellanos por su asesoría en la parte correspondiente a la petrografía y haber aceptado ser mi codirector en este trabajo.

A Jaime Mojica, Geólogo de INGEOMINAS seccional Cali, por su valiosa ayuda suministrada en los análisis de DRX.

A todo el equipo de INGEOMINAS, de quienes aprendí mucho en campo, y en Santa Fe de Bogotá.

A Lucho, técnico del laboratorio de muestras de la UIS por su valiosa ayuda en la preparación de las secciones delgadas.

Dedico este trabajo a los mineros, guaqueros y campesinos pobres de las zonas esmeraldíferas de Boyacá y Cundinamarca, quienes en medio de su pobreza, atraso, falta de oportunidades y bajo el terror blanco proveniente de los buitres esmeralderos en complicidad con las fuerzas reaccionarias del Estado Colombiano, son quienes producen la riqueza que se encuentra en el subsuelo y quienes por derecho propio son los que la deben disfrutar, y, construir en conjunto con los oprimidos de este país, una sociedad que le sirva a los intereses del pueblo y no a un puñado de parásitos que están al servicio del imperialismo.

CONTENIDO

	Pag
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3. ANTECEDENTES.....	4
3.1 ESTUDIOS ANTERIORES.....	5
3.2 GEOLOGÍA.....	8
3.2.1 Estratigrafía.....	8
3.2.1.1 Grupo la Palma (Kipa).....	9
3.2.1.2 Gabro de la Corona.....	10
3.2.2 Geología Estructural.....	12
3.2.2.1 Falla de la Victoria.....	13
3.2.2.2 Anticlinal de la Victoria.....	13

4. METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	14
4.1 FASE DE OFICINA.....	14
4.2 FASE DE CAMPO.....	14
4.3 FASE DE LABORATORIO.....	15
4.3.1 Petrografía.....	16
4.3.2 Difracción de rayos X.....	18
4.3.3 Química mineral.....	20
4.3.4 Análisis por Inclusiones fluidas.....	22
4.4 FASE DE INTERPRETACION DE LOS DATOS.....	24
4.5 ELABORACIÓN Y SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL.....	24
5. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO.....	25
5.1 LOCALIZACIÓN.....	25
5.2 VIAS DE ACCESO.....	25
5.3 CLIMA Y VEGETACIÓN.....	27
6. RESULTADOS.....	28

6.1 RASGOS MACROSCÓPICOS GENERALES DEL PLUTÓN LA CORONA.....	28
6.2 ANALISIS EN MUESTRAS DE MANO.....	34
6.3 DATOS MINERALOGICOS PETROGRÁFICOS.....	37
6.3.1 Interpretación de los datos mineralógico- petrográficos.....	52
6.4 DIFRACCCÓN DE RAYOS X.....	56
6.4.1 Consideraciones preliminares.....	56
6.4.2 Datos de Difracción de Rayos X.....	57
6.5 QUÍMICA MINERAL.....	61
6.5.1 Consideraciones preliminares.....	61
6.5.2 Datos de Química Mineral.....	65
6.6 ANALISIS POR INCLUSIONES FLUIDAS (IF).....	70
6.6.1 Consideraciones Preliminares.....	70
6.6.1.1 Tipología de las Inclusiones Fluidas.....	71
6.6.2 Datos Petrográficos y microtermométricos en IF.....	74

7. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	77
7.1 LOS PROCESOS DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL, CONSIDERACIONES PRELIMINARES.....	77
7.1.1 Factores que controlan al alteración hidrotermal.....	78
7.1.2 Productos típicos del reemplazo por alteración.....	80
7.1.3 Procesos debidos a la alteración Hidrotermal.....	81
7.1.4 Reacciones químicas involucradas en los procesos Hidrotermales.....	82
7.1.5 Tipos de alteración Hidrotermal.....	87
7.1.6 Fuente de fluidos Hidrotermales.....	96
7.2 EVIDENCIAS DE ALTERACIONES EN EL INTRUSIVO LA CORONA.....	99
7.2.1 Evidencias en campo.....	99
7.2.2 Evidencias mineralógicas.....	100
7.2.3 Evidencias Petrográficas.....	102
7.2.4 Evidencias de química Mineral.....	105

7.2.5 Evidencias a partir de los datos de inclusiones fluidas.....	106
8. CONCLUSIONES.....	107
9. RECOMENDACIONES.....	109
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

ANEXOS

ANEXO 1 DIFRACTOGRAMAS DE DRX.....	115
ANEXO 2 FOTOGRAFÍAS DE RETRODISPERSADO.....	130

LISTA DE FIGURAS

	Pag
FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES CUERPOS IGNEOS BASICOS.....	4
FIGURA 2. GEOLOGÍA DE UN SECTOR COMPRENDIDO ENTRE QUÍPAMA Y LA VICTORIA.....	10
FIGURA 3. DIFRACTÓMETRO DE RAYOS X.....	19
FIGURA 4. MOLINO MECANICO CON MORTERO.....	19
FIGURA 5. EQUIPO DE MICROTERMOMETRÍA DE INCLUSIONES FLUIDAS.....	23
FIGURA 6. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	26
FIGURA 7. NIVELES LIMOLITICOS FORMACION CAPOTES.....	29
FIGURA 8. NIVELES LIMOLITICOS EN CONTACTO CON EL INTRUSIVO LA CORONA.....	29
FIGURA 9. AFLORAMIENTO INTRUSIVO LA CORONA.....	30
FIGURA 10. AFLORAMIENTO INTRUSIVO LA CORONA.....	31
FIGURA 11. AFLORAMIENTO INTRUSIVO LA CORONA.....	32
FIGURA 12. AFLORAMIENTO INTRUSIVO LA CORONA.....	33
FIGURA 13. AFLORAMIENTO INTRUSIVO LA CORONA.....	34
FIGURA 14. UBICACIÓN MUESTRAS EN EL PLUTÓN DE LA CORONA.....	38
FIGURA 15. MICROFOTOGRAFIA SECCIÓN DELGADA LME-020-005.....	39
FIGURA 16. MICROFOTOGRAFÍA SECCIÓN DELGADA LME-020-005.....	41
FIGURA 17. MICROFOTOGRAFÍA SECCIÓN DELGADA LME-020-004.....	43

FIGURA 18. MICROFOTOGRAFÍA SECCIÓN DELGADA	
LME-020-003.....	47
FIGURA 19. MICROFOTOGRAFÍA SECCIÓN DELGADA	
CJE-019-006 (1).....	48
FIGURA 20. MICROFOTOGRAFÍA SECCIÓN DELGADA	
CJE-019-006 (1).....	49
FIGURA 21. MICROFOTOGRAFÍA SECCIÓN DELGADA	
CJE-019-006 (1).....	50
FIGURA 22. MICROFOTOGRAFÍA SECCIÓN DELGADA	
LME-021-001.....	51
FIGURA 23. MICROFOTOGRAFÍA SECCIÓN DELGADA	
CJE-019-006 (2).....	55
FIGURA 24. DIAGRAMA DE DRX.....	58
FIGURA 25. ESQUEMA TECNICA DE MICROSONDA.....	62
FIGURA 26. IMAGEN POR ELECTRONES SECUNDARIOS.....	63
FIGURA 27. IMAGEN POR RETRODISPERSADO.....	64
FIGURA 28. IMAGEN RETRODISPERSADO PUNTOS 117 Y 118.....	68
FIGURA 29. IMAGEN RETRODISPERSADO PUNTOS 162 Y 170.....	69
FIGURA 30. INCLUSIONES POLIFASICAS.....	75
FIGURA 31. DIAGRAMA PRESION TEMPERATURA	
REACCIONES DE DESHIDRATACIÓN.....	85
FIGURA 32. ESTABILIDAD DE MINERALES DE Fe.....	86
FIGURA 33. ASOCIACIONES MINERALES EN ALTERACIONES	
HIDROTERMALES.....	89
FIGURA 34. ASOCIACIONES DE MINERALES EN SISTEMAS	
HIDROTERMALES.....	93
FIGURA 35. SOLUBILIDAD DE H₂O EN FUNDIDOS SILICATADOS.....	98

LISTA DE TABLAS

	Pag
TABLA 1. LISTADO DE MUESTRAS DE FOSILES	
GRUPO LA PALMA.....	12
TABLA 2. ANALISIS DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS EN CAMPO.....	16
TABLA 3. ESPACIFICACIONES TECNICAS EQUIPO DRX.....	18
TABLA 4. PARAMETROS DE MEDICION EN MESTRA DE POLVO.....	20
TABLA 5. PATRONES DE CALIBRACIÓN PLATINA	
MICROTERMOMETRÍA.....	23
TABLA 6. RASGOS EN MUESTRA DE MANO, INTRUSIÓN LA CORONA	
ROCA ENCAJANTE.....	35
TABLA 7. MUESTRAS INTRUSION LA CORONA, SELECCIONADAS	
PARA PETROGRAFÍA.....	38
TABLA 8. RESULTADOS DRX.....	59
TABLA 9. MINERALES IDENTIFICADOS EN INTRUSIVO LA CORONA	
SEGÚN DRX.....	60
TABLA 10. RESULTADOS QUÍMICA MINERAL.....	66
TABLA 11. CONTENIDO Na ₂ O, K ₂ O, CaO EN MINERALES	
INTRUSIÓN LA CORONA.....	67
TABLA 12. RESULTADOS ANALISIS DE MICROTERMOMETRIA.....	75
TABLA 13. PRODUCTOS DE ALTERACION HIDROTERMALES.....	80
TABLA 14. ELEMENTOS INTERCAMBIADOS EN	
PROCESOS HIDROTERMALES.....	83
TABLA 15. CLASIFICACIÓN DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES....	87
TABLA 16. FASES POSTMAGMATICAS E HIDROTERMALES.....	102

RESUMEN

Título:

Estudio de las alteraciones postmagmáticas del intrusivo La Corona, Municipio de la Victoria, Departamento de Boyacá. *

Autor: Jairo Conde Gómez. **

Palabras Claves:

Intrusivo La Corona, Quebrada el Cedro, Formación Capotes, alteración deuterica, episienitización.

Descripción:

El intrusivo La Corona, es un cuerpo de naturaleza básica tipo gabro que aflora a lo largo de la Quebrada el Cedro, en el municipio de la Victoria al occidente del departamento de Boyacá. Corta discordantemente rocas sedimentarias pelíticas pertenecientes a la formación Capotes de edad Aptiano tardío-Albiano temprano.

En base a fósiles de amonites, la edad de este cuerpo intrusivo es posterior al coniaciano. Los análisis de campo, petrografía, DRX, química mineral e inclusiones fluidas realizados en muestras pertenecientes al intrusivo y a rocas sedimentarias en contacto y cerca del plutón, sugieren que el intrusivo de La Corona sufrió un importante proceso de alteración deuterica. Los fluidos exsueles durante las últimas etapas de cristalización de este cuerpo, reaccionaron con los minerales formados en la etapa magmática produciendo un remplazamiento reactivo de estos por albita. Las asociaciones paragenéticas sugieren que esta alteración, se da en una facie de esquistos verdes, subfacie clorita entre temperaturas de 300 °C - 500 °C Este proceso de alteración deuterica, es responsable de la episienitización observada en el intrusivo durante la fase de campo.

* Trabajo de grado modalidad investigación

** Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de geología, Directores: Ph.D Luís Carlos Mantilla Figueroa, Ms.C Oscar Mauricio Castellanos

ABSTRACT

Title:

Study of the postmagmatic alterations of intrusive la Corona, Municipality of the Victory, and Department of Boyacá. *

Author: Jairo Conde Gómez. **

Key Words:

La Corona intrusive, gulch el Cedro, Capotes Formation, deuteritic alteration, episienitization.

Abstract:

The intrusive La Corona is a body of nature basic type gabbro that appears along the gulch el Cedro, in the municipality from la Victoria to the occident of the department of Boyacá. Discordantly cuts pelitics sedimentarys rocks pertaining to Capotes formation of age Aptian late-Albian early. On the basis of fossils of ammonites, the age of this intrusive body is subsequent to the coniacian. The field analyses, petrography, XRD, mineral chemistry and fluid inclusions carried out in samples belonging to the intrusive and to sedimentary rocks in contact and near the pluton, they suggest that the intrusive of la Corona suffered an important process of deuteritic alteration. The flowing exhalated during the last stages of crystallization of this body reacted with the minerals formed in the magmatic stage producing a reactive replacement of these for albite. The paragenetics associations suggest this alteration, occurs in a facie of green schist, chlorite subfacie between temperatures of 300 °C - 500 °C. This process of deuteritic alteration is responsible for the episienitization observed in the intrusive during the phase of field.

* Work of grade modality investigation

** Industrial University of Santander, Ability of Physiochemical engineerings, Geology school, Directors: Ph.D Luís Carlos Mantilla Figueróa, Ms.C Oscar Mauricio Castellanos.

1. INTRODUCCIÓN

El documento que aquí se presenta, es el resultado de un trabajo de tesis de pregrado 'Modalidad Investigación', desarrollado en el marco del proyecto de investigación titulado: 'Investigación petrográfica y geoquímica de las sedimentitas del Cretácico Inferior (K_1) y sus manifestaciones hidrotermales asociadas; planchas 169, 170, 189, 190 (Cordillera Oriental): implicaciones en la búsqueda de esmeraldas'. Éste proyecto hace parte del acuerdo específico No. 01-complementario al convenio marco de cooperación 005/2001, firmado entre la Universidad Industrial de Santander (UIS) y el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).

El objetivo del presente trabajo consiste en estudiar el plutón La Corona (Plancha 189, escala 1:100.000), aflorante en la Quebrada el Cedro (Caserío de la Corona, municipio de la Victoria), en aras de establecer posibles facies o zonas, con base en su contenido mineralógico y sus rasgos petrográficos en general. Por otro lado, este estudio pretendía igualmente identificar y estudiar los posibles procesos de alteración hidrotermal que debieron afectar a éste cuerpo ígneo.

Los análisis de microscopía óptica, DRX, química mineral e Inclusiones Fluidas, realizados en muestras ígneas del plutón la Corona y en muestras de las rocas sedimentarias pelíticas encajantes, indican que este cuerpo debió ser afectado por un importante evento de alteración deutérica. Los fluidos exseltos en los estadios tardíos de la cristalización de éste cuerpo ígneo, serían responsables de sus alteraciones hidrotermales (básicamente tipo episenitización). Por esta razón, éste evento magmático resulta muy atractivo para la exploración de Yacimientos Minerales, especialmente si cortan litologías calcáreas, debido a que favorecería la formación de skarns.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio mineralógico, petrográfico y de química mineral del plutón La Corona (aflorante en la Quebrada el Cedro, municipio de la Victoria, Boyacá), en aras de establecer su zonalidad textural y composicional, y su relación con posibles eventos de alteración hidrotermal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

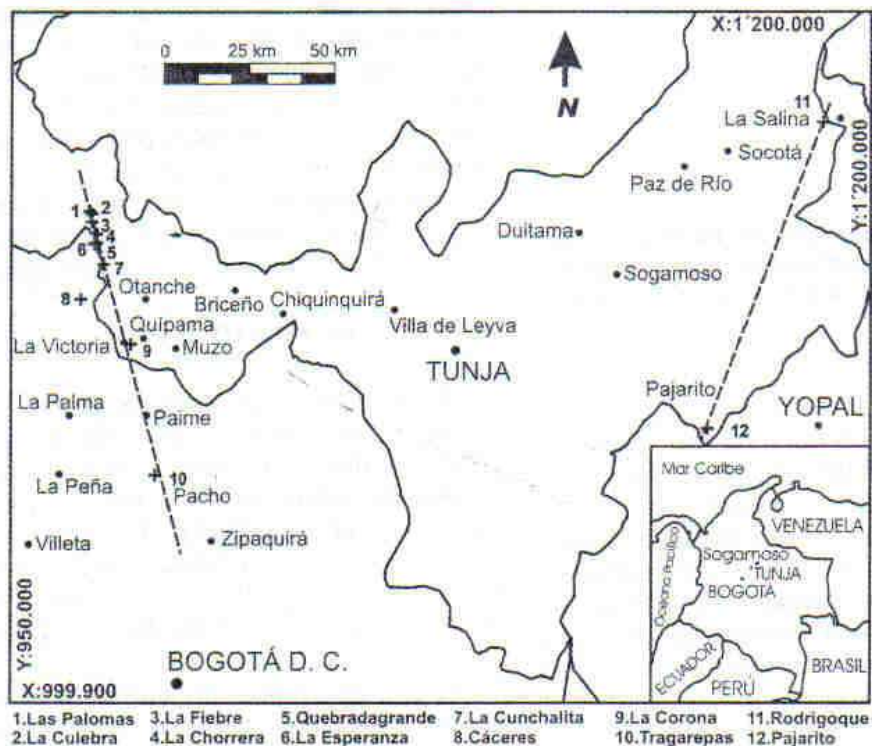
- Compilar la información geológica preliminar existente sobre el intrusivo de la Corona y demás cuerpos intrusivos básicos de edad Cretácica en la Cordillera Oriental.
- Realizar un trabajo de campo con el fin de recolectar muestras, y documentar las características macroscópicas del cuerpo intrusivo y sus relaciones con la roca encajante.
- Hacer una caracterización petrográfica de las muestras tanto a nivel de mano como en sección delgada, con especial énfasis en aquellas neoformaciones de origen hidrotermal.
- Hacer análisis de difracción de rayos X (DRX) en muestras de polvo de distintos puntos del cuerpo ígneo, en aras de identificar su mineralogía y establecer (en lo posible) la zonalidad de las alteraciones con base en esta información.
- Hacer análisis de química mineral en diversos minerales pertenecientes al cuerpo ígneo, en aras de identificar las modificaciones químicas que sufrió, este cuerpo ígneo, a consecuencia de las alteraciones hidrotermales.
- Estudiar los distintos tipos de Inclusiones Fluidas presentes en venas próximas al plutón, localizadas en las rocas sedimentarias encajantes.

- Establecer a la luz de los nuevos datos, un modelo que explique la zonalidad observada en el cuerpo ígneo de la Corona.

3. ANTECEDENTES

El intrusivo La Corona, junto con los cuerpos intrusivos de la Culebra, las Palomas, la Fiebre, la Chorrera, la Esperanza, Quebradagrande, la Conchalita, Cáceres y Tragarepas entre otros; forman una serie de cuerpos básicos intrusivos aflorantes en la parte central de la Cordillera Oriental en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca (ver Figura 1), los cuales están cortando rocas sedimentarias datadas paleontológicamente como del Cretáceo inferior (Moreno *et al.*, 2004).

FIGURA 1. Localización de los principales cuerpos ígneos básicos en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca.



Tomado de Moreno *et al.*, (2004).

Estos cuerpos en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, forman un alineamiento aproximadamente en la dirección N15°W, lo que indicaría un control tectónico para su emplazamiento y en el flanco oriental de la misma Cordillera, los intrusivos de Pajarito y Rodricoque, presentan una orientación N20°E acorde con la dirección de las estructuras actuales en el piedemonte llanero (Moreno *et al.*, 2004).

3.1 ESTUDIOS ANTERIORES

Desde hace varias décadas, los cuerpos intrusivos básicos presentes en la parte central de la Cordillera Oriental, han sido objeto de estudio mediante varios trabajos elaborados por diversos autores entre los cuales podemos destacar:

- Reportes de manifestaciones gabroides en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, se remontan a Lleras Codazzi (1926, 65-66), quien atribuye a Roberto Scheibe el descubrimiento de la intrusión La Corona, en la quebrada el Cedro, durante sus estudios de las minas de esmeraldas de Muzo. Según el autor, éste cuerpo corresponde a una diorita de grano medio con plagioclasa, hornblenda y clorita, asignándole a su juicio una edad anterior a las formaciones.
- Trumpy (1943), consideró los cuerpos básicos como del Cretáceo Inferior con base en el reporte de Gansser (sin fecha), acerca de intrusiones ultrabásicas cortando rocas de edad Albiano en el Distrito minero de Muzo.
- Gansser (1955), reporta intrusiones gabroides en el Cretáceo Medio en la región de las minas de esmeraldas de Muzo y reporta también las del río Guaguaquí en el borde del valle medio del Magdalena, sin especificar ubicación y descripción.

- Pratt (1961), reporta de acuerdo con geólogos del petróleo, la presencia de cinco silos diabásicos que alcanzan los 10 m de ancho, 40 km al NW de las minas de Muzo.
- Bürgl (1961), considera que estos cuerpos son de edad Terciaria, sin argumentos decisivos.
- Campbell y Bürgl (1965), resumen la actividad ígnea en la Cordillera Oriental con base en los trabajos anteriores y reportan las intrusiones básicas del río Guaguaquí.
- Campbell (1974), asocia la actividad ígnea de la Cordillera Oriental, con las venas hidrotermales y las mineralizaciones, asignándoles una edad terciario Tardío y sugiriendo la presencia de batolitos en profundidad.
- Ulloa (1980, en Fabre y Delaloye, 1982), clasifica las rocas de La Corona como dioritas intruyendo la formación Paja. Los análisis petrográficos indican que se trata de dioritas hornbléndicas cloritizadas. Reporta, además, rodados de roca metamórfica cataclástica.
- Fabre y Delaloye (1982), reportan un dique aplítico relacionado con la intrusión de La Corona; y ante el hallazgo de un nuevo dique básico que intruye a las sedimentitas de la formación Lutitas del Macanal, en la región de la salina de Chita, Boyacá, área sobre el flanco oriental de la Cordillera, presentan un estudio más detallado de los afloramientos de rocas similares hasta ese momento conocidos y localizados en la parte central de la Cordillera, en las subcuencas a lado y lado de los paleoaltos mencionados anteriormente. Listan además autores, descripciones breves e imprecisas y edades asignadas hasta ese momento conocidas.
- Ingeominas (1983), incluye las manifestaciones básicas reportadas por Fabre & Delaloye (1982) dentro del terreno Jurásico Cretáceo al oriente del sistema de fallas de Romeral, asociados al magmatismo de la Cordillera Oriental.

- Ballesteros (1989), reporta intrusiones máficas cortando rocas del Albiano en la quebrada la Culebra, cerca de la inspección de El Marfil, Departamento de Boyacá, 7 Km. Al norte de los cuerpos encontrados en el río Guaguaquí y de composición gabroide, que afloran sobre la carretera que de Puerto Romero conduce a Otanche.
- Ujueta (1991), con base en la disposición de las manifestaciones ígneas, mineralizaciones y fuentes termales, relaciona su origen con un juego de fracturas profundas antiguas con dirección NW-SE a través de los cuales pudieron ascender los magmas y las soluciones mineralizantes.
- Moreno y Concha (1993), describen y localizan nuevas manifestaciones ígneas básicas en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, las cuales se presentan generalmente a maneras de silos y diques; y de acuerdo con análisis petrográficos y geoquímicos, las rocas corresponde a gabros similares a los que habían reportado al sur del área.
- Vásquez *et al.*, (2000), caracterizan petrográficamente y geoquímicamente los cuerpos intrusivos básicos aflorantes en la región de Cáceres y Puerto Romero, para los cuales determinan que pertenecen a la serie subalcalina con tendencia sódica y carácter toleitico, geoquímicamente los clasifican como gabros, gabrodioritas y dioritas; además reportan que presentan pseudos estratificación como consecuencia de numerosos influjos de magma los cuales se han fraccionado previamente en la parte mas profunda de la cámara magmática.
- Navarrete *et al.*, (2002), realizan una interpretación petrogenética del gabro de Tragarepas al norte de Pacho, Cundinamarca, el cual intruye rocas sedimentarias del Albiano. La caracterización geoquímica para este gabro determinó que pertenecen a la serie subalcalina con tendencia sódica y carácter toleitico, y se clasifican como gabros, gabrodioritas y dioritas bajas en

Potasio, además de que la generación del cuerpo intrusivo ocurrió en un dominio distensivo intraplaca.

- Moreno *et al.*, (2004), denominan “Gabro La Corona” al cuerpo ígneo básico conocido en la literatura como intrusión la Corona y realizan una clasificación geoquímica de este cuerpo catalogándolo como gabro, gabro alcalino, sienodioritas gabroideas y sienitas, perteneciendo a la serie alcalina y a la serie subalcalina con tendencia sódica y carácter calcoalcalino. También realizan una clasificación petrográfica enmarcándolo como leucogabro, leucogabro hornblendico, gabro, gabro hornblendico y gabro piroxenico-hornblendico y postulan que la variación composicional de este intrusivo se debe a que se encuentra altamente diferenciado mostrando desde una fase básica hasta una fase intermedia además de estar intruido por un dique leucocrático clasificado geoquímicamente como granito y emplazado en un ambiente compresivo.

3.2 GEOLOGÍA

3.2.1 Estratigrafía

A nivel regional, la secuencia estratigráfica expuesta en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, en parte de la cuenca media del Magdalena y en la región de Santander, corresponde a las unidades sedimentarias reconocidas como las formaciones Cumbre, Rosablanca, Paja, Tablazo y Simití. En la parte central del flanco occidental de la cordillera, la secuencia comprende de base a tope, con la formación Rosablanca, formación Paja, y los conjuntos Arenoso-lutítico y Lutítico (Moreno *et al.*, 2004).

Estas tres últimas unidades presentan un cambio de facies a más a limolíticas hacia el sur en el área de estudio lo cual ha sido definido como grupo la Palma

(Rodríguez & Ulloa, 1994), abarcando un periodo de tiempo desde el Barremiano hasta el Albiano Superior.

3.2.1.1 Grupo la Palma (Kipa)

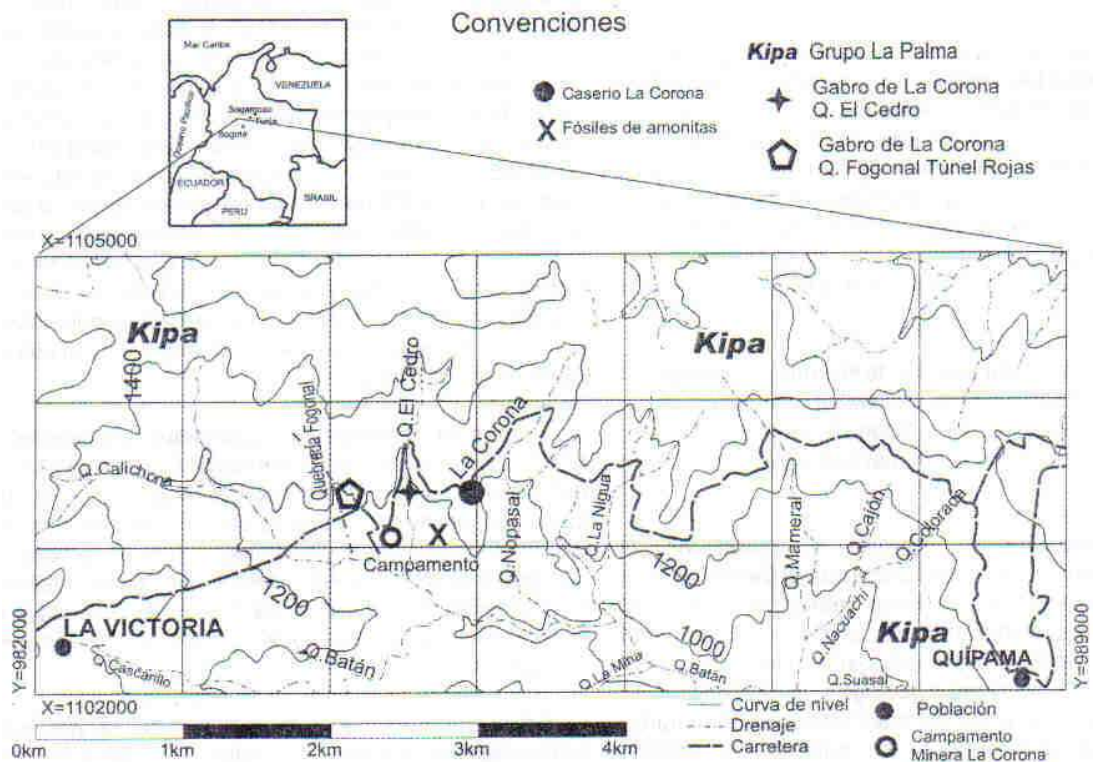
Ulloa & Rodríguez (1994), proponen el termino grupo la Palma, para representar una secuencia estratigráfica que aflora en una gran extensión en la parte central de la plancha 189 la Palma a escala 1: 100000; la cual consta de una serie monótona y espesa de limolitas, lutitas y arcillolitas grises claras a negras, moscovíticas, con intercalaciones de estratos delgados de areniscas arcillosas de grano fino verde oscuras, en capas gruesas de hasta 0,5m de espesor, y esporádicas capas delgadas de arcillolitas calcáreas; además, estimaron el espesor total del grupo la Palma en unos 1250m aproximadamente.

Con respecto a la posición estratigráfica y a edad del grupo la Palma, el techo de esta unidad formado principalmente por lutitas arcillosas, infrayace en forma concordante a la formación areniscas de Chiquinquirá y su contacto corresponde a cambios litológicos bien definidos; su límite inferior se halla en contacto fallado con el grupo Guaguaquí (Ulloa & Rodríguez, 1994); y en base a un fauna de fósiles de amonites el grupo la Palma abarca un intervalo de tiempo comprendido desde el Barremiano hasta Aptiano inferior, cronológicamente representando gran parte de la formación Paja y los conjuntos arenoso y lutítico.

Las rocas sedimentarias aflorantes en al área de estudio, e intruidas por el plutón de la Corona, pertenecen a esta unidad (ver Figura 2); según Moreno *et al.*, (2004), el grupo la Palma en el área de estudio es equivalente a las formaciones Paja, Tablazo y Simití, sin embargo, en la nueva cartografía elaborada por el INGEOMINAS, durante los años 2005 y 2006 en un sector de la plancha 189 la Palma; el grupo la Palma fue subdividido en varia subunidades o formaciones quedando equivalente a la unidad K6 en la zona de estudio (Reyes *et al.*, 2006) o formación Capotes (Reyes comunicación oral, 2006); la edad de esta formación en

base a fósiles de amonites recolectados en esa unidad indican una edad Aptiano tardío- Albiano temprano (Etayo comunicación oral, 2005)

FIGURA 2. Geología de un sector comprendido entre los municipios de Quípama y la Victoria, en el cual afloran rocas sedimentarias del grupo la Palma (Kipa) y rocas ígneas pertenecientes al intrusivo La Corona.



Tomado de Moreno *et al.*, (2004).

3.2.1.2 Gabro de la Corona

Es el nombre propuesto por Moreno *et al.*, (2004), para el cuerpo ígneo básico tipo diorita/gabro, que intruye lutitas negras y arcillolitas calcáreas pertenecientes al grupo la Palma (Ulloa y Rodríguez, 1994); según Codazzi (1926), el gabro de la Corona fue identificado por primera vez por Roberto Sheibe durante un estudio geológico de las minas de esmeraldas de Muzo, quien las describió como dioritas

de grano medio, de estructura hipidiomorfa con plagioclasa y hornblenda asociadas a pegmatitas y aplitas muy albitizadas. Ganzer (1956, 1963) también reconoce la presencia de rocas intrusivas en el área. Fabr e y Delaloye (1982), quienes hacen el primer reporte sobre la química y la edad de las intrusiones básicas de la Cordillera Oriental, reportan la ubicación del intrusivo a lo largo de la quebrada el Cedro en aproximadamente un tramo de 60m; Moreno *et al.*, (2004), reportan que este gabro está expuesto entre las coordenadas X= 1103245, Y= 984531 y X= 1103459 e Y= 984524 a lo largo del cauce de la quebrada el Cedro; también reportan la presencia del afloramiento del gabro la Corona en la quebrada Fogonal, ubicada 1Km al occidente de la quebrada el Cedro, en las coordenadas X= 1103269 e Y= 984103, de las planchas topográficas 189-II-C y 189-II-D, a escala 1: 25000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (ver figura 2). En las laderas y valles de la quebrada Nopasal, al este del caserío de la Corona, son frecuentes los rodados de rocas ígneas básicas pseudoestratificadas, algunas con micropliegues, y rodados de rocas verdes bandeadas; las últimas corresponderían a milonitas cuya roca original correspondería a un gabro hornblendico (Tenjo, 2003), las cuales se encuentran expuestas también en la margen occidental de la quebrada el Cedro, aparentemente asociadas a la presencia del lineamiento tectónico que cruza en dirección NE-SW a lo largo de la quebrada (Moreno *et al.*, 2004).

Con respecto a la edad del intrusivo, Fabr e & Delaloye (1982), con base en dataciones radiométricas K/Ar proponen que el intrusivo la Corona tiene una edad de $92,9 \pm 9,3$ millones de años la cual corresponde al Cretáceo Superior (intervalo Albiano Tardío- Turoniano).

En el trabajo de Moreno *et al.* (2004), microfósiles de Amonitas del Género *Oxitropidoceras* (ver Tabla 1), encontrados en las rocas arcillosas del Grupo la Palma, que es intruida por el cuerpo de La Corona y recolectadas en el costado occidental de la quebrada el Cedro, en las coordenadas X= 1103260 e Y= 984750, permiten datar bioestratigráficamente la sucesión intruida del grupo la Palma del

Albiano, concordante con las dataciones obtenidas por Rodríguez & Ulloa (1994) y determinan que el intrusivo La Corona no intruyen rocas más jóvenes a las del Albiano Tardío y asumen una edad cenomaniana para el intrusivo.

TABLA 1. Listado y sitio de ubicación de las muestras de arcillolitas del grupo la Palma, en las cuales se recolectó la fauna de macrofósiles.

MUESTRAS DE MACROFÓSILES			
Muestra	Localización	Nombre	Edad
QC-F-5	Costado occidental de la Quebrada El Cedro	<i>Oxytropidoceras (Venezolicerias) cf. intermedium</i> Renz	Albiano Medio Tardío
QC-F-6		<i>Oxytropidoceras (Venezolicerias) cf. bituberculatum</i> Collignon	Albiano Medio Tardío
QC-F-8		<i>Oxytropidoceras (Venezolicerias) cf. karsteni</i> Stieler	Albiano Tardío
QC-F-9	X: 1'103.260	<i>Oxytropidoceras</i> sp.	Albiano Temprano Tardío
QC-F-12	Y: 984.750	<i>Oxytropidoceras (Laraicerias) cf. laraense</i> Renz	Albiano Tardío

Tomado de Moreno *et al.*, (2004).

3.2.2 Geología Estructural

Estructuralmente el área se caracteriza por estar conformada por una serie de bloques tectónicos limitados por fallas principalmente de tipo inverso de carácter regional y de dirección general NE. En cuanto a los pliegues estos presentan una dirección NNE. A nivel regional los principales rasgos a destacar son la falla de la Victoria y el anticlinal de la Victoria.

3.2.2.1 Falla de la Victoria

Corresponde en parte a la falla La Victoria de Rodríguez y Ulloa (1994), durante el trabajo de Reyes *et al.*, (2006) utilizando un control bioestratigráfico, se estableció su correcta cartografía, parece ser una extensión o un ramal de la falla de Tambrías. Es una falla muy sinuosa con variaciones en su dirección entre N-S a N 40° E. Tiene una vergencia al occidente y coloca rocas del Aptiano superior sobre rocas del Albiano inferior y medio, afectando a las rocas arcillosas del grupo la Palma, en el área de estudio esta falla no se manifiesta; sin embargo el fuerte diaclasamiento tanto en la roca encajante como en el intrusivo La Corona así como la presencia de un lineamiento tectónico a lo largo de la quebrada el Cedro (Moreno *et al.*, 2004) podrían estar relacionados con la presencia de esta falla.

3.2.2.2 Anticlinal de la Victoria

Es una estructura asimétrica con el flanco oriental más inclinado que el occidental y esta limitada al occidente por la falla de la Mina y al oriente por la falla de la Victoria. La quebrada el Cedro en el municipio de la Victoria se ubica en el flanco oriental del anticlinal de la Victoria, las rocas sedimentaria en este sector presentan rumbos generales N30°E y buzamientos entre 30° y 50° SW (Moreno *et al.*, 2004).

4. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El actual trabajo de investigación se planeó y desarrolló de manera esquemática en cinco etapas o fases, las cuales se enuncian y describen a continuación:

4.1 FASE DE OFICINA

El trabajo de oficina comienza con la recopilación y análisis de la información existente para el área de estudio como: cartografía topográfica y geológica, además de informes de estudios anteriores y publicaciones geológicas; esto con el fin de tener una idea de la geología regional entre otros aspectos menos importantes pero que igualmente han de ser tenidos en cuenta, tales como los de carácter climatológico y topográfico de la zona de estudio. La búsqueda de esta información se desarrollo en las bibliotecas de la UIS, el INGEOMINAS (sedes de Bucaramanga y Bogotá) del ICP (Instituto Colombiano del Petróleo) y en la Base de Datos GEOREF de la Biblioteca UIS. Asimismo, se llevo a cabo una reunión técnica plenaria entre el grupo de trabajo de la UIS y el INGEOMINAS, en las instalaciones de INGEOMINAS sede Bogotá con motivo de la integración conceptual y metodológica de ambos grupos de trabajo (INGEOMINAS-UIS) además de programar de la manera más conveniente posible el trabajo a desarrollar durante la fase de campo.

4.2 FASE DE CAMPO

Esta fase consistió en un recorrido a lo largo del cinturón esmeraldífero occidental; durante la cual se hizo un reconocimiento de las unidades litológicas presente en el cinturón, enfatizándose en aquellas que contenían las mineralizaciones de esmeraldas.

En el desarrollo de esta fase se hicieron visitas a afloramientos expuestos tanto a nivel de superficie como en los túneles; a nivel de superficie se tomaron datos estructurales y muestras tanto de la roca caja como de venas relacionadas con las

mineralizaciones, además de la toma de fotografías, y su respectivo posicionamiento utilizando un GPS Garmin Etrex Vista.

A nivel de los túneles el muestreo se hizo a mayor detalle, ya que se hacen las poligonales en las cuales se referencian y se posicionan el punto donde se toma la muestra de la roca caja y de la zona mineralizada, se toma la fotografía, y se toman datos estructurales de rumbo y buzamiento de planos de estratificación y diaclasas; además, se toman datos de posicionamiento a la entrada del túnel.

Con respecto al tópico del proyecto relacionado con la presente investigación, se realizó una visita al intrusivo de La Corona y sus alrededores a lo largo de la quebrada el Cedro y en el corte de la parte superior del intrusivo con la carretera Quípama- la Victoria; donde se tomaron fotografías utilizando una cámara digital Kodak C 310; se recolectaron muestras tanto de la roca ígnea como de la roca sedimentaria encajante, y de la zona de contacto entre estas, se hizo un breve descripción textural y petrográfica de estos tipos de rocas enfatizándose en rasgos como estructuras primarias y secundarias, composición mineralógica, cambios composicionales y de color a lo largo del intrusivo; se tomaron datos estructurales de rumbo y buzamiento de diaclasas y planos de estratificación; y se tomaron coordenadas utilizando un GPS Garmin Etrex Vista.

4.3 FASE DE LABORATORIO

Esta fase consiste en la realización de diversas pruebas de laboratorio, sobre las muestras recolectadas durante la fase de campo, con el objeto de obtener datos para responder a los objetivos planteados en la investigación.

Las muestras recolectadas fueron sometidas a análisis de petrografía, difracción de rayos X, química mineral e inclusiones fluidas (ver Tabla 2), los cuales fueron hechos en laboratorios pertenecientes a la Universidad industrial de Santander, a IINGEOMINAS; y en el centro de microscopía electrónica Luís Bru en España.

TABLA 2. Análisis de petrografía, mineralogía, química mineral, e inclusiones fluidas efectuados a las muestras recolectadas en el área de estudio.

MUESTRA	PETROGRAFÍA MUESTRA DE MANO	PETROGRAFIA SECCIÓN DELGADA	INCLUSIONES FLUIDAS	MICROSONDA	DRX
LME-012-001	.				
LME-020-001	.				.
LME-020-002	.		.		.
LME-020-003	.	.			.
LME-020-004	.	.			.
LME-020-005
LME-021-001
LME-021-002	.				.
LME-021-003	.				.
LME-021-004	.				.
CJE-013-001	.				.
CJE-019-001	.				.
CJE-019-002	.				.
CJE-019-003	.				.
CJE-019-004	.				.
CJE-019-005	.				.
CJE-019-006
CJE-019-007	.				

4.3.1 Petrografía

La descripción de las muestras de mano se desarrolló en el laboratorio de arcillas de la Universidad industrial de Santander, utilizando un estereomicroscopio marca Carl Zeiss Jena; con el cual se describieron componentes texturales y composicionales de las muestras recolectadas.

Para estudios de petrografía en secciones delgadas, estas fueron previamente preparadas en las instalaciones del laboratorio de muestras de la Universidad

Industrial de Santander, donde se cuenta con el equipo y la infraestructura necesaria para su desarrollo.

La preparación de las láminas delgadas se hizo realizando los siguientes pasos:

Corte: Este se realiza buscando la mejor superficie y exposición de los minerales de interés. El corte se debe hacer utilizando algún tipo de refrigerante con el fin de evitar el aumento de temperatura de la muestra durante el procedimiento.

Desgaste: Se hizo sobre platos giratorios y vidrio usando en estricto orden abrasivos de 320, 400, 600 y 1000, hasta obtener una superficie totalmente plana y pareja. Es importante que cada vez que se cambie el abrasivo la superficie se encuentre uniforme. El abrasivo 320 se debe utilizar por pocos minutos y su finalidad es quitar las marcas producidas por el disco durante el corte.

Montaje: Una vez ya pulida, la muestra se dejó secar durante varias horas y se procedió a pegar el vidrio, preferiblemente biselado, sobre la superficie de la muestra utilizando resina epoxica, en esta paso la muestra forma una pastilla de aproximadamente 1cm de espesor y con un largo y un ancho casi igual al de un cubreobjetos.

Después de este paso la muestra se pulió nuevamente por la cara cubierta con resina utilizando los abrasivos de 320, 400, 600 y 1000; se dejó secar por algunas horas, se recubre con resina epoxica esa misma cara y se pega al cubreobjetos, se deja secar de nuevo y se repiten los pasos anteriores hasta que el espesor de la muestra es de unos 30 μm , lo que la hace ideal para ser analizada por el microscopio de luz transmitida.

El análisis de las secciones delgadas se hizo en el laboratorio de microscopía de la escuela de geología en la Universidad industrial de Santander, empleando un microscopio de luz transmitida Nikon Eclipse E 200, con un objetivo de 5X y unos

oculares CFI 10X/22 CM. Para la toma de fotografías se empleó un microscopio de luz transmitida NIKON, modelo: Eclipse-50i, incorporado con Cámara Digital modelo: DS-L1. Mediante estos equipos se pudo realizar la descripción textural e identificación y caracterización composicional de las muestras de roca pertenecientes al plutón de la Corona.

4.3.2 Difracción de rayos X

Con el propósito de identificar las fases mineralógicas presentes en las muestras recolectadas de venas, rocas y demás manifestaciones hidrotermales, se efectuaron pruebas de difracción de rayos X (DRX) utilizando un difractómetro marca Rigaku, modelo RINT 2000 (ver Figura 3) y software de interpretación distribuido por la JCPDS (Joint Comitté on Powder Difraccion Standars), ahora (International Centre for Difraccion Data) en las instalaciones del INGEOMINAS – Cali, bajo la supervisión del geólogo Jaime Mojica, quién hace parte del grupo de trabajo del proyecto por parte de INGEOMINAS. Asimismo, el triturado de las muestras para DRX se efectuó empleando un Molino Mecánico con Mortero – RM100, marca Retsch (Ver Figura 4). Las especificaciones técnicas del equipo de difracción utilizado en el proceso son las mostradas en la Tabla 3.

TABLA 3. Especificaciones técnicas del equipo de difracción

Goniómetro	RINT2000, de ángulo amplio, 185°
Portamuestra	Estándar de aluminio
Monocromador	Automático, 3.3539
Rendijas DS	1°
Rendijas SS	1°
Rendijas RS	0,15mm
Contador	Contador de centelleo

FIGURA 3. Difractómetro de Rayos X, marca Rigaku, modelo RINT 200



Cortesía de INGEOMINAS (sede Cali)

FIGURA 4. Molino Mecánico con Mortero –RM100, marca Retsch, empleado en el proceso de trituración de muestras para la difracción de rayos X.



Cabe aclarar que el análisis de difracción fue netamente cualitativo y se hizo en muestra de polvo desorientada, para lo cual, se tomaron aproximadamente 20 g de cada muestra, y posteriormente se trituraron manualmente con un martillo aislados en papel blanco. Estas mediciones se realizaron bajo los parámetros indicados a continuación en la Tabla 4 para determinar la composición mineralógica de la roca ígnea, la roca sedimentaria encajante y venas localizadas en cercanías al intrusivo.

TABLA 4. Parámetros de medición de muestras de polvo desorientadas.

Modo de escaneo	2 Theta / Theta
Unidad X	grados
Unidad Y	cuentas por segundo (cps)
Inicio	2.00°
Parada	30.00°
Muestreo (step)	0.015°
Velocidad	3°/minuto
Voltaje	40kV
Amperaje	30mA

4.3.3 Química Mineral

Los análisis de química mineral, fueron realizados en el Centro de Microscopía Electrónica Luís Bru, ubicado en Madrid (España), empleando una microsonda electrónica. Para este análisis las muestras fueron preparadas como secciones delgadas en el laboratorio de muestras de la Universidad Industrial de Santander, empleando la misma metodología para la preparación de secciones delgadas, con la diferencia de que no se les pegó cubreobjetos y fueron pulidas con alúmina de 1 μm y 0,005 μm ; con el objetivo de dejar su superficie lo mas pulida posible ya que esta sería bombardeada por electrones.

En el análisis por microsonda electrónica, Los electrones incidentes normalmente tienen una energía cinética de 10-30 KeV (un eV es la energía asociada con un cambio de 1 voltio en el potencial de un electrón), y penetra la muestra a una profundidad del orden de 1 μm , 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 suficiente energía para conseguir una excitación eficiente de rayos X. En los análisis de microsonda, el espectro de rayos X es grabado con un espectrómetro de dispersión de longitudes de onda (*wavelength-dispersive spectrometers, WDS*), o de dispersión de energía (*energy-dispersive spectrometers, EDS*).

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

La platina portadora de muestras aloja normalmente varias muestras y estándares. Las muestras son siempre redondas o rectangulares con dimensiones típicas del orden de 2 o 3 cm. Los patrones pueden ser montados individualmente o agrupados en soportes de tamaño normalizado. Se requiere que la 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.

4.3.4 Análisis por inclusiones fluidas

Al igual que los análisis de petrografía, los análisis de inclusiones fluidas se realizaron en el laboratorio de microscopía de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, utilizando el mismo equipo para la descripción petrográfica preliminar, y posteriormente, en el Laboratorio de Geología de la sede Guatiguará se realizaron los análisis de microtermometría de IF, empleando una Platina THMS-600 marca: LINKAM (ver figura 5).

Previamente el sistema de medición fue calibrado con patrones sintéticos de inclusiones fluidas y algunos orgánicos con propiedades fisicoquímicas conocidas como se ilustra en la tabla 5.

TABLA 5. Patrones de calibración de la platina de microtermometría THMS-600.

Te= temperatura del punto eutéctico, Th= temperatura de homogenización.

COMPOSICIÓN PATRÓN	Te (°C)	Th (°C)
75% mol H ₂ O + 25% mol CO ₂	-56,6	31,3
H ₂ O + NaCl Composición Eutéctica (23.2% p/p de NaCl)	-21,2	—
H ₂ O + KCl Composición Eutéctica (19.6% p/p de KCl)	-10,7	—
Tolueno	-95	—
Cl-Benceno	-45,6	—
H ₂ O	0,0	374,1

FIGURA 5. Equipo de microtermometría de inclusiones fluidas



El equipo de microtermometría puede conseguir una fluctuación de temperaturas entre -198 °C y +700 °C durante las mediciones en un mismo punto, en todo caso el enfriamiento se realizó previo al calentamiento, esto con objeto de evitar la

decrepitación de las inclusiones con menor temperatura de homogenización. En las etapas de enfriamiento las inclusiones fluidas fueron llevadas a hasta temperaturas de -180°C y enseguida, fueron calentadas gradualmente para evitar lecturas erróneas de las temperaturas de punto eutéctico (T_e) y de fusión (T_f) ocasionadas por posibles comportamientos metaestables de las fases. La temperatura de homogenización (T_h) se obtuvo también a través de un proceso de calentamiento lento sin superar los 250°C .

El proceso de preparación de secciones doblemente pulidas para análisis por inclusiones fluidas se hizo en el laboratorio de muestras de la Universidad Industrial de Santander, y fue el mismo procedimiento para preparar secciones delgadas con la diferencia de que ambas caras fueron pulidas con alúmina y la muestra se pega al cubreobjetos con pegante instantáneo pegadit, que posteriormente fue disuelto en acetona para analizar la muestra por microtermometría.

4.4 FASE DE INTERPRETACIÓN DE DATOS

En esta fase con los datos obtenidos de los diferentes análisis de laboratorio efectuados a las muestras recolectadas durante la fase de campo, se procede a interpretarlos y a construir un modelo que sea coherente con los objetivos generales y específicos planteados en el trabajo de investigación; y al confrontarlos con otros planteamientos elaborados en estudios anteriores, se procede a elaborar una hipótesis que sea soportada por los datos de laboratorio.

4.5 ELABORACIÓN Y SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL

Es la fase final, en la cual se redactó y elaboró el documento sobre el trabajo de investigación realizado, el cual fue enviado a los directores del proyecto para su revisión y observaciones; en base a estas correcciones se elaboró el informe final, el cual fue entregado a los calificadores para ser presentado y sustentado.

5. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.1 LOCALIZACIÓN

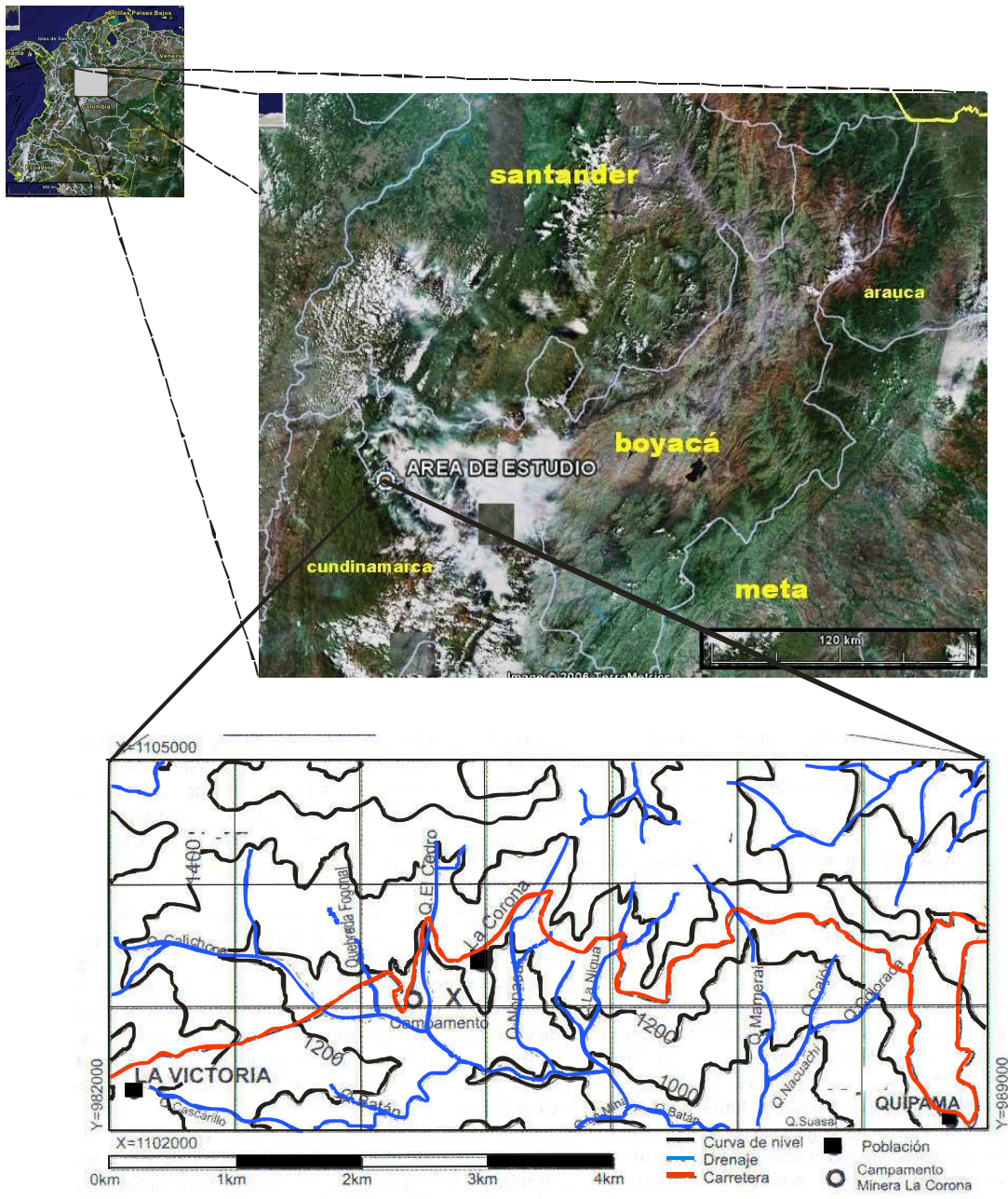
El área de estudio en la cual se desarrollo el trabajo de investigación se encuentra ubicada al occidente del departamento de Boyacá, en las cercanías del caserío La Corona, perteneciente al municipio de la Victoria, a lo largo del margen de la quebrada el Cedro, localizada unos 500 m aproximadamente al W del caserío mencionado (ver Figura 6).

Geográficamente el área de estudio esta localizada sobre le flanco W de la Cordillera Oriental, y topográficamente se encuentra ubicada en el extremo E de la plancha 189-II-C a escala 1: 25.000 del instituto geográfico Agustín Codazzi.

5.2 VÍAS DE ACCESO

Al área de estudio se puede llegar, tomando la carretera (pavimentada en sus primeros kilómetros) que parte en una dirección aproximada NW-W de Chiquinquirá hasta el casco urbano del municipio de Otanche; de Otanche se toma la carretera que sigue una dirección SE hasta llegar al pueblo de Quípama pasando por el caserío de la Victoria y se llega a la zona de estudio donde esta carretera se corta con la quebrada el Cedro, se desciende unos treinta metros quebrada abajo hasta llegar al intrusivo la corona; o se sigue la carretera partir del puente sobre la quebrada el Cedro, en sentido hacia la Victoria hasta llegar a unas rocas de color blanco muy diaclasadas, las cuales corresponden a la parte apical de este intrusivo.

FIGURA 6. Localización del área de estudio



Tomado y modificado de <http://www.googlearth.com> y Moreno *et al.*, (2004)

5.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

La topografía del área de estudio es montañosa con alturas entre 1100 msnm y 1250 msnm ubicada en el piso térmico correspondiente al clima calido; posee un clima promedio entre 25 ° C y 27,5 ° C, con una precipitación que promedia entre 2000mm y 3000mm correspondiendo a un clima lluvioso. Respecto a la vegetación la zona de estudio se encuentra cubierta por bosques correspondientes al tipo andino y del Magdalena; a nivel geomorfológico la zona de estudio esta compuesta por geoformas de origen estructural formadas por rocas sedimentarias plegadas y falladas, la expresión geomorfológica del intrusivo La Corona es nula.

6. RESULTADOS

6.1 RASGOS MACROSCÓPICOS GENERALES DEL PLUTÓN LA CORONA

En el área de estudio, las rocas encajantes del intrusivo La Corona, pertenecen a lo que Ulloa y Rodríguez (1994), denominaron grupo la Palma; y posteriormente Reyes *et al.*, (2006) denominó unidad K6 o Formación Capotes. La roca encajante, consta de una serie de niveles tabulares de limolitas, lodolitas; y algunos de biomicritas de colores grises oscuros a negros con estratificación plano paralela y continua. Estas rocas se encuentran fuertemente afectadas por un diaclasamiento casi perpendicular a la estratificación (ver figura 7), además de estar atravesadas por venas rellenas de calcita con espesores entre, 2cm a 6cm, las cuales atraviesan la estratificación y en algunos casos forman microbrechas hidráulicas en la roca caja. Estos niveles se encuentran inclinados con un rumbo de N 30° E y un buzamiento de 55° en dirección W; las venas presentan un rumbo de N 30° E y un buzamiento de 15° en dirección E.

En el margen derecho de la carretera Quípama- la Victoria los niveles de la Formación Capotes, que están en contacto con la parte superior del intrusivo la Corona, se encuentran fuertemente alterados por albitización la cual origina un cambio de color hacia tonos grises claros (ver Figura 8) en la roca encajante.

FIGURA 7. Niveles tabulares de limolitas con estratificación plano paralela continua, con un diaclasamiento casi perpendicular a la estratificación



FIGURA 8. Niveles de la Formación Capotes en contacto con la parte apical del intrusivo la Corona.



En campo, el espesor del intrusivo La Corona, fue estimado de 45 m. a 50 m., en la vertical; a lo largo de la Quebrada el Cedro donde se encuentra la mejor exposición de este cuerpo, aflora en un tramo de 100 m. aproximadamente; se pudo observar que al recorrer el intrusivo aguas arriba a lo largo de la Quebrada El Cedro, este presenta una fuerte variación composicional representada por el cambio mineralógico y de color; además de estar fuertemente diaclasado presentándose dos familias de diaclasas. Hacia las partes más internas del intrusivo (ver Figura 9), este está formado por una leucograbronorita piroxeno-hornblendica de un color verde oscuro con una estructura masiva y una textura holocristalina, fanerítica de grano medio, hipidiomorfica compuesta mineralógicamente por plagioclasa (albita), hornblenda, piroxeno, clorita y cantidades muy pequeñas de cuarzo.

FIGURA 9. Afloramiento del intrusivo La Corona en su parte más interna junto a la Quebrada el Cedro.



Al moverse aguas arriba a lo largo de la quebrada el Cedro hacia las partes superiores del intrusivo La Corona, se observa un cambio composicional, reflejado en el cambio de color (ver Figura 10) de un verde oscuro hacia tonos mas claros en la desaparición de minerales máficos como hornblendas y piroxenos los cuales presentan alteración hacia clorita.

FIGURA 10. Afloramiento del intrusivo La Corona en el margen de la Quebrada el Cedro, metros arriba de donde se tomo la fotografía anterior; obsérvese el cambio de color de la roca ígnea con respecto a la fotografía anterior.



Esto origina que la roca varíe a una sienita de feldespato alcalino; al seguirse moviendo aguas arriba hacia las partes superiores del intrusivo, desaparecen los minerales máficos y la roca empieza a presentar colores grises claros (ver Figura 11), y a estar formadas mineralógicamente por plagioclasa y cantidades menores

de cuarzo y óxidos, aunque estructuralmente sigue siendo masiva y presentando una textura holocristalina, fanerítica de grano medio e hipidiomorfica.

FIGURA 11. Afloramiento del intrusivo La Corona a lo largo de la quebrada el Cedro, obsérvese el cambio de color con respecto a la fotografía anterior.



Al llegar a las partes superiores del intrusivo, estructuralmente la roca ígnea sigue siendo masiva, pero a nivel textural y mineralógico el tamaño de grano varía de medio a fino, y aparecen minerales de alteración como actinolita y epídota, en esta zona la cual corresponde al corte entre el intrusivo y la carretera Quípama- la Victoria, la roca ígnea es de color blanco (ver Figura 12) y mineralógicamente esta formada por plagioclasa y cantidades pequeñas de cuarzo.

FIGURA 12. Afloramiento del intrusivo La Corona cortado por la carretera Quípama- la Victoria, en su parte apical donde la roca presenta un color blanco, además de estar fuertemente diaclasada.



En las partes superiores del intrusivo La Corona la roca ígnea ha variado a una cuarzosenita de feldespato alcalino y a sienogranito, y aparecen restos de rocas gabroicas (ver Figura 13) clasificadas composicionalmente como melagabros

hornblendicos cuyo contacto con la roca ígnea, no es neto sino difuso y con un pseudobandeamiento entre los dos tipos de roca.

FIGURA 13. Afloramiento del intrusivo La Corona en las partes superiores de este, en el margen de la Quebrada el Cedro, donde se observa restos de gabros en contacto difuso y pseudobandeado con la cuarzosienita de feldespató alcalino.



6.2 ANÁLISIS EN MUESTRAS DE MANO

Se analizaron un total de 18 muestras recolectadas en el intrusivo La Corona, en la zona de contacto con la roca sedimentaria caja y en la roca encajante, enfatizándose en las características mineralógicas, texturales y estructurales ilustradas en la Tabla 6.

TABLA 6. Rasgos texturales, estructurales y mineralógicos en muestras de mano. Intrusión La Corona y roca encajante.

MUESTRA	TIPO DE ROCA	COLOR	TEXTURA	ESTRUCTURA	COMPOSICIÓN	CLASIFICACIÓN
LME-012-001	Ígnea	Blanco con un gris ligero N8	Fanerítica de grano fino, holocristalina hipidiomorfica	masiva	Albita 65,7% Cuarzo 23% Actinolita 8% Clorita 3% Óxidos 3%	Sieno granito
LME-020-001	Sedimentaria	Negro Grisáceo N2	No clástica	Laminación plano- paralela continua	Limo y Arcilla	Limolita
LME-020-002	Vena	Gris ligero N7	Presencia de fragmentos de roca angulares en una matriz de cristales de calcita y piritita	-	FR 7% Piritita 0,5% Calcita 92,5%	Brecha hidráulica
LME-020-003	Ígnea	Amarillento Grisáceo 5Y 8/1	Holocristalina, fanerítica de grano medio, hipidiomorfica	masiva	Albita 80,5% Microclina 10% Cuarzo 7% Piroxeno 2% Clorita 0,5% Óxidos 0,5 %	Cuarzosienita de feldespato Alcalino
LME-020-004	Ígnea	Verde grisáceo 10G 4/2	Fanerítica de grano medio, holocristalina e hipidiomorfica	Masiva	Albita 72,7% Clorita 15% Piroxeno 5% Cuarzo 3% Sanidina 2% Microclina 2% Opacos 0,3 %	Sienita de Feldespato alcalino.
LME-020-005	Ígnea	Verde grisáceo 10G 4/2	Fanerítica de grano medio, holocristalina e hipidiomorfica	Masiva	Albita 52,2% Hornblenda 20,9% Clorita 13,9% Piroxeno 10,45% Cuarzo 1,7% Óxidos 0,8%	Sienita de Feldespato alcalino
LME-021-001	Ígnea	Blanco con un gris ligero N8	Fanerítica de grano fino, holocristalina, hipidiomorfica	masiva	Albita 65,7% Cuarzo 23% Actinolita 8% Clorita 3% Óxidos 0,3%	Sieno granito
LME-021-002	Sedimentaria con alteración	Gris medio N5	No clástica	-	Arcilla	Arcillolita con albitización
LME-021-003	Sedimentaria	Gris medio oscuro N4	No clástica	Laminación plano paralela y ondulosa continua	Limo y Arcilla	Arcillolita Limosa
LME-021-004	Sedimentaria	Gris Oscuro N3	No clástica	Masiva	Arcilla	Arcillolita
CJE-013-001	Ígnea	Blanco con un gris ligero N8	Fanerítica de grano fino, holocristalina, hipidiomorfica	masiva	Albita 65,7% Cuarzo 23% Actinolita 8% Clorita 3% Óxidos 0,3%	Sieno granito

CJE-019-001	Ígnea	Verde grisáceo 10G 4/2	Fanerítica de grano medio, holocristalina e hipidiomorfica	Masiva	Albita 72,7% Clorita 15% Piroxeno 5% Cuarzo 3% Sanidina 2% Microclina 2% Opacos 0,3 %	Sienita de Feldespato alcalino.
CJE-019-002	Ígnea	Amarillent o Grisáceo 5Y 8/1	Holocristalina, fanerítica de grano medio, hipidiomorfica	masiva	Albita 80,5% Microclina 10% Cuarzo 7% Piroxeno 2% Clorita 0,5% Óxidos 0,5 %	Cuarzosienita de feldespato Alcalino
CJE-019-003	Vena	Gris ligero N7	Fragmentos Angulares en un matriz de cristales de calcita	-	FR 2% Calcita 97%	Brecha hidráulica
CJE-019-004	Ígnea	Verde grisáceo 10G 4/2	Fanerítica de grano medio, holocristalina e hipidiomorfica	Masiva	Albita 72,7% Clorita 15% Piroxeno 5% Cuarzo 3% Sanidina 2% Microclina 2% Opacos 0,3 %	Sienita de Feldespato alcalino.
CJE-019-005	Vena y roca caja	Gris ligero N7	Roca caja: Masiva Vena: Fragmentos de roca en una matriz de cristales de calcita	Presencia de fragmentos de fósiles	Vena: FR 15% Calcita 85% Roca caja: Micrita 90% Aloquimicos 10%	Brecha hidráulica, asociada a un biomicrita.
CJE-019-006	Ígnea	Blanco con un gris ligero N8	Fanerítica de grano fino, holocristalina e hipidiomorfica	Masiva Contacto reaccional entre el ígneo y el resto gabroide	Albita 86,7% Cuarzo 7% Actinolita 3% Epidota 3% Calcita 0,2% Clorita 0,1%	Cuarzo sienita de Feldespato alcalino
CJE-019-007	Ígnea	Blanco con un gris ligero N8	Holocristalina, fanerítica de grano medio e hipidiomorfica	Masiva, la cual engloba a un gabroide con presencia de un bandeamiento alrededor de este	Cuarzo Albita	Cuarzo sienita de Feldespato alcalino

Macroscópicamente en muestra de mano las rocas encajantes del intrusivo La Corona pertenecientes al grupo la Palma (Ulloa y Rodríguez, 1994), posteriormente denominadas unidad K6 o formación Capotes (Reyes *et al.*, 2006), son limolitas y arcillolitas limosas con una estratificación plano paralela y ondulosa continua con colores grises oscuros a negros; las que están en contacto con el intrusivo la Corona presentan tonos grisáceos mas claros.

Las que pertenecen al intrusivo La Corona presentan una textura holocristalina y fanerítica de grano medio en los sectores internos y de grano fino hacia las partes

superiores; estructuralmente son masivas aunque en los contactos entre la roca ígnea y los restos gabroides al llegar a las partes superiores del plutón, se presenta un bandeamiento.

Moreno *et al.*, (2004), reportan que las rocas del gabro la Corona presentan a nivel local una textura subofítica y una textura agmática lo que evidenciaría procesos postmagmaticos de deformación.

El color de estas rocas varía entre un verde de un verde oscuro a un color blanco en la parte superior del plutón, cortado por la carretera Quípama-la Victoria; un aspecto importante es la variación composicional reflejada en la desaparición de minerales máficos como anfíboles y piroxenos y el predominio de plagioclasa (albita) y cuarzo en las partes superiores; esta variación va acompañada de minerales de alteración como cloritas, los cuales macroscópicamente, se presentan asociados con los anfíboles y los piroxenos y como inclusiones en las plagioclasas, así como la aparición de la actinolita en las muestras pertenecientes a los sectores mas externos del intrusivo indicando un fuerte proceso de alteración hidrotermal sufrido por este.

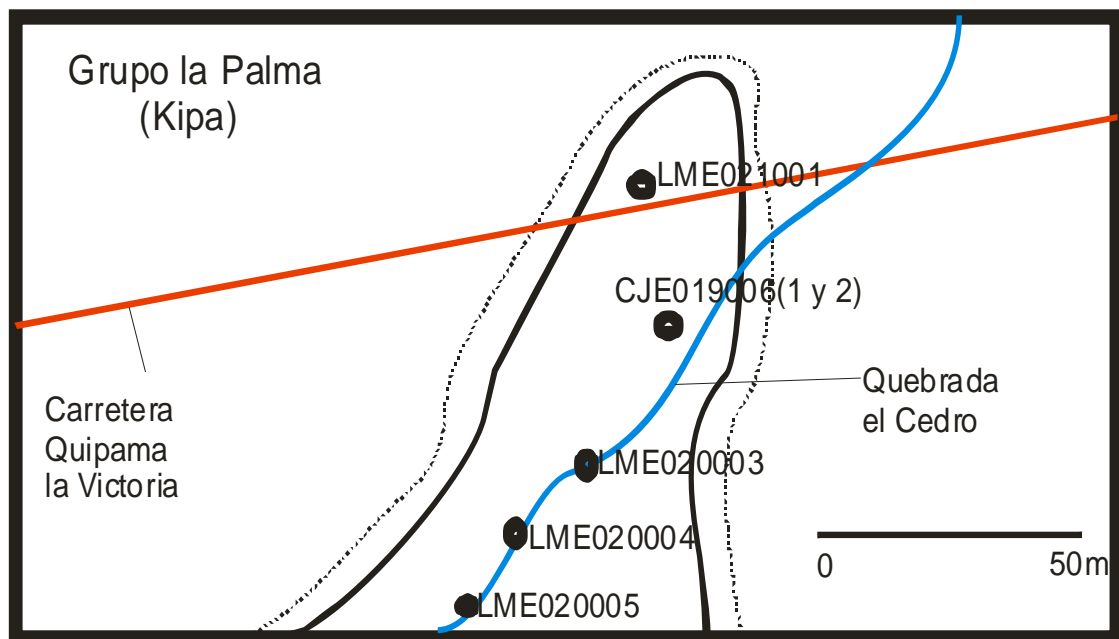
6.3 DATOS MINERALÓGICOS PETROGRÁFICOS

Para el estudio en sección delgada, se elaboraron seis láminas delgadas; las cuales pertenecen a muestras del intrusivo la corona tomadas a lo largo de la quebrada el Cedro y en el corte de la parte superior del intrusivo con la carretera Quípama-la Victoria, las cuales son descritas a continuación (ver Tabla 7) y pertenecen a las partes internas y externas del cuerpo intrusivo (ver Figura 14)

TABLA 7. Muestras del plutón La Corona, seleccionadas para análisis petrográfico.

ESTACION	MUESTRA	ROCA	X	Y
20	LME-020-005	GABRO/DIORITA	1103494	984530
20	LME-020-004	SIENITA DE FELDESPATO ALCALINO	1103494	984530
20	LME-020-003	CUARZOSIENITA DE FELDESPATO ALCALINO	1103494	984530
21	LME-021-001	SIENOGANITO	1103552	984502
19	CJE-019-006(1)	CUARZO SIENITA DE FELDESPATO ALCALINO	1103552	984502
19	CJE-019-006(2)	CUARZO SIENITA DE FELDESPATO ALCALINO	1103552	984502

FIGURA 14. Ubicación de las muestras en el intrusivo La Corona.



SECCION DELGADA LME-020-005

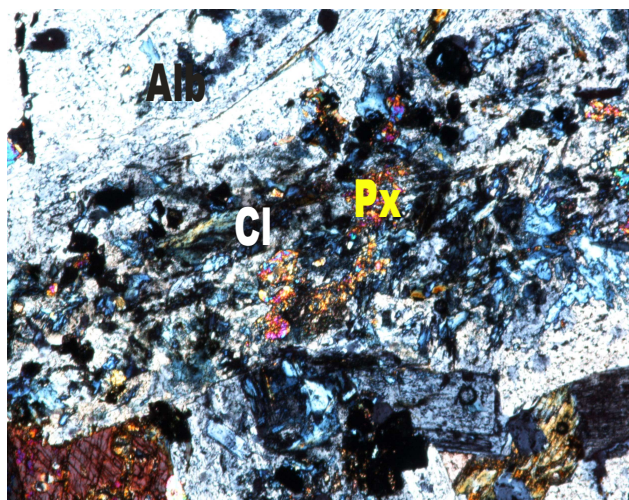
Minerales principales:

Plagioclasa (48,1%):

Predominantemente albita (An_0 - An_{10}); aparecen como individuos tabulares alargados idiomorficos y subidiomorficos formando en algunos sectores agregados listonados, el tamaño de grano de estos cristales varía de 2mm a 4,5mm; presentándose generalmente maclados prevaleciendo las maclas polisintéticas, en nicoles paralelos aparecen incoloros y con un grado de relieve muy bajo mientras en nicoles cruzados presentan colores de interferencia de primer orden.

La plagioclasa aparece asociada al piroxeno y a la hornblenda, presentando a nivel general inclusiones subidiomorficas y xenomorficas de cloritas y restos de piroxenos (ver figura 15), estos dos últimos minerales tienden a disponerse de forma aleatoria en algunos cristales y concentradas hacia el centro en otros; a nivel muy local presenta alteración a sericita.

FIGURA 15. Microfotografía en nicoles cruzados a 5X, donde se observan restos de piroxenos e inclusiones de cloritas en Albita.



Clorita (20%):

Aparece como cristales subidiomorficos y xenomorficos de forma alargada cuyo tamaño de grano varía entre medio y fino principalmente, en nicoles paralelos la clorita presenta un color amarillento y café con un pleocroismo hacia tonos verdosos, en nicoles cruzados presentan colores de interferencia de finales del primer orden.

Se manifiesta asociada a los piroxenos y a la hornblenda como mineral de alteración, y como inclusiones subidiomorficas y xenomorficas de grano muy fino, solas en unos sectores y asociadas al piroxeno en otros dentro de cristales de albita.

Hornblenda (15%):

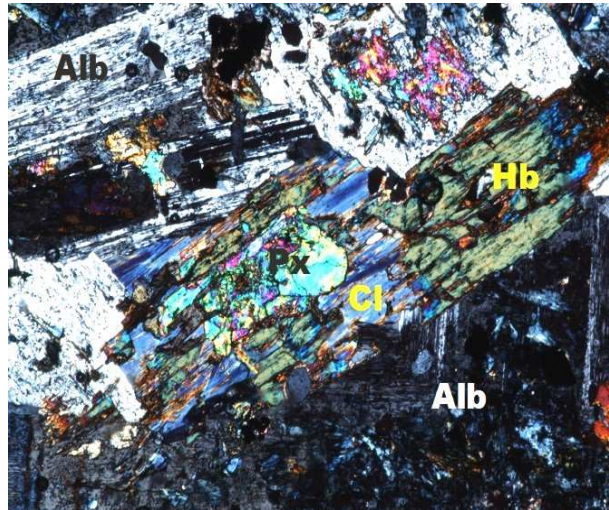
Aparece como individuos idiomorficos y subidiomorficos, cuyo tamaño de grano varía entre 2mm y 5mm, con una exfoliación en una y dos direcciones, en nicoles paralelos la hornblenda presenta colores entre café claro y cafés rojizos con un pleocroismo hacia tonos cafés mas oscuros.

La hornblenda aparece asociada al piroxeno y a la albita presentando alteración a clorita la cual en algunos sectores se presenta en los bordes del cristal, mientras que en otros se presenta al interior siguiendo los planos de exfoliación, a nivel local poseen inclusiones de apatitos y cristales idiomorficos de albita.

Piroxeno (10,5%):

Aparece como cristales idiomorficos, subidiomorficos y xenomorficos, cuyo tamaño de grano varía entre 0,5mm a 1mm, en nicoles paralelos presentan tonos amarillentos pálidos y un grado de relieve muy alto; el piroxeno aparece asociado a la hornblenda, a la plagioclasa y a la ortoclasa, presentando alteración hacia la clorita y hacia la hornblenda (ver Figura 16)

FIGURA 16. Microfotografía en nicoles cruzados a 5X, donde se presenta alteración de Piroxeno a Clorita y a Hornblenda; obsérvese las inclusiones de clorita en albita en la esquina inferior derecha



Minerales secundarios

Ortoclasa (3%):

Se presenta como cristales de hábito prismático corto, cuyo tamaño de grano oscila alrededor de 1mm; en nicoles paralelos aparecen incoloros y con grado de relieve muy bajo, en nicoles cruzados presentan colores de interferencia de primer orden; a nivel local la ortoclasa se presenta asociada a la plagioclasa y a los piroxenos además de tener una alteración muy leve a sericita.

Minerales accesorios

Apatito (2%):

Se presentan como cristales incoloros idiomorficos hexagonales y pseudo hexagonales de grano muy fino, con un grado de relieve muy alto, formando inclusiones en cristales de albita y hornblenda.

Cuarzo (1%):

Aparecen como cristales subidiomorficos incoloros en nicoles paralelos, con colores de interferencia de primer orden, rodeados por cristales de plagioclasa.

Opacos (0,4%):

Se presentan como cristales idiomorficos y subidiomorficos de grano muy fino formando inclusiones en cristales de albita, y hornblenda.

Textura:

A nivel textural la roca presenta una textura fanerítica de grano medio, holocristalina, hipidiomorfica, poikilitica y a nivel local se presenta una textura antipertítica; según Streckeisen (1976) la roca es clasificada como una diorita/gabro en el diagrama QAPF, y como una Leucogabronorita piroxeno-hornblendica en el diagrama para rocas gabroicas.

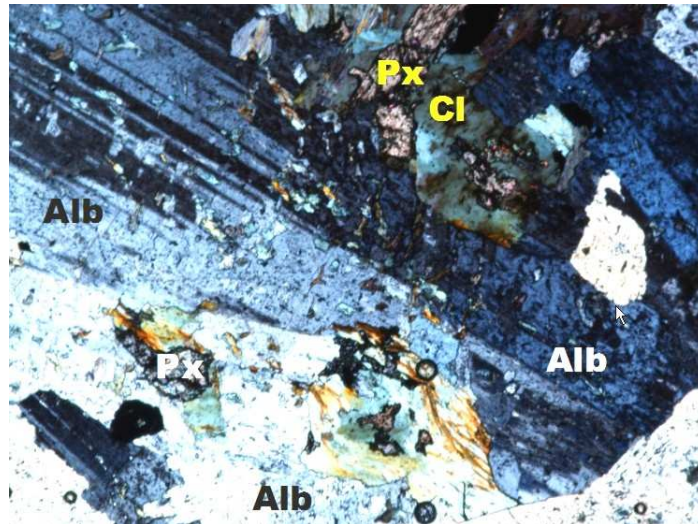
SECCIÓN DELGADA LME O20-004

Minerales principales

Plagioclasa (72,7%):

Predominantemente albita (An_0 - An_{10}); se presentan como individuos tabulares alargados idiomorficos y subidiomorficos, cuyo tamaño de grano oscila entre 2mm y 4mm; formando agregados listonados, en nicoles paralelos aparecen incoloros y con un grado de relieve muy bajo, en nicoles cruzados se presentan maclados, prevaleciendo las maclas polisintéticas aunque a nivel local se presentan sin macla; la albita aparece generalmente asociada al piroxeno y a la clorita, teniendo inclusiones xenomorficas de grano muy fino de este último mineral (ver Figura 17) y presentando una alteración muy leve a sericita.

FIGURA 17. Microfotografía en nicoles paralelos a 5X, donde se presentan inclusiones de clorita en cristales de albita.



Clorita (15%):

Se presenta como individuos xenomorficos, cuyo tamaño de grano es medio y predominantemente fino, en nicoles paralelos poseen colores amarillentos y cafés con un pleocroismo hacia tonos verdosos, en nicoles cruzados presenta una extinción casi ondulante y colores de interferencia de finales de primer orden. Aparece asociada a la albita, en forma de inclusiones xenomorficas de grano muy fino y a al piroxeno, siendo producto de alteración de este ultimo además de haberlo afectado casi en su totalidad (rodeándolo por los bordes).

Minerales secundarios

Piroxeno (5%)

Se presenta como individuos xenomorficos cuyo tamaño de grano es fino; en nicoles paralelos poseen un color amarillo claro y un alto grado de relieve. Aparece asociado a la albita y a la clorita, presentando alteración hacia este ultimo mineral, apareciendo casi transformada en su totalidad

Cuarzo (3%)

Se presenta como individuos subidiomorficos de grano fino asociados con la albita y a nivel local con la clorita.

Minerales accesorios

Ortoclasa (2%)

Aparece como individuos subidiomorficos aislados, cuyo tamaño de grano varía de medio a fino, presentan la macla de carlsbag, a nivel local aparece asociada con la clorita y la albita (rodeada por este último mineral).

Microclina (2%)

Aparece como individuos aislados subidiomorficos y xenomorficos asociados con la albita y la clorita.

Opacos (0,3%)

Se presenta como individuos xenomorficos asociados con la albita y la clorita.

Textura:

Texturalmente la roca se presenta como holocristalina, fanerítica de grano medio, hipidiomorfica, poikilítica, a nivel local se presenta una textura antipertítica; según Streckeisen (1976), en el diagrama QAPF la roca corresponde a una sienita de feldespato alcalino

SECCION DELGADA LME-020-003

Minerales principales

Plagioclasa (80,5%):

Predominantemente albita (An_0 - An_{10}) se presenta como cristales tabulares alargados, cuyo tamaño de grano oscila entre 2mm y 8mm; formando agregados listonados; en nicoles paralelos se observan incoloros y con grado de relieve muy bajo, en nicoles cruzados presenta bajos colores de interferencia de primer orden; la albita se presenta generalmente maclada prevaleciendo las maclas polisintéticas; a nivel local aparece asociada con la clorita, la microclina y el cuarzo, y presenta alteración hacia la sericita en los cristales más grandes.

Microclina (10%):

Aparece como individuos aislados de formas subidiomorficas, cuyo tamaño de grano oscila entre 1mm y 3mm; aparece asociada a la albita y de manera local al cuarzo y a la clorita.

Cuarzo (7%):

Aparece como cristales incoloros xenomorficos, cuyo tamaño de grano oscila alrededor de 1mm; formando agregados granulares a nivel local (solo se hallan confinados a un sector de la muestra); el cuarzo se presenta asociado con opacos, microclina y la albita.

Minerales accesorios

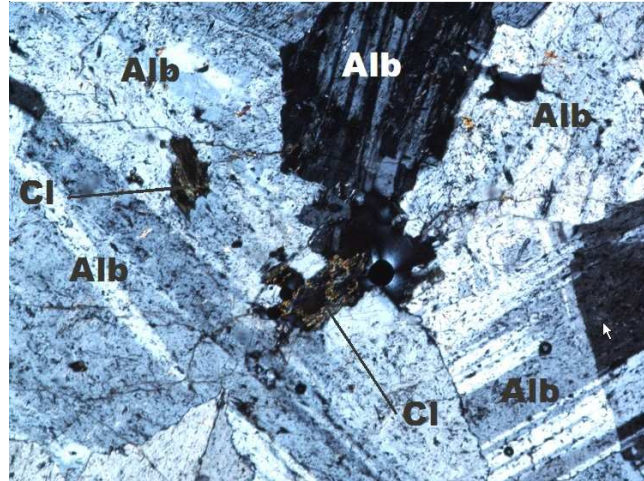
Piroxeno (2%)

Se presenta como cristales subidiomorficos aislados, cuyo tamaño de grano es menor a 2mm; a nivel local aparecen asociados con la clorita y óxidos, presentando alteración hacia el primer mineral, la cual la rodea por los bordes y la altera casi en su totalidad

Clorita (0,5%):

Aparece como cristales xenomorficos aislados de grano fino cuyo tamaño de grano oscila alrededor de 0,5mm; en nicoles paralelos presentan tonos entre amarillentos claros y cafés oscuros con un pleocroismo hacia tonos más verdosos. La clorita aparece rodeada por la albita y a nivel local está incluida dentro de algunos cristales de albita (ver Figura 18)

FIGURA 18. Microfotografía en nicoles cruzados a 5X, donde se observan inclusiones de clorita en albita.



SECCIONES DELGADAS CJE-019-006 (1 Y 2)

Esta sección incluye un sector correspondiente a un xenolito gabroide y a un sector correspondiente a la roca ígnea en contacto con el.

Sector Ígneo

Minerales principales

Plagioclasa (86,7%):

Predominantemente albita (An_0-An_{10}), se presenta como cristales tabulares idiomorficos y subidiomorficos, cuyo tamaño de grano oscila entre 0,5mm y 1mm, formando agregados listonados, en nicoles paralelos se manifiestan incoloros y con un grado de relieve muy bajo, en nicoles cruzados poseen colores de interferencia del primer orden además se presentan maclados prevaleciendo las maclas polisintéticas; la plagioclasa se presenta asociada con el cuarzo a nivel general, y nivel local aparece asociada con la actinolita y la epidota; además de presentar inclusiones xenomorficas de cuarzo; presenta una alteración leve a sericita.

Cuarzo (7%)

Se presenta como cristales xenomorficos cuyo tamaño de grano oscila entre 0,5mm y 1mm, aparecen de manera general asociados a la albita, en nicoles cruzados presentan extinción ondulante.

A nivel local presenta aparece asociado con la actinolita y epídota.

Minerales secundarios

Actinolita (3%):

Se presenta como cristales tabulares alargados idiomorficos y subidiomorficos, cuyo tamaño de grano oscila entre 0,4mm y 1mm; en nicoles paralelos presentan un color amarillo-verde muy claro sin pleocroismo.

Aparecen asociados de manera general a la plagioclasa y a nivel local aparece asociado con la clorita.

Epídota (3%):

Se presenta como cristales tabulares alargados idiomorficos y subidiomorficos, cuyo tamaño de grano oscila entre 0,5mm y 1mm, se presentan asociados a la plagioclasa a nivel general (ver Figura 19) y a la actinolita a nivel local, diferenciándose de esta última por los colores de interferencia.

Minerales accesorios

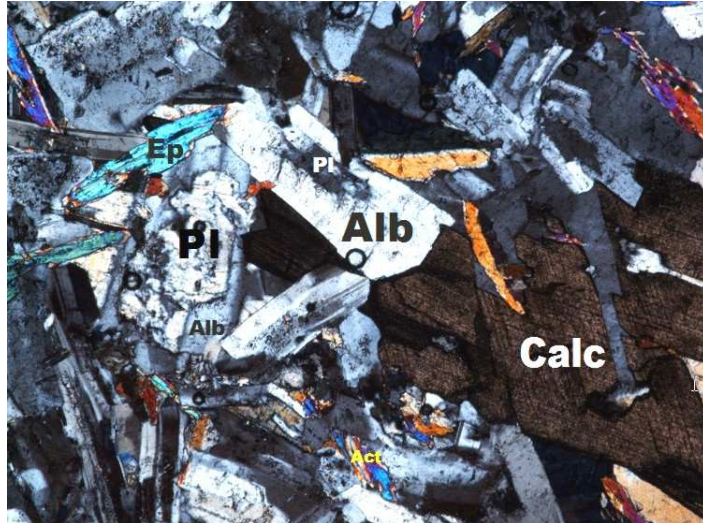
Calcita (0,2%)

Se manifiesta como cristales idiomorficos muy aislados, cuyo tamaño de grano oscila alrededor de 2mm, en nicoles paralelos poseen un alto grado de relieve y un color café oscuro.

Clorita (0,1%):

Aparecen como cristales muy aislados, asociados con la actinolita.

FIGURA 19. Microfotografía en nicoles cruzados a 5X, donde se observa presencia de epidota y actinolita, asociados a la albita.



Textura:

Texturalmente la roca es holocristalina, fanerítica de grano fino, inequigranular, hipidiomorfa, a nivel local presenta una textura antiperitítica; según Streckeisen (1976) la roca es una cuarzosienita de feldespato alcalino en el diagrama QAPF.

“Xenolito” o resto gabroide

Minerales principales

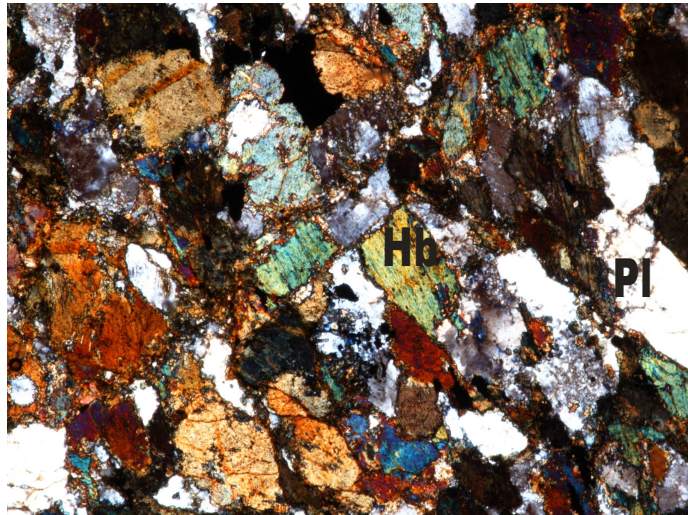
Hornblenda (70%):

Se presenta como cristales subidiomorficos de color verde oscuro en nicoles paralelos, cuyo tamaño de grano predominante es fino; la hornblenda aparece asociada a la plagioclasa, de tal modo que las fronteras entre estos dos minerales son totalmente reaccionales posiblemente compuestas por microcristales de epidota y actinolita (ver Figura 20)

Plagioclasa (30%):

Se presenta como cristales xenomorficos incoloros en nicoles paralelos, cuyo tamaño de grano es fino, aparecen asociadas a la hornblenda.

FIGURA 20. Microfotografía en nicoles cruzados a 5X, donde los contactos entre las plagioclasas y las hornblendas están formados por microcristales de actinolita y epidota.



Textura:

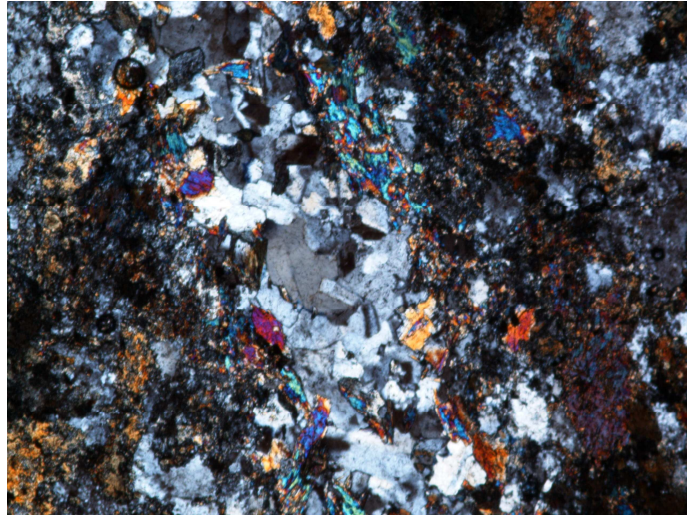
Texturalmente la roca es fanerítica de grano fino, holocristalina e hipidiomorfica, según Streckeisen (1976) la roca es un melagabro hornblendico en el diagrama correspondiente a rocas gabroicas.

El contacto entre la cuarzoesienita y el gabro no es neto, es decir entre estos dos tipos de roca se presentan una serie de bandas casi paralelas (ver Figura 21), a partir de la cuarzoesienita hacia el gabro se pueden identificar tres bandas:

Banda 1:

Conformada por la asociación actinolita y plagioclasa, formando cristales xenomorficos de tamaño muy fino (de 0,1mm a 0,5mm), los cuales se presentan siempre asociados, al final de esta banda (en sentido hacia el gabro) se presentan cristales de epidota, los cuales tienden a mostrar una orientación paralela a la banda, la epidota aparece asociada a la actinolita.

FIGURA 21. Microfotografía en nicoles cruzados a 5X tomada en la zona de contacto entre el melanogabro y la cuarzosienita de feldespato alcalino.



Banda 2:

Asociación Albita y actinolita, conformada por individuos subidiomorficos cuyo tamaño de grano es mayor a 0,5mm.

Banda 3:

Al inicio de esta se presentan cristales de Epidota (asociada con la actinolita), la banda esta compuesta por la asociación albita y actinolita, aparecen como cristales xenomorficos cuyo tamaño de grano oscila entre 0,1mm y 1mm, los cristales mayores, tienden a presentar una orientación.

Hacia la parte media y final de la banda en sentido hacia el gabro se presentan cristales de epidota, asociados con la actinolita en la parte final de la banda;

A partir de esta banda se inicia el sector gabroide

SECCION DELGADA LME-021-001

Minerales principales

Albita (65,7%)

Aparece como cristales tabulares cortos idiomorficos y subidiomorficos, cuyo tamaño de grano oscila entre 0,5mm y 1mm; en nicoles paralelos se observan incoloros con grado de relieve muy bajo, en nicoles cruzados muestran bajos colores de interferencia de primer orden, generalmente presentan maclados, prevaleciendo la macla polisintética, aunque a nivel local aparecen algunos cristales con zonación.

La albita aparece asociada al cuarzo (ver Figura 22) y en algunos sectores forma inclusiones idiomorfica dentro de este; a nivel local la albita se presenta asociada a la actinolita y a la clorita, además de tener una alteración leve a sericita.

FIGURA 22. Microfotografía en nicoles cruzados a 5X donde se observan inclusiones parciales de albita en cuarzo y una leve alteración hacia sericita.



Cuarzo (23%):

Aparece como cristales xenomorficos cuyo tamaño de grano oscila entre 0,4mm y 8mm; en nicoles cruzados presentan una extinción ondulante y a nivel local, presentan inclusiones parciales y totales de albita.

Actinolita (8%):

Se presenta como cristales idiomorficos, subidiomorficos y xenomorficos, cuyo tamaño de grano es menor a 0,4mm, a nivel local, forman agregados aciculares.

La actinolita aparece asociada especialmente a la albita y la incluye parcialmente; a nivel local se presenta asociada con la clorita.

Minerales secundarios

Clorita (3%):

Se presenta como cristales subidiomorficos e idiomorficos, a nivel local forman agregados aciculares y en algunos sectores aparece asociado con la albita y la actinolita.

Minerales accesorios

Opacos (0,3%):

Se presentan como cristales subidiomorficos aislados, a nivel local aparecen asociados con la clorita.

Textura

Texturalmente la roca es fanerítica de grano fino, holocristalina e hipidiomorfica, a nivel local se presenta textura poikilitica; según Streckeisen (1976) la roca es un sienogranito en el diagrama QAPF.

6.3.1 Interpretación de los datos mineralógico-petrográficos

Microscópicamente, las rocas analizadas del plutón La Corona, presentan una textura holocristalina, fanerítica de grano medio (secciones delgadas LME-020-005, LME-020-004 Y LME-020-003) y fino (secciones delgadas CJE-019-006(1 y 2) y LME-021-001) e hipidiomorfica.

A nivel local, se presenta una textura poikilitica y antipertítica en las tres primeras secciones (LME-020-005, LME-020-004 y LME-020-003), las cuales se encuentran ubicadas en la parte interna del intrusivo La Corona (ver Figura 14). Petrográficamente estas muestras fueron clasificadas como Diorita/Gabro o leucogabronorita Piroxeno- Hornblendica (LME-020-005), Sienita de Feldespato alcalino (LME-020-004), Cuarzosienita de feldespato alcalino (LME-020-003 Y CJE-019-006(1 Y 2)) y Sienogranito (LME-021-001). No obstante, Moreno *et al.*, (2004), clasifican petrográficamente una muestra ubicada en el mismo sector en que se recolectó la muestra LME-021-001 como Granito de feldespato alcalino. Esta clasificación se hizo empleando los diagramas para rocas ígneas intrusivas y rocas gabroicas propuesto por Streckeisen (1976).

El análisis petrográfico de las secciones delgadas LME-020-005, LME-020-004 y LME-020-003; sugiere que en la parte interna del intrusivo la Corona, se presenta una fuerte variación composicional, debido a un proceso de alteración que afectó intensamente a los minerales máficos.

Los anfíboles y los piroxenos, están muy alterados a clorita, la cual altera estos minerales, principalmente, por los bordes y por los planos de exfoliación a los anfíboles (por análisis de DRX y petrografía corresponden a hornblendas de color verde y café) y por los bordes a los piroxenos (los análisis de DRX indican que corresponde a un Diópsido); además, es notoria la presencia de inclusiones xenomorfas de grano fino de clorita y de piroxeno-clorita en cristales de albita, y la presencia de apatitos y óxidos cuya forma es idiomorfa y subidiomorfa incluidos en la albita.

Según García (1996), la presencia de un mineral tanto en la matriz y como inclusión en otro mineral no estando en continuidad óptica entre sí, indicaría que los minerales incluidos son cristales precoces, pero relacionados con el mismo proceso de cristalización a los cristales hospedadores; esto, significaría que los minerales máficos como las hornblendas y los piroxenos en la parte interna del plutón La Corona fueron alterados a clorita, hasta ser casi destruidos en algunos

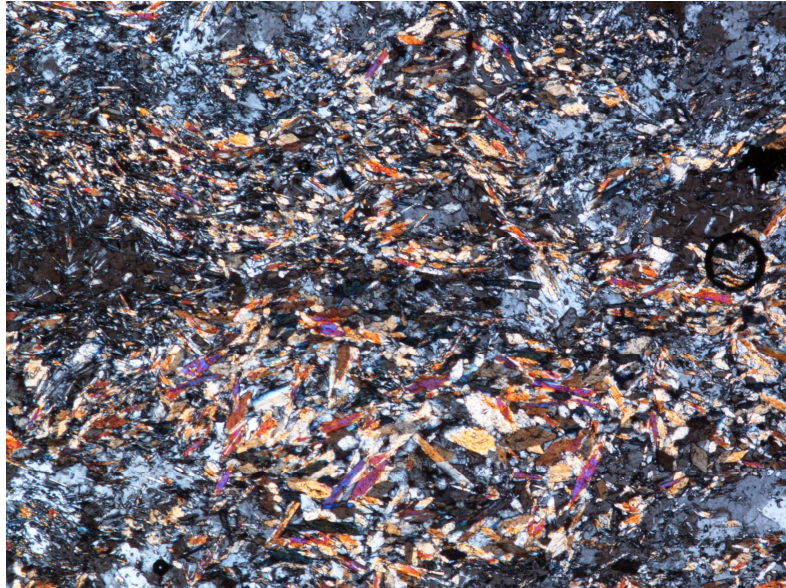
sectores como muestra las Figuras 15, 16 y 17, durante el proceso de alteración, en el cual posteriormente hubo una precipitación y crecimiento de albita, la que englobó a los cristales de clorita y restos de piroxeno.

A medida que se asciende en la vertical del intrusivo, desaparecen las hornblendas y disminuye el contenido de piroxeno) hasta que éste último llega a ser solo un mineral accesorio.

Al llegar a las partes superiores del intrusivo (secciones delgadas CJE-019-006 (1 y 2), y LME-021-001), aparecen minerales de alteración hidrotermal como actinolita y epidota asociados con la albita y el cuarzo; en la sección delgada CJE-019-006 (1), el contacto entre el sienogranito y el resto gabroide (petrográficamente clasificado como melagabro utilizando los diagramas de clasificación de rocas gabroicas según Streckeisen, 1976), esta compuesto por una serie de bandas alternantes de cuarzo-albita y epidota-actinolita; en el melagabro los contactos entre los granos minerales de hornblenda y plagioclasa, son reaccionales y están compuestos por cristales diminutos de actinolita y epidota.

En la sección delgada CJE-019-006 (2) se observan zonas de alteración muy intensa conformadas por cristales idiomorficos de actinolita cuyo tamaño de grano es fino y muy fino distribuyéndose como bandas o en forma irregular asociados a la albita y al cuarzo (ver Figura 23)

FIGURA 23. Microfotografía en nicoles cruzados a 5X, donde se observa la fuerte presencia de actinolita.



Hacia la parte mas externa del intrusivo (sección delgada LME-021-001) aparece actinolita y a nivel local se presenta clorita formando inclusiones dentro de cristales de albita y por fuera de estos.

En las muestras analizadas tanto la albita como el feldespato potásico (identificados petrográficamente como ortoclasa y microclina) presentan una alteración leve a sericita la cual tiende a incrementarse hacia las partes superiores del intrusivo.

Los fuertes procesos de alteración observados a nivel mineralógico en las parte interna del intrusivo, y la presencia de minerales de origen hidrotermal, en la parte superior del plutón; sugieren que el intrusivo La Corona ha sufrido una importante alteración hidrotermal, ya observada en anteriores estudios (Moreno *et al.*, 2004), quienes indican que esta afectó a la totalidad del intrusivo.

El estudio petrografico de las muestras da evidencias de que el intrusivo La Corona, fue afectado por un proceso hidrotermal de alteración deuterica en las

etapas finales de cristalización del plutón; durante este proceso estuvieron involucrados fluidos hidrotermales provenientes del mismo magma; el cual se dio en un ambiente mesotermal según la asociación mineralógica observada (Corbett y Leach, 1998).

Es muy probable que esta alteración deutérica, sea responsable del proceso de episienitización de tipo albitítico que fue observado en campo y en el análisis de las muestras de mano, sobre todo en las partes externas del intrusivo.

6.4 DIFRACCIÓN DE RAYOS X

6.4.1 Consideraciones preliminares

La difracción de los rayos X es el fenómeno físico a través del cual se manifiesta la interacción fundamental de los rayos X con los cristales (materia ordenada), la técnica de difracción por rayos X (DRX) es uno de los métodos más importantes, del tipo no destructivo para análisis de una amplia gama de materiales: polvos, metales, productos de corrosión, cristales perfectos, etc.; en aspectos como la investigación, el suministro de materias primas y la producción, esta técnica es una tecnología muy útil para la determinación de materiales y el control de calidad. La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando rayos X inciden en la estructura de una muestra.

Los rayos X dispersados por varios átomos de un material, originan radiación en todas direcciones, produciéndose interferencias debido a los desfases coherentes inducidos por los vectores interatómicos que fijan la posición relativa de los átomos. En una molécula o en un agregado de átomos, este efecto se conoce como efecto de interferencia interna, mientras que el efecto de interferencia externa es que se produce entre moléculas o entre agregados.

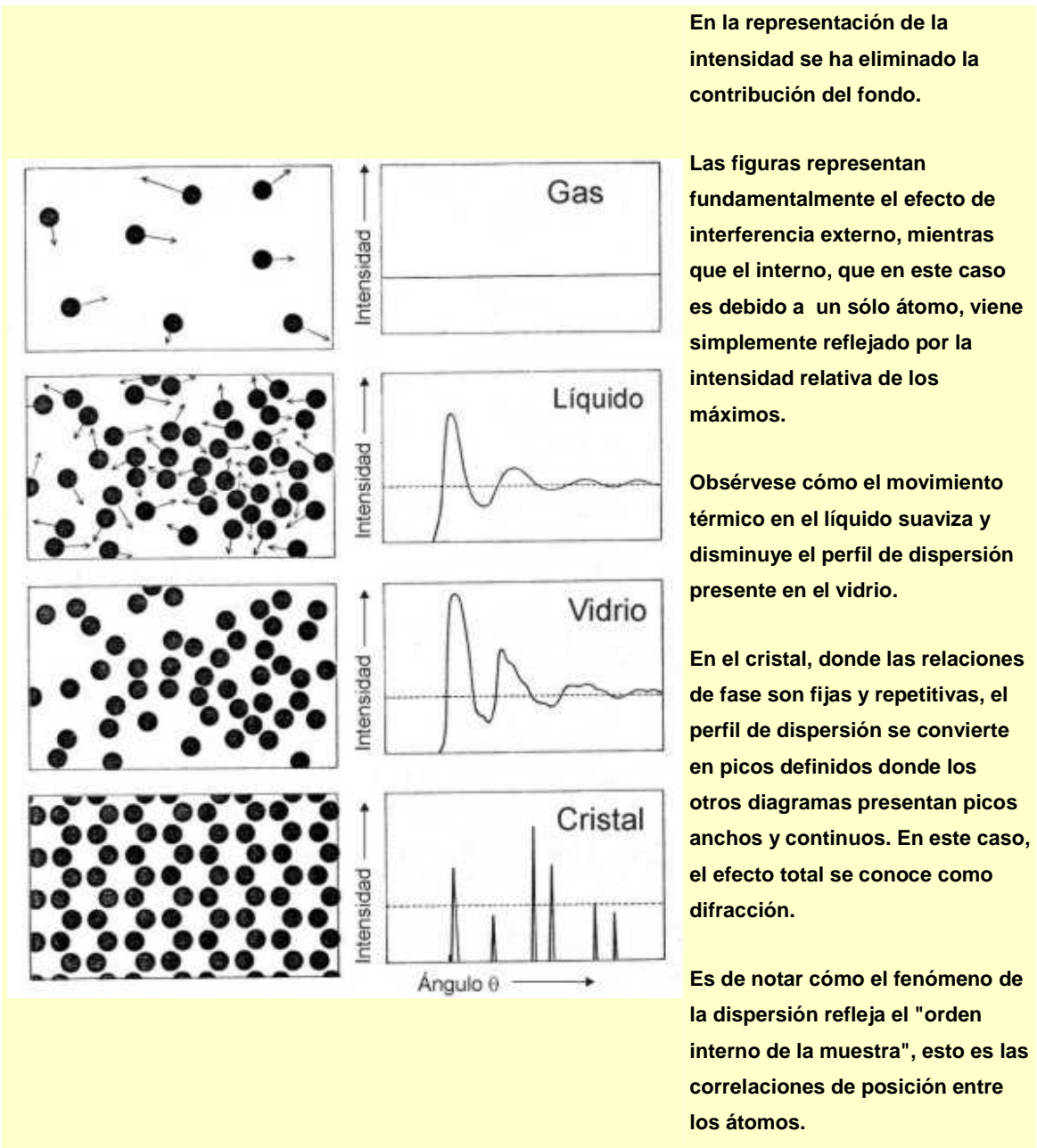
Los diagramas de dispersión reflejan la intensidad relativa de cada uno de estos efectos (ver Figura 24) tanto en gases como en líquidos y en sólidos.

En un cristal el perfil de dispersión se convierte en picos definidos, los cuales pueden utilizarse para identificar minerales ya que cada uno tendrá un pico característico y un ancho distintivo.

6.4.2 Datos de Difracción de rayos X

Las muestras analizadas pertenecen al intrusivo La Corona, como a la roca sedimentaria encajante de la Formación Capotes y a venas ubicadas cerca al cuerpo intrusivo, ubicadas en las rocas sedimentarias; los resultados de los análisis empleando esta técnica son expuestos en la Tabla 8. Los registros de DRX son expuestos en el anexo 1.

FIGURA 24. Diagramas de difracción de rayos X, obtenidos cuando estos interactúan con sólidos líquidos y gases.



Tomado de http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_05.html.

TABLA 8. Resultados de DRX, en muestras del plutón La Corona y la roca encajante

MUESTRA	X	Y	TIPO ROCA	UNIDAD	ALBITA	FELD K	CUARZO	ANFIBOL	PIROXENO	CLORITA	EPIDOTA	ACTINOLITA	TREMOLITA	CALCITA	DOLOMITA	ILLITA	PIRITA	OTROS
LME-020-001	1103494	984530	Sedimentaria	G la Palma	...	0	....	0	0	0	0	0	0	0	....	..	0	0
LME-020-002	1103494	984530	Vena	G la Palma	0	0	*	0	0	0	0	0	0	...	.	0	0	0
LME-020-003	1103494	984530	Ígnea	I la Corona	....	0	*	0	0	*	0	0	0	0	0	*	0	0
LME-020-004	1103494	984530	Ígnea	I la Corona	....	..	*	0	0	..	0	0	0	0	0	0	0	0
LME-020-005	1103494	984530	Ígnea	I la Corona	....	0	*	..	.	..	*?	0	0	0	0	*	0	0
LME-021-001	1103552	984502	Ígnea	I la Corona	....	0	...	0	0	*	0	.	0	0	0	0	*?	0
LME-021-002	1103552	984502	Sedimentaria	G la Palma	..	0	....	0	0	..	0	0	0	0	0	..	0	0
LME-021-003	1103552	984502	Sedimentaria	G la Palma	..	0	....	0	0	..	0	0	0	0	0	..	0	0
LME-021-004	1103552	984502	Sedimentaria	G la Palma	..	0	....	0	0	.	0	0	0	0	0	..	0	0
CJE-013-001	1103468	984490	Ígnea	I la Corona	....	0	....	0	0	0	0	0	*	0	0	0	*	Pennantita *
CJE-019-001	1103494	984530	Ígnea	I la Corona	....	0	*	0	0	...	0	0	0	.	0	0	0	Apatito .
CJE-019-002	1103494	984530	Ígnea	I la Corona	....	0	..	0	0	..	0	0	0	..	0	..	0	0
CJE-019-003	1103494	984530	Vena	G la Palma	0	0	*	0	0	0	0	0	0	....	*	0	0	0
CJE-019-004	1103494	984530	Ígnea	I la Corona	....	.	*	0	0	.	0	0	0	0	0	0	*	Saponita *
CJE-019-005	1103494	984530	Vena	G la Palma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	....	*	0	0	0
CJE-019-006	1103552	984502	Ígnea	I la Corona	....	0	..	0	0	0	*?	..	0	0	0	0	0	0

.... **ABUNDANTE (>40%)**
 ... **COMÚN (20%-40%)**
 .. **POBRE (10%-20%)**
 . **ESCASO (3%-10%)**
 * **TRAZAS (<3%)**
 ? **DUDOSO**

A nivel general, los minerales identificados mediante análisis de DRX fueron los siguientes: Albita, Feldespato potásico (Ortoclasa y Microclina), Cuarzo, Anfíboles (Hornblenda), Piroxeno (Diopsido), Clorita, Epidota, Actinolita, Tremolita, Calcita, Dolomita, illita, Pirita, Pennantita, Apatito y Saponita.

El contenido de estos minerales en cada muestra analizada es ilustrado en la Tabla 8, para las muestras tomadas del intrusivo la Corona, los minerales identificados tanto en las partes inferiores como en las partes exteriores del plutón son ilustrados en la Tabla 9

TABLA 9. Minerales identificados en muestras del intrusivo La Corona.

Abreviaciones Minerales utilizadas, recopiladas en García (1996 y 1997).

Alb: Albita, Q: Cuarzo, Cl: Clorita, Ep: Epidota, Tre: Tremolita, Act: Actinolita, Py: Pirita, Fk: Feldespato Potásico, Calc: Calcita, I: Illita, Di: Diopsido, Hb: Hornblenda.

MUESTRA		MINERALES IDENTIFICADOS
LME-021-001	↑	Alb, Q, Cl, Act, Py
CJE-013-001	↑	Alb, Q, Tre, Py
CJE-019-006	↑	Alb, Q, Ep, Act
CJE-019-002	↑	Alb, Cl, Q, Calc, I
LME-020-003	↑	Alb, Q, Cl, I
CJE-019-004		Alb, Fk, Q, Cl, Py
LME-020-004	HACIA LAS PARTES SUPERIORES DEL INTRUSIVO.	Alb, Q, Cl
CJE-019-001		Alb, Q, Cl, Calc, Apatito
LME-020-005		Alb, Q, Hb, Di, Cl, I

De las Tablas 8 y 9 se destaca lo siguiente:

El gran porcentaje de albita (>40%) presente en las muestras del intrusivo tanto en sus partes internas como en sus partes externas; así como la presencia de esta en la roca sedimentaria encajante en contacto con el intrusivo, cuyo porcentaje pasa de un 20%-40% (Muestra LME-020-001) a un 10%-20% en las muestras más

alejadas(LME-021-002, LME-021-003, LME-021-004); en las rocas pertenecientes al plutón la albita no presenta variación del contenido.

La aparición y desaparición de determinados minerales a medida que nos movemos a lo largo del intrusivo en la vertical (espesor de unos 50m aproximadamente según Moreno *et al.*, (2004).

Los anfíboles y los piroxenos solo aparecen en las partes más internas del intrusivo, mientras en las partes superiores aparecen minerales como la epidota, la actinolita, la tremolita y la clorita, (el último mineral en todo el intrusivo). La presencia de estos minerales característicos de procesos de alteración hidrotermal en rocas ígneas hacia las partes más externas del gabro la Corona, sugieren que este intrusivo esta afectado por fenómenos de alteración hidrotermal, de acuerdo con lo observado durante la fase de campo.

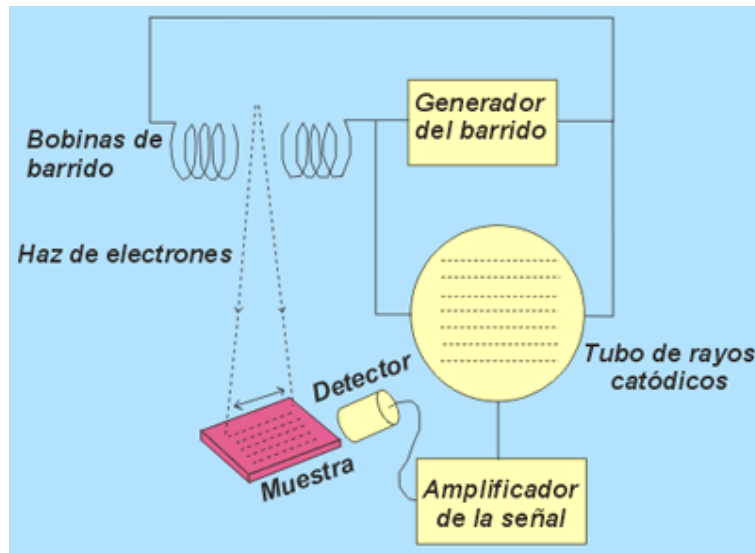
6.5 QUÍMICA MINERAL

6.5.1 Consideraciones preliminares

Con el propósito de facilitar la contextualización de los datos de química mineral obtenidos, desde el punto de vista analítico, a continuación se hace una breve referencia a los principios en los cuales se fundamenta la microsonda electrónica.

Es una técnica basada en la interacción de un delgado haz de electrones acelerados con energías desde unos cientos de eV hasta unas decenas de keV (50 keV), sobre una muestra gruesa, opaca a los electrones (cubierta con grafito). Este haz se focaliza sobre la superficie de la muestra de forma que realiza un barrido de la misma siguiendo una trayectoria de líneas paralelas (ver Figura 25).

FIGURA 25. Esquema general de la técnica de microsonda electrónica la cual tiene muchas características en común la microscopía electrónica de barrido

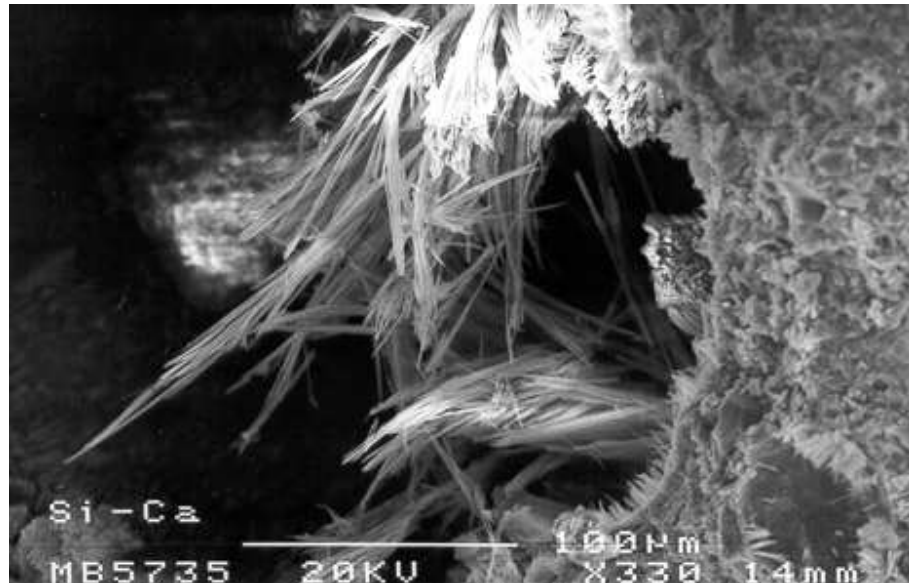


Tomado de <http://www.uned.es/cristamine/mineral/metodos/sem.htm>

En los análisis de microsonda electrónica, el bombardeo de electrones sobre la muestra genera ondas de rayos X que son exhaustivamente analizadas. Así, con la longitud de onda o la intensidad de las líneas en el espectro de rayos X, los elementos presentes pueden ser identificados y sus concentraciones estimadas. El uso de un haz de electrones muy finamente focalizado consigue seleccionar un área muy pequeña para ser analizada.

Al igual que en la microscopía electrónica de barrido la microsonda puede generar imágenes generadas por electrones secundarios y por electrones retrodispersados. Con los electrones secundarios se obtiene una imagen de apariencia tridimensional de la muestra (ver Figura 26)

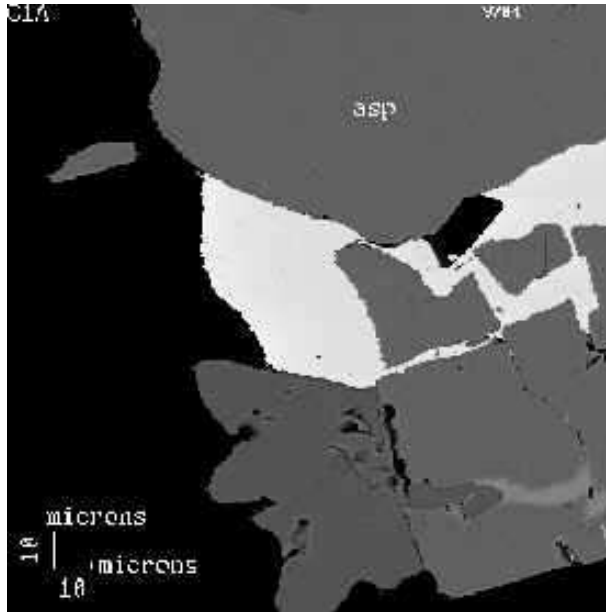
FIGURA 26. Imagen generada por electrones secundarios.



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

La intensidad de emisión de los electrones retrodispersados depende del número atómico medio de los átomos de la muestra, así los átomos más pesados producen mayor cantidad de electrones retrodispersados. Una imagen originada por los electrones retrodispersados revela diferencias en la composición química por diferencias de contraste (ver Figura 27).

FIGURA 27. Imagen generada por electrones retrodispersados.



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

En la microsonda electrónica, los análisis cualitativos (identifican los elementos presentes) suponen la grabación del espectro mediante un espectrómetro de rayos X, por encima del rango de longitudes de onda o energías dentro de las cuales las líneas relevantes pueden estar presentes. Las líneas son identificables por referencia a las tablas. En los análisis cuantitativos, las intensidades de las líneas de rayos X del espécimen son comparadas con aquellas originadas por estándares de composición conocida. Las intensidades medidas requieren ciertas correcciones instrumentales, incluyendo la eliminación del fondo, de la que es origen principalmente el "espectro continuo" (fotones emitidos por electrones decelerados en colisiones con átomos). La composición en el punto analizado es calculada a partir de las intensidades, corregidas por la "matriz de correcciones",

que tiene en cuenta los diferentes factores que gobiernan la relación entre intensidad y composición. Esto es lo que se aplica comúnmente en forma de correcciones ZAF (con factores de corrección separados dependientes del número atómico, de la absorción y de la fluorescencia).

La microsonda electrónica posee muchas características comunes con el microscopio de barrido. La diferencia fundamental es que en el microscopio de barrido tienen prioridad la adquisición de imágenes topográficas de gran resolución sobre el microanálisis mientras que en la microsonda ocurre todo lo contrario. Normalmente las microsondas electrónicas poseen más de dos espectrómetros de rayos-X y un control preciso de los movimientos para localizar las coordenadas concretas de puntos previamente almacenados. Las muestras, planas y perfectamente pulidas, se disponen siempre perpendiculares al haz incidente. Todo ello hace que con la microsonda electrónica se consigan análisis cuantitativos más precisos que con la microscopía electrónica de barrido con un espectrómetro de rayos X.

6.5.2 Datos de Química Mineral

Para el análisis de química mineral mediante microsonda electrónica, se elaboraron tres láminas pulidas (LME-020-005, CJE-019-006 y LME-021-001; las cuales petrográficamente (ver apartado Petrografía) se clasificaron como Leucogabronorita piroxeno-hornblendica, cuarzosienita de feldespato alcalino y sienogranito, respectivamente.

Los resultados de los análisis de química mineral, se presentan en la Tabla 10, las imágenes de retrodispersado son expuestas en el anexo 2.

TABLA 10. Datos de química mineral, obtenidos de muestras pertenecientes al plutón La Corona.

MUESTRA	PUNTO	MINERAL	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	NiO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	F	Cl	TOTAL
LME-020-005	110	PLAGIOCLASA	62,451	22,19	0,04	0	0	0,221	9,747	2,447	0,049	0	0,035	0	0	0,03	97,203
LME-020-005	111	PIROXENO	36,456	23,952	11,919	0	0	23,044	0	0,002	0,137	0	0,038	0,011	0	0	95,559
LME-020-005	112	HORNBLENDA	24,970	21,686	25,661	0,186	11,809	0,044	0,013	0,003	0,025	0,005	0,02	0	0	0,029	84,444
LME-020-005	113	PIROXENO	27,518	5,628	1,335	0,009	0,23	27,39	0	0	32,676	0,053	0,029	0,03	0,098	0,014	95,506
LME-020-005	114	PIROXENO	30,098	3,281	0,824	0	0	29,531	0,003	0,01	37,41	0,021	0,009	0	0	0	101,187
LME-020-005	115	CLORITA	24,652	21,8	30,299	0,323	9,346	0,034	0,011	0	0,002	0,019	0,014	0	0	0,069	86,553
LME-020-005	116	ANFIBOL	0,008	3,248	44,162	3,346	0,009	0,029	0	0,009	51,734	0,054	0,049	0	0	0,002	102,65
LME-020-005	117	PLAGIOCLASA	62,988	23,711	0,505	0,027	0,003	0,3	11,049	0,239	0,026	0,054	0	0,007	0,01	0,081	98,978
LME-020-005	118	MICROCLINA	58,307	19,953	0,051	0,031	0	0,078	0,416	15,215	0,031	0,016	0,071	0	0	0,218	94,338
LME-020-005	119	CLORITA	23,869	21,153	29,027	0,39	7,949	0,11	0,019	0,067	0	0,063	0	0	0	0,091	82,717
LME-020-005	120	CLORITA	26,599	21,287	29,828	0,288	6,116	0,156	1,637	0,026	0,029	0	0,016	0,002	0	0,086	86,051
LME-020-005	121	APATITO	0	1,179	0,578	0,094	0	54,582	0,106	0,004	0,001	0,003	0	40,374	0,189	0,841	97,682
LME-020-005	122	HORNBLENDA	38,971	12,986	12,974	0,252	8,715	1,144	2,717	0,838	5,071	0	0	0,046	0	0,11	93,799
LME-020-005	123	HORNBLENDA	37,209	13,62	10,592	0,124	9,392	11,676	2,756	0,81	5,633	0	0	0,033	0,002	0,093	92,018
LME-020-005	124	PIROXENO	34,604	24,7	12,751	0,394	0	22,046	0,003	0	0,005	0	0,012	0,09	0	0	94,605
LME-020-005	125	HORNBLENDA	32,389	14,808	22,392	0,191	5,244	0,984	0,166	4,338	4,036	0,019	0,027	0,043	0	0,272	84,848
LME-020-005	126	HORNBLENDA	39,157	12,001	13,043	0,225	8,543	11,175	2,781	0,875	4,979	0,067	0,035	0,017	0	0,097	92,973
LME-020-005	127	APATITO	0	0,028	0,217	0,018	0	57,053	0,012	0	0,052	0	0	41,54	0,174	0,282	99,239
LME-021-001	161	CUARZO	96,268	2,71	0,064	0,007	0,016	0,042	0,001	0	0,034	0	0,018	0,015	0	0,002	99,177
LME-021-001	162	PLAGIOCLASA	54,85	28,588	0,169	0	0	10,466	5,62	0,042	0,037	0	0,007	0,006	0,001	0	99,756
LME-021-001	163	PLAGIOCLASA	67,671	21,197	0,185	0	0	0,032	11,598	0,059	0,013	0,016	0	0,074	0,004	0	100,847
CJE-019-006	164	CLORITA	29,098	20,824	15,108	0,051	23,547	0,038	0	0	0,142	0,078	0,005	0	0	0,026	88,911
CJE-019-006	165	EPIDOTA	55,3	2,426	6,446	0,015	19,899	12,888	0,132	0,035	0,295	0,038	0,003	0	0	0,102	97,556
CJE-019-006	166	PLAGIOCLASA	66,564	22,158	0,376	0	0	1,538	10,674	0,088	0	0,032	0	0	0	0,164	101,154
CJE-019-006	167	PLAGIOCLASA	59,259	26,926	0,092	0	0,031	6,948	7,703	0,059	0	0,038	0	0,014	0	0,009	101,077
CJE-019-006	168	PLAGIOCLASA	68,378	20,767	0,058	0,011	0,007	0,293	11,21	0,065	0	0,035	0	0	0,001	0,013	100,835
CJE-019-006	169	PLAGIOCLASA	53,918	30,628	0,3	0	0,022	11,473	5,008	0,071	0,026	0,008	0	0,012	0	0,012	101,475
LME-021-001	170	PLAGIOCLASA	63,232	23,358	0,021	0,015	0	3,715	9,49	0,081	0	0	0	0,102	0,026	0,018	100,043

El contenido de Na₂O, K₂O y CaO en los puntos correspondientes a minerales identificados como feldespatos potásicos y plagioclasas son mostrados en la Tabla 11.

TABLA 11. Contenido de Na₂O, K₂O y CaO; los puntos resaltados son que se hicieron sobre un mismo cristal

PUNTO	MINERAL	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
110	PLAGIOCLASA	0,221	9,747	2,447
117	PLAGIOCLASA	0,3	11,049	0,239
118	MICROCLINA	0,078	0,416	15,215
162	PLAGIOCLASA	10,466	5,62	0,042
170	PLAGIOCLASA	3,715	9,49	0,081
163	PLAGIOCLASA	0,032	11,598	0,059
166	PLAGIOCLASA	1,538	10,674	0,088
167	PLAGIOCLASA	6,948	7,703	0,059
168	PLAGIOCLASA	0,293	11,21	0,065
169	PLAGIOCLASA	11,473	5,008	0,071

A través de los análisis de Difracción de rayos X y Petrografía las plagioclasas fueron identificadas en gran parte como albita; los feldespatos potásicos se identificaron como ortoclasa y microclina.

Moreno *et al.*, (2004), al realizar análisis de química mineral a plagioclasas por medio de una microsonda electrónica, determinan que en la mayoría de ellas, corresponden a albita. Más aún, en una muestra determinaron que la plagioclasa original era labradorita; además postulan que el remplazamiento de la plagioclasa original por Albita en las rocas del intrusivo la corona, puede deberse a procesos postmagmaticos hidrotermales de albitización, que aparentemente afectaron la totalidad del intrusivo.

Un aspecto crucial en este análisis fueron los puntos que se hicieron sobre un mismo cristal; tal es al caso de los puntos 117 y 118 (ver Figura 28) y de los puntos 162, 170 (ver Figura 29)

FIGURA 28. Imagen de retrodispersado realizada sobre un cristal de plagioclasa, en el cual se indican los puntos de análisis 117 y 118.

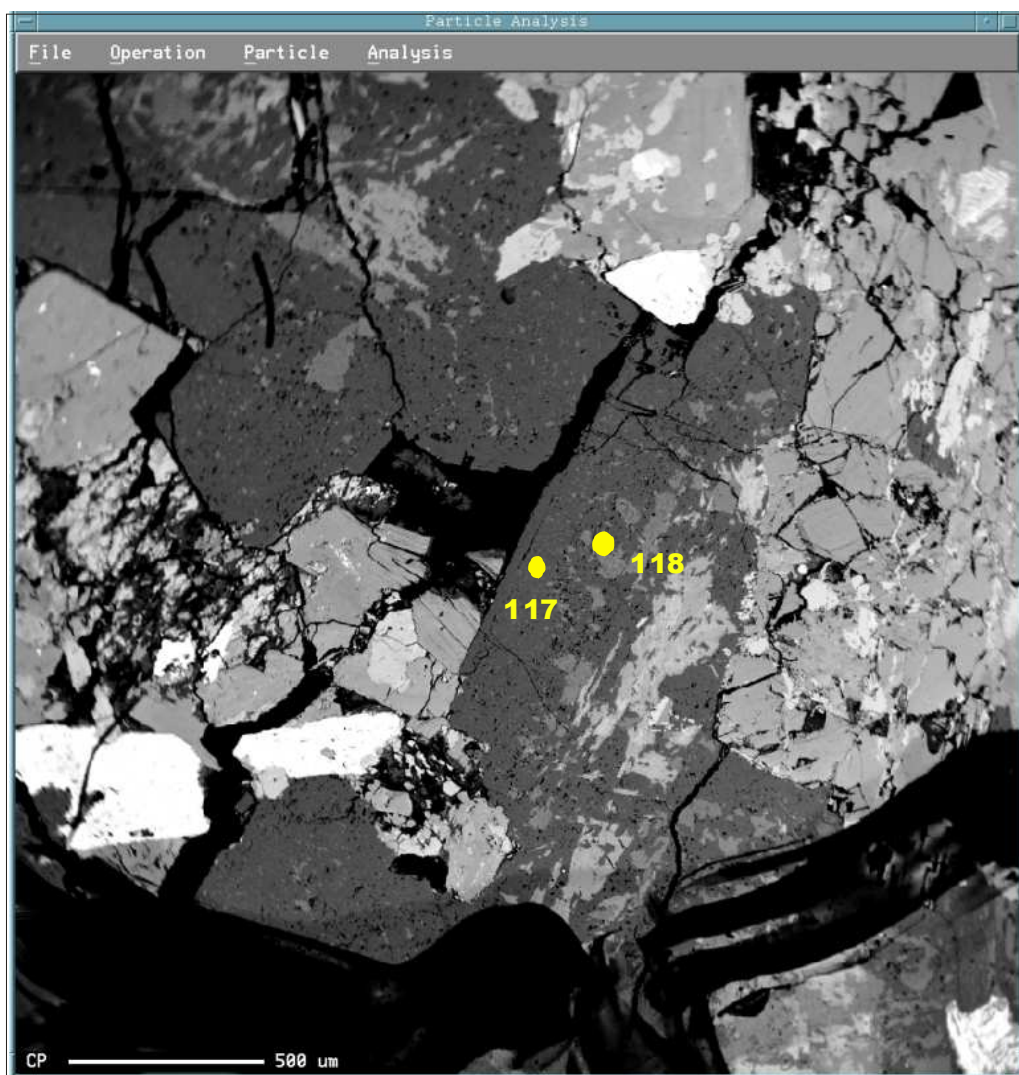


FIGURA 29. Imagen de retrodispersado realizada sobre un cristal de plagioclasa, en el cual se indican los puntos de análisis 162 y 170



De las Figuras 27 y 28, y de la Tabla 8; se observa claramente como hay una sustitución del Calcio por el Sodio, cuyo contenido aumenta hacia los bordes del cristal. En los otros puntos tomados sobre cristales individuales, se observa un predominio del Sodio, sobre el Calcio y el Potasio.

Los análisis por química mineral aportan evidencias, sobre un fuerte proceso de alteración hidrotermal que afectó al plutón de La Corona; en este proceso, los minerales interactuaron químicamente con un fluido hidrotermal rico en Sodio, originando un remplazamiento reactivo de plagioclasas y feldespatos potásicos por albita.

Ernst & Liu (1998), a través de varios experimentos propusieron un método consistente en utilizar el anfíbol cálcico existente en las rocas como un termobarómetro semicuantitativo, para determinar la temperatura y la presión de formación de acuerdo a su contenido de titanio y aluminio. Utilizando este método para hornblendas de color verde y café (las cuales se encuentran en las partes mas internas del plutón) analizadas mediante sonda electrónica, Moreno *et al.*, (2004), determinaron temperaturas de alteración hidrotermal de aproximadamente 450 °C, y presiones muy bajas para el intrusivo la Corona.

De acuerdo, con este ultimo dato el proceso hidrotermal que afectó el plutón de la Corona, estuvo en una fase neumatolítica (400 °C-500 °C), en las zonas internas del intrusivo.

6.6 ANALISIS POR INCLUSIONES FLUIDAS (IF)

6.6.1 Consideraciones Preliminares

Las inclusiones fluidas son porciones pequeñas de líquido o de gas o de una mezcla de estas dos fases, que fueron atrapadas en minerales. Sus tamaños varían desde unos décimos de micrómetros a unos cientos de micrómetros de diámetro, raramente se pueden encontrar inclusiones de diámetros de unos

centímetros o decímetros. Los volúmenes de las inclusiones son diminutos, generalmente la suma de los volúmenes de todas las inclusiones de un mineral abarca menos de 1% del volumen total del mineral. Un cuarzo blanco por ejemplo, que alberga 1×10^9 inclusiones por 1cm^3 y que presenta solo inclusiones individuales con diámetros de 1mm tiene un contenido en volátiles de 0,1% (Leeder *et al.*, 1987).

Las formas de las inclusiones pueden ser isométricas, tubulares alargadas y con bordes rectilíneos - como cubos, prismas y pirámides. Tales formas corresponden con la estructura cristalina de los minerales, que albergan las inclusiones. Otras inclusiones son esféricas, ovals o irregulares. Las inclusiones ocurren individualmente, en grupos característicos, en zonas o en masas a lo largo de superficies o planos en el cristal. A temperaturas ambientales se puede encontrar inclusiones de todos los estados físicos (sólido, líquido, gaseoso), cuya calidad y cantidad depende de sus condiciones de formación.

6.6.1.1 Tipología de las inclusiones Fluidas

Primarias: Atrapadas durante el crecimiento de un mineral, a partir de un fluido hidrotermal. Este tipo de inclusiones están aisladas dentro de un cristal sin relación obvia con cualquier estructura que permita la entrada de gas o líquido.

Secundarias: Atrapadas después del crecimiento del cristal (en planos de fracturas y otros), estas inclusiones están generalmente en planos (abiertos o cerrados donde la fuga pudo ser posible y representan fluidos atrapados con posterioridad a la formación del cristal.

Existen también las inclusiones **pseudos secundarias**, las que se forman durante el crecimiento del cristal en microfracturas o planos de crecimiento del cristal. Si las inclusiones se relacionan a zonas de crecimiento del cristal (por ejemplo, cristales zonados de Cuarzo) entonces se trata de inclusiones primarias aunque tengan una distribución planar. Si se asocian a fracturas del cristal, entonces se consideran secundarias; cabe hacer notar que las inclusiones aisladas no necesariamente significan que sean primarias, debe hacerse un estudio previo que presenten inclusiones para determinar su naturaleza. Es frecuente que no se sepa la naturaleza de una inclusión, pero si este es el caso los datos que puedan obtenerse a partir de ella tampoco se sabrán que significan.

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

El estudio petrográfico de rocas y minerales con inclusiones fluidas permite discriminar las inclusiones primarias formadas durante la cristalización del mineral, que las hospeda, de las inclusiones secundarias formadas durante procesos posteriores o influidas por procesos posteriores a la cristalización del mineral. Las inclusiones fluidas primarias se forman bajo las condiciones magmáticas, las condiciones de fundidos tardimagmáticos-pegmatíticos, de fluidos pneumatolíticos o de soluciones hidrotermales, que generan asociaciones características de inclusiones.

En su mayoría los procesos naturales formadores de rocas son de larga duración y de múltiples fases. Bajo las condiciones físico-químicas variándose durante la cristalización progresiva los minerales recién formados reaccionan con el magma madre, con la solución de partida y/o con los otros minerales asociados y del

ambiente. En cualquier instante después de su formación efectos mecánicos, químicos y/o térmicos pueden influir, superponer o destruir las asociaciones minerales. Los mismos efectos también pueden afectar en forma unilateral e irreversible las asociaciones de inclusiones fluidas atrapadas en los minerales. De tal modo las inclusiones fluidas pueden recibir huellas características, que testimonian la influencia de tales procesos físico-químicos secundarios en los minerales.

Debido a varias evidencias se supone, que las inclusiones fluidas han conservadas las propiedades químicas y físicas de las soluciones provenientes, y se consideran las inclusiones fluidas como muestras directas de las fases volátiles, que han circuladas por la litosfera durante el tiempo geológico. Los resultados de los estudios microtermométricos contribuyen a la caracterización de varios procesos naturales, que ocurren en la corteza terrestre y en que las inclusiones fluidas juegan un papel importante. Entre otros se refiere a los siguientes procesos:

- el transporte y el depósito de menas,
- la génesis de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias,
- la formación y la migración de petróleo,
- el volcanismo explosivo,
- la energía geotérmica,
- los mecanismos relacionados con terremotos y
- el transporte de contaminantes.

6.6.2 Datos petrográficos y microtermométricos en IF

Este trabajo de investigación, no tiene como finalidad, hacer un estudio de inclusiones fluidas; sin embargo al observarse en campo la presencia de venas de calcita, que atravesaban niveles lodolíticos de la formación Capotes, muy cerca del plutón la Corona. Se decide hacer un estudio petrográfico y microtermométrico de IF, a estas venas para conocer la relación entre los procesos hidrotermales que afectaron al intrusivo, y los que originaron las inclusiones.

Se laboraron dos láminas doblemente pulidas de la muestra LME-020-002, clasificada en muestra de mano como una brecha hidráulica, según los análisis de DRX la vena está compuesta por calcita, dolomita y cuarzo.

Los estudios petrográficos y microtermométricos permitieron identificar dos tipos dominantes de familias de IF.

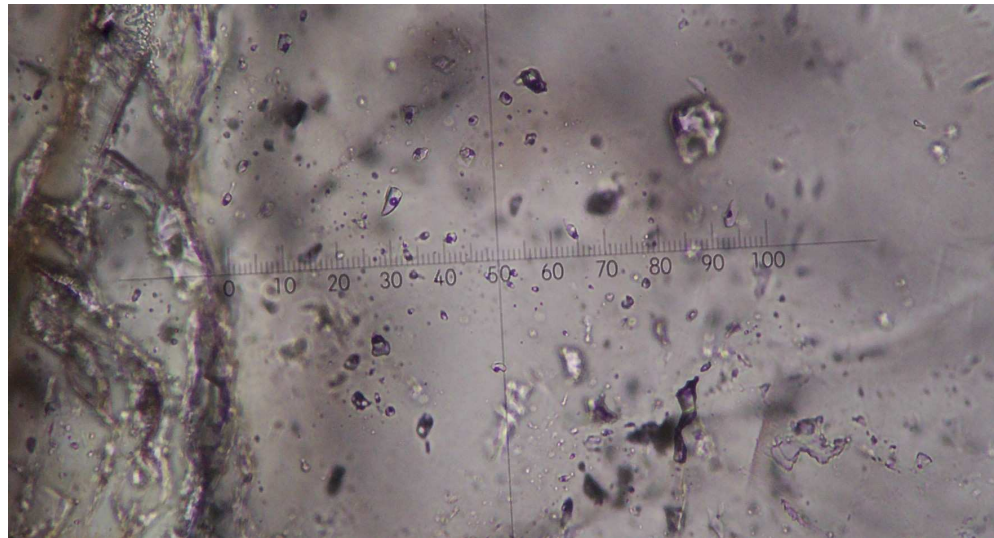
Familia I

Conformada por una serie de inclusiones primarias polifásicas de halita (ver Figura 30), las cuales contienen en su interior inclusiones sólidas de forma irregular, su tamaño oscila entre bien observables a un aumento de 40X y 50X teniendo formas alargadas y triangulares predominantemente; están distribuidas en forma aleatoria y en algunos sectores forman filas o hileras.

Familia II

Formada por inclusiones bifásicas presumiblemente secundarias de formas alargadas e irregulares conformadas por $H_2O + NaCl$, cuyo tamaño oscila alrededor de 12 μm , bien observables a 40X y 50X.

FIGURA 30. Familia de inclusiones polifásicas de halita con inclusiones sólidas, en una vena de calcita (imagen a 40X).



Cuando las inclusiones fueron sometidas a los procesos de calentamiento-enfriamiento, se detectaron los cambios de fases, que se registran en la Tabla 12.

TABLA 12. Cambios de fases obtenidos en las familias de inclusiones fluidas, en la prueba de microtermometría.

Muestra	Familia IF	Fases	Te	Tfh	Th→L
LME-020-002	Primaria	L+V+S	-	-	-
	Secundaria	L+V	-	-	198.9°C

La temperatura de homogenización obtenida es demasiado baja, para asociarla con la alteración hidrotermal que afecta al intrusivo de la Corona; sugiriendo eventos hidrotermales diferentes para el intrusivo y la inclusiones fluidas.

7. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

7.1 LOS PROCESOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL: CONSIDERACIONES PRELIMINARES

La alteración hidrotermal es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en términos químicos y termales, en presencia de agua caliente, vapor o gas.

La alteración hidrotermal se presenta a través de la formación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que el debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido. En efecto la temperatura del fluido y el pH del mismo son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal, más que la litología.

La característica esencial de la alteración hidrotermal es la conversión de un conjunto mineral inicial en una nueva asociación de minerales más estable bajo las condiciones hidrotermales de temperatura presión y sobre todo de composición de fluidos. La textura original de la roca puede ser modificada ligeramente o completamente obliterada por la alteración hidrotermal.

La alteración hidrotermal es un tipo de metamorfismo que involucra la recristalización de la roca a nuevos minerales más estables bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de composición de fluidos. La característica distintiva de la alteración hidrotermal es la importancia del fluido hidrotermal en transferir constituyentes y calor. En efecto, la alteración hidrotermal

involucra la circulación de volúmenes relativamente grandes de fluidos calientes atravesando las rocas permeables debido a la presencia de fisuras o poros interconectados. El fluido tiende a estar considerablemente fuera de equilibrio termodinámico con las rocas adyacentes y esto genera las modificaciones en la composición mineralógica original de las rocas, puesto que componentes en solución y de los minerales sólidos se intercambian para lograr un equilibrio termodinámico.

El transporte de materiales involucrados en la alteración de las rocas puede ocurrir por infiltración o por difusión (transporte por difusión de especies químicas a través de fluidos estancados en los poros de las rocas) o por una combinación de ambos procesos. Si la evidencia geológica muestra que los materiales o componentes químicos se movieron a gran distancia el medio de transporte dominante fue la infiltración. En sistemas hidrotermales la difusión y la infiltración ocurre simultáneamente.

7.1.1 Factores que controlan la alteración hidrotermal

Temperatura: Y la diferencia de temperatura (Δt°) entre la roca y el fluido que la invade: mientras más caliente el fluido mayor será el efecto sobre la mineralogía original.

Composición del fluido: Sobre todo el pH del fluido hidrotermal: mientras más bajo el pH (fluido más ácido) mayor será el efecto sobre los minerales originales.

Permeabilidad de la roca: Una roca compacta y sin permeabilidad no podrá ser invadida por fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración. Sin embargo,

los fluidos pueden producir fracturamiento hidráulico de las rocas o disolución de minerales generando permeabilidad secundaria en ellas.

Intensidad de la alteración fluido-roca: Mientras mayor volumen de aguas calientes circulen por la roca y por mayor tiempo, las modificaciones mineralógicas, serán más completas.

Composición de la roca: Es relevante para grados menos intensos de alteración, dado que los distintos minerales tienen distinta susceptibilidad a ser alterados, pero en alteraciones intensas la mineralogía resultante es independiente del tipo de roca original.

Presión: Este es un efecto indirecto, pero controla procesos secundarios como la profundidad de ebullición de fluidos, fracturamiento hidráulico (generación de brechas hidrotermales) y erupción o explosiones hidrotermales.

Los dos factores iniciales temperatura y composición del fluido hidrotermal son los más importantes para la mineralogía hidrotermal resultante de un proceso de alteración. Esto es relevante porque las asociaciones de minerales hidrotermales nos dan indicios de las condiciones en que se formaron depósitos minerales de origen hidrotermal.

La **intensidad** de la alteración corresponde a un término objetivo que se refiere a la extensión en que una roca ha sido alterada, mientras que el **grado** de alteración es un término subjetivo que requiere una interpretación basada en la mineralogía de alteración. Sin embargo se han propuesto los términos de **pervasividad** para indicar la intensidad de la alteración y **extensividad** para indicar la distribución espacial de la alteración hidrotermal. Estos últimos términos fueron propuestos para cuantificar porcentualmente la intensidad y la extensión de la alteración hidrotermal. Sin embargo, en la práctica nunca se generalizó su uso en tal

sentido, pero el termino **pervasivo** se utiliza corrientemente para referirse a que tan penetrativa es la alteración de las rocas. Una **alteración pervasiva** se requiere a aquella en que una roca esta alterada en todo su volumen, en contraposición a las alteraciones poco pervasivas donde la alteración se limita a las vecindades de las fracturas por donde circuló el fluido, pero las partes masivas de las rocas están inalteradas.

7.1.2 Productos típicos del reemplazo por alteración

Aunque como se indico anteriormente dependiendo de la intensidad de la alteración la mineralogía final hidrotermal puede no ser influenciada por la composición mineralógica inicial de la roca. La composición de algunos minerales proporciona los componentes para ciertos minerales a saber (ver Tabla 13)

TABLA 13. Productos de alteración de minerales a raíz de procesos hidrotermales

MINERAL ORIGINAL	PRODUCTOS DE REEMPLAZO HIDROTERMAL
VIDRIO VOLCANICO	ZEOLITAS (MORDENITA, LAUMONTITA), CRISTOBALITA, CUARZO, CALCITA, ARCILLAS (MONTMORILLONITA)
MAGNETITA/ILMENITA/TITANOMAGNETITA	PIRITA, LEUCOXENO, ESFENA, PIRROTINA, HEMATITA
PIROXENOS/ANFIBOLES/OLIVINO/CALCITA/BIOTITA	CLORITA, ILITA, CUARZO, PIRITA, ANHIDRITA
PLAGIOCLASA CALCICA, BIOTITA	CALCITA, ALBITA ADULARIA, WAIRAKITA, CUARZO ANHIDRITA
PLAGIOCLASA CALCICA	CALCITA, ALBITA, ADULARIA, WAIRAKITA, CUARZO ANHIDRITA, CLORITA, ILITA, CAOLIN, MONTMORILLONITA, EPIDOTA
ORTOCLASA/SANIDINA	ADULARIA

7.1.3 Procesos debidos a la alteración Hidrotermal

Deposición directa: Muchos minerales se depositan directamente a partir de las soluciones hidrotermales. Para poder hacerlo es obvio que la roca debe tener pasajes para que el fluido pueda moverse dentro de ellas. Ejemplo: diaclasas, fallas, fracturas hidráulicas, discordancias, zonas brechosas, huecos, poros y fisuras.

El cuarzo, la calcita y la anhidrita forman fácilmente venillas y rellenos de huecos en las rocas pero también se ha observado localmente clorita, illita, adularia, pirita, pirrotina, hematina, wairakita, fluorita, laumonita, mordenita, prehnita y epidota que deben haberse depositado directamente de un fluido hidrotermal.

Remplazamiento: Muchos minerales de las rocas son inestables en un ambiente hidrotermal y estos tienden a ser reemplazados por nuevos minerales que son estables o al menos metaestables en las nuevas condiciones. La velocidad de reemplazo es muy variable y depende de la permeabilidad de la roca.

Lixiviación: Algunos de los componentes químicos de las rocas son extraídos por los fluidos hidrotermales al atravesarlas, particularmente cationes metálicos, de modo que la roca es deprimida en dichos componentes o lixiviada. En ciertas condiciones, como por ejemplo donde se condensa vapor acidificado por oxidación de H_2S , la solución acida resultante (por la presencia de H_2SO_4) ataca las rocas disolviendo minerales primarios, pero sin reemplazar los huecos resultantes que producen. Esto en casos extremos resulta en una masa porosa de cuarzo residual.

La alteración hidrotermal produce cambios en las propiedades de las rocas alterando su densidad (aumento o disminución), porosidad, permeabilidad

(aumento o disminución), susceptibilidad magnética (usualmente disminuye, pero puede aumentar cuando se deposita magnetita hidrotermal) y resistividad (usualmente decrece porque los sulfuros metálicos permiten el paso de corrientes eléctricas, pero masas silíceas producto de la alteración pueden ser más resistivas). Simultáneamente con esos cambios físicos pueden ocurrir eventos relacionados con o sin relación como fallamiento y formación de diaclasas/fracturas que afectan el proceso de alteración).

7.1.4 Reacciones químicas involucradas en los procesos hidrotermales

La alteración hidrotermal y mineralización concomitante son el resultado de un proceso irreversible de **intercambio químico** entre la solución acuosa y rocas adyacentes. Ciertos componentes son extraídos selectivamente de las rocas de caja y son agregados al fluido y otros componentes (incluyendo metales de mena) son selectivamente incorporados por las rocas (o forman una cubierta sobre ellas) y son removidos del fluido hidrotermal. El resultado de este proceso depende de las condiciones físicas en la interfase fluido-roca involucradas en el proceso de intercambio químico (razón agua/roca). Solo la roca alterada es el resultado visible del proceso, porque el fluido es removido del sistema, a excepción de posibles inclusiones fluidas en los minerales precipitados. Algunos tipos de alteración involucran solo una transferencia en un sentido del fluido a la roca o viceversa (ver Tabla 14), a saber

TABLA 14. Elementos y compuestos transferidos, durante procesos hidrotermales

proceso	Ganancia o pérdida de
Hidratación/deshidratación	H ₂ O
Carbonatación/decarbonatación	CO ₂
Oxidación/reducción	O ₂
Sulfuración/reducción	S ₂

Estos procesos están controlados por: presión fugacidad, concentración, actividad o un potencial químico de los componentes involucrados. La precipitación o disolución de un mineral también es un proceso en un sentido y el parámetro controlador es la solubilidad.

Reacciones de intercambio iónico: Las reacciones de intercambio iónico son importantes en los procesos de alteración, por ejemplo: el intercambio de Mg²⁺ por Ca²⁺ (**intercambio cationico**); las reacciones de intercambio iónico, también se conocen como cambio de base y corresponden a un reacción por la cual cationes absorbidos en la superficie de un solido, tal como un mineral de arcilla o zeolita son reemplazados por cationes en la solución circundante. El intercambio de cationes Ca²⁺ y Na⁺ de plagioclasas por K⁺ para originar feldespato potásico corresponde a este tipo de reacción y caracteriza a la alteración potásica. El intercambio de cationes metálicos de los minerales de la roca por H⁺ corresponde a un caso especial, conocido como hidrólisis y es muy importante en la mayoría de los tipos de alteración hidrotermal.

Reacciones de hidrólisis: La estabilidad de feldespatos, micas y arcillas en procesos de alteración hidrotermal es comúnmente controlada por hidrólisis, en la cual K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , y otros cationes transfieren de minerales a la solución y el H^+ se incorpora en las fases sólidas remanentes. Esto ha sido denominado metasomatismo de hidrógeno (Hemley & Jones, 1964). Las reacciones de hidrólisis son muy importantes en los procesos de alteración hidrotermal y algunos tipos de alteraciones son el resultado de distinto grado de hidrólisis de los minerales constituyentes de las rocas, por ejemplo:

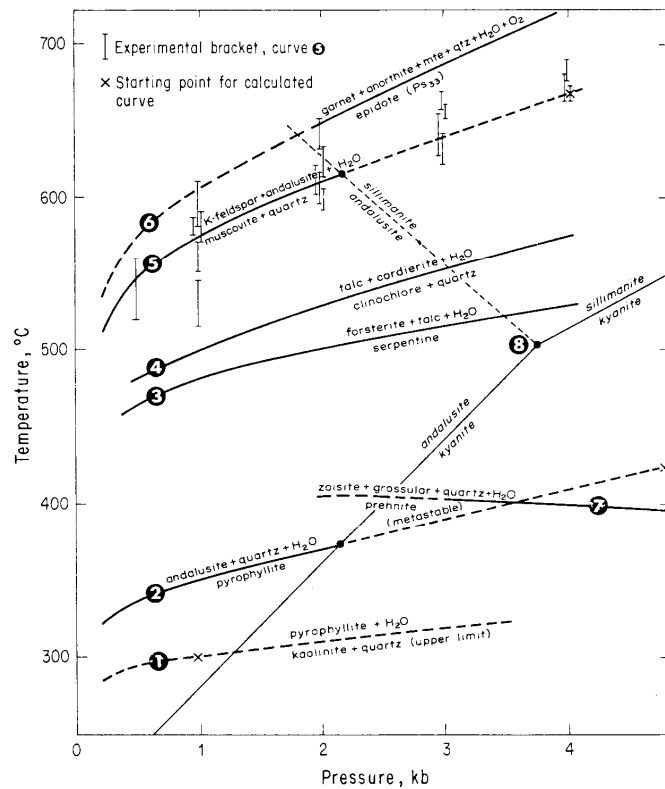
Alteración hidrotermal de plagioclasa → sericita → arcilla → cuarzo

Las reacciones de hidrólisis implican un empobrecimiento de H^+ en el fluido hidrotermal, consecuentemente un aumento del pH de la solución hidrotermal. Este fenómeno puede neutralizar fluidos ácidos y la neutralización puede resultar en zonaciones de distintos minerales hidrotermales en torno a conductos hidrotermales.

Cabe destacar que en la mayoría de las reacciones de hidrólisis producen como subproducto SiO_2 y esta es la razón porque el cuarzo es omnipresente en rocas alteradas. En situaciones de fluidos muy ácidos, se pueden hidrolizar incluso micas aluminosas dando origen al sulfato de Al, alunita y cuarzo. Aunque las reacciones de hidrólisis modifican el pH del fluido hidrotermal al alterar los minerales de las rocas, la presencia de ciertos minerales interactuando con soluciones salinas pueden mantener ciertos rangos de pH mientras no se consuman totalmente; estos se conocen como minerales buffer. Las series de minerales buffer hacen que las variaciones de pH sean escalonadas y serán importantes para la solubilidad y precipitación de metales.

Reacciones de deshidratación: Controlada principalmente por condiciones de presión y temperatura según Burt y Rose (1979). En el diagrama de estabilidad (ver Figura 31) quedan denotados los campos de estabilidad de asociaciones de alteración principalmente en función de temperatura, incluyéndose minerales metamórficos de alta temperatura.

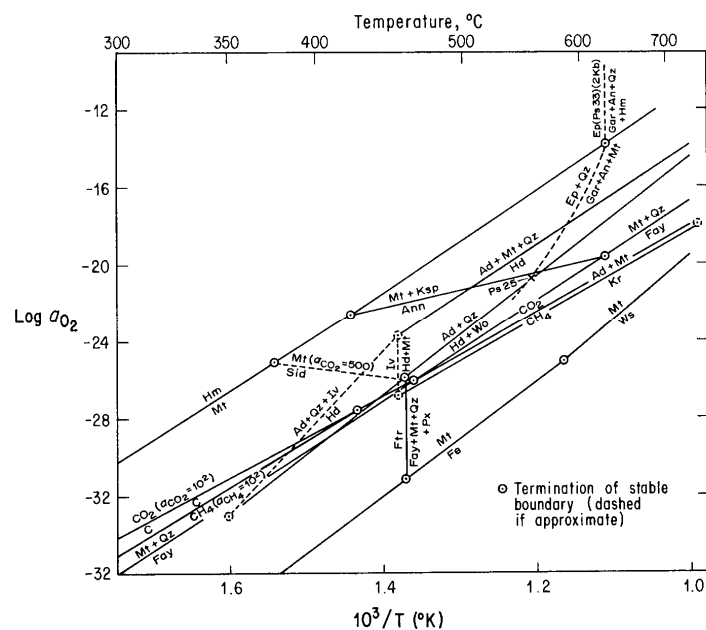
FIGURA 31. Relaciones presión-temperatura de reacciones de equilibrio de deshidratación y transformaciones polimórficas



Tomado de Burt y Rose (1979)

Reacciones de oxidación: Controladas por las condiciones óxido-reducción del fluido hidrotermal. Los elementos susceptibles a estas reacciones son Fe, Mn, Sn, C e H. Minerales conteniendo a estos elementos pueden proveer información con respecto al estado de oxidación de los fluidos del cual se formaron los minerales (ver Figura 32).

FIGURA 32. Estabilidad de minerales de hierro y otras especies en función de $\log a_{O_2}$ vs. $1/T$. Ad = andradita; An = anortita; Ann = annita; Ep = epidota; Fay = fayalita; Fe = hierro; Ftr = ferrotremolita; Gar = granate; Hd = hedenbergita; Hm = hematita; Iv = ilvaita; Kr = kirschsteinita; Ksp = feldespato K; Mt = magnetita; Ps = pistacita; Px = piroxeno; Sid = siderita; Ws = wustita.



Tomado de Burt y Rose (1979)

Reacciones de Skarn: Controladas principalmente por temperatura-presión y actividad de Ca, Fe, Mg y Mn. Es característica de la interacción entre rocas carbonatadas (calizas y dolomias) y fundidos alumino silicatados.

7.1.5 Tipos de alteración Hidrotermal

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. Esto hace que sea complicado tener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteración. Los autores de mapeos y de estudios de alteración generalmente han simplificado sus observaciones clasificando las rocas alteradas en grupos

El método más simple es mediante la utilización del mineral más abundante y más obvio en la roca alterada (ver Tabla 15). De ahí derivan denominaciones como:

TABLA 15. Clasificación de las alteraciones hidrotermales según el tipo de mineral de alteración predominante.

Denominación	Presencia dominante de
Silicificación	Sílice o cuarzo
Sericitización	Sericita
Argilización	Minerales de arcilla
Cloritización	Clorita
Actinotilización	Actinolita
Epidotización	Epidota

Aunque esta denominación simple se emplea comúnmente, en realidad los minerales de alteración no se presentan individualmente sino que forman ciertos grupos o asociaciones de minerales de alteración.

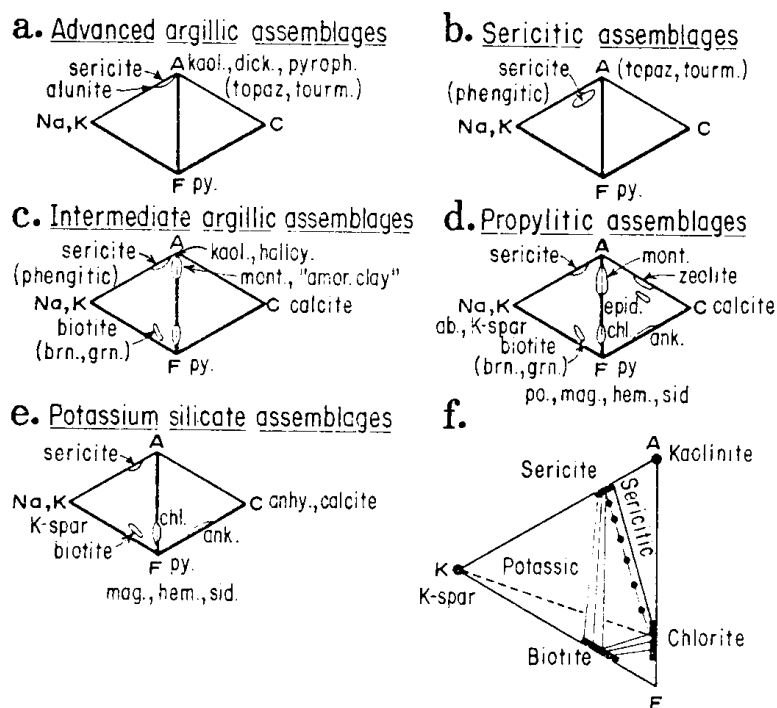
Otra aproximación al problema de clasificar alteraciones hidrotermales es basarse en los cambios químicos dominantes durante la alteración. Un ejemplo de esto son los términos: metasomatismo de hidrógeno, metasomatismo potásico o metasomatismo de fluor. Sin embargo, esta clasificación no es muy práctica debido a que son varios los elementos que son introducidos o extraídos de la roca en varias proporciones

Es más práctico clasificar las alteraciones hidrotermales por la asociación de los minerales de alteración presentes en la roca. Una asociación de minerales de alteración refleja las condiciones de temperatura, presión, composición química del fluido hidrotermal, mineralogía de la roca original y el tiempo que tomó para lograr un equilibrio termodinámico entre la roca y el fluido.

No siempre los términos para tipos de alteración han sido utilizados con un criterio uniforme por distintos autores. Por ejemplo, el término alteración fílica fue originalmente propuesto por Burnham (1962) para incluir alteraciones que produzcan filosilicatos, tanto alteraciones sericíticas, como biotíticas. Sin embargo Lowell y Gilbert (1970), y otros autores en adelante han usado el término alteración fílica a rocas con alteración sericítica o cuarzo-sericítica.

Meyer y Hemley (1967), clasificaron la alteración hidrotermal en los tipos: propilítica argílica intermedia, sericítica y potásica (ver Figura 33).

FIGURA 33 (a-e). Asociaciones minerales de ocurrencia común en los principales tipos de alteración en rocas aluminosilicatadas; el cuarzo usualmente está presente en todas (basado en Meyer y Hemley, 1967). A altas temperaturas se presenta andalucita en la alteración argílica avanzada. Puntos entre sericita y clorita indican separación de tipos.



Tomado de Rose y Burt (1979)

Alteración propilítica: Presencia de epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable metasomatismo cationico o lixiviación de álcalis o tierras alcalinas; H₂O, CO₂ y S pueden agregarse a la roca y comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita. Este tipo de alteración, presenta un bajo grado de hidrólisis de los

minerales de las rocas y por lo mismo su posición en las zonas alteradas tiende a ser marginal.

Argílica intermedia: Importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, esmectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a las plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica.

Argílica Avanzada: Gran parte de los minerales de las rocas transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo. Este tipo de alteración representa un ataque hidrolítico extremo en las rocas que incluso se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo) en casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual (“vuggy silica” en inglés).

Alteración Potásica: Alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita. Esta alteración corresponde a un intercambio cationico (cambio de base) con la adición de potasio a las rocas. A diferencia de las anteriores este tipo de alteración no implica hidrólisis y no ocurre y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (principalmente en el rango de 350-550 °C). Por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardimagmática y se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de plutones intrusivos.

Carten (1986), la alteración sódico-calcica en las zonas de raíz del porfido Yerrington (Nevada, USA), la que se caracteriza por una asociación de actinolita, albita-oligoclasa-andesina, epidota, magnetita, clorita, cuarzo, escapolita. Esta alteración ocurre en la porción profunda de porfidos cupríferos y se desarrolla en

forma simultánea con la alteración potásica a niveles más altos. En muchos estudios los minerales que caracterizan la alteración sódico-calcica se atribuían indistintivamente a una alteración propilítica “de alta temperatura” y/o a una alteración potásica.

Además, existe la alteración tipo skarn, la cual corresponde a la transformación de rocas carbonatadas (calizas, dolomías) a minerales calcosilicatados en zonas adyacentes a los intrusivos. Recaracteriza por la presencia de granates (andradita y grosularita), wollastonita, epidota, diópsido, idocrasa, clorita y actinolita. En los casos en que los carbonatos son magnésicos (dolomías) la asociación incluye: forsterita, serpentina, talco, tremolita, clorita. Skarn es un término de origen sueco para designar rocas calcáreas metamorfizadas, pero su uso se ha generalizado para depósitos minerales relacionados a metamorfismo de contacto y mesatomatismo ligado a intrusiones que cortan secuencias de rocas carbonatadas. Es un tipo especial de alteración en que la litología original es determinante en la asociación mineral resultante.

La alteración tipo greissen caracterizada por la asociación: moscovita, feldespato, cuarzo, topacio y/o turmalina. Se asocia a fases neumatolíticas de rocas graníticas y ocurre a temperaturas mayores de 250 °C, generalmente en las porciones apicales o cúpulas de batolitos graníticos, donde se distribuye la acumulación de volátiles provenientes del magma o por incorporación de fluidos provenientes de la deshidratación de las rocas intruidas.

Corbett & Leach (1998), publicaron un diagrama de clasificación del tipo de alteración hidrotermal en el que se incluyen los principales tipos clásicos de tipos de alteración ordenados en función del pH del fluido y de la temperatura (ver figura 34). Estos autores separaron además grupos caracterizados por ciertos minerales a saber.

Grupo de la sílice: Estos son los únicos minerales estables en forma significativa en fluidos de pH bajo (<pH 2; Stoffregen, 1987)

- Sílice opalina, cristobalita y tridimita ocurren en ambiente superficial de un sistema hidrotermal. Típicamente a $t < 100$ °C.
- Cuarzo es el mineral principal a mayores temperaturas.

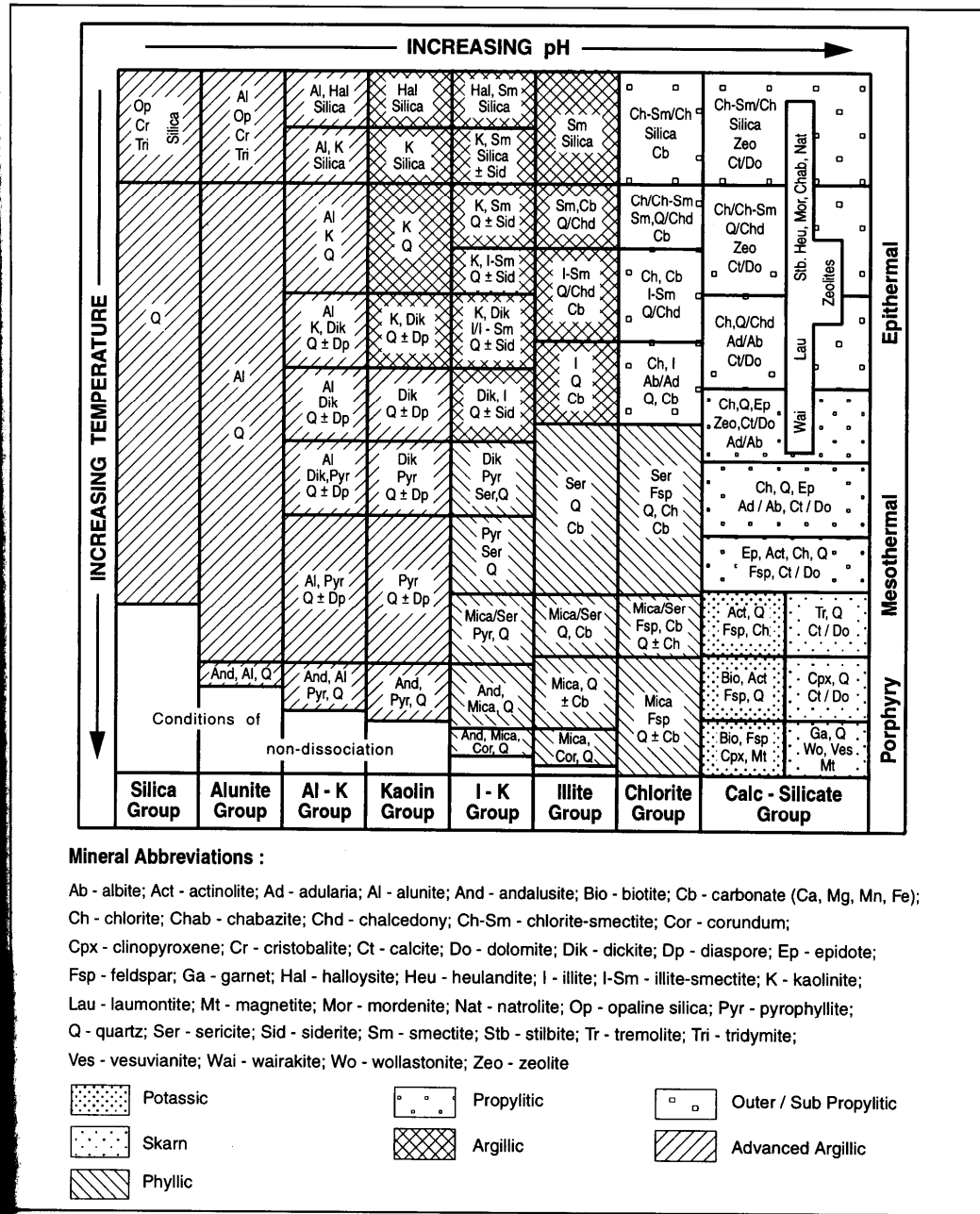
A pH más altos se forma sílice amorfa a $T < 100$ °C, pero se puede formar sílice amorfa de un fluido a 200 °C si este se enfría rápidamente. La calcedonio se forma en el rango 100°C- 200 °C.

Grupo de la alunita: Un fluido con pH ligeramente superior a 2, forma alunita en un amplio rango de temperaturas según Stoffregen (1987), Esta se presenta con andalucita a altas temperaturas (típicamente > 350 °C- 400 °C) y con corindón a temperaturas aún mayores (> 400 °C- 450 °C).

Se han recopilado cuatro ambientes de formación de la alunita según Rye *et al.*, (1993), en base a datos isotópicos de S y O. Las condiciones de formación de la alunita también pueden inferirse por la forma cristalina, por el marco geológico y paragénesis mineralógica.

Grupo del caolín: Estos minerales derivan de la acción de fluidos de pH moderadamente bajo (aproximadamente pH 4) y coexisten con la alunita en un rango de pH transicional (pH 3-4). La halloysita (arcilla del grupo del caolín) se

FIGURA 34. Asociaciones de minerales de alteración comunes en sistemas hidrotermales.



Tomado de Corbett y Leach (1998)

presenta principalmente como producto de alteración supergénica, aunque hay evidencias que se forma en sistemas hidrotermales de muy baja temperatura. La caolinita se forma a profundidades someras en condiciones de baja temperatura (<150°- 200°C), y la pirofilita se forma a mayores profundidades y a mayor temperatura, en un rango intermedio entre ellos se forma dickita.

Grupo de la Illita: En fluidos con un pH 4-6 dominan los minerales del grupo de la illita y coexisten con el grupo del caolín en pH del fluido 4-5, dependiendo de la temperatura y salinidad del fluido. Las relaciones profundidad/temperatura del grupo de la illita están bien documentadas tanto de cuencas sedimentarias como de campos geotermales activos. A baja temperatura se presenta esmectita (<100°- 200°C), illita-esmectita laminada a alrededor de 100°C- 200°C, illita a aproximadamente 200°C - 250 °C, y moscovita a T> 250 °C. La sericita es una moscovita de grano fino que puede contener alguna illita y es transicional entre la illita y la moscovita bien cristalizada.

Grupo de la Clorita: En condiciones levemente acidas a neutras de Ph los minerales clorita, carbonatos son dominantes, coexistiendo con el grupo de la illita en ambientes cuyo pH es 5-6. Clorita-illita laminada ocurre a baja T gradando a clorita a mayor T

Grupo de los calco-silicatados: Estos minerales se forman en condiciones de pH neutro a levemente alcalino. En condiciones frías se forman zeolitas-clorita-carbonato y epidota seguida de anfíboles secundarios (principalmente actinolita) redesarrollan progresivamente a mayores temperaturas. Las zeolitas son particularmente sensibles a la temperatura, zeolitas hidratadas (natrolita, chabazita, mesolita, mordenita, stilbita, heulandita) predominan en condiciones frías (150°- 200 °C), mientras que las menos hidratadas como la laumontita (150°- 200°C) se presentan progresivamente en niveles mas profundos y calientes del

sistema hidrotermal. En algunos sistemas se presenta prehnita y/o pumpelita a temperaturas de 250°- 300°C asociadas a veces con epidota.

La epidota se presenta como granos incipientes pobremente cristalinos alrededor de 180°- 200°C y es estable a temperaturas mayores (>220°C- 250 °C). La actinolita es estable en sistemas hidrotermales a temperaturas mayores de 280 °C- 300 °C.

Los carbonatos se encuentran en un amplio rango de pH y de temperatura y se asocian con caolín, illita, clorita y fases calco-silicatadas. Una zonación de minerales carbonatados que se correlaciona con el aumento de pH se encuentra en muchos sistemas hidrotermales. Carbonatos de Fe-Mn (siderita-rodocrosita) coexisten con caolín y arcillas del grupo de la illita, mientras que carbonatos de Ca-Mn-Mg-Fe mezclados (rodocrosita-ankerita-kutnahorita-dolomita) coexisten como arcillas del grupo de la illita y cloríticas, y los carbonatos de Ca-Mg (calcita-dolomita) coexisten con clorita y minerales calco-silicatados. Esta zonación se interpreta como el reflejo de la decreciente movilidad del Fe, Mn y Mg al aumentar progresivamente el pH del fluido. Los carbonatos se presentan típicamente en todos los niveles de sistemas hidrotermales, desde la superficie hasta ambientes del tipo porfido o skarn.

Los feldespatos están asociados tanto con clorita como con minerales calco-silicatados. Los feldespatos secundarios son estables en condiciones de pH neutro o alcalino. La albita se presenta cuando los fluidos tienen una alta razón a_{Na^+}/a_{K^+} y feldespato potásico a bajas razones a_{Na^+}/a_{K^+} . La adularia se presenta en condiciones permeables de alto flujo de fluido y la albita bajo permeabilidad baja.

Los sulfatos se presentan en un amplio rango de temperaturas y regímenes de pH en sistemas hidrotermales. Mientras la alunita (sulfato de aluminio) se forma en condiciones de bajo pH (< 3-4), la anhidrita (sulfato de calcio) se forma a pH más

alto y $T > 100^{\circ} - 150^{\circ}\text{C}$, y el yeso en ambientes más fríos. La jarosita es común como mineral supergeno, pero también se presenta en ambientes ácidos someros en sistemas geotérmicos activos.

Existen, además, varias fases minerales conteniendo elementos halógenos (por ejemplo: Boro en Turmalina y fluor, cloro y fósforo en apatitos), los cuales indican una importante componente volátil magmática. Estos minerales comúnmente se asocian con sericita/mica formada a alta temperatura y bajo moderadamente bajo pH.

7.1.6 Fuente de fluidos hidrotermales

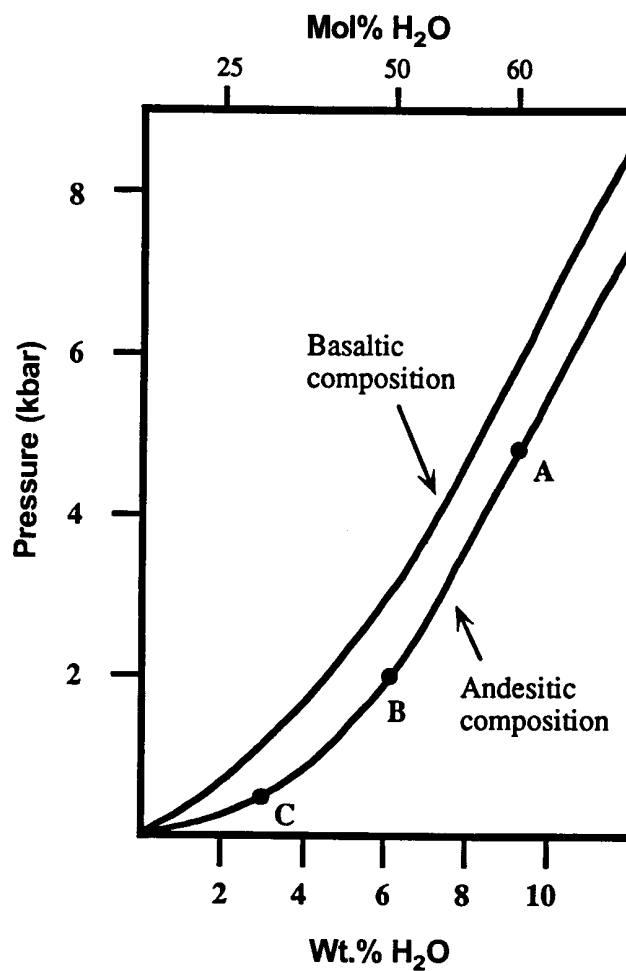
En la mayoría de depósitos de origen hidrotermal, se sabe hoy en día que los fluidos hidrotermales participantes son en su mayoría de origen magmático (por ejemplo, Giggenbach, 1997) y que son los que contienen metales a ser depositados según las condiciones termodinámicas de este. La pregunta obvia entonces es en que momento y por qué se separa una fase hidrotermal de una fase magmática.

A condiciones de alta presión y temperatura, un magma posee una alta solubilidad del agua, solubilidad que decrece con el descenso de temperatura y más fuertemente con el descenso de presión (ver Figura 35). Magmas máficos poseen mayor solubilidad que los magmas felsicos. La pérdida de solubilidad de un magma y la consecuente partición de agua desde la fase magmática es denominada “primera ebullición”, fenómeno gradual y de poca injerencia.

Otro proceso de partición de agua más efectivo que la pérdida de solubilidad, es la denominada “segunda ebullición”, la cual ocurre durante la cristalización de un

magma producto de la exsolución de agua (se le denomina segunda ebullición porque ocurre enfriamiento adiabático). Este proceso será más rápido y violento a mayor velocidad de cristalización. La fase hidrotermal particionada comprenderá una fase vapor y un fase de hidro-salmuera salina, con altos contenido de Na y Cl.

FIGURA 35. Solubilidad de H₂O en fundidos silicicados de composición andesítica y basáltica a 1100°C. Un magma de composición intermedia con 2.5% H₂O requeriría 75, 60 y 10 % de cristalización para alcanzar saturación a 5 kbar (A), 2 kbar (B) y 0.5 kbar (C), respectivamente.



Tomado de Reed (1997); modificado de Burnham y Ohmoto (1980).

7.2 EVIDENCIAS DE LAS ALTERACIONES EN EL INTRUSIVO LA CORONA

En trabajos anteriores se ha sugerido que la variación composicional del intrusivo La Corona se debe a que este experimentó un proceso de cristalización fraccionada el cual va desde una fase básica, hasta una fase intermedia.

Por otro lado, el sector del sienogranito ubicado en el corte de la carretera Quípama-la Victoria ha sido considerado en estudios anteriores (Fabr  y Delaloye, 1982) como un dique Leucocr tico cortando al intrusivo la Corona y emplazado con posterioridad a este durante una etapa orogénica, basándose en datos geoquímicos (Moreno *et al.*, 2004).

Sin embargo las observaciones de campo, así como los estudios de difracción de rayos X, petrografía, microsonda electrónica e inclusiones fluidas sugieren que la variación composicional observada en el intrusivo la Corona, se debe a un camino diferente seguido por este con posterioridad a su etapa magmática.

Los estudios realizados en el marco del presente trabajo, exponen evidencias de que el intrusivo la Corona experimento un fuerte proceso de alteración hidrotermal que lo afecto en toda su extensión vertical (aquí nos referimos a la parte aflorante a lo largo de la quebrada el Cedro y la carretera Quípama-la Victoria).

7.2.1 Evidencias en campo

Las observaciones realizadas en campo muestran que la variación composicional expuesta mediante el cambio de color (de un verde oscuro a un blanco en la parte apical), y la desaparición de minerales máficos y el enriquecimiento de minerales felsicos es continua a lo largo del intrusivo en su extensión vertical.

Los contactos entre los “xenolitos”, y la roca ígnea de color blanco (clasificada mediante el estudio petrográfico como cuarzosienita de feldespato alcalino), no es neto sino difuso y en algunos sectores de este contacto se forman bandas.

El estudio petrográfico realizado a estos contactos, sugieren que estos “xenolitos”, más bien son restos de rocas gabroides (clasificadas petrográficamente como melanogabro) que no alcanzaron a ser totalmente alteradas hidrotermalmente. Por otro lado, la presencia de minerales de alteración como cloritas en la parte interior y actinolita y epidota en la parte superior del intrusivo dan evidencias en campo de la alteración hidrotermal que afecta al intrusivo.

7.2.2 Evidencias mineralógicas

A través de los estudios de difracción de rayos X; se identificaron la presencia de minerales íntimamente relacionados con los procesos de alteración hidrotermal, tales como clorita, illita, epidota, tremolita y actinolita (la pennatita es un mineral del grupo de la clorita y la saponita es un mineral de grupo de la esmectita) a lo largo del plutón la Corona.

La presencia de epidota indica que los fluidos hidrotermales provienen del mismo magma, sugiriendo, que el intrusivo la Corona, experimentó un proceso de alteración hidrotermal en el cual hubo una interacción entre el plutón, y los fluidos residuales que quedaron al final de la etapa magmática; la distribución de los minerales de alteración en el plutón de la corona (ver Tabla 9) nos permite separar dos zonas características por la presencia de determinados minerales:

- La zona 1 correspondiente a la parte interna del intrusivo (desde la muestra LME-020-005 hasta la muestra CJE-019-002) esta caracterizada por la presencia de clorita, pirita e illita.
- La zona 2 correspondiente a la parte superior y apical del intrusivo (desde la muestra CJE-019-006 hasta la muestra LME-021-001) caracterizada por la presencia de epidota, actinolita y tremolita, indicando claramente que los fluidos hidrotermales se concentraron hacia las partes superiores y la temperatura fue mayor a 220 °C- 250 °C (la actinolita es estable en sistemas hidrotermales que superen una temperatura de 280 °C-300 °C) indicando que el sistema hidrotermal se ubicó en una fase mesotermal o mayor (ver tabla 16).

El análisis de DRX, reveló también la presencia de albita en las rocas sedimentarias en contacto con el intrusivo la Corona, lo que significaría que estas rocas fueron también alteradas por los procesos hidrotermales que afectaron al plutón; formando una aureola alrededor de este. Sin embargo esto es una manifestación muy local y no tiene nada que ver con la albitización relacionada con la mineralización responsable de la formación de esmeraldas en el cinturón occidental.

TABLA 16. Fases postmagmáticas e hidrotermales

Temp. en °C	Nombres		Minerales comunes	Mineralizaciones
> 650°	<u>fase magmática principal</u>			
> de 500° C	<u>pegmatítica</u>		Feldespatos, <u>cuarzo</u>	Beril Monacita
400-500°	neumatolítica		<u>cuarzo</u> , <u>pirita</u>	SnO2 (Fe,Mn)WO4
300-400°C	Hi dro	katatermal	<u>cuarzo</u> , <u>pirita</u> , <u>epidota</u> , biotita, <u>granate</u> , diopsita, <u>actinolita</u> , tremolita	FeAsS Bi2S3 CuFeS2 (Calcopirita)
200-300°	ter mal	mesotermal	<u>cuarzo</u> , <u>pirita</u> , <u>epidota</u> ,	ZnS <u>CaCO3</u> PbS
100-200°C		epitermal	<u>cuarzo</u> , <u>pirita</u> , montmorillonita	(CaMg)CO3 Sb2S3 FeCO3
0-100° C	fase teletermal		<u>cuarzo</u> , <u>pirita</u>	HsS AsS, AS2S3 CaF2 <u>Baritina</u>

Tomado de <http://www.geovirtual.cl/depos/ftermal01.htm>

7.2.3 Evidencias Petrográficas

La petrografía, realizada a varias muestras recolectadas, a lo largo de la quebrada el Cedro y en el corte del intrusivo con la carretera Quípama- la Victoria (ver Figura 14), aporta evidencias de un fuerte proceso de alteración hidrotermal que afectó al plutón de la Corona y originó la variación composicional que se observó en campo.

El estudio en las secciones delgadas LME-020-005, LME-020-004 y LME-020-003, muestra claramente una intensa alteración de minerales máficos como hornblendas y piroxenos a clorita, la cual los rodea por los bordes y por los planos de exfoliación; además se observa, alteración de piroxeno a hornblenda. Por otro lado, también se observaron restos de piroxenos asociados con cloritas, y cristales aislados de este último mineral, junto con opacos y apatitos incluidos en albitas.

Las asociaciones paragenéticas presentes en las secciones delgadas anteriormente mencionadas son:

- Hornblenda + Clorita + Albita
- Piroxeno + Clorita + Albita + Apatito + Opacos
- Piroxeno + Hornblenda + Albita
- Piroxeno + Clorita + Albita
- Albita + Clorita + Piroxeno + Opacos

En las secciones delgadas CJE-019-006 (1), CJE-019-006(2) y LME-021-001, se observa la presencia de cristales idiomórficos de calcita aislados; epidota y actinolita asociadas con la albita y el cuarzo; e inclusiones de clorita en cristales de albita, a nivel local. Por otro lado, se observa, en el contacto entre el melagabro hornblendico y la cuarzosienita de feldespato alcalino, presencia de epidota y actinolita junto con albita y cuarzo. Estos minerales se disponen en bandas o en forma aleatoria. En el melagabro hornblendico las fronteras entre granos minerales, están formadas por microcristales de epidota y actinolita.

La asociación paragenética presente es:

- Albita + Cuarzo + Epidota + Actinolita + Clorita + Calcita

Se observó en todas las secciones delgadas, la presencia de una leve alteración e sericita, presente en los cristales de albita y feldespato potásico; el contenido de sericita, tiende a incrementarse hacia las partes apicales.

El estudio petrográfico sugiere, que el intrusivo La Corona, sufrió una alteración deutérica, en la cual los fluidos exseltos de la cristalización del magma y ricos en Sodio, interactuaron químicamente con los minerales formados en la etapa magmática. Durante este proceso ocurre una alteración temprana de piroxenos a clorita y hornblenda secundaria, y de hornblenda hacia clorita, y un posterior crecimiento y depositación de albita.

Las asociaciones paragenéticas presentes hacia las partes superiores y apicales del plutón La Corona (secciones delgada CJE-019-006 (1), CJE-019-006 (2) y LME-021-001), nos sugieren que el ambiente en el que ocurrió esta alteración, fue mesotermal en un medio alcalino con un pH alto (Corbett y Leach, 1998). Según la asociación de minerales encontradas en el intrusivo la Corona, la alteración hidrotermal, podría enmarcarse como propilítica, sin embargo hay que tener en cuenta que estas alteraciones han sido estudiadas en porfidos cupríferos; en nuestro caso, El intrusivo la Corona es un gabro; por lo que la alteración experimentada por este cuerpo debe ser considerada deutérica en la cual se involucraron fluidos de origen magmático.

La alteración deutérica experimentada por el plutón de la Corona, se enmarca dentro de la Facie Esquistos Verdes (300 °C- 500 °C), subfacie clorita; según las asociaciones paragenéticas observadas (Turner, 1960), por lo tanto la alteración hidrotermal que afectó al intrusivo la Corona, se ubica entre las fases mesotermal y neumatolítica.

El estudio petrográfico, aporta evidencias de que la alteración deutérica experimentada por el intrusivo La Corona, originó una episienitización, ya que a

raíz del enriquecimiento secundario de albita, y la destrucción de minerales máficos durante el proceso hidrotermal, en las partes superiores del intrusivo, las rocas sufren una variación composicional desde gabros en las partes internas, a rocas sieníticas y sienogranitos en las partes superiores y apicales del intrusivo, como fue observado en campo.

7.2.4 Evidencias a partir de los análisis de Química Mineral

El análisis de microsonda electrónica, nos muestra que durante la alteración deutérica experimentada por el intrusivo la Corona, se da un proceso de reemplazo o remplazamiento reactivo al interactuar químicamente, la solución hidrotermal rica en sodio con los minerales originales de la etapa magmática.

Los análisis de química mineral, realizados en puntos pertenecientes a plagioclasas y feldespatos potásicos revelaron un predominio de Sodio, y un reemplazo del Potasio y del Calcio por el Sodio, cuyo contenido tiende a incrementarse hacia los bordes del mineral; sugiriéndonos que durante el fenómeno de alteración deutérica, muchos minerales fueron inestables en esas condiciones y tendieron a ser reemplazados por nuevos minerales que son estables o al menos metaestables en las mismas condiciones. Además, este estudio indica que el fluido hidrotermal debió haber sido rico en sodio y este al interactuar con los minerales produjo un remplazamiento pseudomórfico de estos.

Moreno *et al.*,(2004), utilizando los diagramas de Ernst y Liu (1998), obtuvieron una temperatura de aproximadamente 450 °C al utilizar los contenidos de titanio y aluminio presentes en hornblendas que analizaron mediante sonda electrónica; según este dato la zona mas interna del intrusivo la Corona (representada por la muestra LME-020-005, correspondiente a la parte mas profunda del intrusivo)

estaría en una fase neumatolítica (ver Tabla 12), indicando un estado de alteración muy temprano durante las etapas finales de cristalización del magma.

7.2.5 Evidencias a partir de los datos de inclusiones fluidas

Los datos de microtermometría, obtenidos al someter a las familias de inclusiones fluidas a un enfriamiento y posterior calentamiento; nos indican claramente que el proceso de alteración hidrotermal que afectó al plutón de la Corona, y el proceso hidrotermal responsable de la formación de las familias de IF, no tienen ninguna relación entre sí. La temperatura de homogenización fue obtenida a partir de una inclusión secundaria; además, es demasiado baja, para las temperaturas propuestas en la alteración hidrotermal del intrusivo la Corona, en base a estudios anteriores (Moreno *et al.*, 2004), y a los análisis que se hicieron durante el presente trabajo de investigación.

Es muy probable, que los eventos hidrotermales relacionados con la intrusión la Corona y la formación de las inclusiones fluidas sean diferentes en escala temporal. En base a datos paleontológicos obtenidos en estudios anteriores (Moreno *et al.*, 2004), y en las relaciones de campo vistas tanto en el área de estudio, como en las mineralizaciones esmeraldíferas en el cinturón occidental, la formación de las inclusiones fluidas correspondería a un evento termal posterior al del intrusivo la Corona.

8. CONCLUSIONES

- El intrusivo La Corona, es un cuerpo de naturaleza gabroide aflorante a lo largo de la Quebrada el Cedro (Municipio La Victoria, Dpto. de Boyacá), hace parte del sistema de cuerpos básicos aflorantes en la Cordillera Oriental, los cuales se originaron durante el evento extensional ocurrido en Cretaceo inferior debido a un adelgazamiento de la litosfera.
- En campo la intrusión de La Corona corta discordantemente niveles lodolíticos grises oscuros, tabulares con estratificación plano paralela y continua de la Formación Capotes, de edad Cretácico Inferior (aptiano tardío- albiano temprano). Este cuerpo, varía en color desde un verde oscuro (en su parte más interna) hasta un gris claro a blanco (en su parte más externa, apical).
- Petrográficamente las rocas del intrusivo La Corona fueron clasificadas como Leucogabronorita Piroxeno-hornblendica, Sienita de Feldespato alcalino, Cuarzosienita de feldespato alcalino y Sienogranito. Las asociaciones paragenéticas sugieren que el intrusivo la corona experimento un proceso de alteración hidrotermal importante, el cual no afectó sustancialmente las rocas encajantes. Por esta razón, se considera que esta alteración hidrotermal es producida por las aguas hidrotermales exsultas en los estadios tardíos de la cristalización del cuerpo ígneo (alteración deuterica).
- Los análisis de DRX identificaron la presencia de Albita, Feldespato potásico (Ortoclasa y Microclina), Cuarzo, Anfíboles (Hornblenda), Piroxeno (Diopsido), Clorita, Epidota, Actinolita, Tremolita, Calcita, Dolomita, illita, Pirita, .Apatito, tanto en muestras pertenecientes al intrusivo de La Corona y a las rocas sedimentarias encajantes. La presencia de minerales de

alteración estableció dos zonas de alteración en el intrusivo: la primera correspondiente a la parte interna del intrusivo caracterizada por la presencia de clorita, illita, y piritita; y la zona 2 correspondiente a la parte superior del intrusivo caracterizada por la presencia de epidota, tremolita y actinolita.

- La presencia de epidota y actinolita en el cuerpo ígneo de la corona, indican que la temperatura del sistema hidrotermal debió superar los 250 °C-300 °C, lo cual apunta a condiciones de tipo mesotermal.
- Los análisis de química mineral, sugieren que durante la alteración hidrotermal, se da un remplazamiento reactivo de minerales, al interactuar los minerales de la etapa magmática con un fluido rico en Sodio.
- Los análisis realizados aportan evidencias de que el intrusivo La Corona experimentó un proceso de alteración hidrotermal deutérica, responsable de la episenitización de tipo albitítica que se observa en la zona apical de éste cuerpo ígneo.
- Los estudios de inclusiones fluidas, indican que los eventos hidrotermales del plutón La Corona, y las venas de calcita, no tienen ninguna relación entre sí, y son diferentes en escala temporal.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar análisis de isótopos de oxígeno en la roca sedimentaria en contacto con el intrusivo La Corona, para determinar si existe mezcla de fluidos de origen hidrotermal con fluidos de origen meteorico o connato.
- Hacer un muestreo con mas detalle y densidad a lo largo de la quebrada el Cedro y el corte del intrusivo con la carretera Quípama- la Victoria, con el objetivo de estudiar mas a fondo la variación composicional del intrusivo tanto en muestra de mano como en sección delgada y determinar a detalle la zonalidad de las alteraciones hidrotermales que afectaron al plutón (a escala más detallada que la presentada en éste trabajo).
- Realizar estudios de inclusiones fluidas en minerales generados durante la alteración hidrotermal deuterica, en aras de precisar las temperaturas a las que se formaron estos minerales y la profundidad a la que ocurrió esta formación.
- Hacer estudios al SEM de las IF con sólidos, en aras de precisar la naturaleza de los mismos.
- Realizar estudios de geoquímica isotópica, tendientes a caracterizar la fuente del fundido magmático y la evolución geoquímica del fluido hidrotermal responsable de la alteración deuterica.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLESTEROS, C. I., (1989). Petrographic study of the Lower Cretaceous, Arcabuco, Cumbre and Rosablanca Formations, sabanagrande- El Peñon-Hoya de Panama area, Departamento de Santander, Colombia, (M. Sc. Thesis).- 60 p., University of South Carolina, U:S:A.
- BURHAM, C. W., & OHMOTO, H., (1980). Late-Stage Processes of Felsic Magmatism. Mining Geology Special Issue, No. 8, 1-11.
- BURGL, H., (1961). Historia geológica de Colombia.-Revista de la Academia Colombiana de Ciencia Exactas, Físicas y Naturales, 11 (43), p. 137-194, Bogotá.
- CAMPBELL, C. J., BURGL, H. (1965). Section Through The Eastern Cordillera of Colombia. - Bulletin of the Geological Society of America, v.76 (5), p. 567-589.
- CAMPBELL, C., (1974). COLOMBIAN Andes.- Spencer, A.M., ed. Mesozoic-Cenozoic orogenic belts, p 705-723, Geological Society of London, special publication No 4, London.
- CORBETT, G. J., LEACH, T. M., (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist, Special Publication Number 6, 237 p.
- ERNST, K & LIU, J., (1998). Experimental phase-equilibrium study of Al and Ti contents of calcic amphibole in MORB-A semiquantitative thermobarometer. American Mineralogist, Vol. 83.
- FABRE, A., & DELALOYE, M. (1982). Intrusiones básicas cretácicas en las sedimentitas de la parte central de la Cordillera Oriental.- Geología Norandina N° 6., p 19-28, Bogotá.

- GANSSER, A. (1955). Ein Beitrag zur Geologie und Petrographie der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien, Sudamérica).- Min. Petr. Mitt., 35 (2), p. 209-279.
- GARCÍA, R. C. A., (1996). Manual de Laboratorio de Petrología Ígnea. UIS edts. 109 p.
- -----, (1997). Manual de laboratorio de Petrología Metamórfica. UIS edts. 74 p.
- GIGGENBACH, W. F., (1997). The Origin and Evolution of Fluid in Magmatic-Hydrothermal Systems. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication, 737-796.
- HEMLEY, J. J., JONES, W. R., (1964). Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. Economic Geology, 64, 538-569.
- HIBBARD, M. J., (1995). Petrography to petrogenesis. Prentice Hall, edits. 587 p.
- <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ALTERACIÓN.pdf> : alteración hidrotermal.
- <http://www.cideteq.mx/index/analisisquim>: difracción de rayos X
- http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_05.html: dispersión y difracción de rayos X
- <http://geovirtual.cl/depos/fthermal/01.htm> : fases postmagmáticas e hidrotermales
- http://cabierta.uchile.cl//revista/11/biblioteca/1_31/index.html : hidrotermalismo
- <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/profluid/ptext/10001intro.htm> : Inclusiones fluidas
- <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/reacciones.html> : reacciones fluido roca más comunes en procesos de alteración relacionados con la actividad hidrotermal.

- INGEOMINAS (1983). Mapa de terrenos geológicos de Colombia.- Pub. Geol. Esp., Ingeominas No 14, Bogotá.
- LEEDER, O., THOMAS, R., KLEMM, W., (1987). Einschlüsse in Mineralen. - Enke (Stuttgart).
- LLERAS CODAZZI, R., (1926). Notas geográficas y geológicas.-Imprenta Nacional.
- MEYER, C., HEMLEY, J. J., (1967). Wall Rock Alteration. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Primera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), Holt, Rinehart and Winston Inc. Publication, 166-235.
- MORENO, J.M. & Conche, A.E. (1993). Nuevas manifestaciones ígneas básicas en el flanco occidental de la Cordillera Oriental, Colombia.- geología Colombiana, 18, pp. 143-150, 2 figs., 2 tablas, Bogotá.
- MORENO, J.M., CONCHA PERDOMO, A. E., TENJO GIL N.C., & PARTARROYO GAMA P. (2004). Caracterización Petrográfica y Geoquímica del “Gabro de la corona”, Municipio de la Victoria, Boyacá- Colombia.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 29, pp. 107-125, 30 Figs., Bogotá.
- NAVARRETE R., A.T., MORENO-MURILLO, J.N., CONCHA PERDOMO, A.E. & PATARROLLO GAMA, P., (2002). Interpretación Petrogenética del Gabro de Tragarepas al norte de Pacho- Cundinamarca, Colombia.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 27, pp. 109-120, 17 Figs., 3 Tablas, Bogotá.
- PRATT, S., (1961). The Muzo emerald mine.- Geological field trip, Colombia, 1959-1978, p. 33-63. Col. Soc. Petrol. Geol. Geophys., Bogotá.
- REED, M. H., (1997). Hydrothermal Alteration and Its Relationship to Ore Fluid. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication, 303-366.
- REYES, G., MONTOYA, D., TERRAZA, R., FUQUEN, J., & MAYORGA, M., (2006). Memoria Geológica del Cinturón esmeraldífero Occidental, Informe de Avance, Ingeominas, Bogotá.

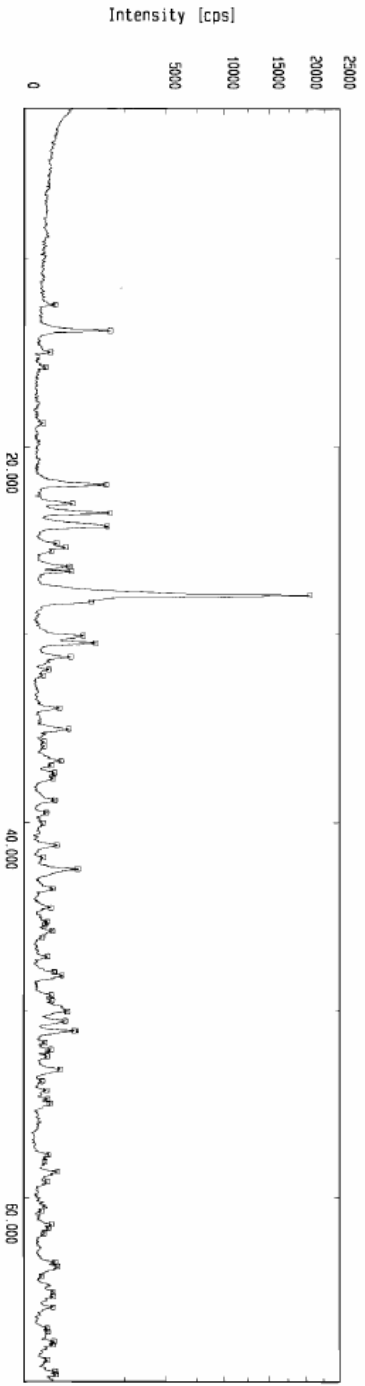
- RODRIGUEZ, E. & ULLOA, C. (1994). Mapa Geológico de Colombia. Plancha 189 – La palma. Escala 1: 100000. Memoria resumida. INGEOMINAS. Bogotá.
- ROSE, A. W., BURT, D. M., (1979). Hydrothermal Alteration. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. publication, 303-366.
- STRECKEISEN, A., (1976). To each plutonic rock its proper name. Earth science Reviews. 12. pp. 1-33
- TENJO, G. N. C., (2003). Reconocimiento geológico de rocas ígneas básicas aflorantes en los alrededores de la Victoria Boyacá- Colombia. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C.
- TURNER, F., (1960). Igneous and metamorphic petrology. 2a ed. New York. Mc Graw-Hill Book Co.
- TRUMPY, D., (1943). Pre-Cretaceous of Colombia. - Bulletin of the Geological Society of America, v.54, p. 1281-1304.
- UJUETA, G, (1991). Tectónica y actividad ígnea en la Cordillera Oriental de Colombia (sector Girardot- Cúcuta). - Simposio sobre Magmatismo Andino y su marco tectónico. Memoria Tomo I, p. 151-193, Manizales.
- VASQUEZ P., M.; CONCHA P., A. E. & MORENO M, J. M., (2000). caracterización geoquímica y Petrografía de los Cuerpos Intrusivos Básicos, aflorantes en la Región de Cáceres y Puerto Romero, Departamento de Cundinamarca y Boyacá, Colombia.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 25, pgs. 185-198, 14 Figs., 3 Tablas, 2 Láminas, Bogotá.

ANEXOS

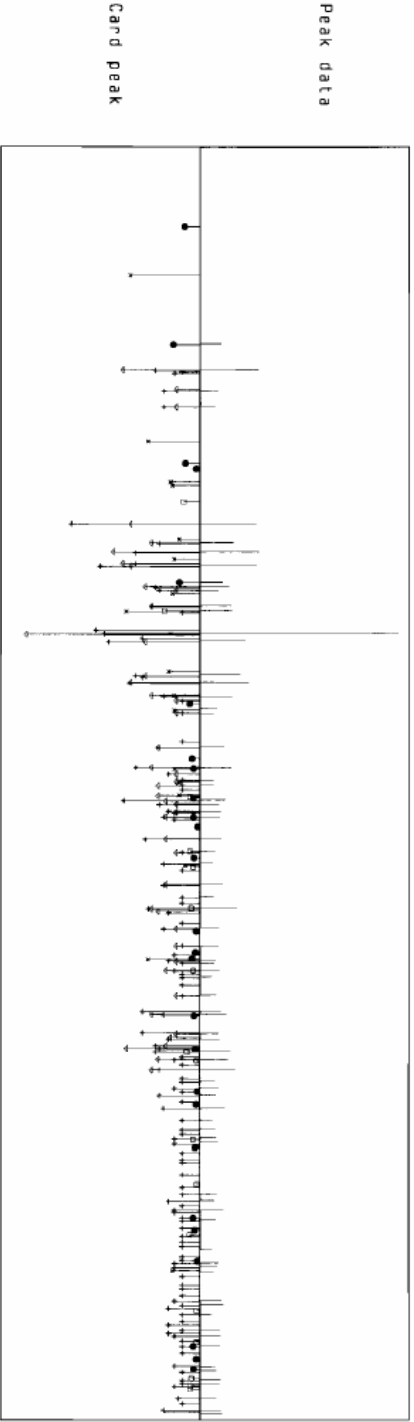
ANEXO 1 DIFRACTOGRAMAS DE DRX

Qualitative analysis (2nd Search-match)

Sample : LME-020-003 File : Jaime.9783 Date : 04-Jul-06 22:28
 Comment : Esmeraldas Operator : dmax



Peak data

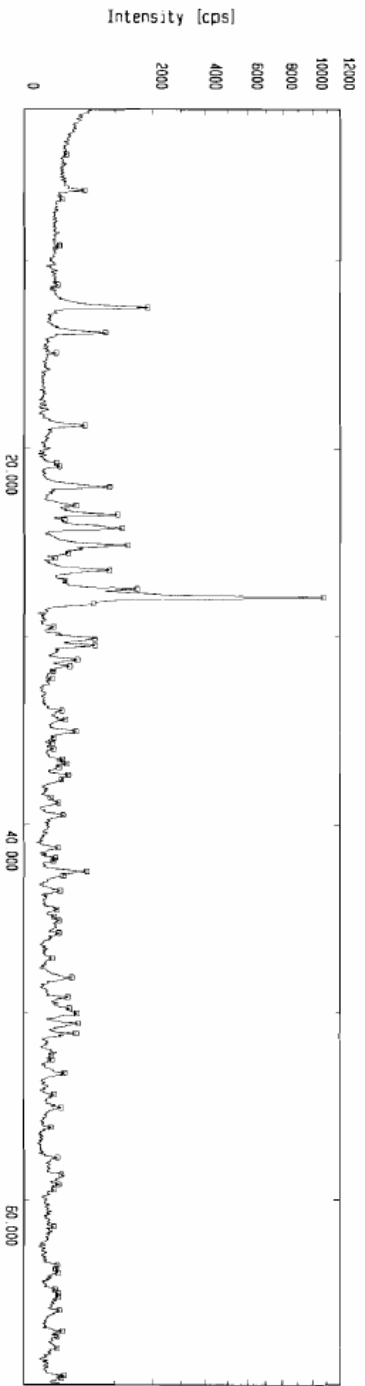


Card peak

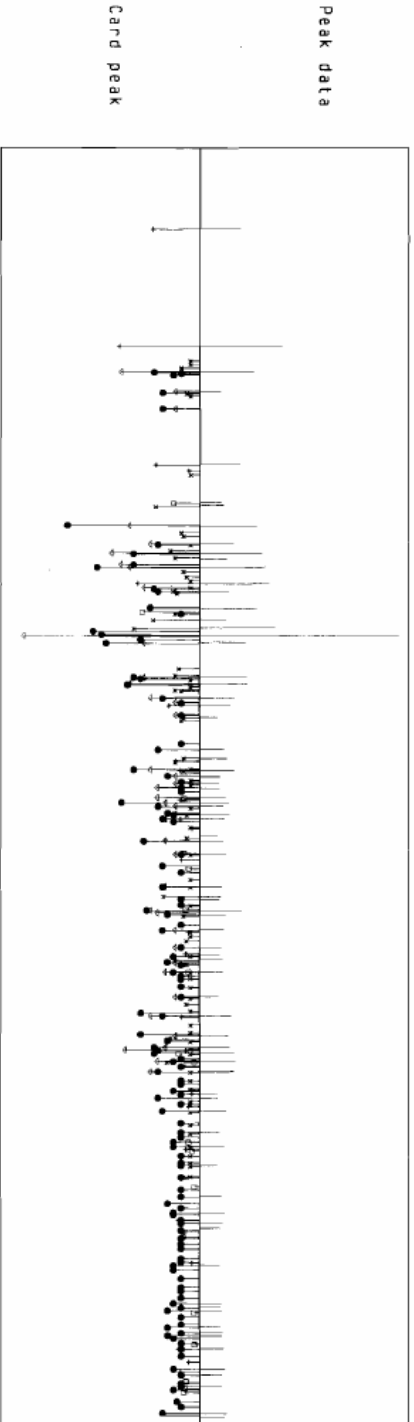
Symbol	Card	Phase	Match
□	33-1161	Si O2	x
▽	09-0466	Na Al Si3 O8	x
+	19-1184	Na Al Si3 O8	x
●	29-0701	(Mg , Fe)6 (Si , Al)4 O11 clinochlore-1M#1I#b	I
X	26-0911	(K , H3 O) Al2 Si3 Al O10 illite-2M#1	I

Qualitative analysis (2nd Search-match)

Sample : LMC-020-004 File : Jaime.9784 Date : 04-Jul-06 22:43
 Comment : Esmeraldas Operator : dmax



Peak data



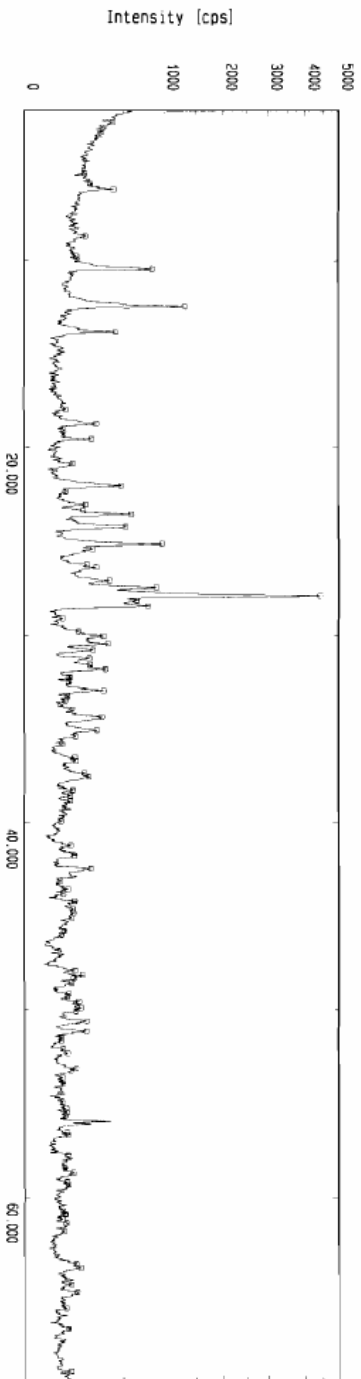
<input type="checkbox"/>	33-1161	Si	O2	Quartz, syn	*	X
<input type="checkbox"/>	09-0466	Na	Al	Si3 O8	Albite, ordered	* + + + +
<input type="checkbox"/>	29-0701	Mg	Fe	Si	Clinochlore-1M#1#0	I + + + +
<input type="checkbox"/>	19-1184	Na	Al	Si3 O8	Albite, ordered	I + + + +
<input type="checkbox"/>	19-0932	K	Al	Si3 O8	Microcline, intermed	I + + + +

Qualitative analysis (2nd Search-match)

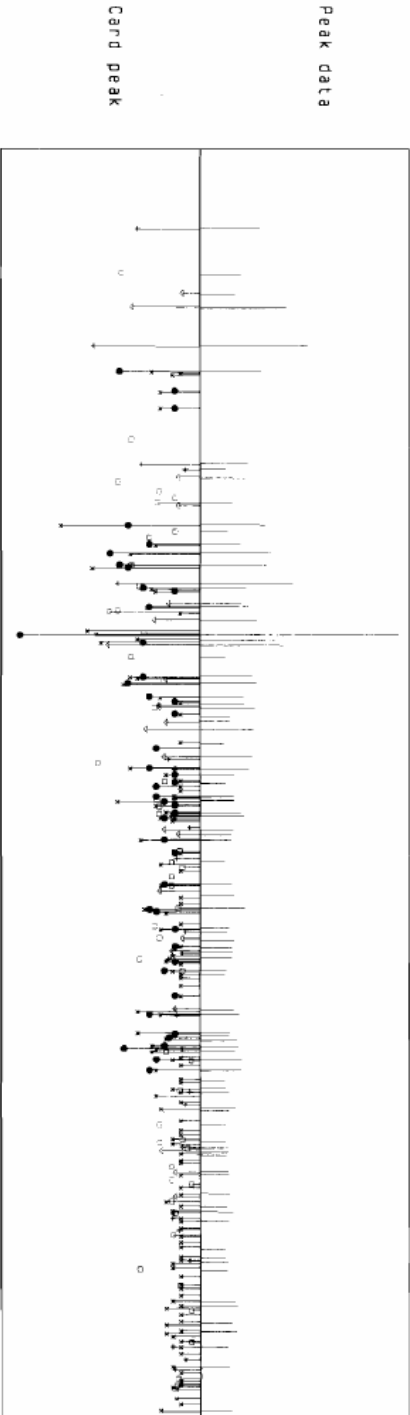
Sample : LME-020-005
 Comment : Esmeraldas

File : Jaime.9785
 Operator : dmax

Date : 04-Jul-06 23:36



Peak data

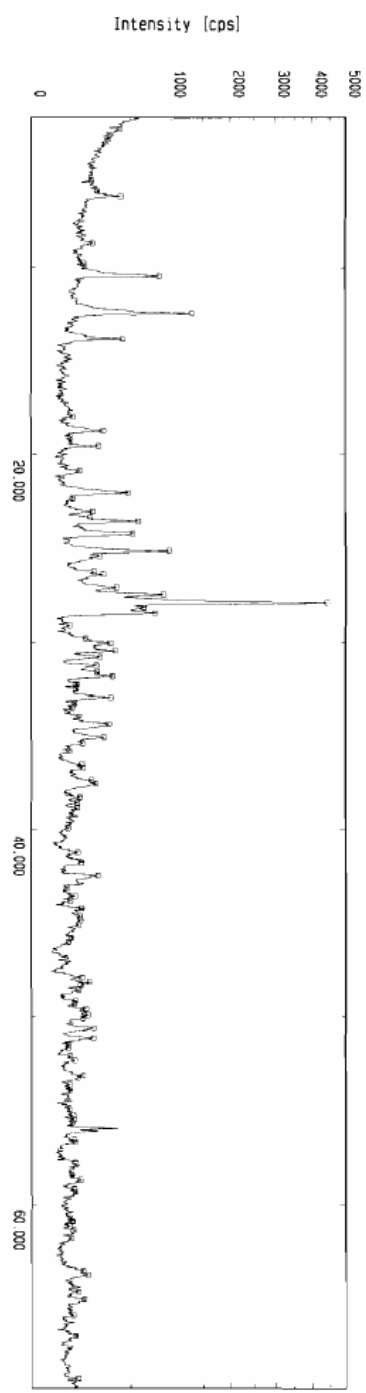


Card peak

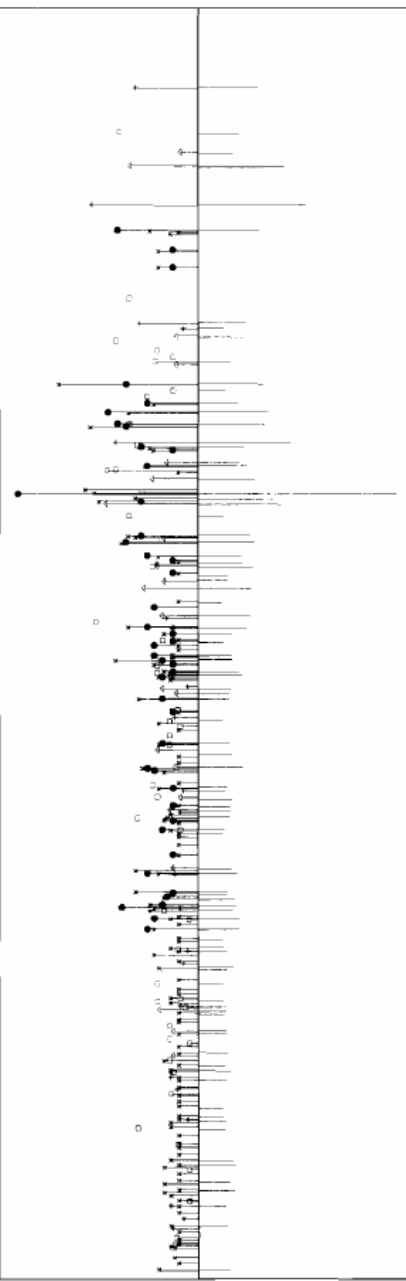
□	33-1161	Si	02	Quartz, syn	*	□	24-0495	K0.7	Al2.1	(Si	Al	4	010	Albite-2M#2	*	0
▽	21-0149	Ca2	(Mg, Fe)5	(Si, Al)	Magnesiophenolende	I	††									
+	29-0701	(Mg, Fe)6	(Si, Al)4	01	Clinocllore-1M#1#b	I	††									
●	09-0466	Na	Al	Si3	08	Albite, ordered										
X	19-1184	Na	Al	Si3	08	Albite, ordered										

Qualitative analysis (2nd Search-match)

Sample : LME-020-005 File : Jaime.9785 Date : 04-JUL-06 23:36
 Comment : Esmeraldas Operator : dmax



Peak data



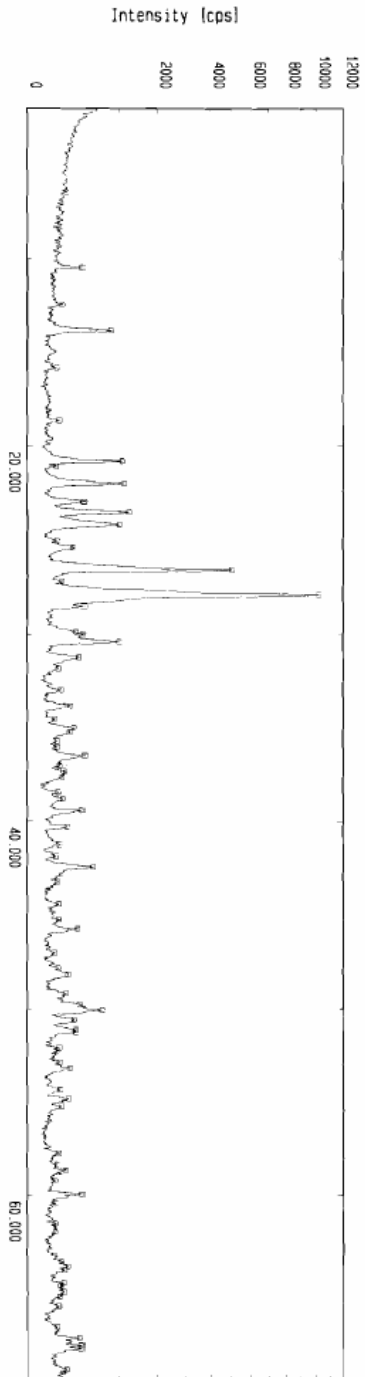
33-1161 Si 02 Quartz, syn *
 21-0149 Ca2 (Mg, Fe) 5 (Si, Al) Magnesionorndiende. I *
 29-0701 (Mg, Fe) 6 (Si, Al) 4 01 Clinocllore-1M#1#b I *
 09-0466 Na Al Si3 08 Albite, ordered } I *
 19-1184 Na Al Si3 08 Albite, ordered } I *

Qualitative analysis (2nd Search-match)

Sample : LME-021-001
 Comment : Esmeralda088

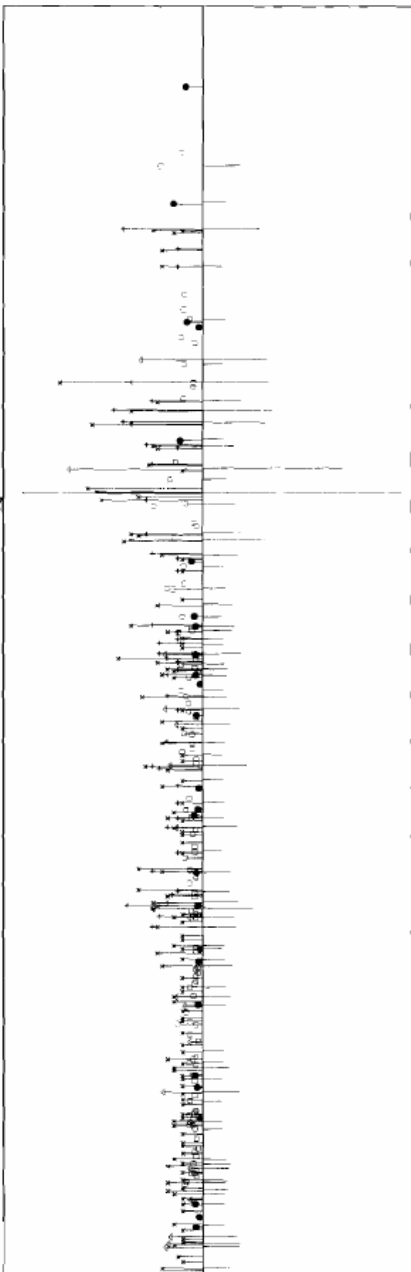
File : Jaime:9788
 Operator : dmax

Data : 05-JUL-06 00:06



Peak data

Card peak



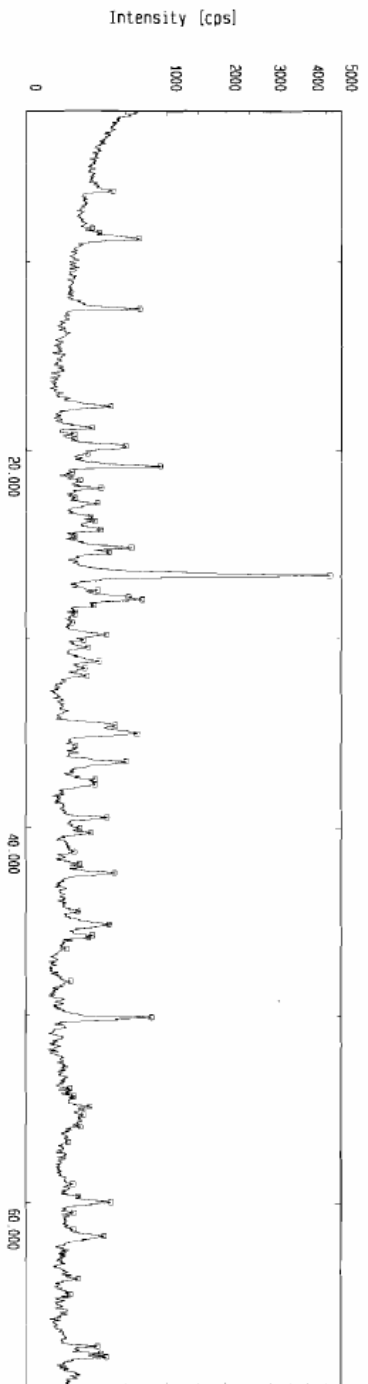
42-1340	Fe S2	Pyrite	
33-1161	Si O2	Quartz, SYN	+
09-0466	Na Al Si3 O8	Albite, ordered	+
29-0701	(Mg, Fe)6 (Si, Al)4 O11	Clinoclinoite-1M#1#1#0	I
19-1184	Na Al Si3 O8	Albite, ordered	I
		41-1366	Ca2 (Mg, Fe)5 Si8 O22 (O Actinolite)

Qualitative analysis (2nd Search-match)

Sample : LME-021-002
 Comment : Emeraldas

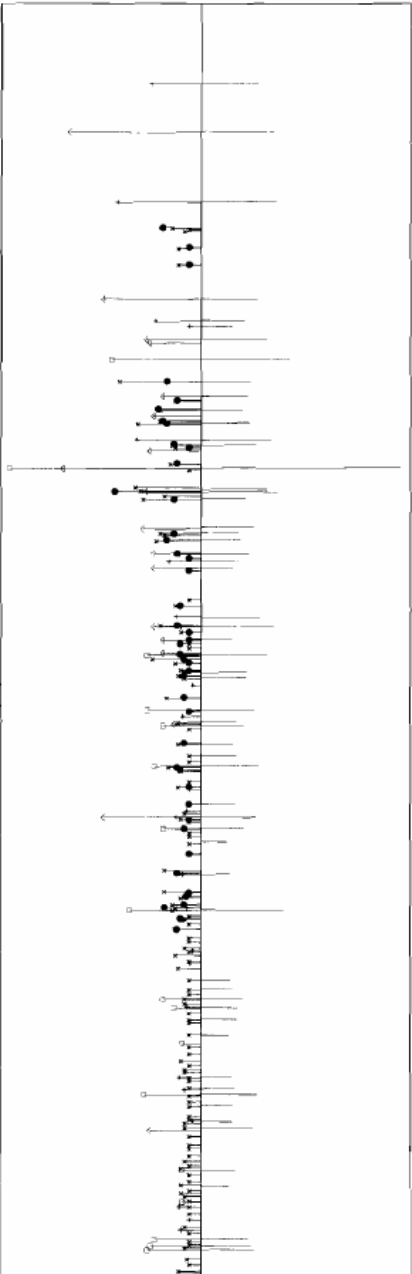
File : Jaime.9789
 Operator : dmax

Date : 05-Jul-06 00:44



Peak data

Card peak



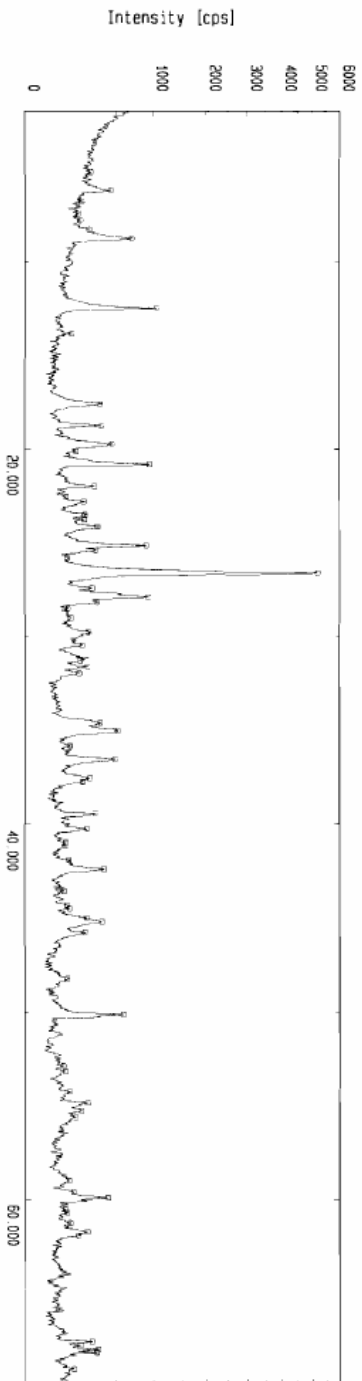
Symbol	Card	Phase	Match
□	33-1161	Si ₂ O ₂	x
▽	26-0911	(K, H3 O) Al ₂ Si ₃ Al ₂ O ₁₀	x
+	29-0701	(Mg, Fe) Al ₂ Si ₃ Al ₂ O ₁₀	x
●	09-0466	Na Al ₂ Si ₃ O ₈	x
x	19-1184	Na Al ₂ Si ₃ O ₈	x

Qualitative analysis (2nd Search-match)

Sample : LME-021-003
 Comment : Esmeraldas

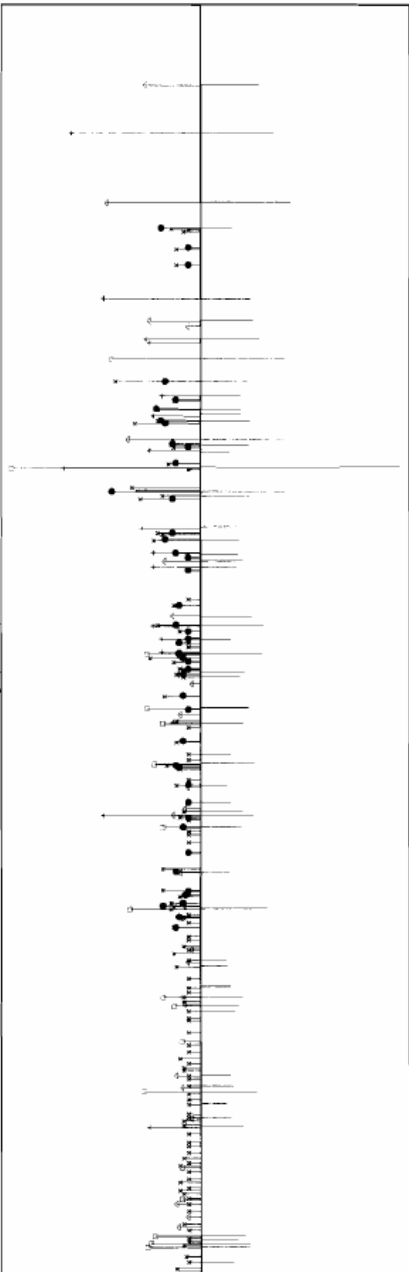
File : Jaime.9790
 Operator : dmax

Date : 05-Jul-06 00:59



Peak data

Card peak



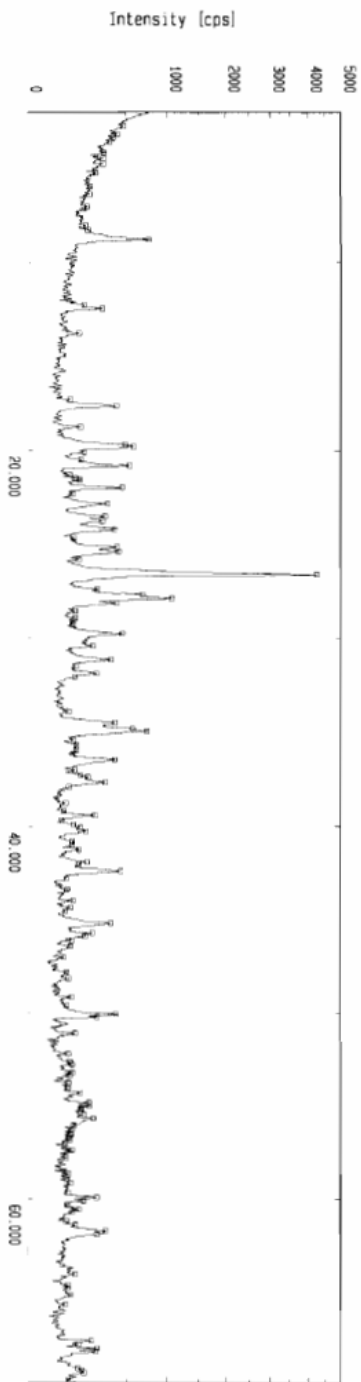
Symbol	Card	Phase	Formula	Structure	Ordering	Match
□	33-1161	SiO ₂	Quartz, SYN			x
▽	29-0701	Mg, Fe, Si, Al	Chlorite-1M1818b	I		+ + + +
+	26-0911	K, H ₃ O	Illite-2M#1	I		+ +
●	09-0466	Na, Al	Albite, ordered			x } + +
x	19-1184	Na, Al	Albite, ordered			I } + +

Qualitative analysis (2nd Search-match)

Sample : LME-021-004
 Comment : Esmeraldas

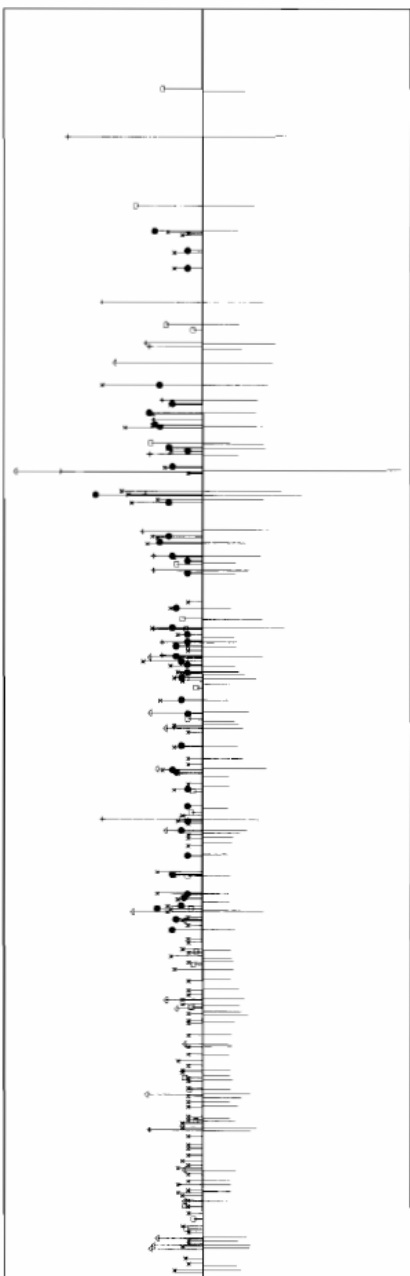
File : Jaime.0094
 Operator : dmax

Data : 02-Aug-06 16:28



Peak data

Card peak



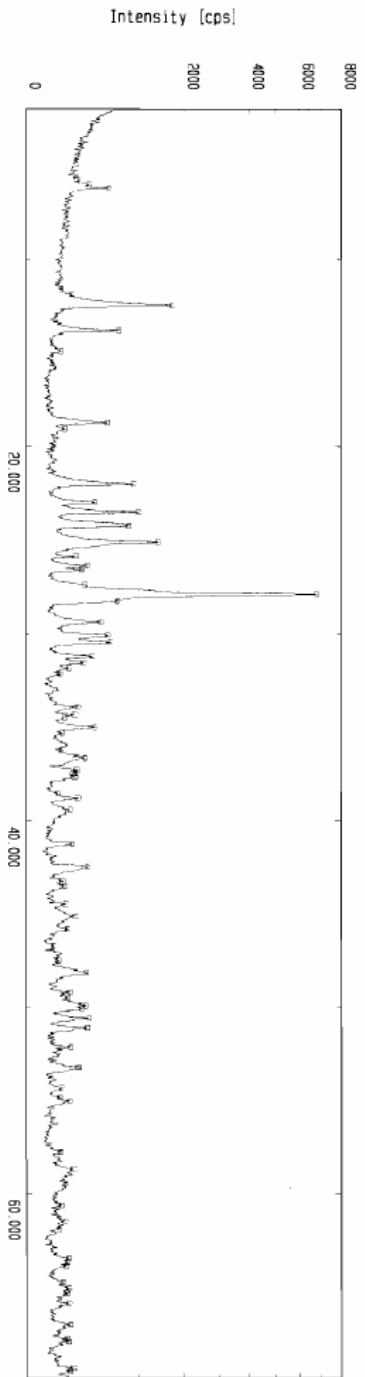
Sample	Reference	Phase	Match
29-0701	[Mg, Fe] 6 (Si, Al) 4 01	Cinnochlorite-1M#11#04	x
33-1161	Si O2	Quartz, syn #11#	x
26-0911	(K, H3 O) Al2 Si3 Al O10	Illite-2M#14#	I
09-0466	Na Al Si3 O8	Albite, ordered #1#	x
19-1184	Na Al Si3 O8	Albite, ordered #1#	I

Qualitative analysis (2nd Search-match)

Sample : CJE-019-001
 Comment : Esmeraldas

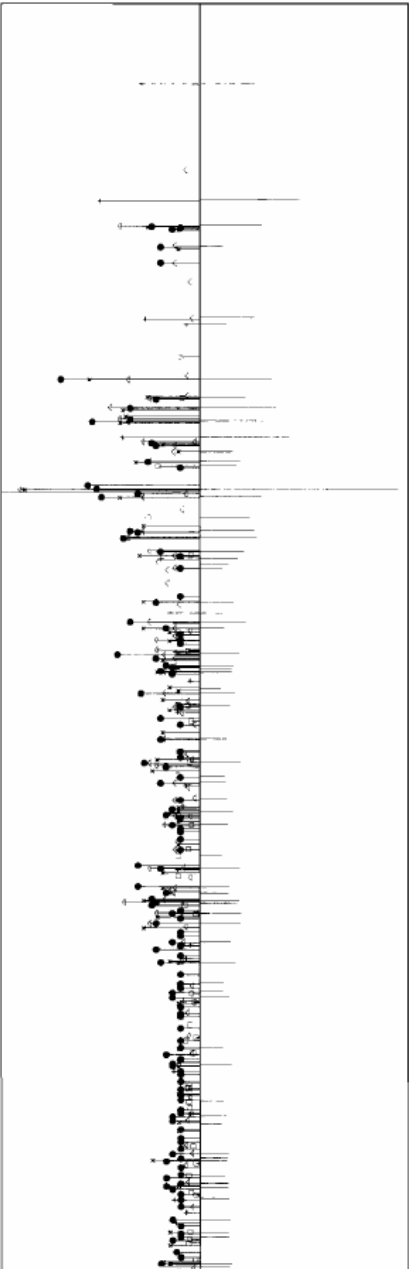
File : Jaime.9792
 Operator : dmax

Date : 05-JUL-06 01:29



Peak data

Card peak



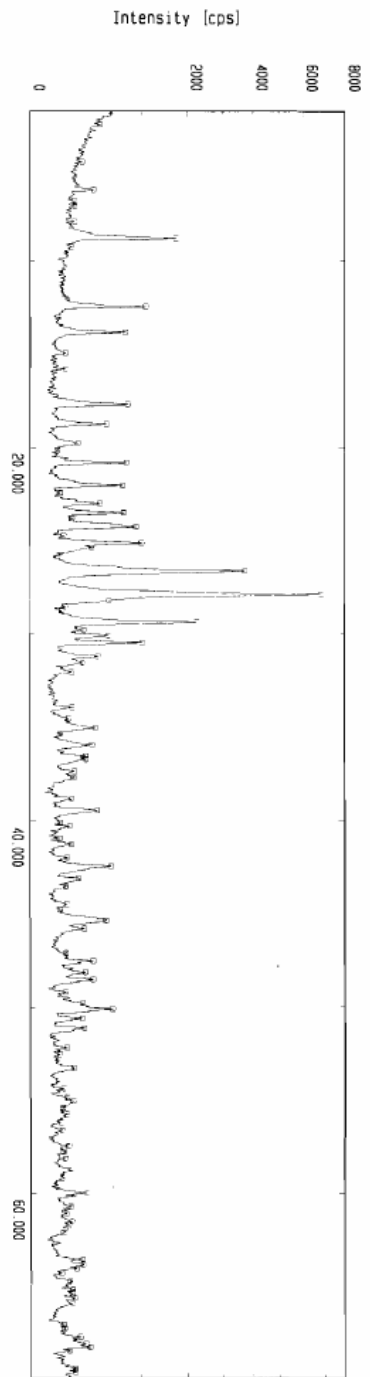
Symbol	Card	Phase	Formula	Weight	Order	Match
□	33-1161	Si ₂ O ₂	Quartz, syn	*	1	.....
▽	09-0466	Na ₂ Al ₂ Si ₂ O ₈	Albite, ordered	f	1	.....
+	29-0701	(Mg, Fe) ₂ Si ₂ Al ₂ O ₈	Clinoclinochlore-1M#1#1#1	f	1	.....
●	19-1184	Na ₂ Al ₂ Si ₂ O ₈	Albite, ordered	f	1	.....
×	41-1480	(Na, Ca) ₂ Al ₂ (Si, Al) ₂ O ₈	Albite, calcian, ord	f	1	.....
			Calcite, syn			.....
			Hydroxylapatite, syn			.....

Qualitative analysis (2nd Search-match)

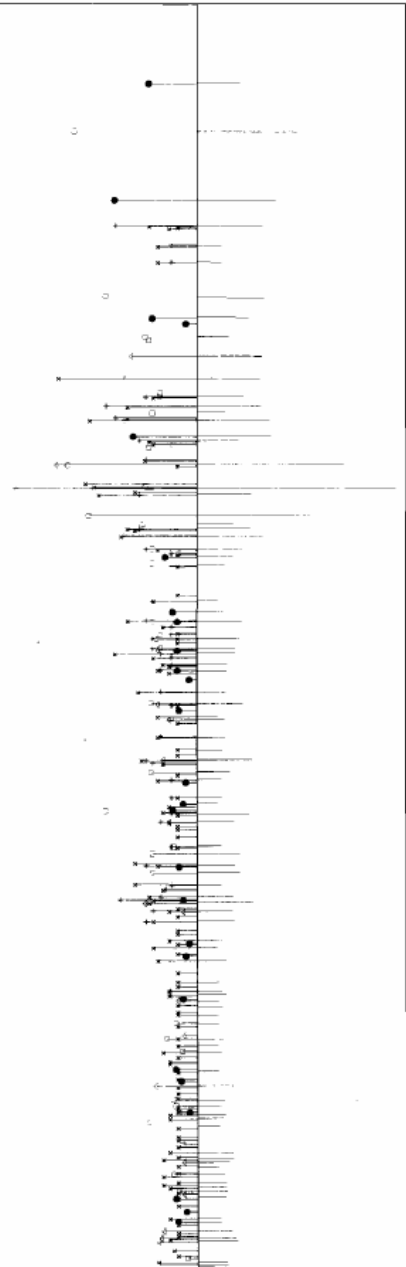
Sample : CJE-019-002
 Comment : Esmeraldas

File : Jaime.9793
 Operator : dmax

Date : 05-JUL-06 01:44



Peak data



Card peak

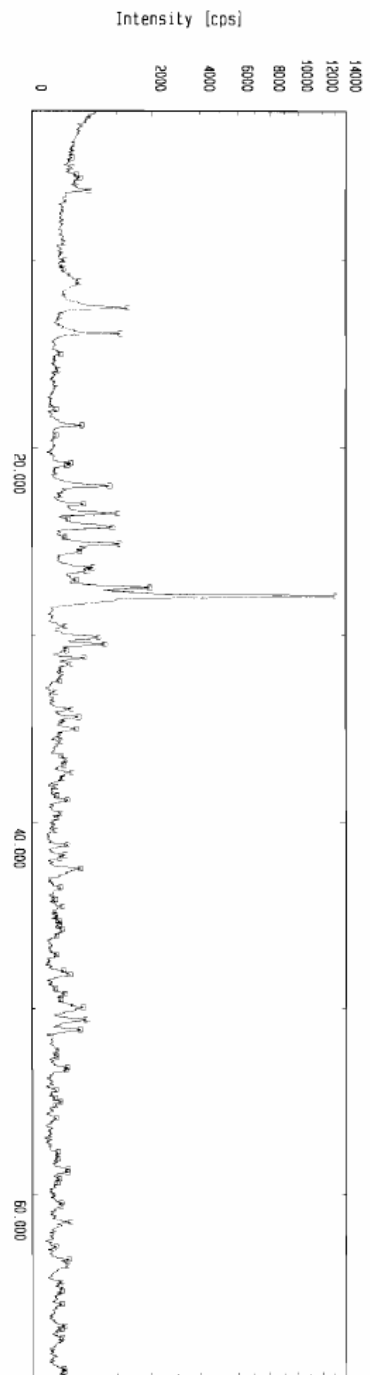
h	k	l	d	Intensity	Phase
05-0586	Ca C O3				Calcite, syn <i>+</i>
33-1161	Si O2				Quartz, syn <i>+</i>
09-0466	Na Al Si3 O8				Albite, ordered <i>+</i>
29-0701	Mg, Fe 16 (Si, Al)4 O11				Clinoclino-1M#1#1#b I <i>+</i>
19-1184	Na Al Si3 O8				Albite, ordered I

Qualitative analysis (2nd Search-match)

Sample : CJE-019-004
 Comment : Esmeraldas

File : Jaime.9795
 Operator : Gmax

Date : 05-Jul-06 02:14



Peak data

Card peak

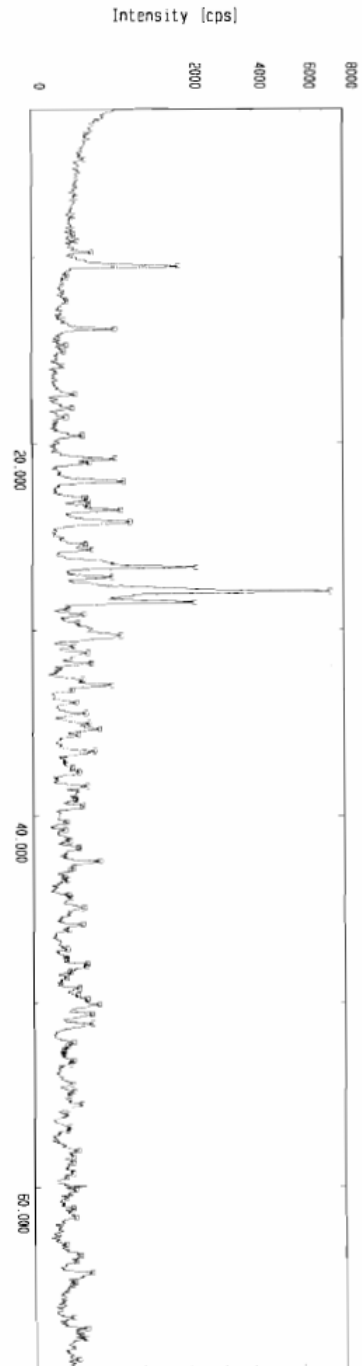
Symbol	Card	Phase	Formula	Match
□	33-1161	Si O ₂	Quartz, SYN	x
▽	42-1340	Fe S ₂	Pyrite	x
+	19-1184	Na Al Si ₃ O ₈	Albite, ordered	x
●	09-0466	Na Al Si ₃ O ₈	Albite, ordered	x
x	29-0701	Mg, Fe } 6 { Si, Al } 4 O ₁	Clinoclino-1M#1#1#b 1	x
			Microcline, Interned I	

Qualitative analysis (2nd Search-match)

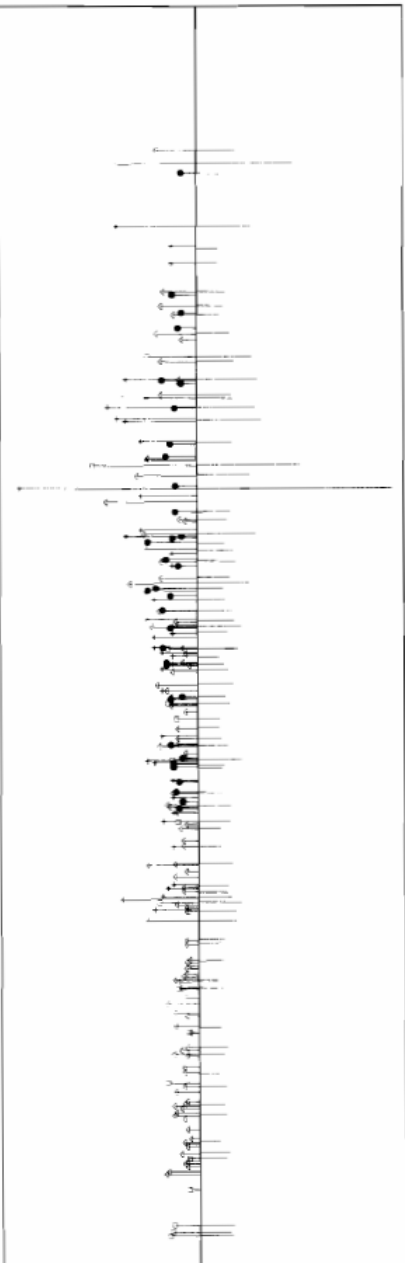
Sample : CJE-019-006
 Comment : Esmeraldas

File : Jaime.9797
 Operator : dmax

Date : 05-JUL-06 02:44



Peak data



Card peak

33-1161 Si O2 Quartz, SYN
 41-1366 Ca2 (Mg, Fe) 5 Si8 O22 (0 Actinolite
 09-0466 Na Al Si3 O8 Albite, ordered
 17-0514 Ca2 Al2 Fe (Si O4) (Si2 O Epidote
 x x x
 I I I
 x x x
 I * ?

ANEXO 2 IMÁGENES DE RETRODISPERSADO

