

**GENESIS Y CARACTERIZACION DE LA MANIFESTACION HIDROTHERMAL
DEL AREA DE BERLIN (MACIZO DE SANTANDER, CORDILLERA ORIENTAL,
COLOMBIA).**

AURA LILIANA URIBE MEJIA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS**

ESCUELA DE GEOLOGIA

BUCARAMANGA

2010

**GENESIS Y CARACTERIZACION DE LA MANIFESTACION HIDROTHERMAL
DEL AREA DE BERLIN (MACIZO DE SANTANDER, CORDILLERA ORIENTAL,
COLOMBIA).**

AURA LILIANA URIBE MEJIA

Trabajo de Grado para optar al Título de Geólogo

DIRECTOR

CARLOS ALBERTO GARCIA RAMIREZ

Geólogo, Ph.D. en Geología y Mineralogía

CODIRECTOR

LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA

Geólogo, Ph.D. en Petrología y Geoquímica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS

ESCUELA DE GEOLOGIA

BUCARAMANGA

2010

DEDICATORIA

A Dios, luz de mi camino y pilar de mi fortaleza.

*A mi madre, orgullo de mi existir y ejemplo de vida; por su amor,
confianza y apoyo incondicional, porque a ella le debo todo.*

A mi padre por su apoyo, compañía y sabios consejos.

*A mis hermanos Julián y Luisa, por ser amigos y cómplices; porque
cada día me llenan de orgullo.*

*A mis sobrinos Juan Diego y Julián David, porque son la luz de mis
ojos; mis muñecos adorados.*

A Tí... por llenar mi vida de felicidad.

AGRADECIMIENTOS

A mi director Carlos Alberto García, por haberme confiado el desarrollo de este proyecto; por su compromiso y sabios consejos; por ser ante todo mi maestro.

A mi codirector Luis Carlos Mantilla por estar siempre dispuesto a enseñar, por su ayuda y por ser guía en el camino a alcanzar esta meta.

Al profesor Oscar M. Castellanos, por su colaboración incondicional y sabios consejos. A Jairo Conde, por su disposición y acompañamiento durante el trabajo de laboratorio.

A todos los profesores de la Escuela de Geología, en especial a Jorge Rubiano y Jairo Clavijo; por su interés en enseñar y su paciencia.

Al grupo de investigación MINPETGEO, el cual financió parte de este proyecto.

A mis amigos Adri Castro, Jesús, Gabriel, Monika, Lizeth, Yamit, Erich, Xavier, Karl, Adri Prada, Leydy, Diego G., Llamosa, Alvaro, Oscar M., Camilo, Carlos M., Carlos H, Juan Darío y Marly por tan buenos e inolvidables momentos, porque de ellos aprendí grandes cosas y porque siempre los recuerdo con mucho cariño. A todas aquellas personas valiosas que conocí en el camino hacia este logro.

Especialmente a Adri Castro, por ser incondicional, sincera, por estar siempre dispuesta a escuchar, por su valiosa amistad; y a Gabriel, por su compañía, apoyo, y particular interés en hacer cada momento especial.

A don Lucho, por su compañía, colaboración, amistad y buena salsa...

A Angélica, por tantos años de amistad desinteresada e incondicional.

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	21
1. OBJETIVOS.....	23
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	23
2. ANTECEDENTES.....	25
2.1 SISTEMA PALEOHIDROTERMAL DEL DISTRITO MINERO VETAS- CALIFORNIA.....	26
3. METODOLOGIA.....	28
3.1 TRABAJO DE CAMPO.....	28
3.2 TRABAJO DE LABORATORIO.....	29
4 GENERALIDADES DEL AREA DE TRABAJO.....	34
4.1 LOCALIZACION.....	34
4.2 VIAS DE ACCESO.....	35
4.3 CLIMA, VEGETACION Y TOPOGRAFIA.....	36
5. MARCO GEOLOGICO.....	38
5.1 ESTRATIGRAFIA.....	38
5.2 ESTRUCTURAS.....	43

6.	DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS FILONES HIDROTERMALES.....	45
7.	CARACTERIZACION DE LOS FILONES HIDROTERMALES.....	47
7.1	MINERALOGIA Y PETROGRAFIA.....	53
7.1.1	Filón Tipo I.....	55
7.1.2	Filón Tipo II.....	58
7.1.3	Filón Tipo III.....	78
7.2	INCLUSIONES FLUIDAS (IF).....	82
7.2.1	Petrografía de Inclusiones fluidas.....	85
7.2.2	Datos Microtermométricos.....	97
7.3	TIPOLOGIA DEL CUARZO.....	104
7.3.1	Características Estructurales (Parámetros de Celda).....	108
8	ROCA CAJA.....	119
8.1	MINERALOGIA Y PETROGRAFIA.....	119
8.1.1	Esquisto cuarzo-grafitoso (Formación Silgará).....	120
8.1.2	Cuarzomonzonita (Cuarzomonzonita de Santa Bárbara).....	125
8.1.3	Monzogranito (Granito de Pescadero).....	130
8.2	MINERALES DE ALTERACION EN LA CUARZOMONZONITA DE SANTA BARBARA (Jcs).....	140
9	CONSIDERACIONES PRELIMINARES SOBRE EL ORIGEN DEL FILON HIDROTERMAL.....	148

10	CONCLUSIONES.....	153
11	RECOMENDACIONES.....	156
12	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	157
12	ANEXOS.....	162

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Localización Geográfica del Corregimiento de Berlín, Municipio de Tona, Santander.....	35
FIGURA 2. Vías principales desde Bucaramanga con señalización del Corregimiento de Berlín.....	36
FIGURA 3. Aspecto Geomorfológico de la zona de estudio. Corregimiento de Berlín, Santander.....	37
FIGURA 4. Geología de la zona de estudio.....	39
FIGURA 5. Aspecto de las dimensiones de la vena de cuarzo que afecta a la Formación Silgará y muestra de la roca caja.....	40
FIGURA 6. Aspecto de la vena de cuarzo que afecta a la unidad Granito de Pescadero y muestras de la misma, tomadas a lado y lado del filón.....	41
FIGURA 7. Aspecto de la vena de cuarzo que afecta la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara y muestra respectiva de la unidad.....	42
FIGURA 8. Panorámica de la zona en donde se evidencia el desplazamiento de la vena de cuarzo por efectos de la falla el Calvario.....	43
FIGURA 10. Aspecto de los patrones de diaclasamiento en la vena de cuarzo...44	44
FIGURA 11. Representación del seguimiento hecho a los filones en estaciones, durante el trabajo de campo.....	46
FIGURA 12. Aspecto de los filones hidrotermales Tipo I. a) Filón 1. b) Filón 2.....	48

FIGURA 13. Aspecto de los filones hidrotermales Tipo II. a) Filón 3. b) Filón 4. c) Filón 5. d) Filón 6.....	50
FIGURA 14. Aspecto del filón hidrotermal Tipo III. Filón 7.....	51
FIGURA 15. Representación de la distribución geográfica de los filones hidrotermales y del muestreo realizado en campo.....	52
FIGURA 16. Características texturales y estructurales del cuarzo. a) Aspecto de las cavidades en la muestra T.A.U-3-4, en donde crece cuarzo en drusa. b) Aspecto de el cambio textural en la muestra T.A.U-7-10, lo que se reconoce como cuarzo oqueroso. c) Aspecto del fracturamiento de la muestra T.A.U-9-15.....	53
FIGURA 17. Características composicionales del material de relleno de los filones. a) Aspecto de la variedad composicional en la muestra de vena T.A.U-8.1-12. b) Aspecto de xenolitos de roca caja (esquistos) en la muestra T.A.U-6-8.....	54
FIGURA 18. Características texturales y estructurales del filón tipo I. a) Aspecto del fuerte fracturamiento y oxidación de los filones, muestra T.A.U-3-3. b) Aspecto de las porosidades y crecimiento de cuarzo en drusa, muestra T.A.U-3-4. c) Aspecto del color blanco-lechoso, estructura maciza y textura homogénea, muestra T.A.U-4-5.....	55
FIGURA 19. Características petrográficas de la muestra T.A.U-3-3. a) En NII. b). En NX.	56
FIGURA 20. Características estructurales y texturales del filón tipo II. a) Aspecto del filón 3 con presencia de xenolitos de la roca caja, muestra T.A.U-6-8. b) Aspecto del filón 4 compuesto principalmente por cuarzo oqueroso, muestra T.A.U-7-10. c) Aspecto del filón 5 con variaciones composicionales importantes (fenocristales de plagioclasa) y presencia de “caracha”, muestra T.A.U-8.1-12. d) Aspecto de filón 5 con variaciones texturales condicionadas por el tamaño de	

grano que cambia de los bordes hacia el centro, además de las impurezas en el cuarzo de color rojizo, muestra T.A.U-8.3-14. e) Aspecto del filón 6 con presencia de enclaves de cuarzo de grano grueso de color blanco-grisáceo, muestra T.A.U-9-15. f) Aspecto del filón 6 con variaciones composicionales importantes y presencia de fracturas irregulares que favorecen la oxidación, muestra T.A.U-9.1-17.....58

FIGURA 21. Aspecto de la muestra T.A.U-6-8. a) En NII. b) En NX.....60

FIGURA 22. Características del tamaño de grano de la muestra T.A.U-8-11. a) En NII. b) En NX, detalle de la textura “palizada” en el cuarzo.....63

FIGURA 23. Contraste en el tamaño de grano de la muestra T.A.U-8.1-12. a) En NII. b) En NX, detalle de la textura “palizada” en el cuarzo.....66

FIGURA 24. Minerales presentes en la muestra T.A.U-8.2-13. a) En NII. b) En NX; detalle de la textura “palizada” en el cuarzo.....68

FIGURA 25. Características petrográficas de la muestra T.A.U-8.3-14. a) En NII. b) En NX; detalle de la textura “palizada” en el cuarzo.....71

FIGURA 26. Aspecto petrográfico de la muestra T.A.U-9-15. a) En NII. b) En NX.....73

FIGURA 27. Composición inequigranular de la muestra T.A.U-9.1-17. a) En NII. b) En NX.....76

FIGURA 28. Características estructurales del filón tipo III. a) Aspecto del fracturamiento y oxidación del filón 7, muestra T.A.U-10-21a. b) Aspecto de los efectos de la meteorización y el tamaño de grano fino, muestra T.A.U-10.2-23. c) Aspecto de cuarzo blanco lechoso con apariciones de opalínico, muestra T.A.U-10.3-24.....79

FIGURA 29. Características petrográficas y leve orientación de los cristales de la muestra T.A.U-10.3-24. a) En NII, evidencia de fractura. b) En NX, evidencia de fractura y orientación de los cristales.....80

FIGURA 30. Clasificación según Nash, 1976. Tipos más importantes de inclusiones fluidas. (L: líquido, S: sólido, V: vapor, C: carbonáticas). Donde: L: moderada salinidad con dos fases. (L: agua y V: vapor de agua). V: ricas en gas (> 60% de la inclusión). Buenas indicadores de ebullición. S: muy salinas con cristales de halita, silvita, anhidrita, etc. C: ricas en CO₂ con la relación CO₂/H₂O entre 3% y 30% del volumen.....83

FIGURA 31. Mecanismo de atrapamiento de inclusiones fluidas primarias según Roedder, 1984.....85

FIGURA 32. Inclusiones fluida (IF) primarias bifásicas, de la muestra T.A.U-3-3 en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.....86

FIGURA 33. Aspecto de las inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas (en rojo), de la muestra T.A.U-8-11, en amarillo inclusiones primarias monofásicas de vapor. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.....88

FIGURA 34. Variedad morfológica de las inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas, de la muestra TAU-8.1-12 en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.....89

FIGURA 35. Variedad de inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas en rojo, en amarillo inclusiones primarias monofásicas, de la muestra T.A.U-8.2-13. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.....91

FIGURA 36. Inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas, de la muestra T.A.U-8.3-14, en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.....92

FIGURA 37. Morfología de las inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas, de la muestra T.A.U-9-15, en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.....	94
FIGURA 38. Inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas, de la muestra T.A.U-10.3-24, en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.....	95
FIGURA 39. Aspecto de las inclusiones fluidas secundarias a) bifásicas, la muestra T.A.U-8-11 en rojo. b) bifásicas (en rojo), monofásicas (en amarillo), muestra T.A.U-8.1-12. c) bifásicas, muestra T.A.U-8.2-13, seguidas por la línea roja. d) bifásicas, muestra T.A.U-8.3-14, en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.....	96
FIGURA 40. Cuarzo lechoso, muestra T.A.U-9-15.....	104
FIGURA 41. Aspecto de la cristalización en drusa del cuarzo con oxidación, muestra T.A.U-8.2-13.....	105
FIGURA 42. Aspecto de las oquedades en el cuarzo, muestra T.A.U-7-10.....	106
FIGURA 43. Cuarzo opalínico, muestra T.A.U-3-4.....	107
FIGURA 44. Cuarzo calcedónico con pirita en cuarzo lechoso, muestra T.A.U-8.3-14.....	107
FIGURA 45. Celda unidad.....	108
FIGURA 46. Parámetros de celda (a) Vs Temperatura de homogenización. Filón 5 (tipo III). a) Menor temperatura registrada. b) mayor temperatura registrada.....	114
FIGURA 47. Parámetros de celda (c) Vs Temperatura de homogenización. Filón 5 (tipo III). a) Menor temperatura registrada. b) mayor temperatura registrada.....	114

FIGURA 48. Variaciones texturales y estructurales en muestra de mano del filón 5 (Tipo II). a) Muestra T.A.U-8-11, b) muestra T.A.U-8.1-12, c) muestra T.A.U-8.2-13, d) muestra T.A.U-8.3-14.....115

FIGURA 49. Variaciones texturales y estructurales en muestra de mano del filón 6 (Tipo II). a) Muestra T.A.U-9.1-18, b) muestra T.A.U-9.1-19a.....118

FIGURA 50. Características mineralógicas de las rocas encajantes. a) Aspecto tamaño de grano grueso y estructura masiva de la cuarzomonzonita, muestra T.A.U-1-2; b) Aspecto del tamaño de grano medio y estructura masiva del monzogranito, muestra T.A.U-10.1-22a; c) Aspecto del tamaño de grano fino y estructura esquistosa-laminar del esquisto cuarzo-grafitoso, muestra T.A.U-6-7.....120

FIGURA 51. Características estructurales de la roca encajante. a) Aspecto del microplegamiento y foliación del Esquisto cuarzo-grafitoso, muestra T.A.U-6-6. b) Aspecto de las venillas de cuarzo que afectan a la roca, muestra T.A.U-6-7.....121

FIGURA 52. Características petrográficas de la muestra T.A.U-6-6. a) Evidencia de la variación en el tamaño de grano, en NII. b) Evidencia de la variación en el tamaño de grano, en NX. c) Evidencia de la textura “palizada”, en NII. d) Evidencia de la textura “palizada”, en NX.....122

FIGURA 53. Características mineralógicas de la cuarzomonzonita. a) Aspecto del tamaño y textura de la roca, muestra T.A.U-1-2. b) Aspecto de los halos de alteración de la roca, muestra T.A.U-9.1-20a. c) Aspecto de la epidotización de la roca, muestra T.A.U-9.1-20b.....126

FIGURA 54. Minerales de la muestra T.A.U-1-2. a) En NII. b) En NX.....127

FIGURA 55. Características estructurales y texturales del monzogranito a) Aspecto de los efectos de la meteorización en la muestra T.A.U-10-21b. b) Aspecto del tamaño de grano, color y textura de la muestra T.A.U-10.1-22a. c) Aspecto de las venillas de cuarzo que afectan la muestra T.A.U-10.1-22b.....	131
FIGURA 56. Aspecto del sistema magnético-hidrotermal. El Tatio, Antofagasta, Chile.....	133
FIGURA 57. Composición mineralógica de la muestra T.A.U-10.1-22b. a) En NII. b) En NX, se evidencia su composición mineral y relación entre ellos.....	137
FIGURA 58. Cantera donde aflora la unidad Cuarzomonzonita de Santa Bárbara.....	141
FIGURA 59. Aspecto de los halos de alteración de la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara con acercamiento.....	141
FIGURA 60. Difractograma, muestra T.A.U-9.1-20a. Roja.....	143
FIGURA 61. Difractograma, muestra T.A.U-9.1-20a. Blanca.....	144
FIGURA 62. Difractograma, muestra T.A.U-9.1-20a. Amarilla.....	145
FIGURA 63. Esquema ilustrativo de un sistema magmático hidrotermal responsable de diferentes ambientes de formación de depósitos minerales.....	149
FIGURA 64. Fluidos ascendentes a partir de los cuales se forman los filones de cuarzo.....	150
FIGURA 65. Aspecto del sistema volcánico-magmático de White Island, Nueva Zelanda.....	152

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Resumen de los análisis de laboratorio.....	29
TABLA 2. Especificaciones técnicas del Difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB en el método de análisis de difracción de Rayos X.....	31
TABLA 3. Especificaciones técnicas del difractómetro de polvo marca PANalytical modelo X'PERT PRO MPD en el método de análisis de parámetros de celda.....	32
TABLA 4. Patrones de Calibración del sistema de microtermometría de inclusiones fluidas.....	33
TABLA 5. Caracterización de los filones hidrotermales.....	47
TABLA 6. Datos microtermométricos para diferentes compuestos químicos.....	97
TABLA 7. Datos del punto eutéctico ó primera fusión para diferentes sistemas salino-acuosos (a 1atm).....	98
TABLA 8. Datos microtermométricos obtenidos en laboratorio.....	99
TABLA 9. Sistemas cristalinos y redes de Bravais.....	109
TABLA 10. Caracterización mineralógica de la muestra T.A.U-1-2.....	130
TABLA 11. Caracterización mineralógica de la muestra T.A.U-10.1-22a.....	136
TABLA 12. Caracterización mineralógica muestra T.A.U-10.1-22b.....	140

ANEXOS

ANEXO 1. Resultados del Análisis de Parámetros de Celda en la Fase Cristalina de Cuarzo. Filones hidrotermales.....	162
ANEXO 2. Resultados del Análisis de Difracción de Rayos X (DRX). Roca Caja (Cuarzomonzonita de Santa Bárbara).....	177

RESUMEN

TITULO: Génesis y Caracterización de la Manifestación Hidrotermal del área de Berlín, Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia)*.

AUTOR: Aura Liliana Uribe Mejía**.

PALABRAS CLAVES: Filón hidrotermal, Berlín, fluidos hidrotermales, microtermometría de inclusiones fluidas, depósitos epitermales, Distrito minero Vetas-California.

DESCRIPCION

En el Corregimiento de Berlín, Macizo de Santander; se manifiestan una serie de filones hidrotermales que sobresalen en el relieve. El estudio de siete de estos filones muestra tres direcciones predominantes: NW, NE y EW, clasificándose en tipo I, tipo II y tipo III respectivamente; longitudes entre 100m y 700m; y espesores entre 1m y 3m. Las unidades litológicas encajantes son: esquisto cuarzo-grafítico (Formación Silgará); cuarzomonzonita rosada (Cuarzomonzonita de Santa Bárbara) y monzogranito (Granito de Pescadero).

El material de relleno de los filones es predominantemente cuarzo, el cual, presenta diferentes tipologías: lechoso, con oquedades, calcedónico y opalínico; esto, junto con los análisis de constante de celda de este mineral, indica una diferencia de temperatura en el fluido formador. De los análisis de inclusiones fluidas se definen tres familias primarias: monofásica (V) difíciles de estudiar debido a su mínimo tamaño, bifásica (L+V) con T(e) entre -87°C a -28.6°C, T(f) entre -11.5°C a 5.9°C, T(h) entre 130.9°C a 240.8°C y salinidad entre ~2% a ~15.5% wt NaCl eq.; y polifásica (L₁+L₂+V) con T(e) entre -85.4°C a -21.5°C, T(f) entre -11.7°C a 2.9°C, T(h) de 166.7°C y salinidad entre ~5.5% a ~15.5% wt NaCl eq. Estos datos sugieren que el paleofluido responsable de la formación de los filones era heterogéneo; posiblemente con aportes magmáticos y meteóricos; y que seguramente su formación se da a poca profundidad. También se identifica una familia de inclusiones secundarias con T(e) entre -49.1°C a -45.1°C, T(f) de -3°C, T(h) de 163°C y salinidad de ~4.9% wt NaCl eq. indicando un segundo evento a niveles aún más superficiales.

La cuarzomonzonita presenta halos de alteración superficiales, en donde se identifica alteración potásica, silicificación, epidotización y argilización a niveles menores. Dadas las características de los filones y su origen (que debe corroborarse con más análisis), es posible relacionarlos con un sistema hidrotermal de tipo epitermal como el de Vetas-California.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto García. Codirector: Luis Carlos Mantilla Figueroa.

ABSTRACT

TITLE: Genesis and Characterization of hydrothermal manifestation of Berlin area, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia)*

AUTHOR: Aura Liliana Uribe Mejía^{*}

KEYWORDS: Hydrothermal lodes, Berlin, hydrothermal fluids, fluid inclusions microthermometry, epithermal deposits, Vetas-California mining district.

DESCRIPTION

In the district of Berlin, Santander Massif manifests a series of hydrothermal lodes that stand out in relief. The study of seven of these lodes shows three predominant directions: NW, NE and EW, classified as type I, type II and type III respectively; length between 100m - 700m; y thicknesses between 1m - 3m. The host lithological units are quartz-graphite schist (Formación Silgará); pink cuarzomonzonita (Cuarzomonzonita Santa Barbara) and monzogranite (Granito de Pescadero).

The lodes filler material is predominantly quartz, which presents different types: milky, with hollows, chalcedony and opaline, that, with the cell constant analysis of this mineral, indicates a difference of temperature in the fluid trainer. From fluid inclusions analysis defined three primary families: monophasic (V) difficult to study due to their small size, biphasic (L+V) with T(e) between -87°C to -28.6°C, T(f) between -11.5°C to 5.9°C, T(h) between 130.9°C to 240.8°C and salinity between ~ 2% ~ 15.5% wt NaCl eq., and polyphasic (L1+L2+V) with T(e) between -85.4°C to -21.5°C, T(f) between -11.7°C to 2.9°C, T(h) of 166.7°C and salinity between ~ 5.5% ~ 15.5% wt NaCl eq. These data suggest that the paleofluido responsible for the formation of lodes was heterogeneous, possibly with magmatic and meteoric contributions and that their formation probably occurs at shallow depth. Also identified a family of secondary inclusions with T(e) between -49.1°C to -45.1°C, T(f) of -3°C, T(h) of 163°C and salinity of ~ 4.9% wt NaCl eq. indicating a second event at even more superficial.

The cuarzomonzonita presents shallow alteration halos, where identified potassic alteration, silicification, epidotization and argilization at lower levels. According to the characteristics of the lodes and their source (which must be corroborated by further analysis), it may be related to a hydrothermal system of epithermal type, such as California.

*Graduate Project

**Universidad Industrial de Santander. Faculty of Physical and Chemical Engineering. Geology School. Director: Carlos Alberto García. Codirector: Luis Carlos Mantilla Figueroa.

INTRODUCCION

El estudio de los fluidos hidrotermales representa un creciente interés de las comunidades geológicas en los últimos años, debido al evidente rol de estos en la actividad de casi todos los procesos geológicos endógenos y exógenos, por consiguiente en la generación, transporte y acumulación de minerales. Los fluidos producen cambios químicos y transportan calor. Además juegan un papel fundamental durante la deformación de las rocas. Son igualmente importantes como agente de transporte de elementos químicos y por consiguiente, la modificación de algunas de sus propiedades, puede resultar determinante para la concentración y depositación de elementos en ambientes físico-químicos favorables. La evidencia más clara de la circulación de fluidos en la corteza terrestre, especialmente en sus niveles más superiores, la constituye la presencia de venas hidrotermales (o filones hidrotermales mineralizados o no) y los reemplazamientos producto de la interacción fluido-roca.

En el área de Berlín (Santander) afloran numerosas venas de cuarzo que evidencian un intenso proceso hidrotermal, el cual se cree, constituye la parte distal de un sistema paleohidrotermal, cuya manifestación más importante son los depósitos epitermales de Au-Ag, localizados en el distrito minero Vetas-California (Santander). El estudio de estas venas de cuarzo, aportará nuevo conocimiento y permitirá la descripción del proceso que se llevó a cabo en esta zona del departamento; los nuevos datos podrían ser útiles en futuras campañas de exploración en diferentes sectores del Macizo de Santander, dado que el afán por conocer las características distintivas de los procesos formadores de minerales, en los cuales hay intervención de fluidos hidrotermales se deriva de la intención de

entender los diferentes depósitos minerales que representan intereses comunes ante diferentes propósitos ya sean de tipo científico hasta económico.

La presente tesis de pregrado “Modalidad Investigación”. Se enfoca en el estudio de los filones de cuarzo presentes en el Páramo de Berlín (Departamento de Santander), a partir de análisis mineralógicos-petrográficos, microtermométricos de inclusiones fluidas en el material de relleno (cuarzo) de secciones representativas de los filones y difracción de rayos X; destacando las características de los paleofluidos y el proceso geológico que dio lugar a esta depositación.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar los procesos hidrotermales involucrados en la formación de los filones de cuarzo, presentes en el sector del Paramo de Berlín, para establecer su posible relación con el sistema paleohidrotemal del Distrito Minero Vetas-California.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un análisis bibliográfico sobre la geología del área de estudio, en aras de contextualizar geológicamente el sector con presencia de filones de cuarzo.
- Caracterizar por medio de un trabajo de campo los filones hidrotermales y su respectiva roca encajante a fin de conocer la posible historia de relleno hidrotermal y su relevancia en el proceso formador.
- Realizar análisis mineralógico-petrográficos de las rocas ígneas encajantes y del filón, mediante microscopía óptica y difracción de rayos X, en aras de establecer una posible zonalidad de alteración hidrotermal asociado al evento hidrotermal responsable de la formación de este.
- Realizar análisis petrográficos y microtermométricos en las Inclusiones fluidas presentes en los materiales hidrotermales de relleno del filón, con el fin de interpretar la historia y composición del fluido presente.

- Proponer a la luz de los nuevos datos, la historia de formación del filón y establecer el posible efecto del paleo evento hidrotermal sobre la roca encajante.

2. ANTECEDENTES

Diversos estudios se han realizado en el Macizo de Santander abarcando la zona del Páramo de Berlín, como el desarrollado por Téllez, N. y Villamizar, D. (1994), en el cual hacen un análisis de los aspectos geomorfológicos y geológicos de Berlín, donde mencionan las características de las unidades presentes en las zonas: Guayabales, Antala y Piedras Blancas; destacándose la descripción de la Formación Silgará, afectada por filones hidrotermales de cuarzo blanco de aproximadamente 80cm y filonetes de aproximadamente 10cm; al igual que la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara.

La Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander realizó trabajos de cartografía geológica en el paramo de Berlín, en los años 2006 y 2008, en la asignatura de pregrado campo II. En estos trabajos, que permanecen inéditos, se definen algunas características de los filones de cuarzo, como dirección (tres principales familias, E-W, NW, NE), espesores (1-5 m), longitudes (5-1000 m) y material de relleno (cuarzo lechoso). De igual forma, Coronado, W. Mejía Moreno, C., en el año 2006 realizó una caracterización estructural y cartografía geológica en el altiplano de Berlín y en los municipios de Tona y Piedecuesta, Santander, con fines hidrogeológicos.

De acuerdo con lo anterior, los estudios en la zona se han enfocado a las características geológicas sin dar relevancia a los procesos y condiciones bajo los cuales se formó la manifestación hidrotermal que se observa en el Páramo y sus alrededores, siendo de especial interés su cercanía con el Distrito minero de Vetas-California. De allí que esta actividad hidrotermal como hipótesis de trabajo, se relacione con las mineralizaciones epitermales de oro y plata del Distrito Vet-

California constituyendo la parte más distal de un complejo sistema paleohidrotermal.

2.1 SISTEMA PALEOHIDROTERMAL DEL DISTRITO MINERO VETAS-CALIFORNIA

En el Distrito Minero Vetas-California se han realizado numerosos trabajos, calificando a los yacimientos de Au-Ag objeto de estudio. García Ch. y Zambrano A. (1995), diferencian dos clases de diques de cuarzo: Mineralizados que corresponden a los filones auríferos explotados en las minas, los cuales se encuentran encajados en rocas néisicas de composición biotítico-hornbléndica y cuarzofeldespáticas, y no mineralizados, los cuales están restringidos principalmente a una zona de pórfido grano-diorítico; estos diques están constituidos de cuarzo amorfo producido por segregación y asociado a pequeñas cantidades de pirita. De forma general describen las venas auríferas del Distrito Minero como cuerpos semitabulares de aspecto brechoide, relleno de fracturas de alto ángulo; el color varía de acuerdo con los minerales que caracterizan la vena hidrotermal. Los espesores de estos filones auríferos son variables, siendo en algunas partes de 1m y en otras de mucho menos. Además establecen que el emplazamiento de las soluciones hidrotermales mineralizadas y no mineralizadas se da a través de sistemas conjugados de diaclasas pues el fracturamiento tiene una gran incidencia en los procesos mineralizantes, de tal manera que es el encargado de controlar los filones ricos en cuarzo, pirita, y otros sulfuros, dando origen hidrotermal a las mineralizaciones. De acuerdo con la edad de la relación genética del pórfido y las soluciones mineralizantes, se considera una edad de Terciario superior para ellas. Las orogenias Hercínica y Andina están relacionadas a los fenómenos de fracturamiento a que ha sido sometida la región del Macizo de Santander, con un primer evento en el Jura-Triásico y el segundo durante el

Cretáceo superior-Terciario inferior. Los filones se han formado por acción de dos fases. En la primera se forma el contenido de minerales metálicos de mena con textura de reemplazamiento, y durante la siguiente etapa ocurre la depositación de cuarzo policristalino y pirita, presentándose en forma de relleno de pequeñas fracturas.

Estos estudios, en su mayoría, se han enfocado a establecer las características de la mineralización en lo relacionado con la orientación de los filones, los contenidos de Au-Ag, las asociaciones minerales y algunos procesos de interacción fluido-roca encajante (García (2003), García, Uribe (2006), Herb et al., (2000)).

La edad de la mineralización es todavía incierta, ya que algunos datos geocronológicos la ubican entorno a 57Ma, (Mathur, R. et al, 2003), mientras que otros indicarían que la mineralización es más joven al compararla con un evento magmático entre 8.4Ma y 9.0Ma; el cual pudo haber favorecido la formación de antiguos sistemas magmático-hidrotermales (Mantilla et al., 2009).

En los últimos diez años se han intensificado las labores de exploración en el área por parte de compañías mineras: Greystar Resources Ltda, Ventana Gold Corp. y Galway Resources Holdco Ltda. Estos trabajos han ido aportando nuevo conocimiento acerca de las mineralizaciones.

3. METODOLOGIA

La metodología empleada consistió en: recopilación bibliográfica, trabajo de campo, trabajo de laboratorio, análisis e interpretación de resultados y finalmente elaboración y edición de este documento.

A continuación se describen las actividades realizadas (trabajo de campo y trabajo de laboratorio).

3.1 TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se realizó en el área de Berlín y consistió en un muestreo general de los filones aflorantes en esta área, determinando aspectos estructurales y mineralógicos relevantes en su caracterización (rumbo, buzamiento, espesor, longitud, material de relleno y relación física con la roca encajante), junto con un registro fotográfico simultáneo; a partir de esta información los filones se agruparon en familias de acuerdo con el sentido y distribución de los mismos. De igual forma se definen las características de la roca caja. Finalmente se realizaron 10 estaciones y 7 controles, de los cuales se colectaron 28 muestras que corresponden: 20 de los filones y 8 de la roca caja respectiva; y un estudio de 7 filones los cuales presentaron características espaciales de entre 150m hasta 700m de longitud, 1.50m hasta 7m de altura y 1m hasta 3m de espesor. Además de tres direcciones preferenciales NW, NE y EW. La nomenclatura de las muestras está dada de la siguiente forma: T.A.U-X-Y; que implica: T.A.U: Tesis Aura Uribe, X: Estación, Y: Número de Muestra.

3.2 TRABAJO DE LABORATORIO

Los estudios de laboratorio se resumen en la Tabla 1. Y se describen a continuación las condiciones bajo las cuales se realizaron.

Tabla 1. Resumen de los análisis de laboratorio. V: Vena, RC: Roca Caja.

Nº	MUESTRA	TIP.	ANALISIS				
			DESC. MACRO	DESCRIP. PETROGRÁF.	CONSTANTE DE CELDA	DRX	MICROTERMOMET. DE IF
1	TAU-1-1	V	X				
2	TAU-1-2	RC	X	X			
3	TAU-3-3	V	X	X			X
4	TAU-3-4	V	X				
5	TAU-4-5	V	X				
6	TAU-6-6	RC	X	X			
7	TAU-6-7	RC	X				
8	TAU-6-8	V	X	X			
9	TAU-7-9	V	X				
10	TAU-7-10	V	X				
11	TAU-8-11	V	X	X	X		X
12	TAU-8.1-12	V	X	X	X		X
13	TAU-8.2-13	V	X	X	X		X
14	TAU-8.3-14	V	X	X	X		X
15	TAU-9-15	V	X	X			X
16	TAU-9.1-16	V	X				
17	TAU-9.1-17	V	X	X		X	
18	TAU-9.1-18	V	X		X		
19	TAU-9.1-19 a	V	X		X		
20	TAU-9.1-19b	V	X				
21	TAU-9.1-20 a	RC	X			X	
22	TAU-9.1-20b	RC	X			X	
23	TAU-10-21 a	V	X				
24	TAU-2710-21b	RC	X				
25	TAU-10.1-22 a	RC	X	X			
26	TAU-10.1-22b	RC	X	X			
27	TAU-10.2-23	V	X				
28	TAU-10.3-24	V	X	X			X

Se llevó a cabo un análisis macroscópico en el cual se describe la composición mineralógica, aspectos texturales y estructurales tanto del filón como de la roca

caja; este análisis de muestras de mano realizó en el laboratorio de lupas; instalaciones de la Escuela de Geología, Universidad industrial de Santander; con el equipo NIKON N1-150, modelo C-PS. Se elaboraron secciones delgadas del filón y de la roca caja siguiendo los parámetros establecidos por el laboratorio de Preparación de muestras de la Universidad Industrial de Santander y su respectivo análisis petrográfico el laboratorio de microscopía óptica; instalaciones de la Escuela de Geología, Universidad industrial de Santander con el equipo de luz transmitida NIKON ECLIPSE E200 50/POL con cámara y pantalla incorporada: Digital Sight DS-SM y Digital Sight DS-L1 respectivamente.

La preparación de las muestras para los análisis de difracción de rayos X se realizó en una Trituradora de mandíbula RETSCH tipo BB200 SCHWERMETALLFREI y Mortero de Agatha RM 100 RETSCH. Instalados en el laboratorio de Trituración, Molienda, Tamizado, División de muestras y Pulverización, Escuela de Geología (UIS) y se analizaron por DRX A $-53\mu\text{m}$ y $-2\mu\text{m}$; para obtener la fracción de $-2\mu\text{m}$ es necesario un tratamiento adicional de la muestra en la Centrifuga de rotor Hettich ROTOFIX 32 de cuatro tubos cada uno de 100 ml instalada en el Laboratorio de Arcillas, Escuela de Geología (UIS) (proceso modificado de Mantilla Figueroa, L. C. 2003) Este análisis se llevó a cabo con el objetivo de identificar las fases minerales de la roca caja de forma cuantitativa y cualitativa; a partir de lo cual se definen las alteraciones minerales, producto posiblemente de efectos hidrotermales; estos análisis se desarrollan sobre muestras de polvo desorientado en donde el espécimen seleccionado de la muestra fue montado en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado lateral y posteriormente fueron analizadas cualitativamente las fases presentes mediante comparación de perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD). Para esto se emplea el difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB del laboratorio de difracción de rayos X, Escuela de Química,

Universidad Industrial de Santander, las especificaciones técnicas de este equipo se presentan en la Tabla 2. Además de muestras de los filones (elaboradas bajo las mismas condiciones de las muestras de la roca caja, omitiendo la centrifugación) para análisis de parámetros de celda por Difracción de Rayos X a $53\mu\text{m}$ en la fase mineral de cuarzo, por medio de lo cual se obtiene una idea de las características estructurales, en donde el espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado frontal en un difractómetro de polvo marca PANalytical modelo X'PERT PRO MPD, las especificaciones técnicas de este equipo se presentan en la Tabla 3. Estos análisis se realizan en el laboratorio de caracterización de materiales de la Facultad de Minas, Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del Difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB en el método de análisis de difracción de Rayos X.

Voltaje	40 (Kv)
Corriente	20 (mA)
Rendijas (Slits) DE	1.0°
RS	0.3mm
SS	1.0°
Muestreo	0.02° 2theta
Rango de Medición	2-70° 2theta
Radiaciones	Cuka 1
Monocromador de identificación de fase	Grafito
Tipo de Barrido	Continuo
Velocidad del Barrido	1.2°/min

Tabla 3. Especificaciones técnicas del difractómetro de polvo marca PANalytical modelo X'PERT PRO MPD en el método de análisis de parámetros de celda.

Voltaje	45(kV)
Corriente	40(mA)
Rendijas Soller	0.04 rad (Incidencia y Difracción)
Rendijas Fijas	1/4 y 1/8 (Incidencia) y 1/4 (Difracción)
Muestreo	0.013° 2theta
Rango de Medición	4-70° 2theta
Radiación	CuKα1
Filtro	Ni
Detector	De estado sólido referencia PIXcel con 255 canales activos
Tipo de barrido	Continuo
Tiempo por paso	59 segundos

Finalmente se elaboraron secciones doblemente pulidas de los filones para el análisis microtermométrico identificando las diferentes familias de inclusiones fluidas. El análisis petrográfico de inclusiones fluidas se llevó a cabo en el laboratorio de microscopía óptica; instalaciones de la Escuela de Geología, Universidad industrial de Santander con el equipo de luz transmitida ya mencionado. Los análisis microtermométricos se realizaron en el microscopio de luz transmitida marca NIKON Elipse 50i, con platina de enfriamiento calentamiento THMS 600 marca LINKAM adaptada; la cual permite medir cambios de fases al interior de las IF en el rango de temperaturas entre -198°C y +600°C. Instalado en el laboratorio de Geología sede UIS Guatiguará.

Se hizo calibración del equipo de microtermometría usando patrones sintéticos de inclusiones fluidas con propiedades fisicoquímicas conocidas (Tabla 4). Las

muestras se enfriaron a -180°C y luego se calentaron a 400°C en un proceso lento y gradual, con el propósito de evitar la decrepitación de las inclusiones y posibles comportamientos metaestables de las mismas. De esta forma se mide: Temperatura del punto eutéctico (T_e), Temperatura de fusión final del hielo (T_f) y Temperatura de homogenización (T_h).

Tabla 4. Patrones de Calibración del sistema de microtermometría de inclusiones fluidas. T_e : Temperatura del punto eutéctico, T_h : Temperatura de homogenización.

COMPOSICION PATRON	T_e ($^{\circ}\text{C}$)	T_h ($^{\circ}\text{C}$)
75% mol H ₂ O + 25 % Mol CO ₂	-56.6	31.3
H ₂ O	0	374.1

4. GENERALIDADES DEL AREA DE TRABAJO

4.1 LOCALIZACION

El Corregimiento de Berlín, Municipio de Tona, se localiza en el Departamento de Santander al oriente de su capital Bucaramanga, en el Macizo de Santander, Cordillera Oriental (Figura 1). Se encuentra sobre la vía Bucaramanga-Pamplona a 63Kms de la capital de Santander, en el límite entre el Departamento de Santander y el Departamento de Norte de Santander; dentro del rectángulo formado por las coordenadas aproximadas (origen Bogotá):

$$X1 = 1.280.000$$

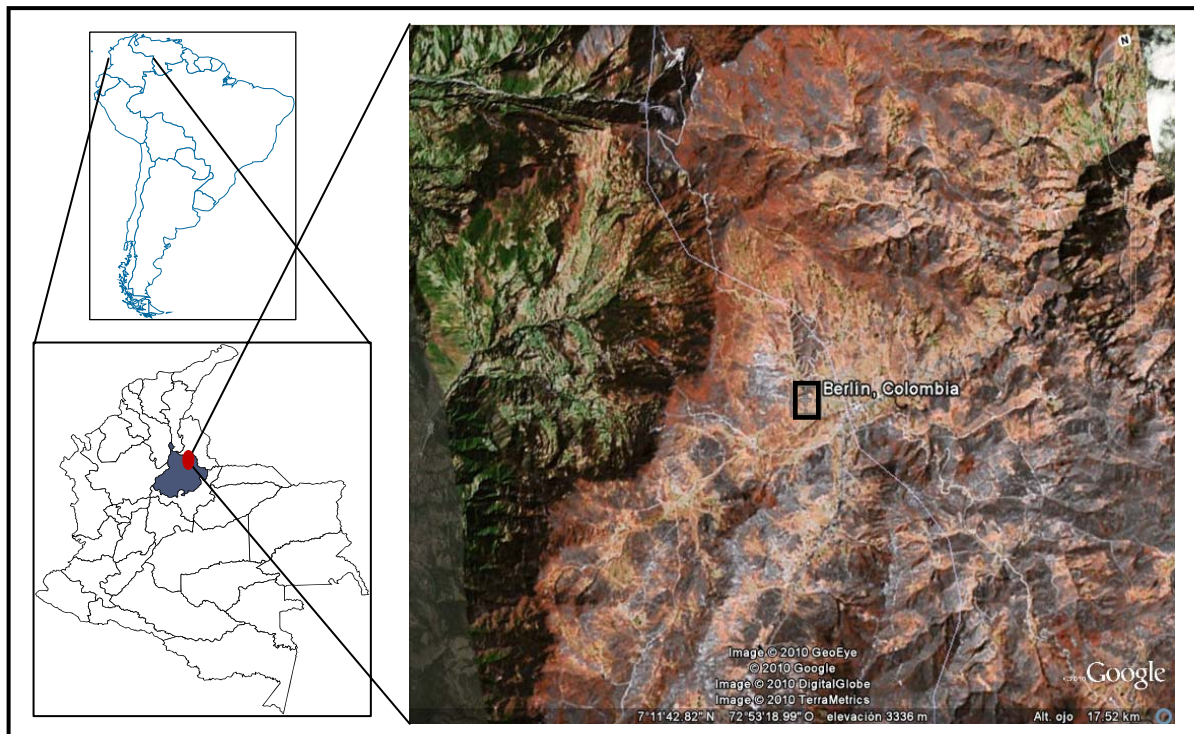
$$X2 = 1.290.000$$

$$Y1 = 1.127.000$$

$$Y2 = 1.135.000$$

El área de estudio se encuentra condicionada por la presencia de filones de cuarzo dado que son el objeto de esta investigación, dentro de las coordenadas anteriormente mencionadas.

Figura 1. Localización Geográfica del Corregimiento de Berlín, Municipio de Tona, Santander.



Fuente: Editado de Google Earth.

4.2 VIAS DE ACCESO

El corregimiento de Berlín se encuentra sobre la vía principal que conduce de Bucaramanga a Pamplona a 63Kms de la Capital Santandereana (Figura 2). Además existen carreteras satélites que comunican al corregimiento con los Municipios de Vetás, Tona, Baraya, etc. y sus diferentes veredas aledañas.

Figura 2. Vías principales desde Bucaramanga con señalización del Corregimiento de Berlín.



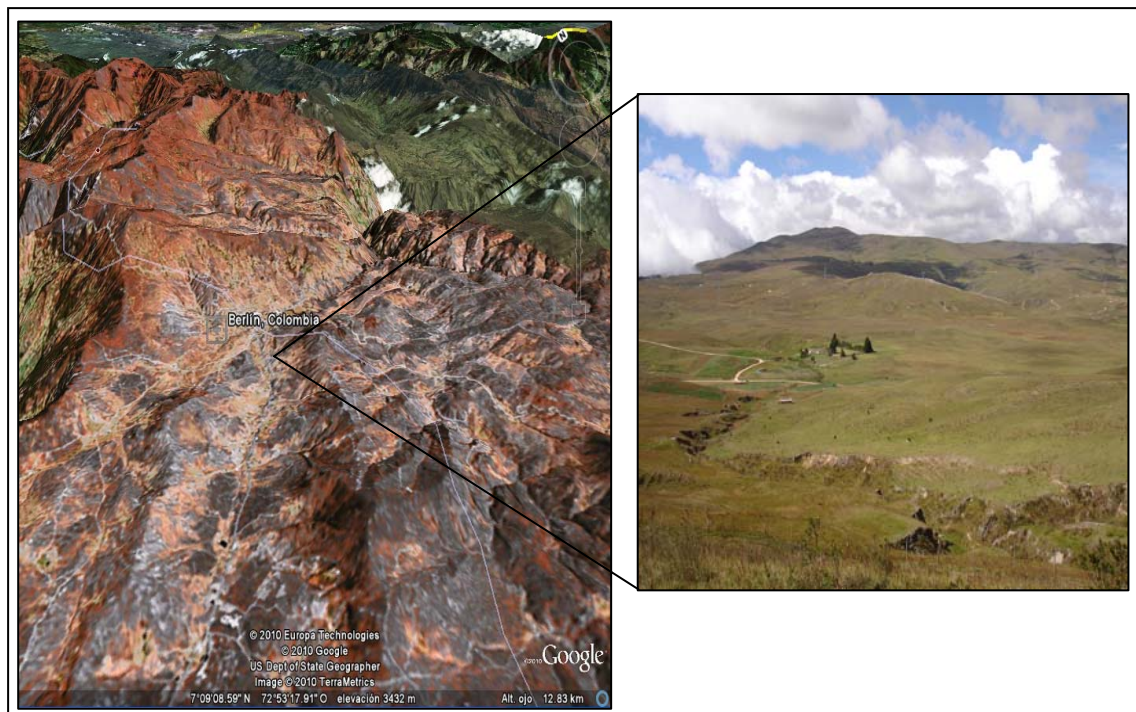
Fuente: Editado de <http://co.lirondo.com/Santander/Berlin379550/como-llegar>.

4.3 CLIMA, VEGETACION Y TOPOGRAFIA

El Páramo de Berlín se encuentra a una altura que varía entre 3300m.s.n.m y 3600m.s.n.m, se caracteriza por una baja temperatura promedio anual, fuertes cambios de temperatura entre el día y la noche (entre -5° durante la noche hasta 16° durante el día), humedad relativamente alta y suelos ricos en materia orgánica pero pobres en nutrientes. La vegetación es muy característica, predominando los pastizales y las plantas arrosetadas, como son los frailejones. Se registran bajas precipitaciones durante el año, con un mínimo de 600 mm y un máximo de 1.100 mm de agua (Suárez, C., Villalba, R., López, H., Restrepo, J., Ardila, E., Gualdrón, J., Zapata, E. 2008). El sistema hídrico del área de estudio hace parte de dos zonas hidrográficas principales, la microcuenca del río Jordán y la microcuenca de la Quebrada Cuesta Boba; además comprende las Quebradas: Guariba, Pescadero, Ventanas y la Laguna Miguel (Suárez, C., Villalba, R., López, H., Restrepo, J., Ardila, E., Gualdrón, J., Zapata, E. 2008).

Presenta un modelamiento geomorfológico representado por una serie de colinas y valles predominantemente, con suelo en relieve ondulado. Se observan como geoformas más altas, el Alto las Guarichas y el Morro la Estrella, con algunas apariciones de picos en medio de los valles (Figura 3). Se identifica un patrón de drenaje de tipo detrítico que se caracteriza porque fluye en todas las direcciones, y es típico de la litología que aquí se presenta: estratos horizontales, masivos ígneos ó rocas metamórficas; siendo este el caso predominante. Específicamente el patrón es pinnado, pues se presentan materiales finos impermeables y erosionales (Trabajos Inéditos de Cartografía Geológica en el Páramo de Berlín, Pregrado, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. 2006 y 2008). El área está afectada principalmente por meteorización mecánica.

Figura 3. Aspecto Geomorfológico de la zona de estudio. Corregimiento de Berlín, Santander.



Fuente: Imagen editada de Google Earth.

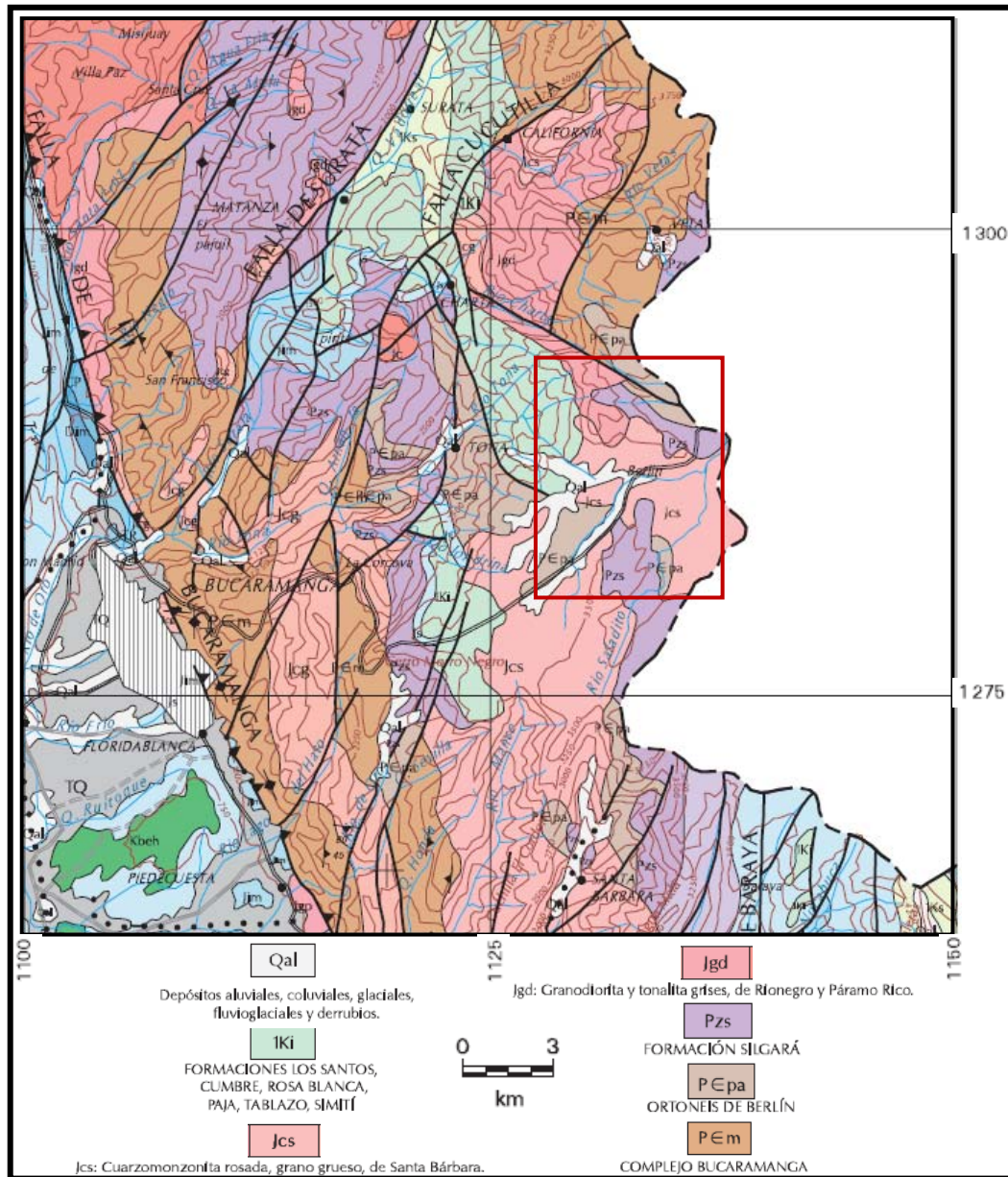
5. MARCO GEOLOGICO

5.1 ESTRATIGRAFIA

El área de Berlín objeto del presente estudio, se localiza en el Macizo de Santander; el cual se compone principalmente de rocas metamórficas agrupadas en las unidades: Neis de Bucaramanga, Silgará y Ortoneis; intruídas en ocasiones por cuerpos ígneos de tipo ácido a intermedio (Ward et al., 1973), representados principalmente por los constituyentes de lo que se conoce como Grupo Plutónico de Santander; además de rocas sedimentarias, que varían cronológicamente desde Paleozoicas hasta Cuaternarias representadas por las formaciones: Floresta, Diamante, Tiburón, Bocas, Jordán, Girón y Depósitos de ambiente continental (Ward et al., 1973; Royero y Clavijo, 2001).

En la zona de estudio afloran rocas agrupadas en las siguientes unidades: Formación Silgará, Cuarzomonzonita de Santa Bárbara y Granito de Pescadero (Figura 4). A continuación se presentan las características de estas litologías.

Figura 4. Geología de la zona de estudio.

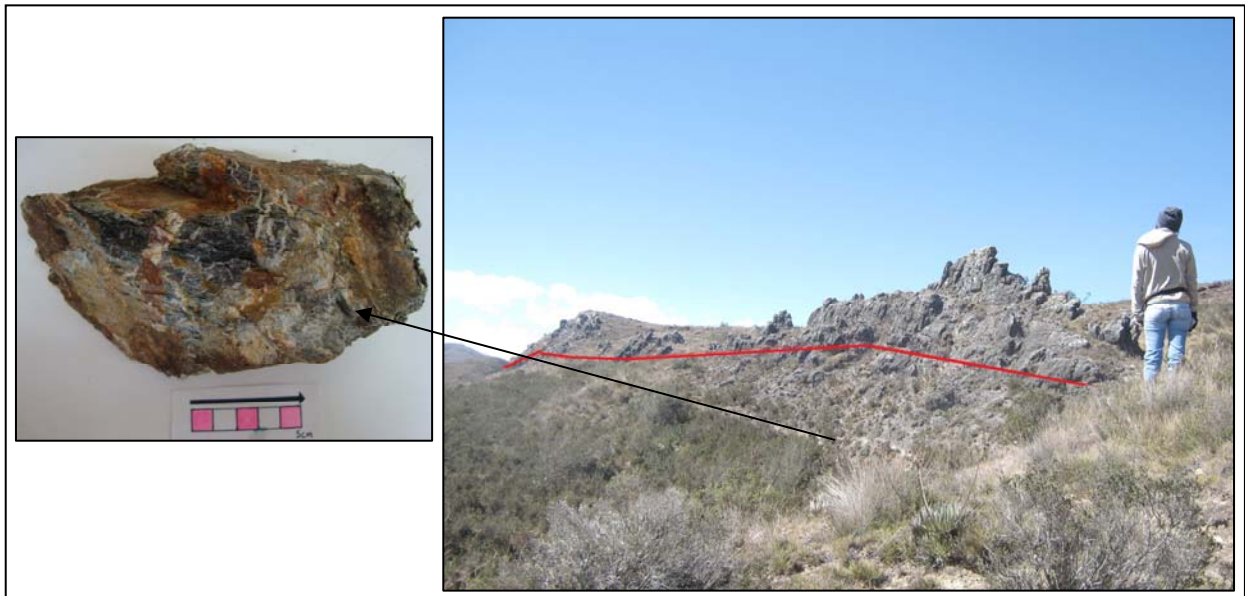


Fuente: Modificado de Royero, J.M, Vargas, R. Geología del Departamento de Santander a escala 1:300.000. Ingeominas, 1999.

- **Formación Silgará**

Conformada por intercalaciones de cuarcitas y esquistos, la litología predominante son las cuarcitas de color gris con presencia de muscovita y grafito; los esquistos son de composición micácea, con presencia de cuarzo, minerales opacos y materia orgánica, localmente presentan estructuras moteadas y estructura de micropliegue, ambas litologías presentan niveles variables de grafito. La unidad es cortada por venas de cuarzo de aproximadamente 500 m de longitud, 2.5 m de espesor y 5m de alto (Figura 5), además de venillas de 20cm de espesor que cortan la dirección de la foliación. Aflora en el cerro Las Guarichas.

Figura 5. Aspecto de las dimensiones de la vena de cuarzo que afecta a la Formación Silgará y muestra de la roca caja.

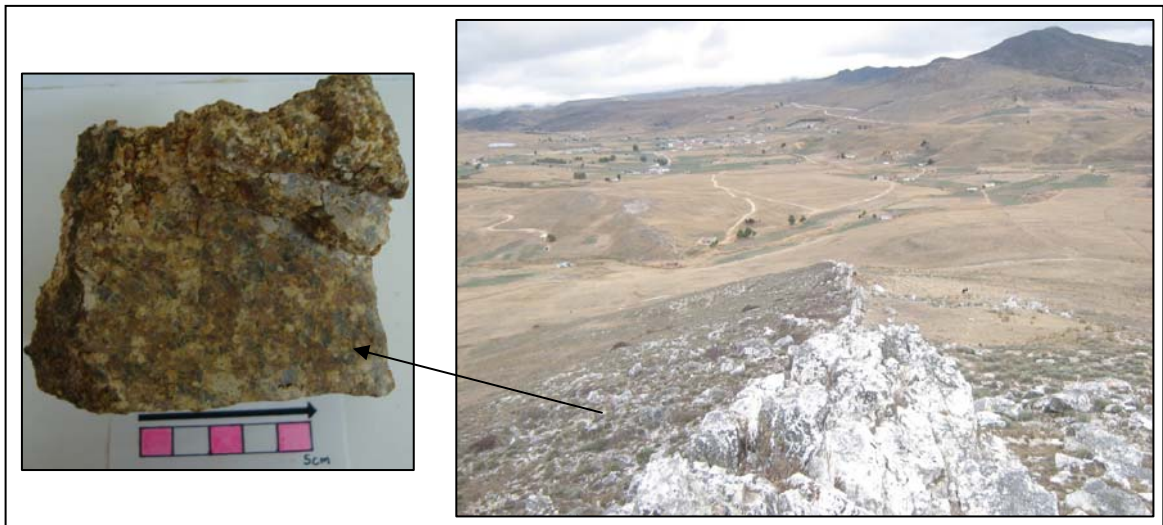


Tomada en dirección NS. Vía Berlín-Baraya, Cerro las Guarichas.

- **Cuarzomonzonita de Santa Bárbara**

La cuarzomonzonita es de color rosado, rosado naranja a gris violáceo, de grano medio a grueso, inequigranular, compuesta por feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita; excluyendo a la biotita, generalmente el feldespato potásico es ligeramente más abundante que la plagioclasa. Esta unidad abarca una extensión importante de la zona de estudio y se encuentra afectada por venas de cuarzo que la atraviesan en diferentes direcciones (Figura 6) con dimensiones que varían entre: 1.30m a 7m de altura, 1m a 3m de espesor y 100m a 300m de longitud; también por factores estructurales tales como diaclasas, de dirección predominantemente NE y fallas de rumbo (Falla el Calvario). La Cuarzomonzonita de Santa Bárbara conforma el Batolito de Santa Bárbara, Grupo Plutónico de Santander; aflora al oriente del departamento de Santander, se asume una edad de Triásico Superior-Jurásico inferior (Ward, et al. 1973).

Figura 6. Aspecto de la vena de cuarzo que afecta la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara y muestra respectiva de la unidad.

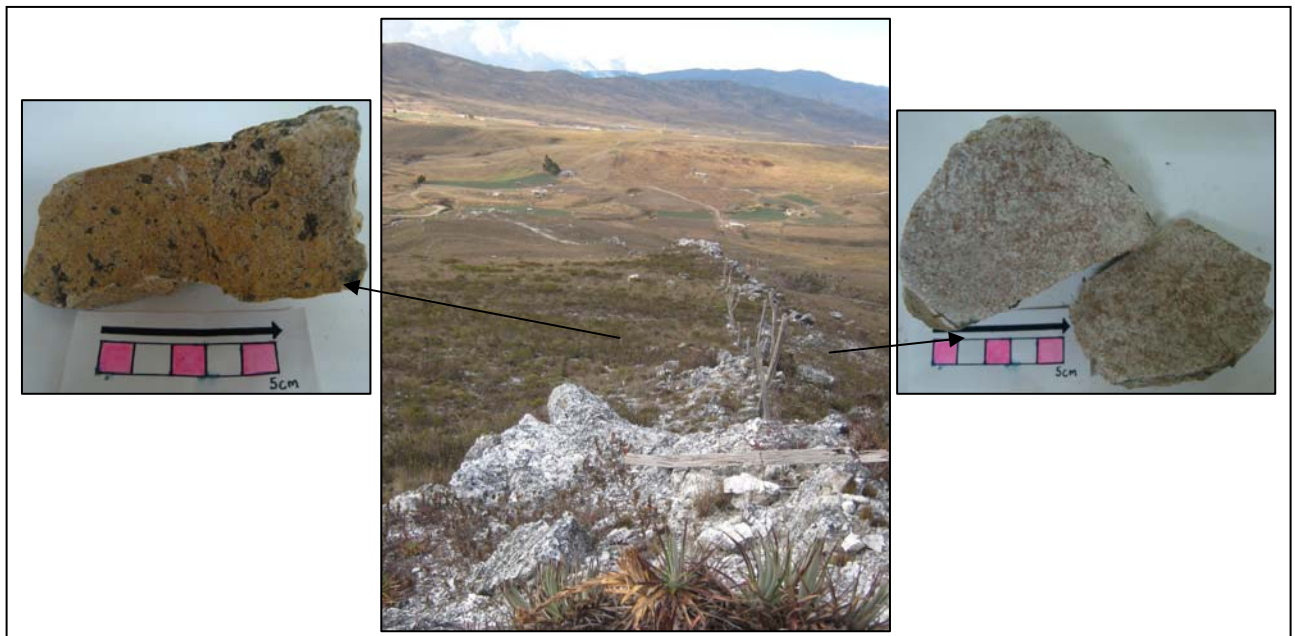


Tomada en dirección NW. Desvío de la vía Berlín-Vetas.

- **Granito de Pescadero**

Se caracteriza por presentar color rosado grisáceo predominantemente. De textura fanerítica equigranular de grano medio. Su composición es principalmente cuarzo, plagioclasa y ortoclasa, con algunas apariciones de biotita y muscovita. Se encuentra afectado por una vena de cuarzo de aproximadamente 3m de altura, 2m de espesor y 700m de longitud. Aflora sobre la carretera que conduce al Topón, a la altura del Cerro el Encenillo. Se considera una variedad del Batolito de Mogotes dada su similitud con este (Figura 7). Se reconocen dos masas en forma de plug del Granito de Pescadero hacia el sur de Berlín cortando la cuarzomonzonita de Santa Bárbara y las rocas metasedimentarias en el noroeste del cuadrángulo H-13 (Ward et al., 1973).

Figura 7. Aspecto de la vena de cuarzo que afecta a la unidad Granito de Pescadero y muestras de la misma, recolectadas a lado y lado del filón.



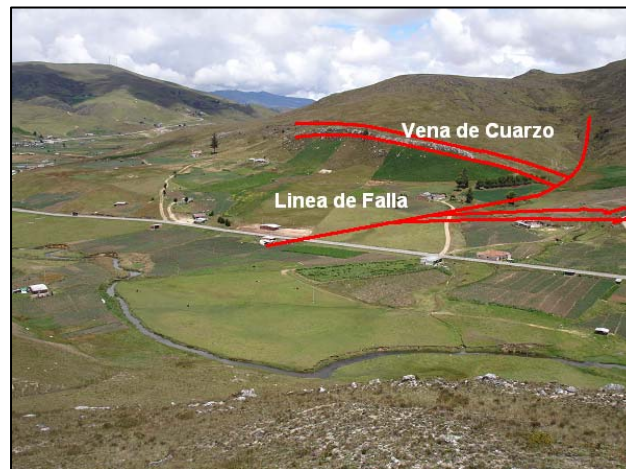
Tomada en dirección EW. Vía Berlín-Topón, Cerro el Encenillo.

5.2 ESTRUCTURAS

En la zona de estudio se presentan estilos estructurales que afectan las manifestaciones hidrotermales y las rocas caja; estas estructuras se describen a continuación.

- Falla el Calvario de rumbo de tipo dextral, con dirección E-W, que se presenta sobre el Cerro que lleva el mismo nombre. Se determina por el desplazamiento evidente de una vena de cuarzo, y por la formación de un drenaje debido al movimiento. Afecta principalmente a la Formación Silgará y a la Unidad Cuarzomonzonita de Santa Bárbara. (Figura 8).

Figura 8. Panorámica de la zona en donde se evidencia el desplazamiento de la vena de cuarzo por efectos de la falla el Calvario.



- Foliaciones de las rocas metamórficas medidas principalmente sobre la Formación Silgará, siguen una tendencia generalizada en sentido NE.

- Patrón de diaclasamiento en sentido NE principalmente que afecta a la vena de cuarzo en contacto con las Cuarzomonzonitas de Santa Bárbara (Figura 9).
- Patrón de diaclasamiento en sentido NW que afecta a la vena de cuarzo en contacto con las Cuarzomonzonitas de Santa Bárbara (Figura 9).

Figura 10. Aspecto de los patrones de diaclasamiento en la vena de cuarzo.



Tomada en dirección NS. Vía Berlín-Baraya, al S del Corregimiento.

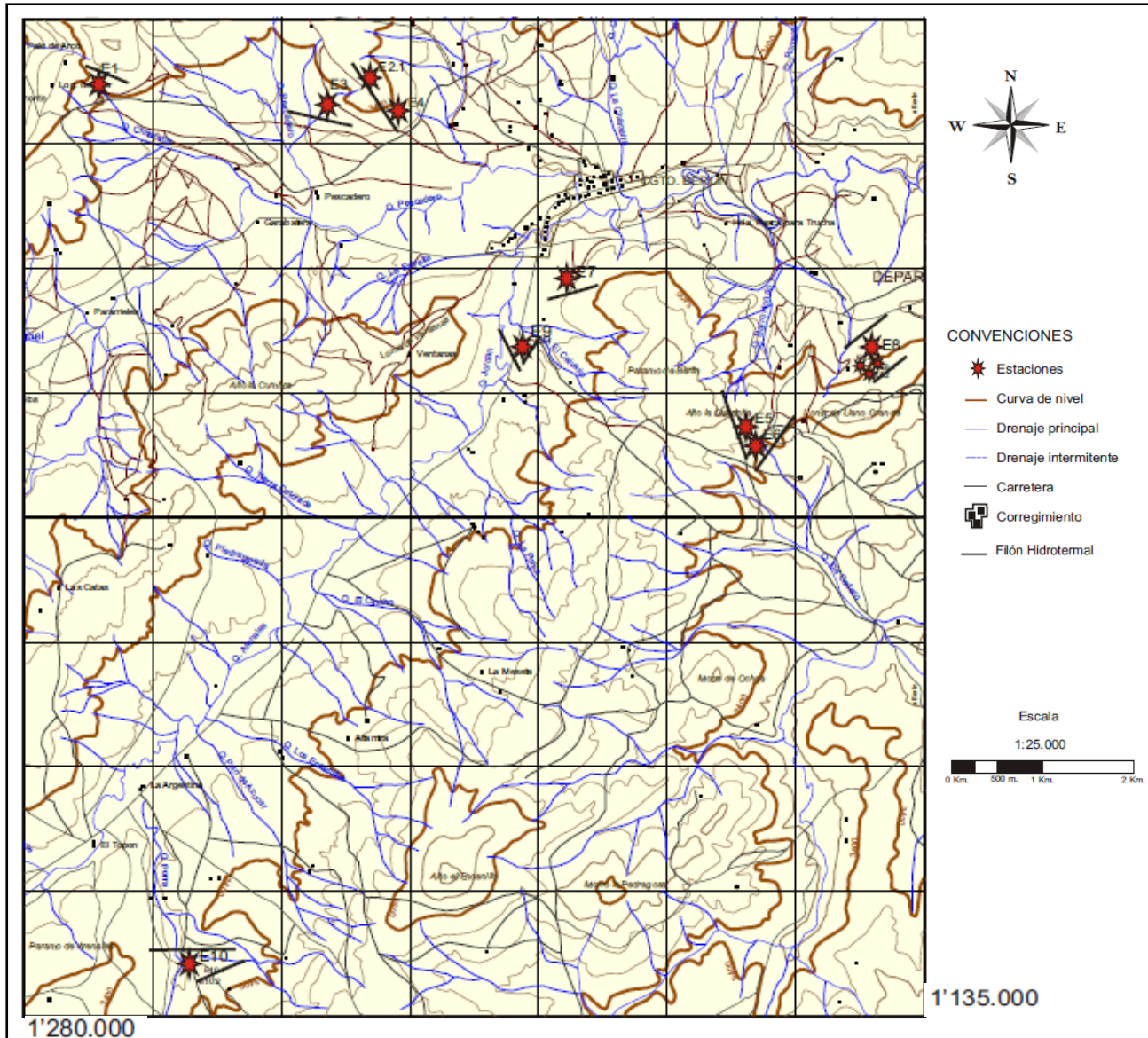
6. DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS FILONES HIDROTERMALES

Los filones hidrotermales estudiados se distribuyen geográficamente en el Corregimiento de Berlín; abarcando zonas específicamente rurales. Dadas las condiciones del estudio, en la figura 11 se ilustra el seguimiento hecho en estaciones a escala 1:25000, definiendo la dirección de los mismos. Teniendo en cuenta que se estudiaron siete filones hidrotermales; se distribuyen de la siguiente forma en la zona:

- **Filón 1.** En la margen izquierda de la vía Bucaramanga-Pamplona; en dirección SW de la vía Berlín-Vetas.
- **Filón 2.** En la margen izquierda de la vía Bucaramanga-Pamplona; en dirección SW de la vía Berlín-Vetas. Se encuentra aproximadamente a 500m del filón 1.
- **Filón 3.** En la margen derecha de la vía Bucaramanga-Pamplona, en dirección E del carretable Berlín-Baraya, sobre el alto las Guarichas.
- **Filón 4.** En la margen derecha de la vía Bucaramanga-Pamplona, en dirección SE del cementerio central del Corregimiento.
- **Filón5.** En la margen derecha de la vía Bucaramanga-Pamplona, siguiendo el carretable Berlín-Agua Clara; en dirección SE de la escuela de la vereda (Escuela Agua Clara).
- **Filón 6.** En la margen derecha de la vía Bucaramanga-Pamplona, siguiendo el carretable Berlín-El Calvario; en dirección S del Corregimiento.

- **Filón 7.** En la margen derecha de la vía Bucaramanga-Pamplona, siguiendo el carreteable Berlín-el Topón en dirección SW del cerro el Encenillo.

Figura 11. Representación del seguimiento hecho a los filones en estaciones, durante el trabajo de campo.



Fuente: Modificado de las Planchas 110-III-C y 110-III-D, escala 1:25000.

7. CARACTERIZACION DE LOS FILONES HIDROTERMALES

Durante el trabajo de campo se muestrearon 7 filones hidrotermales; los cuales representan las características más relevantes, dadas sus cualidades físicas (dirección y dimensiones); a partir de las cuales se clasificaron en tres tipos (Tabla 5).

Tabla 5. Caracterización de los filones hidrotermales, según datos tomados en campo (predominantemente dirección). AFC: antes de la falla el Calvario, DFC: después de la falla el Calvario.

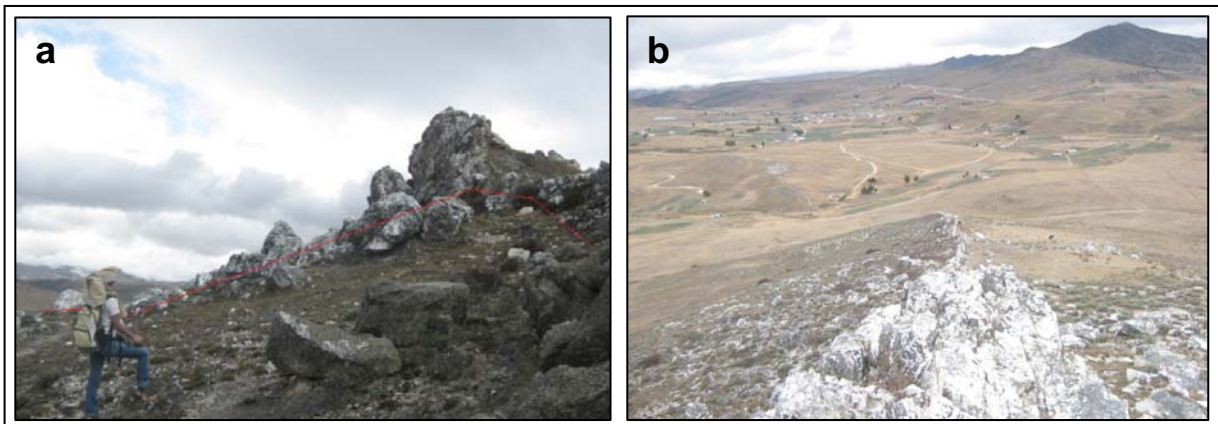
FILON	UBICACION	RUMBO	BUZAMIENTO	LONGITUD (m)	ESPESOR (m)	TIPO
1	X: 1.287.570 Y: 1.130.586	N60W	54 SW	150	3	I
2	X: 1.287.356 Y: 1.130.356	N80W	75 SW	300	1	I
3	X: 1.284.622 Y: 1.133.651	N35E	82 SE	500	2.5	II
4	X: 1.285.962 Y: 1.132.381	N70E	73 SE	250	2.5	II
5	X: 1.285.282 Y: 1.134.655	N60E	70 NW	200	2	II
6	X: 1.285.374 Y: 1.132.465	N75E	SE	100	2.5	II
	X: 1.285.419 Y: 1.131.965	N40E DFC	55 SE	100	2.5	
7	X: 1.280.413 Y: 1.129.319	EW	NS	700	2	III

La orientación de los filones es preferencialmente NE, NW Y EW; y con base en esto se definieron tres tipos.

- Filón Tipo I.

De rumbo NW y buzamiento SW; corresponde a los filones 1 y 2, de dimensiones entre 150m a 300m de longitud, 1m a 3m de espesor y 2m a 7m de altura. La roca caja es la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (Figura 12 a y b). Con respecto a su ubicación se localizan en la margen izquierda de la vía Bucaramanga-Pamplona; en dirección SW de la vía Berlín-Vetas, aproximadamente con un espaciamiento de 500m entre filones; de acuerdo con esto, este tipo es el que geográficamente se encuentra más cerca de la zona minera de Vetas.

Figura 12. Aspecto de los filones hidrotermales Tipo I. a) Filón 1. Tomada en dirección SE b) Filón 2 Tomada en dirección NW.



- Filón Tipo II

De rumbo NE y buzamiento que varía entre SE y NW; corresponde a los filones 3, 4, 5 y 6; este último filón se encuentra cortado por la falla de rumbo el Calvario. Sus dimensiones están entre 200m a 500m de longitud, 2m a 2.5m de espesor y 1.30m a 5m de altura. La morfología del contacto del filón 3 con la roca caja (Formación Silgará), es irregular y en algunos sectores no es muy brusco (Figura 13a); mientras que los filones 4, 5 y 6 (Figura 13 b, c y d respectivamente) se encuentran en contacto concordante con la roca caja (Cuarzomonzonita de Santa Bárbara). Estos filones se localizan en la margen derecha de la vía Bucaramanga-Pamplona; siguiendo los carreteables Berlín-Baraya, Berlín-Agua Clara, Berlín-El Calvario y Berlín-El Topón.

Figura 13. Aspecto de los filones hidrotermales Tipo II. a) Filón 3, tomada en dirección NS. b) Filón 4, tomada en dirección EW. c) Filón 5, tomada en dirección SE. d) Filón 6, tomada en dirección NE.



- Filón Tipo III

De rumbo EW y buzamiento NS; corresponde al filón 7, de dimensiones: 700m de longitud, 2m de espesor y 3m de altura (Figura 14). La roca caja es el Granito de Pescadero.

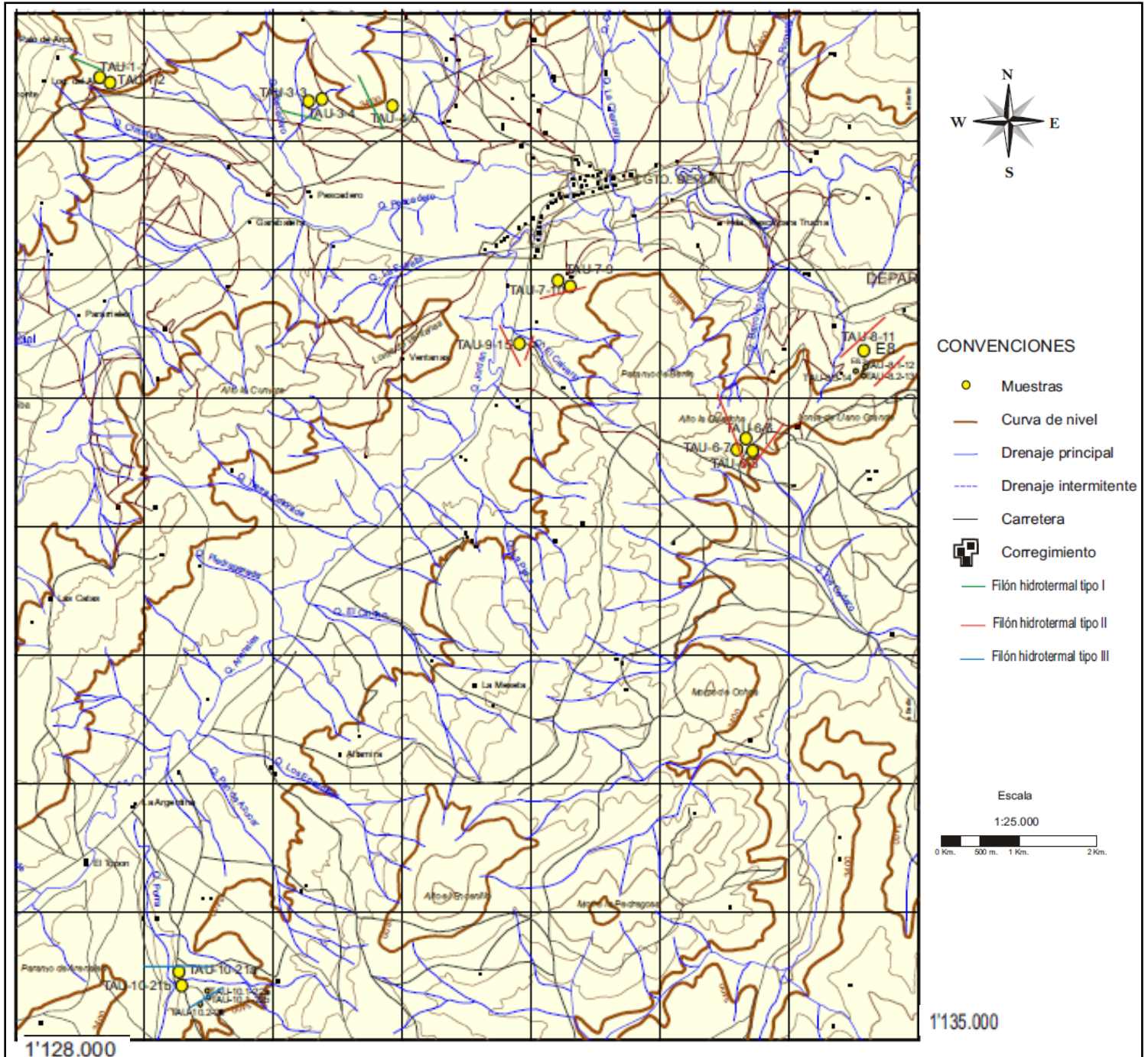
Figura 14. Aspecto del filón hidrotermal Tipo III. Filón 7.



Tomada en dirección EW.

En la figura 15 se presenta la distribución de los filones hidrotermales de acuerdo con su caracterización; y el muestreo respectivo que se realizó sobre ellos.

Figura 15. Representación de la distribución geográfica de los filones hidrotermales y del muestreo realizado en campo.

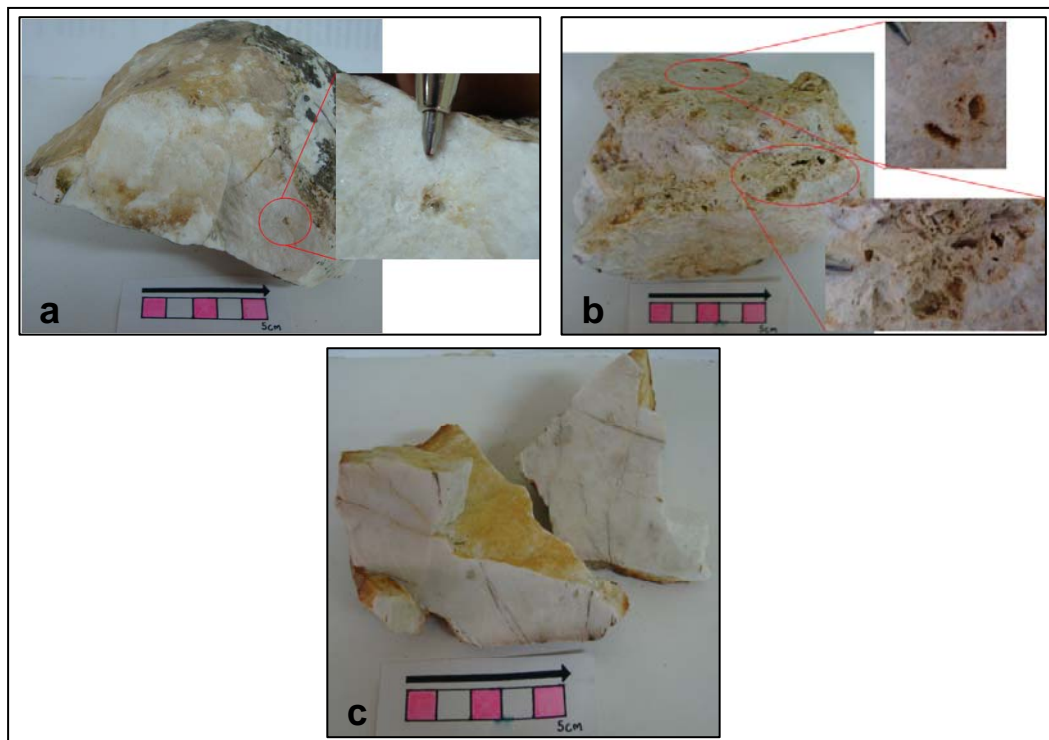


Fuente: Modificado de las Planchas 110-III-C y 110-III-D, escala 1:25000.

7.1 MINERALOGIA Y PETROGRAFIA

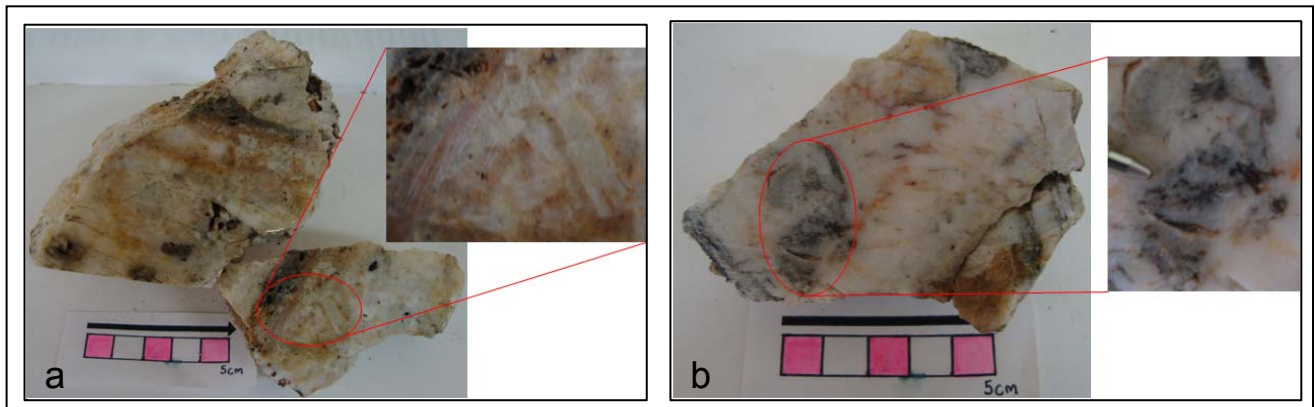
A partir del análisis macroscópico de las muestras recolectadas en campo (20 muestras); se determinó que los filones de cuarzo presentan en general estructura maciza y textura que comúnmente varía a lo largo de su extensión (longitud), siendo predominante el cuarzo amorfo, se identifica, en algunas muestras, crecimiento de los cristales de cuarzo de los bordes hacia el centro, desde muy fino hasta grueso; además de cavidades en las cuales se observa cuarzo en drusa (Figura 16a) y posiblemente cuarzo oqueroso (Figura 16b). Se encontraron fuertemente fracturados (Figura 16c) y afectados por factores tanto físicos como químicos (meteorización) los cuales facilitan el desgaste superficial de los mismos, también la influencia de fallas de rumbo sobre los filones se evidencia en una leve orientación de los cristales predominantemente en los filones de Tipo II.

Figura 16. Características texturales y estructurales del cuarzo. a) Aspecto de las cavidades en la muestra T.A.U-3-4, en donde crece cuarzo en drusa. b) Aspecto de el cambio textural en la muestra T.A.U-7-10, lo que se reconoce como oquedades. c) Aspecto del fracturamiento de la muestra T.A.U-9-15.



Mineralógicamente se encontró feldespato potásico (de color rosado-naranja y tamaño de grano fino a medio) y plagioclasa (de color blanca-grisácea y tamaño de grano fino a grueso, en ocasiones presenta aspecto terroso) en proporciones importantes; muscovita, óxidos, sulfuros, epidota y arcillas como accesorios y cuarzo como componente principal (Figura 17a). El cuarzo presenta cambios en su estructura y aspecto observándose: cuarzo de color blanco lechoso de grano muy fino a grueso y brillo vítreo; cuarzo traslúcido de tamaño de grano fino, brillo vítreo y en forma de drusa, cuarzo de color blanco-crema, amorfo, mate y con cavidades importantes en su estructura; cuarzo de color blanco, tamaño de grano muy fino y aparentemente muy liviano, que se define como cuarzo opalínico y finalmente cuarzo gris o calcedónico de brillo ceroso y tamaño de grano muy fino. Además es ocasional la presencia de xenolitos de la roca caja en las venas (brechificación aparentemente hidrotermal) (Figura 17b); afectando la composición de las mismas.

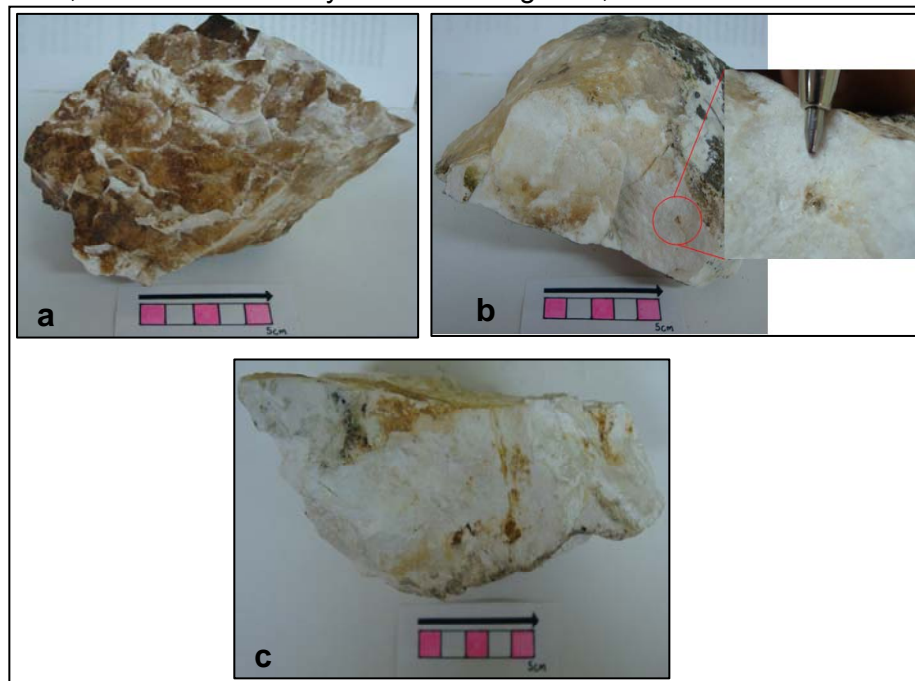
Figura 17. Características composicionales del material de relleno de los filones. a) Aspecto de la variedad composicional en la muestra de vena de cuarzo T.A.U-8.1-12, caracterizada como brecha. b) Aspecto de xenolitos de roca caja (esquisto) en la muestra T.A.U-6-8, caracterizada como brecha.



7.1.1 FILON TIPO I

A este grupo corresponden los filones 1 y 2 clasificados según dirección NW. Se tomaron 4 muestras representativas: T.A.U-1-1, T.A.U-3-3, T.A.U-3-4 y T.A.U-4-5. Del análisis macroscópico de las muestras correspondientes a este grupo se tiene que, los filones son predominantemente de color blanco lechoso; presentan una estructura maciza y textura homogénea; predominantemente cuarzo amorfo aunque en ocasiones se observa un tamaño de grano muy fino sin variaciones. Las muestras presentan fracturas en todos los sentidos lo cual favorece la destrucción de la vena y la oxidación de las mismas, formándose tonalidades amarillentas. En ocasiones se observan porosidades importantes que favorecen el crecimiento de los cristales de cuarzo en drusa de aproximadamente 2mm-4mm de longitud; es característico de este grupo el cuarzo muy blanco, liviano y de aspecto criptocristalino conocido como cuarzo opalínico (Figura 18 a, b y c).

Figura 18. Características texturales y estructurales del filón tipo I. a) Aspecto del fuerte fracturamiento y oxidación de los filones, muestra T.A.U-3-3. b) Aspecto de las porosidades y crecimiento de cuarzo en drusa, muestra T.A.U-3-4. c) Aspecto del color blanco-lechoso, estructura maciza y textura homogénea, muestra T.A.U-4-5.

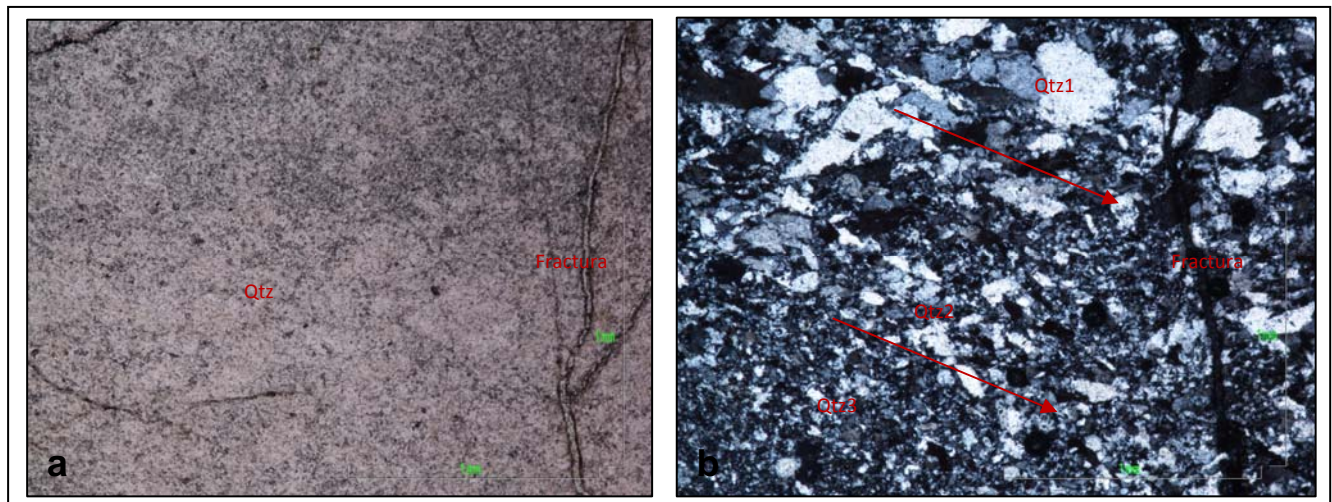


Composicionalmente las muestras se presentan relativamente homogéneas con cuarzo en más de 95% como mineral principal y algunas apariciones de muscovita y epidota como minerales accesorios.

- **MUESTRA T.A.U-3-3**

El tamaño del grano es inequigranular y subhedral predominantemente; presentan textura Porfidítica (fenocristales de cuarzo) y localmente Poiquilitica (inclusiones de muscovita y epidota en el cuarzo) además de intercrecimiento de cristales de cuarzo en forma de agujas producto de esfuerzos (textura “palizada”); bajo el microscopio es evidente una leve orientación de los cristales de cuarzo, además de variación en el tamaño de grano. (Figura 19).

Figura 19. Características petrográficas de la muestra T.A.U-3-3. a) En NII. b). En NX. Qtz: cuarzo, Qtz1: cuarzo 1, Qtz2: cuarzo 2, Qtz3: cuarzo 3.



Composición mineralógica:

Cuarzo (96%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo. Distribuido homogéneamente en la placa.

- Cuarzo 1: Tamaño de grano grueso ($\geq 2\text{mm}$) y forma subhedral. Presenta ocasionalmente una textura de intercrecimiento hacia los bordes del cristal a manera de agujas (Palizada). Esta fuertemente afectado por microfracturas.
- Cuarzo 2: Tamaño de grano medio (0.5mm-2mm) y forma subhedral. Presenta una dirección preferencial de elongación de los cristales. En ocasiones se encuentra incluido por la epidota.
- Cuarzo 3: Tamaño de grano fino (0.17mm-0.5mm) y forma anhedral a subhedral. Componente principal de la matriz.

Epidota (2%): Individuos incoloros a verde muy claro con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden y amarillos de primer orden, anhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto y tamaño de grano fino (0.5mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo. Presenta una característica particular que consiste en que los colores de birrefringencia se organizan a manera de “vitral”. Se encuentra heterogéneamente distribuido por la placa.

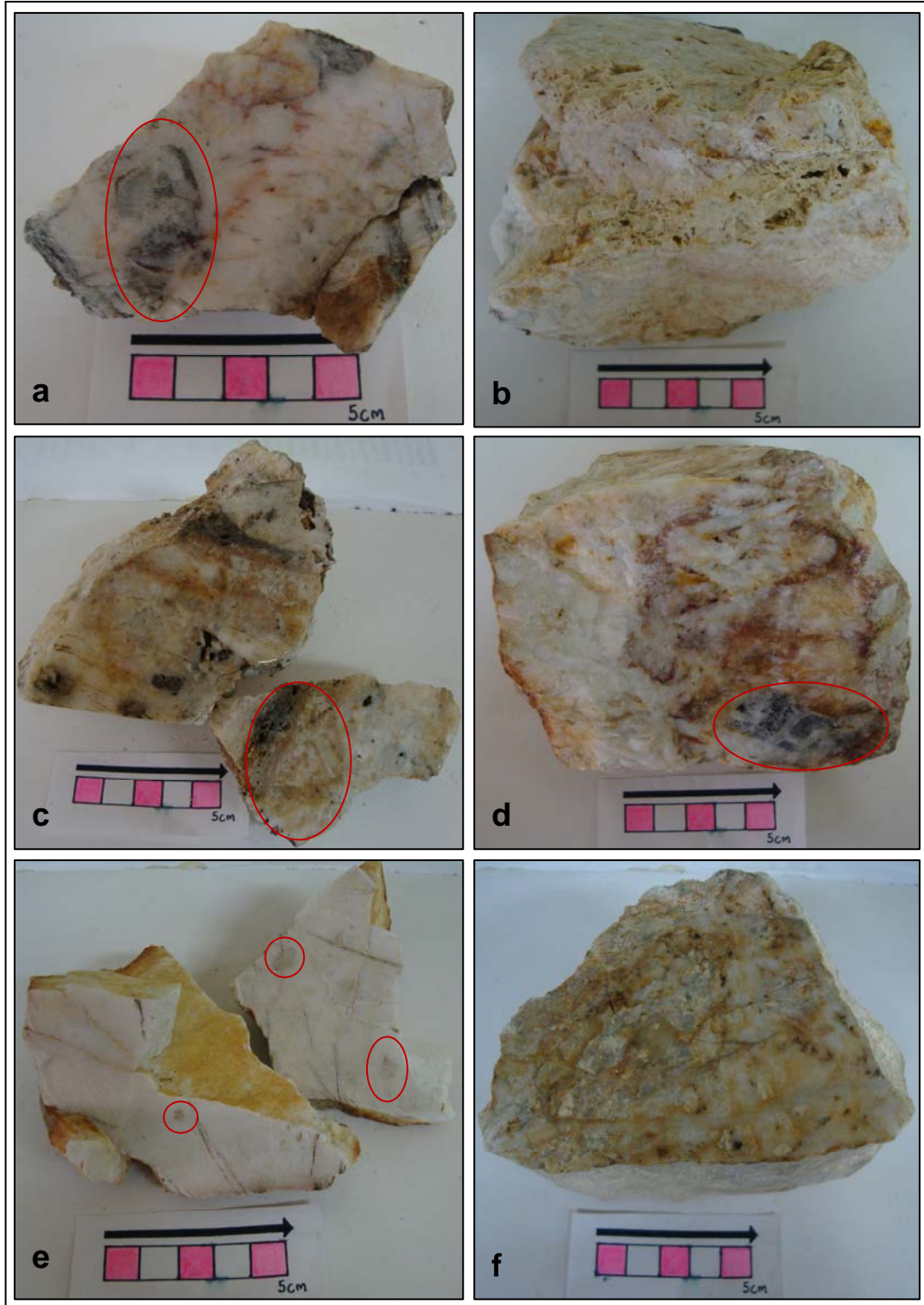
Muscovita (2%): Individuos de color café-amarillo en ocasiones incoloros, con birrefringencia que varía entre amarillos de tercer orden, subhedrales de relieve medio. Anisotrópico-biáxico con exfoliación en una sola dirección. Se presentan a manera de agregados cristalinos de tamaño de grano fino (0.25mm). Se encuentran heterogéneamente distribuidos en la placa.

7.1.2 FILON TIPO II

A este grupo corresponden los filones 3, 4, 5 y 6; clasificados según dirección NE. Se tomaron 13 muestras representativas: T.A.U-6-8, T.A.U-7-9, T.A.U-7-10, T.A.U-8-11, T.A.U-8.1-12, T.A.U-8.2-13, T.A.U-8.3-14, T.A.U-9-15, T.A.U-9.1-16, T.A.U-9.1-17, T.A.U-9.1-18, T.A.U-9.1-19a y T.A.U-9.1-19b. Del análisis macroscópico de las muestras correspondientes a este grupo se tiene que, el color es predominantemente blanco-lechoso, aunque presenta variaciones comunes a blanco-grisáceo y blanco-rosado; producto de impurezas en el momento de la cristalización. Con respecto al tamaño de grano se observó que varía desde muy fino (homogéneo en toda la muestra) hasta fino-medio (cambios progresivos desde los bordes hacia el centro ó cambios abruptos desde el centro hacia los bordes). Ocasionalmente se observan fracturas irregulares que cortan las muestras en todos los sentidos favoreciendo la oxidación y produciendo tonalidades amarillas; además venillas de cuarzo cristalino de tamaño fino y medio. Son características de este grupo las porosidades en donde crece cuarzo en drusa de aproximadamente 5mm de longitud, además de la presencia de oquedades importantes en el cuarzo (Filón 4) El filón 3 presenta xenolitos de la roca caja (esquisto cuarzo-grafitoso) de aproximadamente 2cm de radio; el filón 5 presenta brechificación aparentemente hidrotermal (Figura 20c) y cuarzo calcedónico con pirita (Figura 20d); el filón 6 presenta enclaves de cuarzo de grano grueso de color blanco-grisáceo. (Figura 20e) y fluorita como mineral accesorio en la vena (Figura 20f).

Figura 20. Características estructurales y texturales del filón tipo II. a) Aspecto del filón 3 con presencia de xenolitos de la roca caja, muestra T.A.U-6-8. b) Aspecto del filón 4 compuesto principalmente por cuarzo oqueroso, muestra T.A.U-7-10. c) Aspecto del filón 5 con variaciones composicionales importantes (fenocristales de plagioclasa) y presencia de “caracha”, muestra T.A.U-8.1-12, caracterizada como brecha. d) Aspecto de filón 5 con variaciones texturales condicionadas por el tamaño de grano que cambia de los bordes hacia el centro, además de las impurezas en el cuarzo de color rojizo, y la presencia de cuarzo gris, muestra T.A.U-8.3-14. e) Aspecto del filón 6 con presencia de enclaves de cuarzo de grano grueso de color blanco-grisáceo, muestra T.A.U-9-15. f) Aspecto del filón

6 con variaciones composicionales importantes y presencia de fracturas irregulares que favorecen la oxidación, muestra T.A.U-9.1-17.

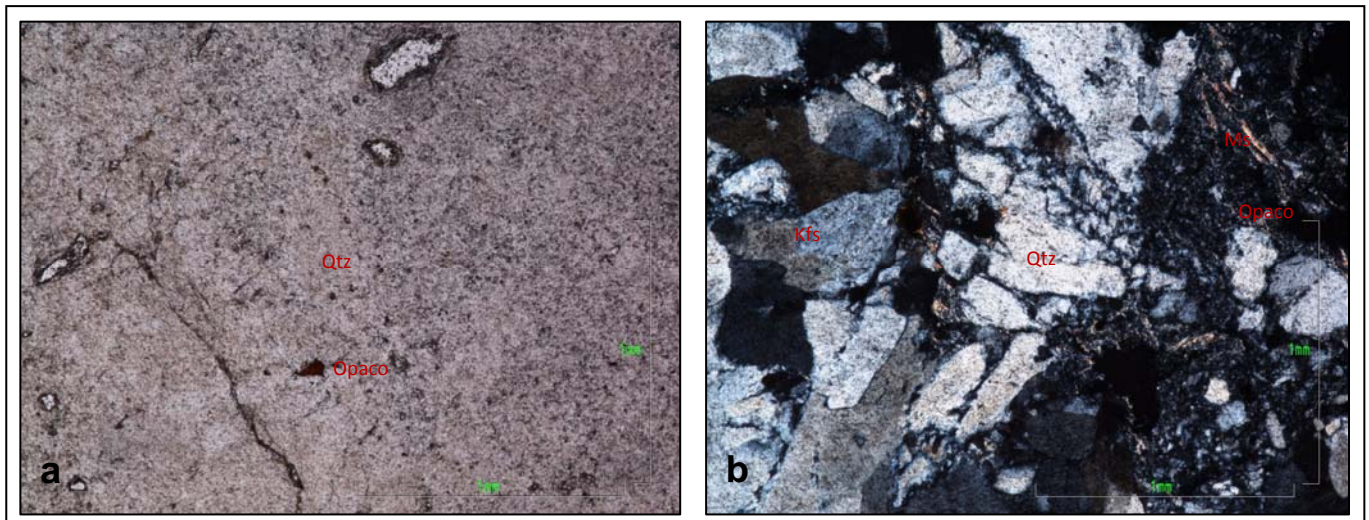


Composicionalmente las muestras presentan cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico como minerales principales, muscovita, óxidos, pirolusita, fluorita y sulfuros (pirita) como minerales accesorios, sericita y caolín como minerales secundarios. Para el filón 3 el grafito también se presenta como mineral principal.

- **MUESTRA T.A.U-6-8**

El tamaño de grano es Inequigranular predominantemente subhedral. Presenta textura Porfídítica (fenocristales de cuarzo); localmente se observa intercrecimiento del cuarzo a manera de agujas posiblemente como producto de esfuerzos (textura “palizada”) y textura Poiquilítica (inclusiones de minerales accesorios en minerales principales) (Figura 21).

Figura 21. Aspecto de la muestra T.A.U-6-8. a) En NII. b) En NX. Qtz: cuarzo, Kfs: feldespato potásico, Ms: muscovita.



Composición mineralógica:

Cuarzo (65%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo. Distribuido homogéneamente en la placa.

- Cuarzo 1: Tamaño de grano grueso (2.10mm) y forma subhedral. Presenta una textura de intercrecimiento hacia los bordes del cristal a manera de agujas.
- Cuarzo 2: Tamaño de grano medio (0.60mm) y forma subhedral. Representa el cuarzo de la roca caja (esquisto grafitoso). Se encuentra en contacto con la muscovita, la plagioclasa, el feldespato K y cuarzo 1.
- Cuarzo 3: Tamaño de grano fino (0.08mm) y forma subhedral. Representa el cuarzo en vetillas que atraviesan la muestra.

Plagioclasa (12%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subidioblásticos y heteroblásticos. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano medio (0.7mm). Presenta maclado tipo albita y tipo Carlsbad. Se encuentra en contacto neto con el feldespato potásico, cuarzo 2 y cuarzo 3. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

Feldespato potásico (10%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subidioblásticos, heteroblásticos. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano fino a medio (0.42mm-0.6mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con la plagioclasa, cuarzo 1 y cuarzo 2. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

Muscovita (8%): Individuos o agregados incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden hasta amarillos de primer orden, subidioblásticos a heteroblásticos. Anisotrópico- biáxico de relieve bajo, exfoliación en una dirección

y tamaño de grano fino (0.25mm). Se encuentra en contacto con el cuarzo 1 y el cuarzo 2. Está heterogéneamente distribuida en la placa.

Zircón (3%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre rosado de tercer orden y amarillo de segundo orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto, xenoblásticos y heteroblásticos de tamaño de grano fino (0.5mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo 1. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

Opacos (2%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano muy fino (0.03mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo 2 así como en contacto con este; presenta signos de oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

- Se presenta a manera de ramificaciones con textura fluida en la roca caja; se identifica como grafito y se encuentra en contacto con la muscovita y el cuarzo 2 siguiendo la misma dirección preferencial de estos (definiendo la foliación)

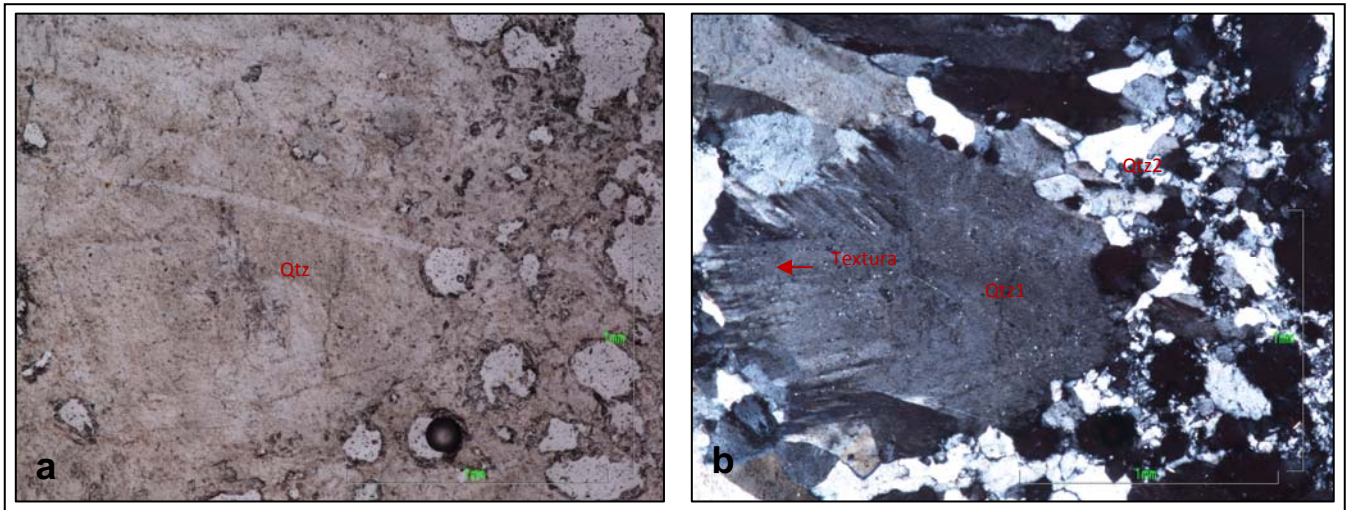
Con respecto a los xenolitos, corresponden a Esquisto cuarzo-grafitoso (Muestra T.A.U-6-6).

- **MUESTRA T.A.U-8-11**

El tamaño de grano es Inequigranular predominantemente subhedral. Presenta textura Porfídica (fenocristales de cuarzo); localmente se observa intercrecimiento del cuarzo a manera de agujas posiblemente como producto de

esfuerzos (textura “palizada”) y textura kelifítica (bordes de reacción en los cristales) (Figura 22).

Figura 22. Características del tamaño de grano de la muestra T.A.U-8-11. a) En NII. b) En NX, detalle de la textura “palizada” en el cuarzo. Qtz: cuarzo, Qtz1: cuarzo 1, Qtz2: cuarzo 2.



Composición mineralógica:

Cuarzo (85%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, anhedrales a subhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo y tamaño de grano grueso (2mm). Presenta inclusiones ocasionales de zircón, muscovita y cuarzo de tamaño fino (~0.15mm). Está homogéneamente distribuido por toda la placa y en contacto con el feldespato potásico y la plagioclasa.

- Se observan sectorizaciones de agregados cristalinos de tamaño muy fino a fino (0.03mm-0.38mm) con las mismas características ópticas del cuarzo de mayor tamaño, en ocasiones se incluyen en este, están distribuidos heterogéneamente en la placa. Se observa una leve orientación de los

cristales. Están en contacto con el feldespato potásico y el cuarzo de mayor tamaño.

Feldespato potásico (5%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano medio (1.10mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con el cuarzo y la plagioclasa. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

- Caolinita: Agregado mineral producto de la alteración del feldespato potásico, incolora con birrefringencia que varía entre amarillos y grises de primer orden. Anisotrópico uniáxico, de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0.03mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa.

Plagioclasa (3%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano medio (1.25mm). Presenta maclado tipo Carlsbad. Se encuentra en contacto neto con el feldespato potásico y el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

Rutilo (3%): Individuos de color marrón-rojizo, con birrefringencia que varía en las mismas tonalidades, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.12mm). En su mayoría se presenta a manera de parches. Esta heterogéneamente distribuido en la placa y se encuentra en contacto con el cuarzo.

Opacos (2%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.4mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo así como en contacto con este; presenta signos de

oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

Muscovita (1%): Individuos o agregados incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden hasta amarillos de primer orden, subhedrales. Anisotrópico- biáxico de relieve bajo, exfoliación en una dirección y tamaño de grano medio (0.7mm). Se encuentra en contacto con el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida en la placa.

Zircón (1%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre rosado de tercer orden y amarillo de segundo orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto, anhedrales de tamaño de grano fino (0.45mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

- **MUESTRA-T.A.U-8.1-12**

El tamaño de grano es Inequigranular predominantemente subhedral. Presenta textura Porfidítica (fenocristales de cuarzo); localmente se observa intercrecimiento del cuarzo a manera de agujas desde los bordes hacia el centro del cristal posiblemente como producto de esfuerzos (textura “palizada”) y textura kelifítica (bordes de reacción en los cristales) (Figura 23).

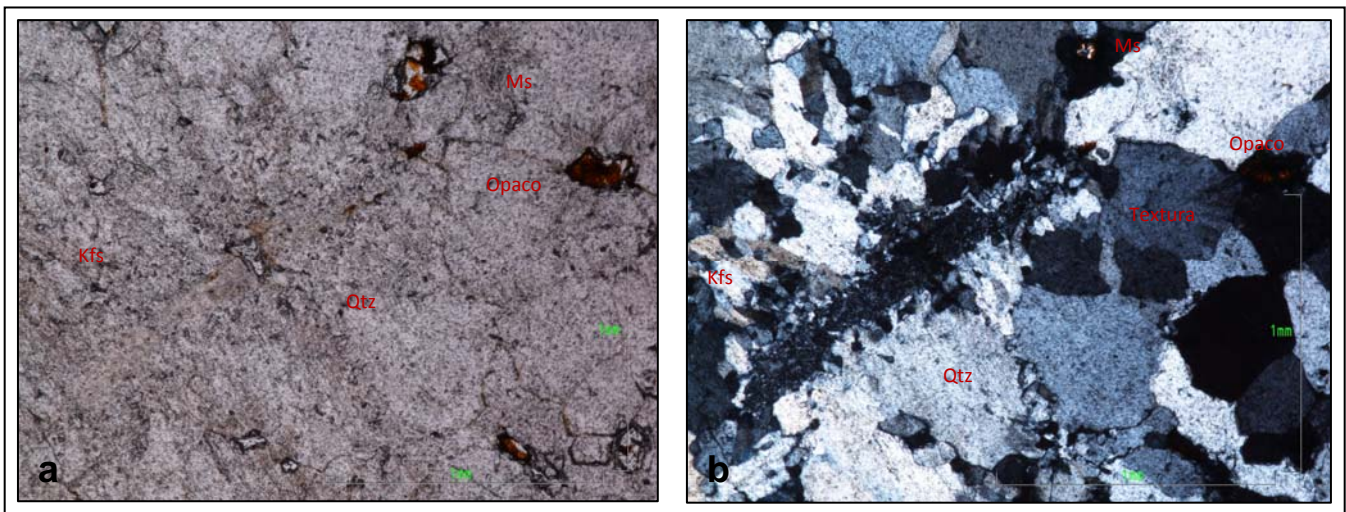
Composición mineralógica:

Cuarzo (80%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, anhedrales a subhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo y tamaño de grano grueso (2mm). Presenta inclusiones ocasionales de epidota.

Está homogéneamente distribuido por toda la placa y en contacto con el feldespato potásico y la plagioclasa.

- Se observan sectorizaciones de agregados cristalinos de tamaño fino (0.34mm) con las mismas características ópticas del cuarzo de mayor tamaño, en ocasiones se incluyen en este, están distribuidos heterogéneamente en la placa.

Figura 23. Contraste en el tamaño de grano de la muestra T.A.U-8.1-12. a) En NII. b) En NX, detalle de la textura “palizada” en el cuarzo. Qtz: cuarzo, Kfs: feldespato potásico, Ms: muscovita.



Feldespato potásico (9%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano medio (1mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con el cuarzo y la plagioclasa. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

- Caolinita: Agregado mineral producto de la alteración del feldespato potásico, incolora con birrefringencia que varía entre amarillos y grises de

primer orden. Anisotrópico uniáxico, de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0.03mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa.

Plagioclasa (4%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano medio (0.83mm). Presenta maclado tipo Carlsbad. Se encuentra en contacto neto con el feldespato potásico y el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

Leucoxeno (3%): Individuos de color marrón-rojizo, con birrefringencia que varía en las mismas tonalidades, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.38mm). En su mayoría se presenta a manera de parches. Esta heterogéneamente distribuido en la placa y se encuentra en contacto con el cuarzo. Representa alteraciones u oxidaciones de minerales metálicos.

Epidota (2%): Individuos de color verde muy claro a incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden y amarillos de primer orden, anhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto y tamaño de grano fino (0.08mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo. Presenta una característica particular que consiste en que los colores de birrefringencia se organizan a manera de “vital”. Se encuentra heterogéneamente distribuido por la placa.

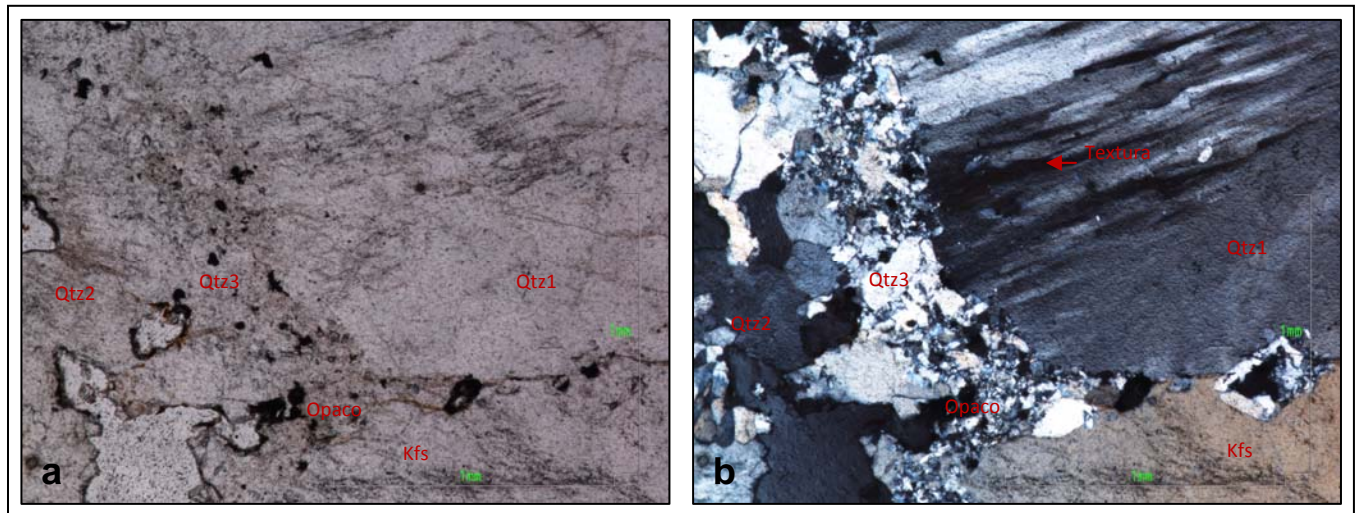
Muscovita (2%): Individuos de color café-amarillo en ocasiones incoloros, con birrefringencia que varía entre amarillos de tercer orden, subhedrales de relieve medio. Anisotrópico-biáxico con exfoliación en una dirección y tamaño de grano fino (0.3mm).

- Se presentan a manera de agregados cristalinos de tamaño de grano fino a medio (0.5 mm). Se encuentran heterogéneamente distribuidos en la placa.

- **MUESTRA T.A.U-8.2-13**

El tamaño de grano es Inequigranular predominantemente subhedral. Presenta textura Porfídica (fenocristales de cuarzo); localmente se observa intercrecimiento del cuarzo a manera de agujas desde los bordes hacia el centro del cristal posiblemente como producto de esfuerzos (textura “palizada”) y textura Poiquilitica (inclusiones de minerales accesorios en minerales principales) (Figura 24). Presenta microfracturas que afectan los cristales minerales de mayor tamaño.

Figura 24. Minerales presentes en la muestra T.A.U-8.2-13. a) En Nil. b) En NX; detalle de la textura “palizada” en el cuarzo. Qtz1: cuarzo 1, Qtz2: cuarzo 2, Qtz3: cuarzo 3, Kfs: feldespato potásico.



Composición mineralógica:

Cuarzo (85%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo. Distribuido homogéneamente en la placa.

- Cuarzo 1: Tamaño de grano grueso (2.90mm) y forma subhedral. Presenta una textura de intercrecimiento hacia los bordes del cristal a manera de agujas. Palizada. Se encuentra fuertemente afectado por microfracturas y en ocasiones incluido por clorita.
- Cuarzo 2: Tamaño de grano medio (1.6mm) y forma subhedral. En ocasiones se incluyen en el cuarzo de mayor tamaño.
- Cuarzo 3: Tamaño de grano fino (0.23mm) y forma subhedral. Se presenta a manera de agregados cristalinos que crecen a los bordes de los cristales de mayor tamaño; presentan una dirección preferencial.

Feldespato potásico (7%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedral. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano grueso (2.80mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con el cuarzo y la plagioclasa. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa y se encuentra fuertemente afectada por microfracturas.

Plagioclasa (2%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedral. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano grueso (2.50mm). Presenta maclado tipo Carlsbad. Se encuentra en contacto neto con el feldespato potásico y el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

Muscovita (2%): Individuos de color café-amarillo en ocasiones incoloros, con birrefringencia que varía entre amarillos de tercer orden, subhedral a euhedral de relieve medio. Anisotrópico-biáxico con exfoliación en una dirección y tamaño de grano muy fino (0.02mm).

- Se presentan a manera de agregados cristalinos de tamaño de grano fino a medio (0.5 mm). Se encuentran heterogéneamente distribuidos en la placa.

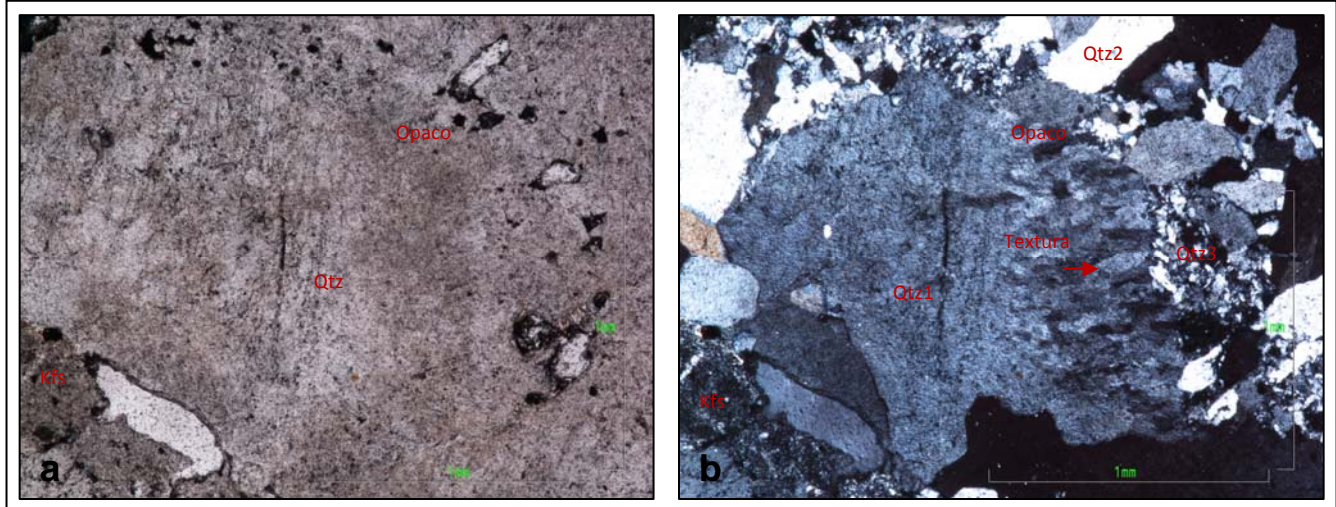
Opacos (3%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano medio (0.63mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo así como en contacto con este; presenta signos de oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

Clorita (1%): Individuos o agregados de color verde muy claro y birrefringencia que varía entre azules de segundo orden y grises de primer orden, subhedrales de tamaño de grano fino a medio (0.5mm-2mm). Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y exfoliación en una dirección. Se encuentra heterogéneamente distribuida en la placa, en ocasiones incluido en el cuarzo.

- **MUESTRA T.A.U-8.3-14**

El tamaño de grano es inequigranular predominantemente subhedral. Presenta textura Porfídica (fenocristales de cuarzo); localmente se observa intercrecimiento del cuarzo principalmente a manera de agujas desde los bordes hacia el centro del cristal posiblemente como producto de esfuerzos (textura “palizada”), textura kelifítica (bordes de reacción en los cristales) y textura Poiquilitica (inclusiones de minerales accesorios en minerales principales) (Figura 25).

Figura 25. Características petrográficas de la muestra T.A.U-8.3-14. a) En NII. b) En NX; detalle de la textura “palizada” en el cuarzo. Qtz: cuarzo, Qtz1: cuarzo 1, Qtz2: cuarzo 2, Qtz3: cuarzo 3, Kfs: feldespato potásico.



Composición mineralógica:

Cuarzo (85%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo. Distribuido homogéneamente en la placa.

- Cuarzo 1: Tamaño de grano grueso (2.20mm) y forma subhedral. Presenta una textura de intercrecimiento hacia los bordes del cristal a manera de agujas. Palizada. Se encuentra fuertemente afectado por microfracturas.
- Cuarzo 2: Tamaño de grano medio (1.20mm) y forma subhedral. En ocasiones se incluyen en el cuarzo de mayor tamaño.
- Cuarzo 3: Tamaño de grano fino (0.34mm) y forma subhedral. Se presenta a manera de agregados cristalinos que crecen a los bordes de los cristales de mayor tamaño a manera de agujas.

Feldespato potásico (10%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedral. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño

de grano grueso (2.50mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa y se encuentra fuertemente afectada por microfracturas.

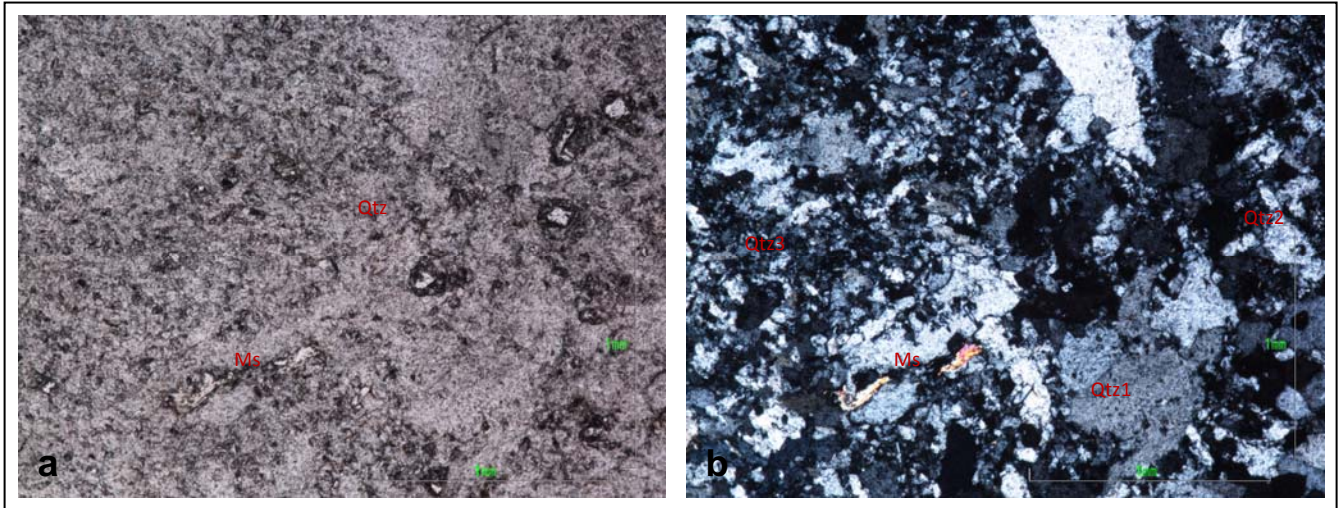
- Caolinita: Agregado mineral producto de la alteración del feldespato potásico, incolora con birrefringencia que varía entre amarillos y grises de primer orden. Anisotrópico uniáxico, de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0.03mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa. El reemplazamiento se observa hacia los bordes del cristal de feldespato.

Opacos (5%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino a medio (0.5mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo así como en contacto con este; presenta signos de oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

- **MUESTRA T.A.U-9-15**

El tamaño de grano es Inequigranular predominantemente subhedral. Presenta textura Poiquilítica (inclusiones de minerales accesorios en minerales principales) localmente se observa textura kelifítica (bordes de reacción en los cristales) (Figura 26).

Figura 26. Aspecto petrográfico de la muestra T.A.U-9-15. a) En NII. b) En NX. Qtz: cuarzo, Qtz1: cuarzo 1, Qtz2: cuarzo 2, Qtz3: cuarzo 3, Ms: muscovita.



Composición mineralógica:

Cuarzo (85%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo. Distribuido homogéneamente en la placa.

- Cuarzo 1: Tamaño de grano grueso (2mm) y forma subhedral. Presenta inclusiones de cuarzo 3. En ocasiones se encuentra fracturado.
- Cuarzo 2: Tamaño de grano medio (0.7mm) y forma subhedral. Se encuentra orientado en una dirección preferencial.
- Cuarzo 3: Tamaño de grano fino (0.07mm) y forma subhedral. Se presenta a manera de agregados cristalinos como componente principal de la matriz. En ocasiones se encuentra incluido en cuarzo 1.

Plagioclasa (5%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedral. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación

perfecta y tamaño de grano medio (1.08mm). Presenta maclado tipo Carlsbad. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

Feldespato potásico (3%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano fino a medio (0.34-1.22mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

- Caolinita: Agregado mineral producto de la alteración del feldespato potásico, incolora con birrefringencia que varía entre amarillos y grises de primer orden. Anisotrópico uniáxico, de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0.03mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa. El reemplazamiento se observa hacia los bordes del cristal de feldespato.

Muscovita (2%): Individuos o agregados incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden hasta amarillos de primer orden, subidioblásticos a heteroblásticos. Anisotrópico- biáxico de relieve bajo, exfoliación en una dirección y tamaño de grano fino (0.17mm). Se encuentra en contacto con el cuarzo 1 y el cuarzo 2. Está heterogéneamente distribuida en la placa y sigue la orientación de los cristales de mayor tamaño.

Opacos (2%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.09mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo así como en contacto con este; presenta signos de oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

Biotita (1%): Individuos o agregados cristalinos de color marrón claro y birrefringencia que varía entre verdes y amarillos de tercer orden a amarillos de

segundo orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de hábito tabular, relieve medio y tamaño de grano fino a medio (0.4mm-0.8mm). No se evidencia pleocroísmo y presenta exfoliación perfecta. Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa y en ocasiones se incluye en el cuarzo.

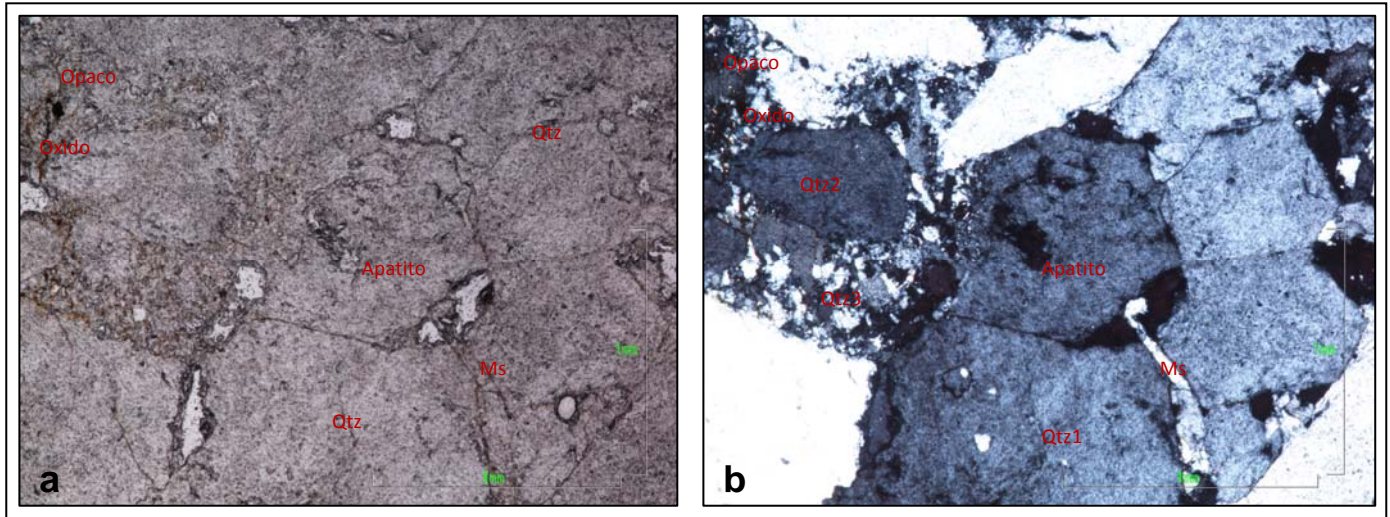
Apatito (1%): Individuos incoloros y birrefringencia que varía entre grises de primer orden, euhedrales a manera de hexágono perfecto. Anisotrópico-uniáxico de relieve moderado; en ocasiones se encuentra fracturado. Presenta un tamaño de grano medio (0.9mm). Se encuentra distribuido de forma heterogénea en la placa. Se encuentra como mineral accesorio en contacto con el cuarzo 2 y la plagioclasa.

Epidota (1%): Individuos de color verde muy claro, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden y amarillos de primer orden, anhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto y tamaño de grano fino (0.35mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo. Presenta una característica particular que consiste en que los colores de birrefringencia se organizan a manera de “vitral”. Se encuentra heterogéneamente distribuido por la placa.

- **MUESTRA T.A.U-9.1-17**

El tamaño de grano es Inequigranular predominantemente subhedral. Presenta textura Poiquilitica (inclusiones de minerales accesorios en minerales principales) localmente se observa textura kelifítica (bordes de reacción en los cristales) (Figura 27).

Figura 27. Composición inequigranular de la muestra T.A.U-9.1-17. a) En NII. b) En NX. Qtz: cuarzo, Qtz1: cuarzo 1, Qtz2: cuarzo 2, Qtz3: cuarzo 3, Ms: muscovita.



Composición mineralógica:

Cuarzo (80%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo. Distribuido homogéneamente en la placa. Se encuentra fuertemente fracturado.

- Cuarzo 1: Tamaño de grano grueso (2.50mm) y forma subhedral. Presenta inclusiones de cuarzo 3, epidota, muscovita, apatito y óxidos. Se encuentra fracturado.
- Cuarzo 2: Tamaño de grano medio (1.70mm) y forma subhedral.
- Cuarzo 3: Tamaño de grano fino (0.36mm) y forma subhedral. Se presenta a manera de agregados cristalinos como componente principal de la matriz. En ocasiones se encuentra incluido en cuarzo 1 y muscovita.

Feldespato potásico (6%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedral. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño

de grano grueso (2.43mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa. Se observa fuertemente fracturada.

Plagioclasa (5%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano fino (0.17mm). Presenta maclado tipo Carlsbad. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa. Se encuentra fracturada. Presenta inclusiones de epidota en cristales que están completamente reemplazados por sericita.

- Sericita: Agregado mineral producto de la alteración de la plagioclasa, incolora con birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0.03mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa; ha reemplazado casi en su totalidad a la plagioclasa. Además se presenta en ocasiones rellenando las fracturas

Muscovita (4%): Individuos o agregados incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden hasta amarillos de primer orden, subhedrales. Anisotrópico- biáxico de relieve bajo, exfoliación en una dirección y tamaño de grano fino (0.39mm). Se encuentra en contacto con el cuarzo 1 y además incluida en él; en ocasiones presenta inclusiones de cuarzo 2. Está heterogéneamente distribuida en la placa. En algunos sectores se observa una oxidación fuertemente de este mineral desde el centro hacia los bordes.

Opacos (3%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.19mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo así como en contacto con este; presenta signos de

oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

- En ocasiones se presenta a manera de ramificaciones con textura fluida por lo cual se identifica como grafito.

Epidota (1%): Individuos de color verde muy claro, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden y amarillos de primer orden, anhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto y tamaño de grano fino (0.42mm). En ocasiones se encuentra incluido en cristales de plagioclasa completamente reemplazados. Presenta una característica particular que consiste en que los colores de birrefringencia se organizan a manera de “vitral”. Se encuentra heterogéneamente distribuido por la placa.

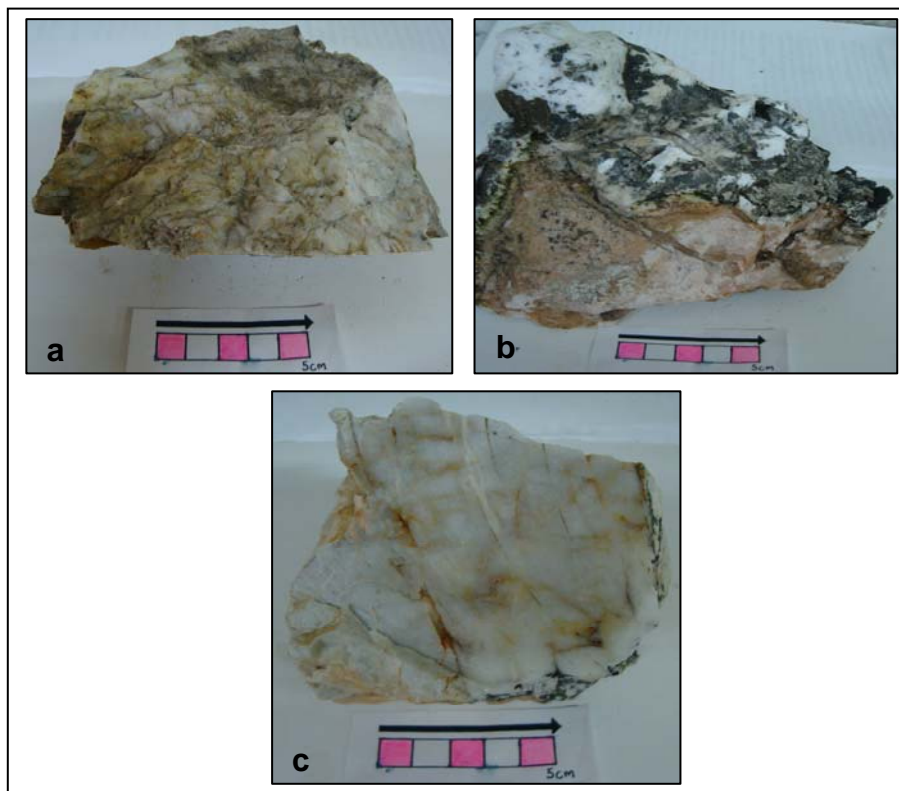
Apatito (1%): Individuos incoloros y birrefringencia que varía entre grises de primer orden, euhedrales a manera de hexágono perfecto. Anisotrópico-uniáxico de relieve moderado; en ocasiones se encuentra fracturado. Presenta un tamaño de grano fino (0.35-0.51mm). Se encuentra distribuido de forma heterogénea en la placa. Se encuentra como mineral accesorio incluido en el cuarzo 1.

7.1.3 FILON TIPO III

A este grupo corresponde el filón 7; clasificado según dirección EW. Se tomaron 3 muestras representativas: T.A.U-10-21a, T.A.U-10.2-23 y T.A.U-10.3-24. Del análisis macroscópico de las muestras correspondientes a este grupo se tiene que, el color es predominantemente blanco-lechoso, aunque presenta variaciones comunes a blanco-rosado; producto de impurezas en el momento de la cristalización. Con respecto al tamaño de grano se define como muy fino

(homogéneo en toda la muestra). Ocasionalmente se observan fracturas irregulares que cortan las muestras en todos los sentidos favoreciendo la oxidación y produciendo tonalidades amarillas. (Figura 28 a, b y c).

Figura 28. Características estructurales del filón tipo III. a) Aspecto del fracturamiento y oxidación del filón 7, muestra T.A.U-10-21a. b) Aspecto de los efectos de la meteorización y el tamaño de grano fino, muestra T.A.U-10.2-23. c) Aspecto de cuarzo blanco lechoso con apariciones de opalínico, muestra T.A.U-10.3-24.

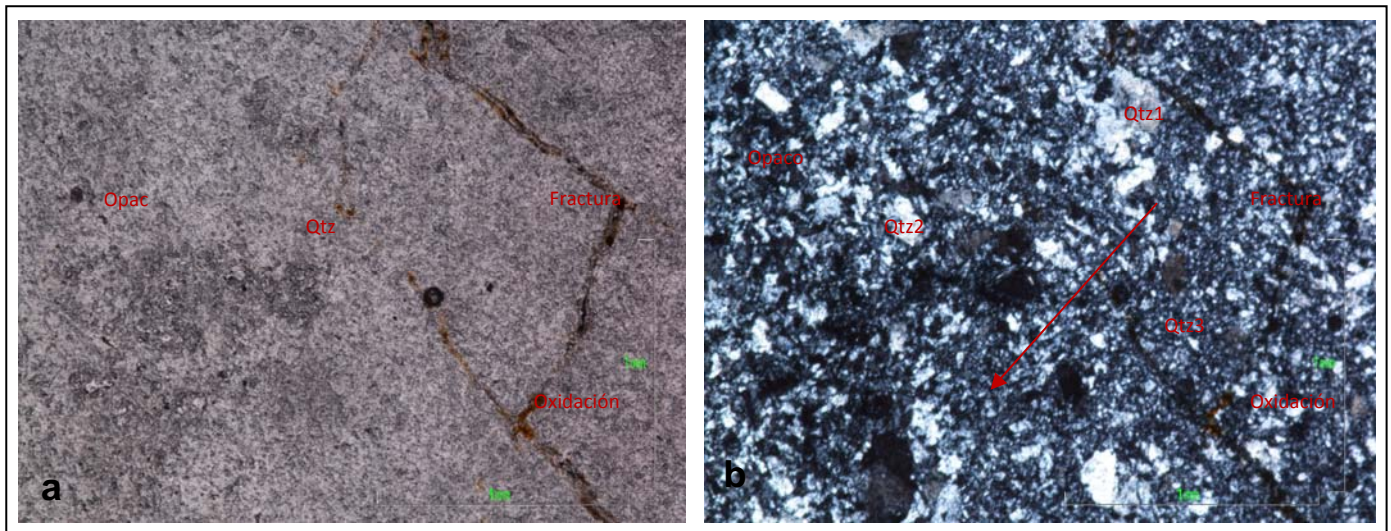


Composicionalmente las muestras presentan cuarzo como mineral principal, plagioclasa y sulfuros como minerales accesorios.

- **MUESTRA T.A.U-10.3-24**

El tamaño de grano es Inequigranular predominantemente subhedral. Presenta textura Porfidítica (fenocristales de cuarzo), además se observan vetillas rellenas de cuarzo de mayor tamaño, las cuales favorecen la oxidación de los minerales. (Figura 29).

Figura 29. Características petrográficas y leve orientación de los cristales de la muestra T.A.U-10.3-24. a) En NII, evidencia de fractura. b) En NX, evidencia de fractura y orientación de los cristales. Qtz: cuarzo, Qtz1: cuarzo 1, Qtz2: cuarzo 2, Qtz3: cuarzo 3.



Composición mineralógica:

Cuarzo (80%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo. Distribuido homogéneamente en la placa.

- Cuarzo 1: Tamaño de grano grueso (2.25mm) y forma subhedral. Presenta una textura de intercrecimiento hacia los bordes del cristal a manera de agujas. Palizada. Se encuentra fuertemente afectado por microfracturas.
- Cuarzo 2: Tamaño de grano fino (0.05mm-0.26mm) y forma subhedral. Se presenta a manera de agregados cristalinos.
- Cuarzo 3: Tamaño de grano grueso (2.50mm) y forma subhedral. Se presenta en vetillas que atraviesan la placa en diferentes direcciones. Se observa que sigue un estilo preferencial de elongación cristalina.

Anfíboles (8%): Individuos de color amarillo-verdoso, con birrefringencia que varía entre amarillos de segundo orden a grises de primer orden, anhedrales a subhedrales en ocasiones tabulares. Anisotrópico biáxico de relieve alto, tamaño de grano fino (0.35mm) y exfoliación en dos direcciones. De tipo Hornblenda no es muy evidente su pleocroísmo. Se está alterando a clorita del centro hacia los bordes. Está heterogéneamente distribuido en la placa y en contacto con el cuarzo 1 y cuarzo 2.

- Clorita: Agregado mineral producto de la alteración del anfíbol, de color verde muy claro y birrefringencia que varía entre azules de segundo orden y grises de primer orden. Anisotrópico-biáxico de relieve moderado y pleocroísmo débil. De tamaño de grano fino (0.18mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa. El reemplazamiento se observa desde el centro del cristal.

Feldespato potásico (5%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano medio (0.8mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa y se encuentra fuertemente afectada por microfracturas.

Plagioclasa (5%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano medio (0.65mm). Presenta maclado tipo Carlsbad. Se encuentra en contacto neto con el feldespato potásico y el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

Opacos (2%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.42mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo así como en contacto con este; presenta signos de oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

7.2 INCLUSIONES FLUIDAS (IF)

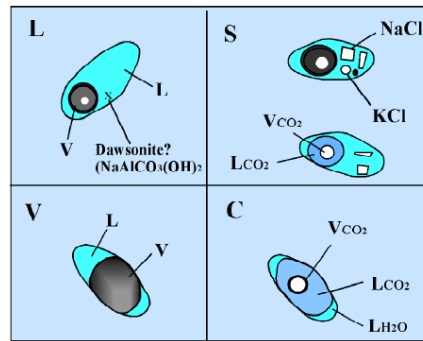
Las inclusiones son diminutas vacuolas rellenas de las soluciones en las que se formaron o evolucionaron los minerales (Velasco, 2004), predominantemente líquidas, gaseosas, sólidas ó mixtas. El estudio microtermométrico de las inclusiones fluidas (IF) proporciona información sobre las condiciones de temperatura y presión en el momento de la precipitación ó en etapas posteriores y sobre la composición y origen de los fluidos involucrados en estos procesos. Con respecto al estudio de las inclusiones fluidas se asume siempre que éstas son un sistema de volumen constante ($V=cte.$) y que la composición permanece sin variación después del atrapamiento (Composición= $cte.$). En la práctica más del 90% de los estudios se hacen en cuarzo ya que la ausencia de clivaje y la habilidad para recristalizar hacen de este un importante medio de preservación de IF (Van den Kerkho y Hein, 2001).

Contenido de las IF

- Monofásicas: Formadas completamente por líquido (L), gas (V) ó sólido (S); las más comunes son las líquidas que representan una muy baja temperatura. Los fluidos suelen contener como solutos otras sustancias tales como: Na^+ , SO_4^- , Cl^- , CO_3^- , PO_4^- , HCO_3^- , H_4SiO_4 , lo más común es CO_2 y CH_4 .
- Bifásicas: Se pueden presentar de dos tipos: ricas en líquido (L+V) evidentes a partir de la agitación browniana; es decir, el movimiento de la esfera de gas dentro del líquido de la inclusión; y ricas en gas (V+L) las cuales son frecuentes en ambientes de ebullición.
- Trifásicas: Se pueden presentar de tres tipos: dos fases líquidas y una vapor (L+L'+V), líquido + vapor + sólido (L+V+S), y sólido más líquido con la posible presencia de vapor (S+L±V).
- Poli-Multifásica: Aparecen varios tipos de sólidos (daughter minerals) junto con el líquido ó líquidos inmiscibles y la burbuja de vapor. Los sólidos frecuentes son: halita, silvita, anhidrita, hematita, cuarzo, sulfuro de hierro y dawsonita.

De acuerdo con esto se han propuesto diferentes tipos de clasificaciones de las cuales la más conocida es la de Nash (1976); que distingue cuatro tipos de inclusiones (Figura 30).

Figura 30. Clasificación según Nash, 1976. Tipos más importantes de inclusiones fluidas. (L: líquido, S: sólido, V: vapor, C: carbonáticas). Donde: L: moderada salinidad con dos fases. (L: agua y V: vapor de agua). V: ricas en gas (> 60% de la inclusión). Buenas indicadoras de ebullición. S: muy salinas con cristales de halita, silvita, anhidrita, etc. C: ricas en CO_2 con la relación $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ entre 3% y 30% del volumen.

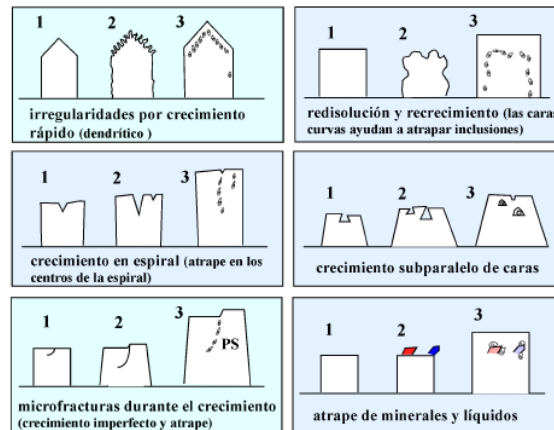


Fuente: Velasco, 2004.

Clasificación genética

- IF Primarias: Formadas durante las etapas de crecimiento de un cristal. Roedder, 1984 describe algunos mecanismos de atrapamiento de este tipo de IF. (Figura 31). Los criterios para un origen primario básicamente son: que las inclusiones fluidas presenten una distribución paralela a las caras del cristal, que estén aisladas ó claramente separadas entre sí y que tengan un tamaño relativamente grande respecto de las demás (Velasco, 2004.).
- IF Secundarias: Se han formado por mecanismos posteriores a la cristalización. Los criterios para un origen secundario son: que se encuentren en grupos numerosos con una distribución planar que corte los bordes del cristal ó superficies de exfoliación, que presenten morfologías irregulares con hábitos ovoides de tamaños variables (más pequeños en comparación con las primarias) (Velasco, 2004).
- IF Pseudosecundarias: Formadas durante las etapas de crecimiento del cristal. Pueden aparecer alineados en microfisuras sin cortar los bordes de los cristales y/o ocupar huecos entre los cristales durante su crecimiento. (Velasco, 2004).

Figura 31. Mecanismo de atrapamiento de inclusiones fluidas primarias según Roedder, 1984.



Fuente: Velasco, 2004.

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

7.2.1 Petrografía de Inclusiones fluidas

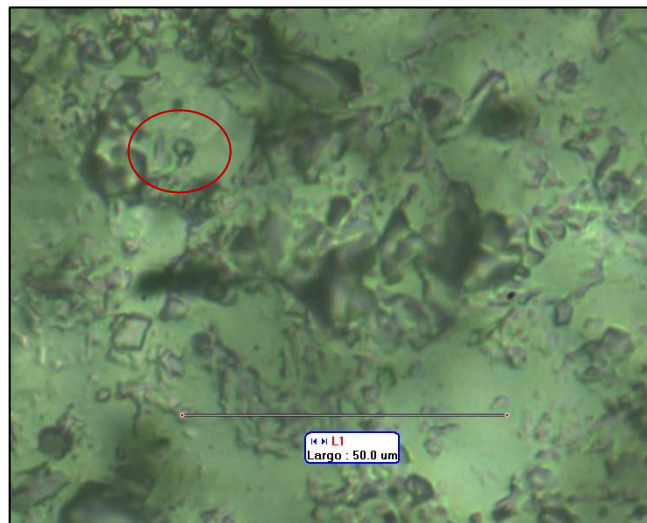
El estudio petrográfico se hizo a partir de la identificación y descripción de las diferentes familias de inclusiones fluidas (IF), señalando las características morfológicas, genéticas y composicionales (N° de fases y tipo), en cada una de las secciones de los filones; sin embargo dadas las condiciones de las muestras (tamaño de grano muy fino y fuerte fracturamiento) no todas las secciones fueron aptas para estudio.

- **MUESTRAT.A.U-3-3**

Corresponde al filón 2 (Tipo I). Dado su tamaño de grano del cuarzo predominantemente fino y su evidente microfracturamiento se observaron inclusiones fluidas muy pequeñas; lo cual dificultó la toma de datos microtermométricos. Mostró inclusiones primarias bifásicas (dos fases líquido + vapor, ricas en líquido); en donde la burbuja ocupa entre un 2% y un 7% del volumen de la inclusión; por lo cual el grado de relleno (F) se estimó entre 0.9 y 0.95 (Velasco, 2004). Se encuentran aisladas de formas irregulares, regulares y ovoides, con tamaños que varían entre $5\mu\text{m}$ a $8\mu\text{m}$ de largo y $3\mu\text{m}$ a $7\mu\text{m}$ de ancho (Figura 32). Su ocurrencia es ocasional.

Se observaron inclusiones fluidas pseudosecundarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido), pero no fue posible medirlas debido a su mínimo tamaño.

Figura 32. Inclusión fluida (IF) primaria bifásica, de la muestra T.A.U-3-3 en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.

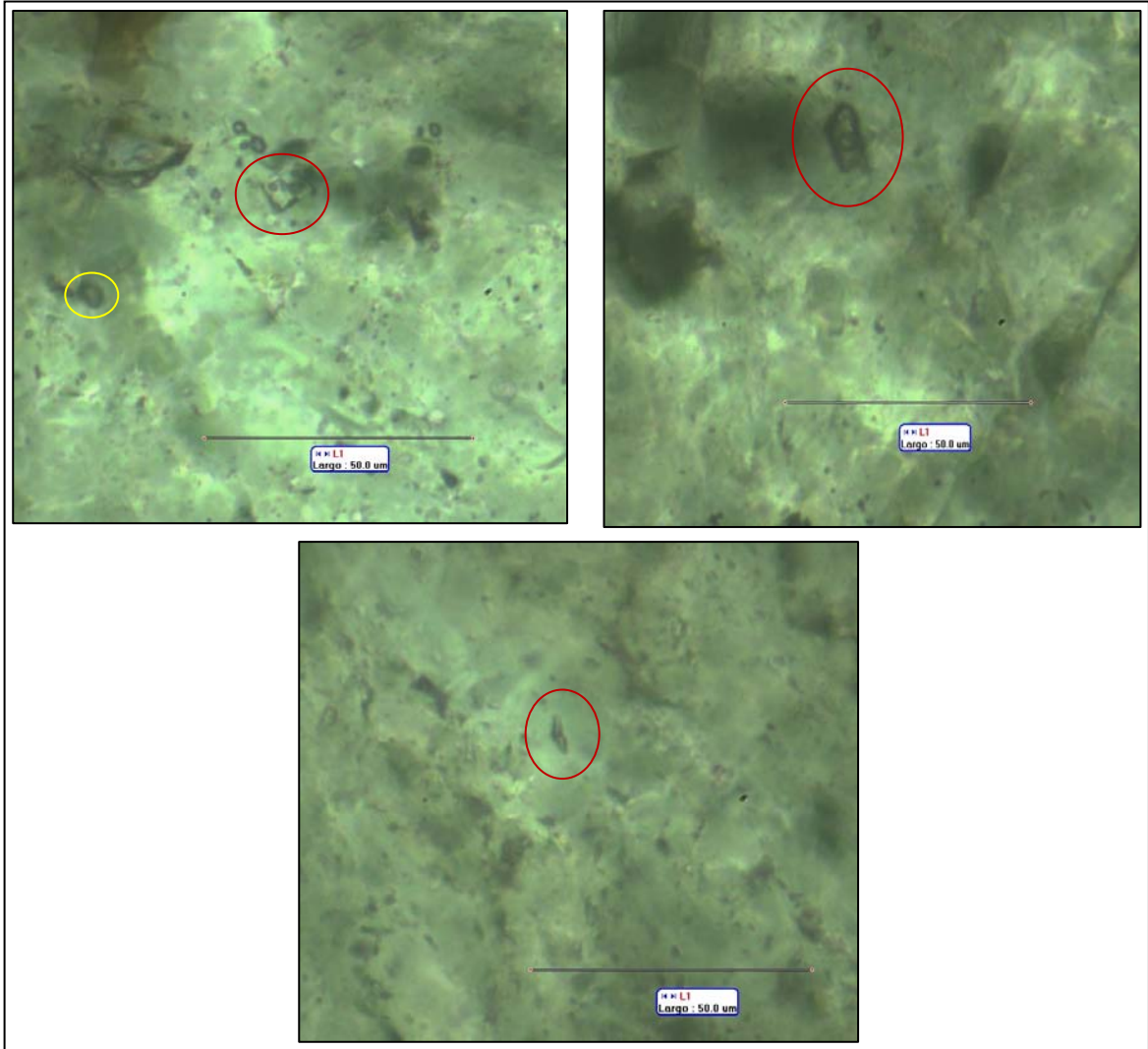


- **MUESTRA T.A.U-8-11**

Corresponde al filón 5 (Tipo II). Mostró inclusiones fluidas en cuarzo, primarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido); en donde la burbuja ocupa entre un 12% y un 30% del volumen de la inclusión, por lo cual el grado de relleno (F) varía entre 0.7 y 0.85 (Velasco, 2004). Se encuentran aisladas de formas regulares, irregulares, ovoides y tabulares, con tamaños que varían entre 5 μ m a 13 μ m de largo y 2 μ m a 5 μ m de ancho. (Figura 33 en rojo). La ocurrencia de estas inclusiones es ocasional. Se observaron inclusiones fluidas primarias monofásicas (una fase vapor); en donde el vapor ocupa el 100% del volumen de la inclusión; aisladas con formas ovoides y tamaños que varían entre 6 μ m de largo y 5 μ m de ancho (Figura 33 en amarillo).

Se observaron inclusiones fluidas secundarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido); en donde la burbuja ocupa entre un 14% y 50% del volumen de la inclusión, por lo cual el grado de relleno (F) varía entre 0.5 y 0.85 (Velasco, 2004). Se encuentran en grupos numerosos, de formas irregulares a ovoides, con tamaños que varían entre 2 μ m a 8 μ m de largo y 1 μ m a 4 μ m de ancho (Figura 39 a). Su ocurrencia es abundante. Dado su diminuto tamaño no es posible tomar datos microtermométricos de ellas.

Figura 33. Aspecto de las inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas (en rojo), de la muestra T.A.U-8-11, en amarillo inclusiones primarias monofásicas de vapor. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida

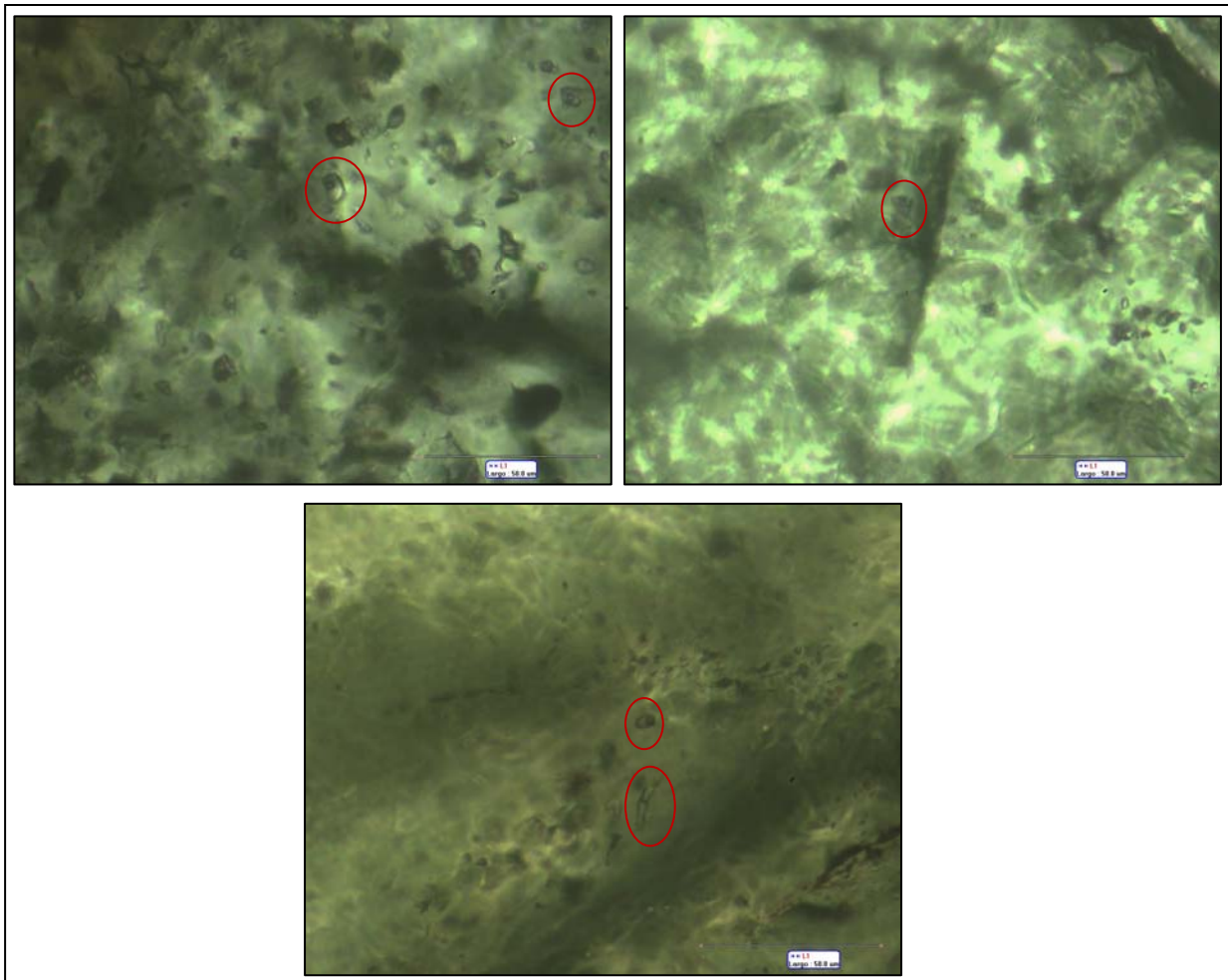


- **MUESTRA-T.A.U-8.1-12**

Corresponde al filón 5 (Tipo II). Mostró inclusiones fluidas en cuarzo predominantemente primarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido); en donde la burbuja ocupa entre un 14% y un 40% del volumen de la inclusión, por

lo cual el grado de relleno (F) varía entre 0.6 y 0.85 (Velasco, 2004). Se encuentran aisladas de formas irregulares, ovoides y tabulares, con tamaños que varían entre $5\mu\text{m}$ a $22\mu\text{m}$ de largo y $2\mu\text{m}$ a $9\mu\text{m}$ de ancho. (Figura 34). En menor proporción se observaron inclusiones fluidas polifásicas (tres fases líquido1 + líquido2 + vapor), variando su grado de relleno entre 0.5 y 0.8 (Velasco, 2004); esta burbuja de vapor reacciona con la acetona por lo cual presume es CO_2 , dado que a la hora de tomar los datos microtermométricos es difícil diferenciar todas las fases, se toman solo los tres datos iniciales (T_e , T_f y T_h) del líquido en general.

Figura 34. Variedad morfológica de las inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas, de la muestra TAU-8.1-12 en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.



Se observaron inclusiones fluidas secundarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido); en donde la burbuja ocupa entre un 28% y 30% del volumen de la inclusión, por lo cual el grado de relleno (F) varía entre 0.9 y 0.95 (Velasco, 2004). Se encuentran siguiendo “trails” desde los bordes del cristal de cuarzo y en grupos numerosos, de formas regulares, tabulares y ovoides, con tamaños que varían entre $3\mu\text{m}$ a $6\mu\text{m}$ de largo y $2\mu\text{m}$ a $3\mu\text{m}$ de ancho. (Figura 39b en rojo). Su ocurrencia es ocasional; a veces las diminutas esferas de gas al ser activadas por el paso de la luz se mueven en el interior del líquido de la inclusión, chocando con las paredes y rebotando en lo que se conoce como “agitación browniana”; también se observan inclusiones fluidas secundarias monofásicas (una fase vapor) (Figura 39b en amarillo).

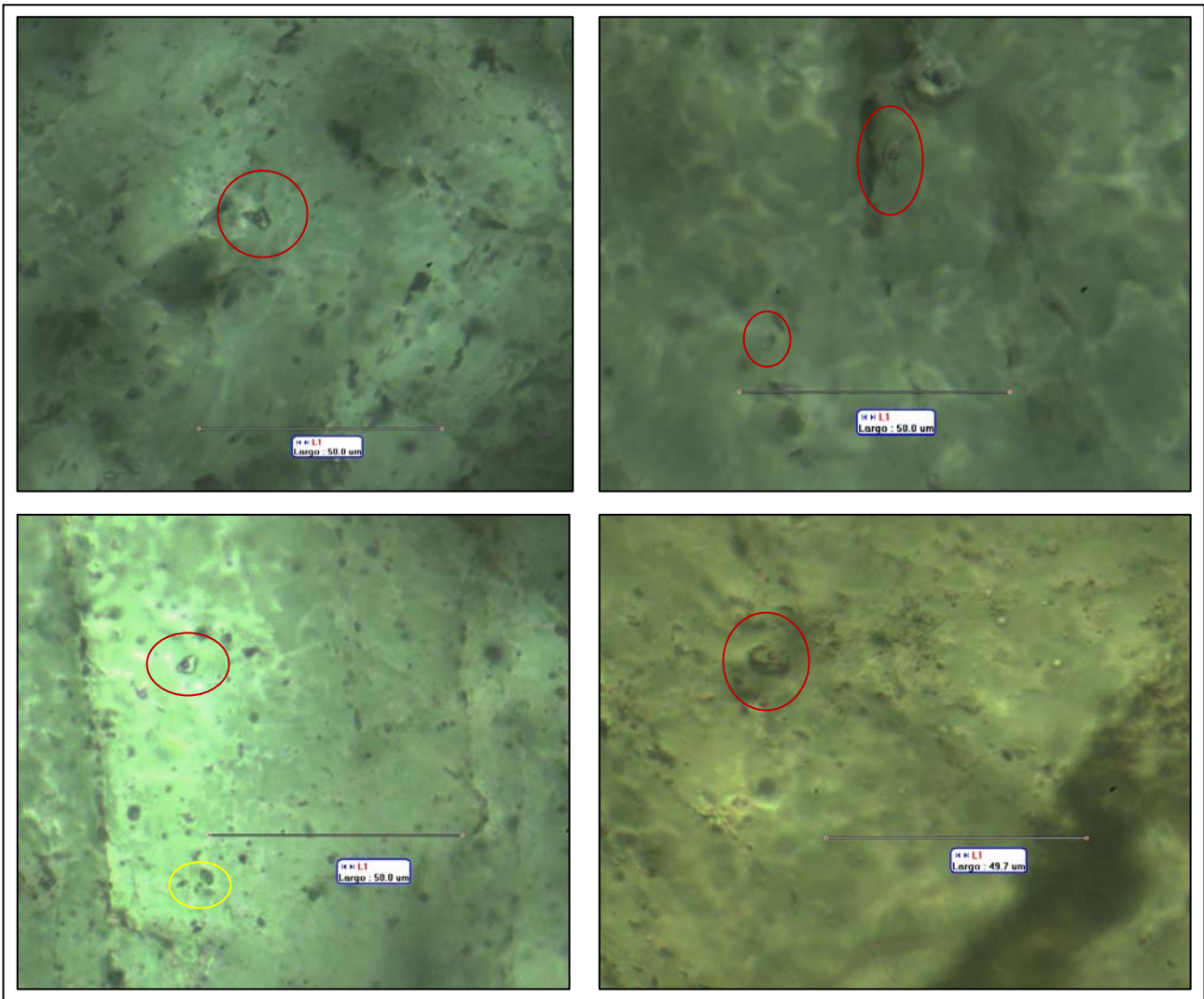
- **MUESTRA-T.A.U-8.2-13**

Corresponde al filón 5 (Tipo II). Mostró inclusiones fluidas en cuarzo principalmente primarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido); en donde la burbuja ocupa entre un 10% y un 46% del volumen de la inclusión, por lo cual el grado de relleno (F) varía entre 0.5 y 0.9 (Velasco, 2004). Se encuentran aisladas de formas irregulares y tabulares, con tamaños que varían entre $4\mu\text{m}$ a $8\mu\text{m}$ de largo y $2\mu\text{m}$ a $5\mu\text{m}$ de ancho. (Figura 35 en rojo). Son mucho más pequeñas que las inclusiones de la muestra T.A.U-8.1-12 y menos frecuente. Presentó inclusiones fluidas primarias monofásicas (una fase vapor); pero dado su tamaño tan pequeño no fue posible hacer mediciones sobre ellas (Figura 35 en amarillo).

Se observaron inclusiones fluidas secundarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido); en donde la burbuja ocupa entre un 15% y 30% del volumen de

la inclusión, por lo cual el grado de relleno (F) varía entre 0.7 y 0.85 (Velasco, 2004). Se encuentran siguiendo “trails” desde los bordes del cristal de cuarzo y en grupos numerosos, de formas tabulares, irregulares y ovoides, con tamaños que varían entre 4µm a 5µm de largo y 1µm a 3µm de ancho. (Figura 39c). Su ocurrencia es ocasional. Dadas las dimensiones de estas inclusiones no fue posible tomar datos microtermométricos

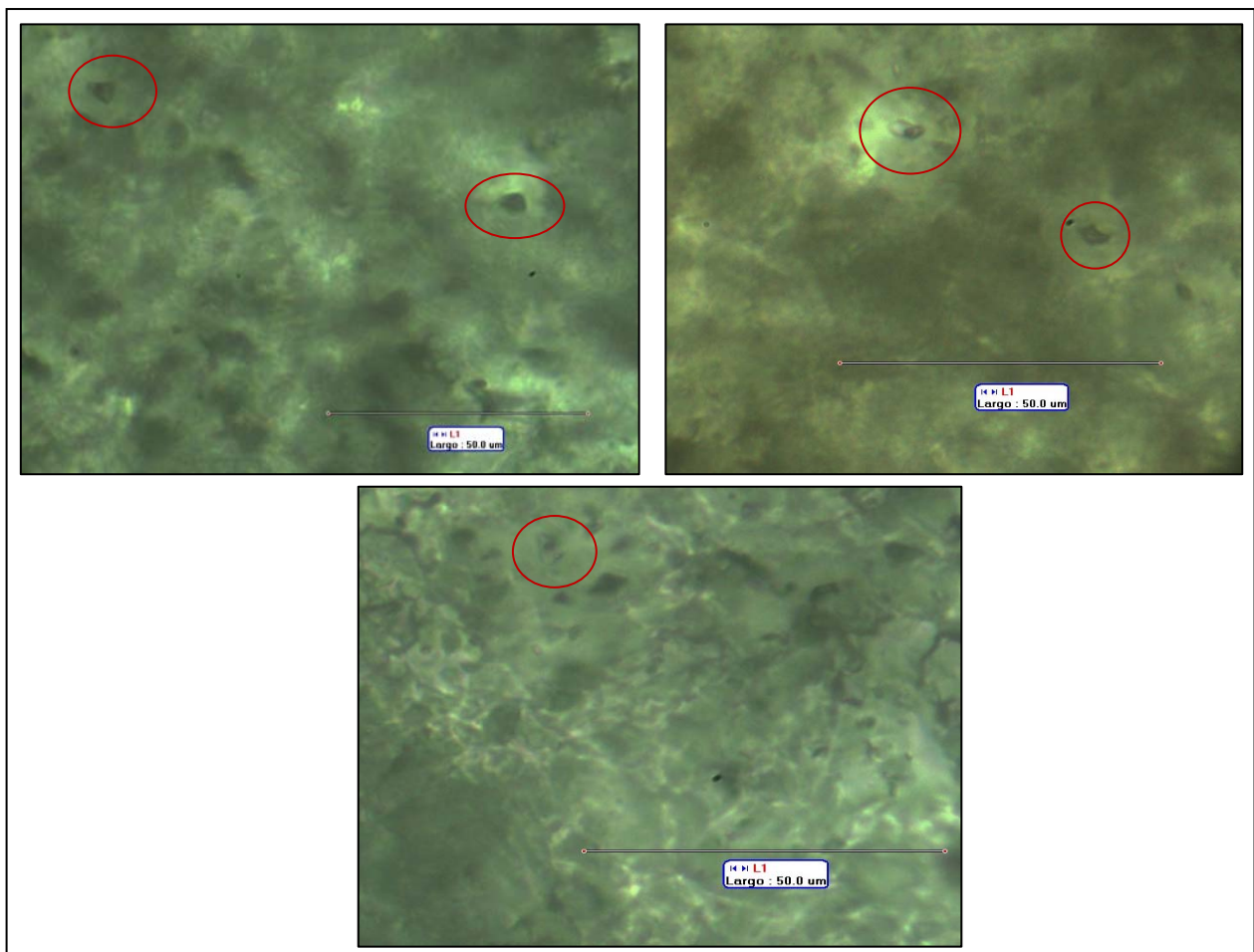
Figura 35. Variedad de inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas en rojo, en amarillo inclusiones primarias monofásicas, de la muestra T.A.U-8.2-13. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida



- **MUESTRA T.A.U-8.3-14**

Corresponde al filón 5 (Tipo II). Mostró inclusiones fluidas en cuarzo primarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido); en donde la burbuja ocupa entre un 8% y un 30% del volumen de la inclusión, por lo cual el grado de relleno (F) varía entre 0.7 y 0.9 (Velazco, 2004). Se encuentran aisladas de formas irregulares y ovoides, con tamaños que varían entre 5 μ m a 6 μ m de largo y 2 μ m a 4 μ m de ancho. (Figura 36). Son mucho muy pequeñas y poco frecuentes.

Figura 36. Inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas, de la muestra T.A.U-8.3-14, en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida



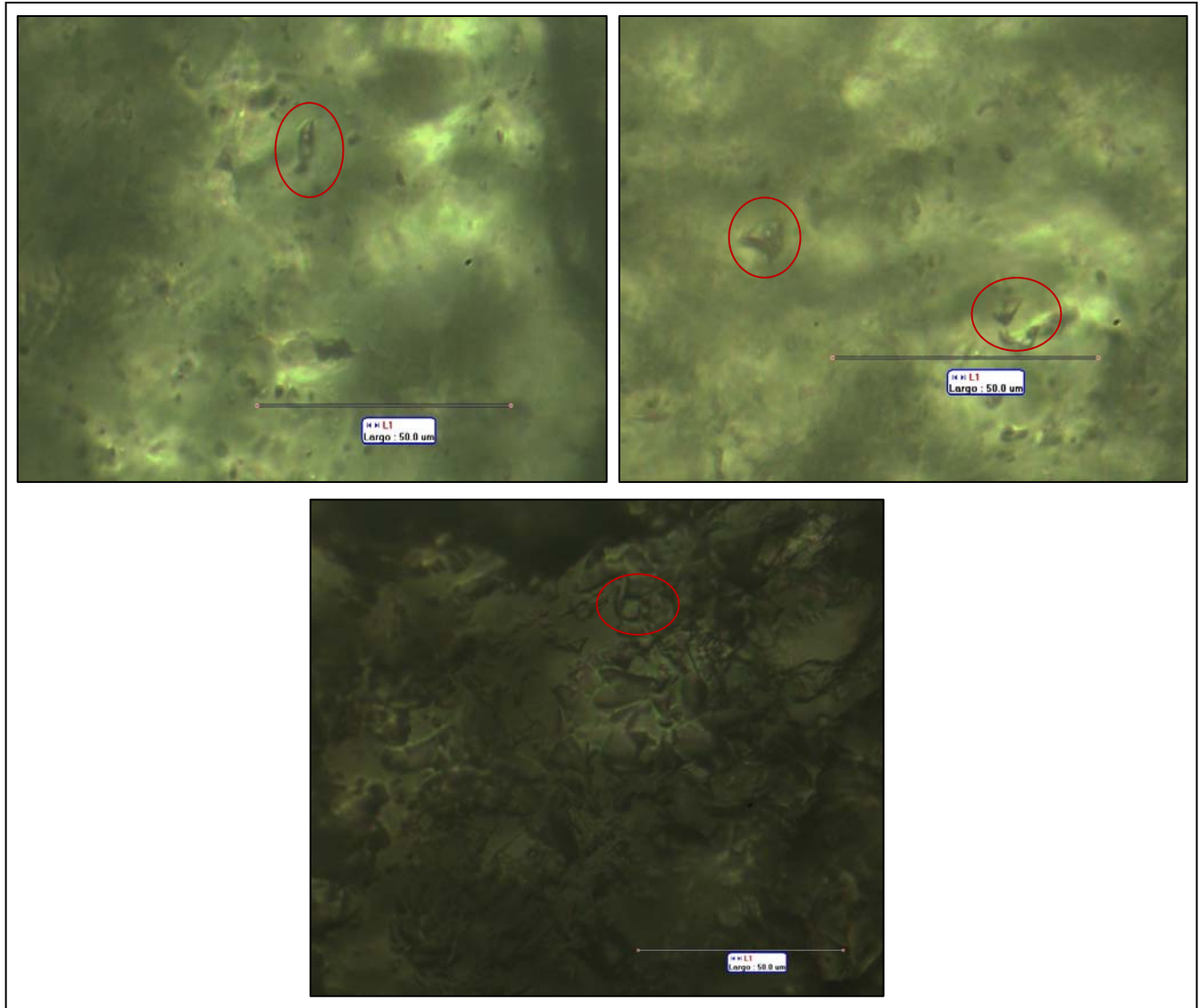
Se observaron inclusiones fluidas secundarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido); en donde la burbuja ocupa entre un 4% y 30% del volumen de la inclusión, por lo cual el grado de relleno (F) varía entre 0.7 y 0.95 (Velazco, 2004). Se encuentran en grupos numerosos, de formas tabulares, irregulares y ovoides, con tamaños que varían entre $2\mu\text{m}$ a $5\mu\text{m}$ de largo y $1\mu\text{m}$ a $2\mu\text{m}$ de ancho. (Figura 39d). Su ocurrencia es ocasional. Dadas las dimensiones de estas inclusiones no fue posible tomar datos microtermométricos.

- **MUESTRA T.A.U-9-15**

Corresponde al filón 6 (Tipo II). Se observaron inclusiones fluidas en cuarzo predominantemente primarias bifásicas (dos fases líquido + vapor, ricas en líquido), en donde la burbuja ocupa entre un 4% y un 18% de la inclusión; por lo cual varía su grado de relleno (F) entre 0.8 y 0.95 (Velasco, 2004). Se encuentran aisladas de formas irregulares, regulares y tabulares, con tamaños que varían entre $7\mu\text{m}$ a $17\mu\text{m}$ de largo y $2\mu\text{m}$ a $5\mu\text{m}$ de ancho (Figura 37). La ocurrencia de estas inclusiones es ocasional y su tamaño muy pequeño, lo cual dificulta la toma de datos.

Se notaron inclusiones fluidas secundarias, pero dado su mínimo tamaño, no fue posible hacer mediciones de ellas.

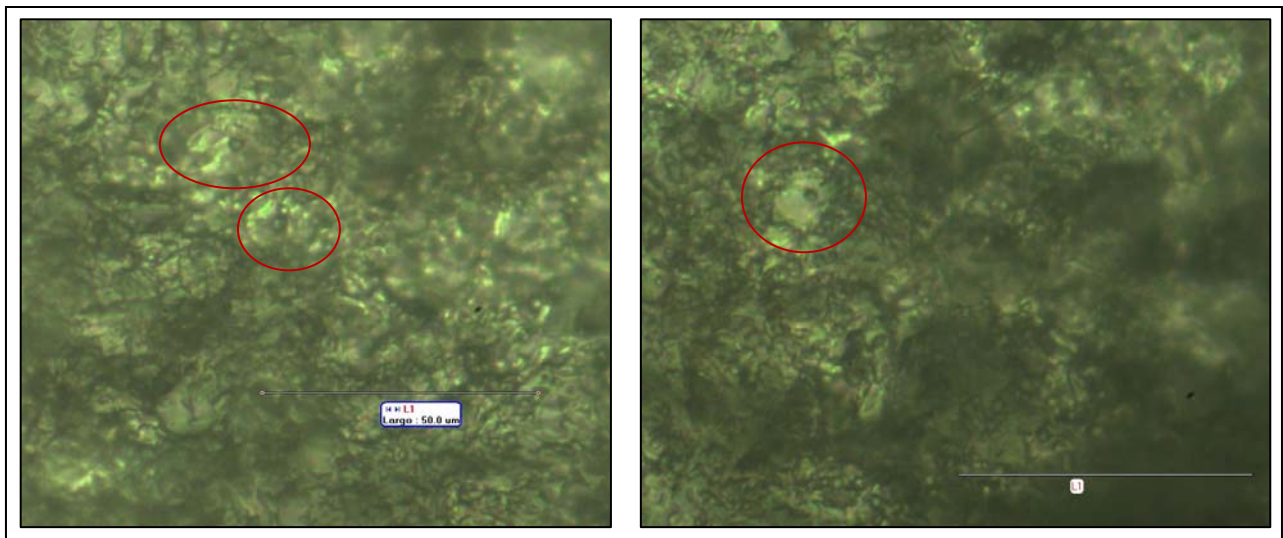
Figura 37. Morfología de las inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas, de la muestra T.A.U-9-15, en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.



- **MUESTRA T.A.U-10.3-24**

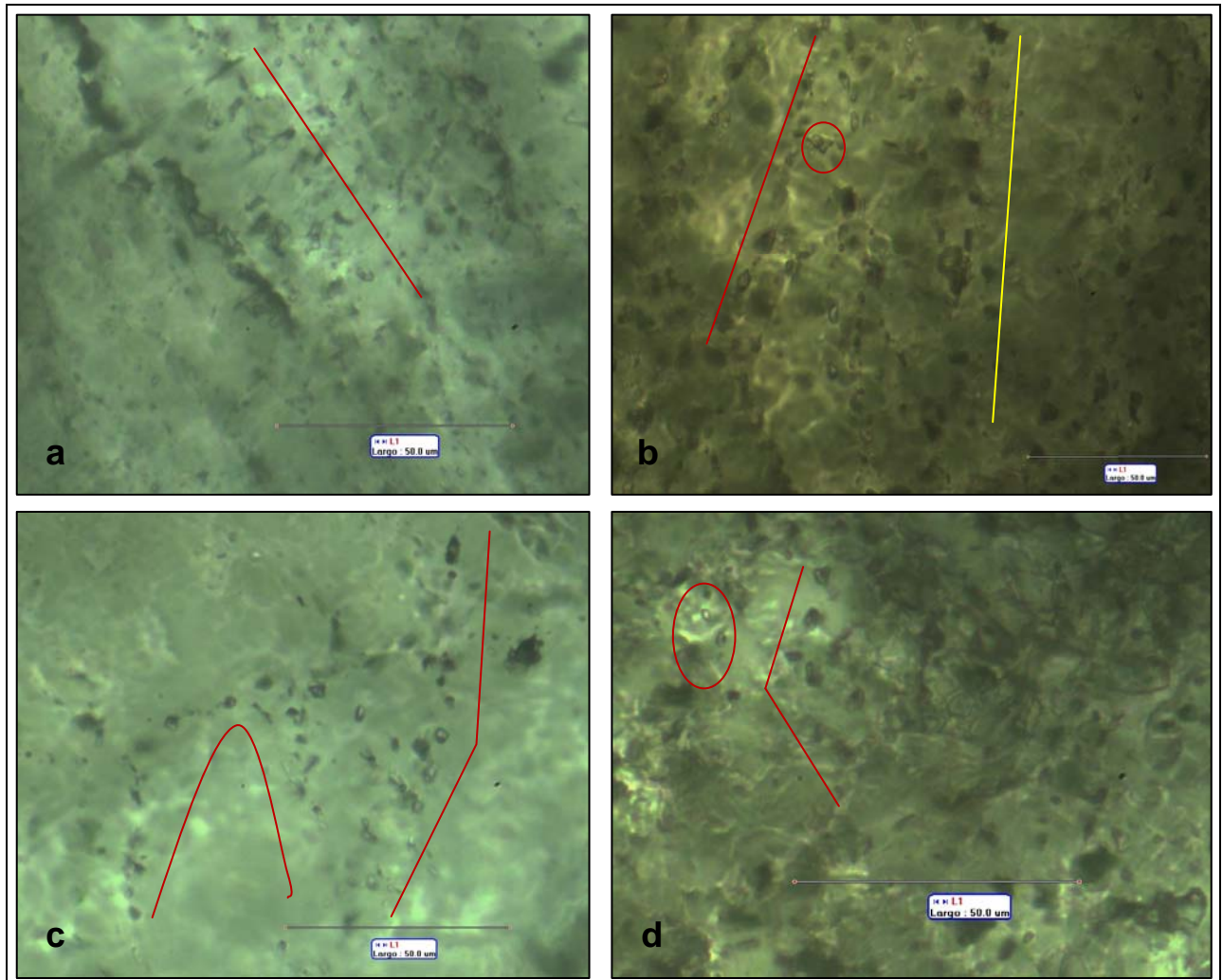
Corresponde al filón 7 (Tipo III). Se observaron inclusiones fluidas en cuarzo primarias bifásicas (dos fases líquido + vapor, ricas en líquido), en donde la burbuja ocupa entre un 5% y un 18% de la inclusión; por lo cual varía su grado de relleno (F) entre 0.8 y 0.95 (Velasco, 2004). Se encuentran aisladas de formas irregulares, con tamaños que varían entre 7 μ m a 15 μ m de largo y 7 μ m a 12 μ m de ancho (Figura 38). La ocurrencia de estas inclusiones es ocasional y su tamaño muy pequeño, lo cual dificulta la toma de datos.

Figura 38. Inclusiones fluidas (IF) primarias bifásicas, de la muestra T.A.U-10.3-24, en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.



Se presentan cantidades importantes de inclusiones fluidas secundarias bifásicas (dos fases líquido + vapor ricas en líquido); en grupos numerosos, de formas irregulares a tabulares. Dado su diminuto tamaño no es posible tomar datos microtermométricos de ellas

Figura 39. Aspecto de las inclusiones fluidas secundarias a) bifásicas, la muestra T.A.U-8-11 en rojo. b) bifásicas (en rojo), monofásicas (en amarillo), muestra T.A.U-8.1-12. c) bifásicas, muestra T.A.U-8.2-13, seguidas por la línea roja. d) bifásicas, muestra T.A.U-8.3-14, en rojo. Tomada en NII. Microscopio de luz transmitida.



7.2.2 Datos Microtermométricos

Los datos microtermométricos obtenidos de los análisis de inclusiones fluidas consisten en: T_e (temperatura del punto eutéctico) que se define de la primera fusión del hielo detectable, T_f (temperatura de fusión final del hielo) que se define de la fusión total del hielo y T_h (temperatura de homogenización) que se define de la desaparición de la burbuja de gas (homogenización a líquido y homogenización a vapor). Para el respectivo análisis de estos datos se tienen en cuenta tablas de clasificación (Tabla 6 y Tabla 7) que reúnen estudios desarrollados y proponen datos microtermométricos estándares tanto para compuestos, como para sistemas químicos.

Tabla 6. Datos microtermométricos para diferentes compuestos químicos.

System	Molar mass ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	T_{triple} ($^{\circ}\text{C}$)	P_{triple} (MPa)	T_{critical} ($^{\circ}\text{C}$)	P_{critical} (MPa)	$V_{\text{in, critical}}$ ($\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$)
H ₂	2.0159	-259.15	0.0072	-239.9	1.297	65.0
O ₂	31.999	-218.79	0.00015	-118.57	5.043	73.37
N ₂	28.0134	-210	0.0125	-146.95	3.398	90.10
CO	28.01	-205	0.015	-140.3	3.494	93.1
C ₃ H ₈	44.097	-188	1.7×10^{-4}	96.68	4.248	200.0
Ar	39.948	-185.37	6.89	-122.29	4.898	74.57
CH ₄	16.04	-182.5	0.012	-82.59	4.599	98.6
C ₂ H ₆	30.07	-182	1.1×10^{-6}	32.17	4.872	145.5
H ₂ S	34.08	-85.5	0.0232	100.15	8.963	98.0
NH ₃	17.031	-77.66	0.0061	132.25	11.333	72.47
SO ₂	64.065	-75.51	0.0017	157.65	7.884	122
CO ₂	44.01	-56.57	0.5185	30.978	7.377	94.0
H₂O	18.0153	0.010	0.00061	373.95	22.064	55.95
KCl	74.56	770	5×10^{-4}	2910?	44.0?	
NaCl	58.44	800	< 0.1	3090?	62.0?	

Data from Pitzer (1995), Poling *et al.* (2001) and Lemmon *et al.* (2001)

Fuente: Mantilla, 2006. Introducción al estudio de inclusiones fluidas. Trabajo inédito, Universidad Industrial de Santander.

Tabla 7. Datos del punto eutéctico ó primera fusión para diferentes sistemas salino-acuosos (a 1atm).

Sistema salino	Temp. eutéctico (°C)	Fases sólidas
H ₂ O-NaCl-CaCl ₂	-55 (-52)	hielo+NaCl.2H ₂ O+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-MgCl ₂ -CaCl ₂	-52.2	hielo+ MgCl ₂ .12H ₂ O+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-KCl-CaCl ₂	-50.5	hielo+ CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-CaCl ₂	-49.8	hielo+ CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-Na ₂ CO ₃ -K ₂ CO ₃	-37.0	hielo+ (Na,K) ₂ CO ₃ .6H ₂ O+ K ₂ CO ₃ .6H ₂ O
H ₂ O-NaCl-FeCl ₂	-37.0	hielo+ NaCl.2H ₂ O+FeCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-FeCl ₂	-35.0	hielo+ FeCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-NaCl-MgCl ₂	-35.0	hielo+ NaCl.2H ₂ O+MgCl ₂ .12H ₂ O
H ₂ O-MgCl ₂	-33.6	hielo+ MgCl ₂ .12H ₂ O
H ₂ O-NaCl-KCl	-23.5 (-22.9)	hielo+ NaCl.2H ₂ O+ KCl.nH ₂ O
H ₂ O-NaCl-NaSO ₄	-21.7	hielo+ NaCl.2H ₂ O+Na ₂ SO ₄ .5H ₂ O
H ₂ O-NaCl-NaHCO ₃	-21.8	hielo+ NaCl.2H ₂ O+NaHCO ₃
H ₂ O-NaCl-Na ₂ CO ₃	-21.4	hielo+ NaCl.2H ₂ O+Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-NaCl	-21.2 (-21.8)	hielo+ NaCl.2H ₂ O
H ₂ O-KCl	-10.6	hielo+ KCl.nH ₂ O
H ₂ O-NaHCO ₃ -Na ₂ CO ₃	-3.3	hielo+NaHCO ₃ +Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-NaHCO ₃	-2.3	hielo+NaHCO ₃
H ₂ O-Na ₂ CO ₃	-2.1	hielo+Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-Na ₂ SO ₄	-1.2	hielo+Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O

Fuente: Velasco, 2004.

Para determinar el contenido de sales en las inclusiones se tiene en cuenta la ecuación de Potter, et al. 1978. (Ecuación 1).

Ecuación 1. Ecuación para determinar el contenido de sales en las inclusiones. Tm: temperatura de fusión (Tf).

$$\% \text{ NaCl} = 1.76958T_m + 4.2384 \times 10^{-2} \times T_m^2 + 5.2778 \times 10^{-4} \times T_m^3 (\pm 0.028)$$

Fuente: Velasco, 2004.

Los datos microtermométricos obtenidos, se exponen en la Tabla 8.

Tabla 8. Datos microtermométricos obtenidos en laboratorio.

MUESTRA	MINERAL	TIPO GENETICO	FASES	Te (°C)	Tf (°C)	Th (°C)	TIPO FILON	HOMOGENIZAN
TAU-3-3	Cuarzo	Primarias	Bifásica (L+V)	-65.9, -58	-1.7	184.3, 211.6	I	L+V→L
TAU-8-11	Cuarzo	Primarias	Bifásica (L+V)	-71.4, -55.4 -28.6	-3.7, 5.9	130.9, 159.1	II	L+V→L
			Monofásica (V)	-	-	-		-
TAU-8.1-12	Cuarzo	Primarias	Bifásica (L+V)	-65.5, -50.4	-11.5, -1.1	145.1, 176	II	L+V→L
			Polifásica (L1+L2+V)	-85.4, -21.5	-11.7, 2.9	166.7		L1+V→V V+L2→L
			Secundarias	Bifásica (L+V)	-49.1, -45.1	-3		163
TAU-8.2-13	Cuarzo	Primarias	Bifásica (L+V)	-87, -40	-10.4, -2.3	169.2, 240.8	II	L+V→L
TAU-8.3-14	Cuarzo	Primarias	Bifásica (L+V)	-57.9, -51.1	-9.2, -2.7	159.8, 169.5	II	L+V→L
TAU-9-15	Cuarzo	Primarias	Bifásica (L+V)	-55.9, -48.4	-6.7, -6.5	149.7, 197.7	II	L+V→L
TAU-10.3-24	Cuarzo	Primarias	Bifásica (L+V)	-50.2, -68.9	-5.9	162.7, 173.7	III	L+V→L

- **MUESTRA T.A.U-3-3**

Las mediciones microtermométricas de las inclusiones fluidas primarias bifásicas del cuarzo muestran una temperatura de primera fusión detectable del líquido ó temperatura eutéctica (Te) entre -65.9 °C y -58.2 °C, lo cual indica adición de sustancias de lo que se reconoce posiblemente la presencia del ión Ca y CO₂; la temperatura de fusión final del hielo (Tf) está entre -1.7 °C y finalmente se da una homogenización a líquido a temperaturas entre 184.3 °C y 211.6 °C. De lo anterior se puede concluir que el sistema es complejo con una salinidad de ~2.8% wt NaCl eq. (a partir de la ecuación 1).

- **MUESTRA T.A.U-8-11**

Las mediciones microtermométricas de las inclusiones fluidas primarias bifásicas del cuarzo muestran una temperatura de primera fusión detectable del líquido ó temperatura eutéctica (T_e) entre $-71.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-55.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual indica adición de sustancias; de allí se presume la presencia del ión Ca; también se observaron cambios bruscos en la forma de la inclusión a $-28.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, de lo cual se presume la presencia del ión Na; la temperatura de fusión final del hielo (T_f) está en $-3.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $5.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (esta temperatura por encima de 0°C indica que posiblemente hay caltratos); finalmente se da una homogenización a líquido a temperaturas entre $131.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $180.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. De lo anterior se puede concluir que el sistema es complejo, con contenido de sales entre $\sim 6\%$ y 10.8% wt NaCl eq. (a partir de la ecuación 1).

Las inclusiones monofásicas de vapor y las inclusiones bifásicas (líquido + vapor), indican mayor y menor contenido de CO_2 en el fluido; por lo cual se presume dos eventos diferentes ó dos pulsos de inclusiones.

- **MUESTRA-T.A.U-8.1-12**

Las mediciones microtermométricas de las inclusiones fluidas primarias bifásicas del cuarzo muestran una temperatura de primera fusión detectable del líquido ó temperatura eutéctica (T_e) entre $-65.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-50.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual indica adición de sustancias; de allí se presume la presencia del ión Ca y K?; la temperatura de fusión final del hielo (T_f) está entre $-11.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y finalmente se da una homogenización a líquido a temperaturas entre $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $173.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. De lo cual se puede concluir que el sistema es complejo con un contenido de sales entre $\sim 2\%$ y $\sim 15.5\%$ wt NaCl eq. (a partir de la ecuación 1).

Las mediciones microtermométricas de las inclusiones fluidas primarias polifásicas del cuarzo muestran una temperatura de primera fusión detectable del líquido ó

temperatura eutéctica (T_e) entre $-85.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual indica adición de sustancias; de allí se presume la presencia del ión Na y la presencia de H_2S junto con CO_2 ; la temperatura de fusión final del hielo (T_f) está entre $-11.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $2.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ lo cual presume la presencia de caltratos; y finalmente se da una homogenización a líquido a temperaturas de $166.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. De lo anterior se puede concluir que el sistema es complejo, con contenido de sales entre $\sim 5.5\%$ y $\sim 15.5\%$ wt NaCl eq. (a partir de la ecuación 1).

Las mediciones microtermométricas de las inclusiones fluidas secundarias bifásicas del cuarzo muestran una temperatura de primera fusión detectable del líquido ó temperatura eutéctica (T_e) entre $-49.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-45.1\text{ }^{\circ}\text{C}$; la temperatura de fusión final del hielo (T_f) está a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y finalmente se da una homogenización a líquido a $163\text{ }^{\circ}\text{C}$, reconociendo un sistema con contenido de sales de $\sim 4.9\%$ wt NaCl eq. (a partir de la ecuación 1).

Las inclusiones polifásicas (líquido1 + líquido2 + vapor) y las inclusiones bifásicas (líquido + vapor), indican mayor y menor contenido de CO_2 en el fluido, según grado de relleno de cada una; por lo cual se presume dos eventos diferentes ó dos pulsos de inclusiones.

- **MUESTRA T.A.U-8.2-13**

Las mediciones microtermométricas de las inclusiones fluidas primarias bifásicas del cuarzo muestran una temperatura de primera fusión detectable del líquido ó temperatura eutéctica (T_e) entre $-87\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-56.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual indica adición de sustancias; de allí se presume la presencia de CO_2 y H_2S ; la temperatura de fusión final del hielo (T_f) está entre $-10.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y finalmente se da una homogenización a líquido a temperaturas entre $169.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $240.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. De lo anterior

se puede concluir que el sistema posiblemente presenta salinidades entre ~ 4% y ~ 14.4 % wt NaCl eq. (a partir de la ecuación 1).

Las inclusiones monofásicas de vapor y las inclusiones bifásicas (líquido + vapor), indican mayor y menor contenido de CO₂ en el fluido; por lo cual se presume dos eventos diferentes ó dos pulsos de inclusiones.

- **MUESTRA T.A.U-8.3-14**

Las mediciones microtermométricas de las inclusiones primarias bifásicas del cuarzo muestran una temperatura de primera fusión detectable del líquido ó temperatura eutéctica (Te) entre -57.9 °C y -51.1 °C, lo cual indica adición de sustancias; de allí se presume la presencia del ión Ca y K, también la posibilidad de que la burbuja sea de CO₂; la temperatura de fusión final del hielo (Tf) está entre -9.2 °C y -2.7 °C y finalmente se da una homogenización a líquido en todos los casos a temperaturas entre 159.8 °C y 180.1 °C. De lo anterior se puede concluir que el sistema posiblemente presenta salinidades entre ~ 4.5 % y ~ 13.4% wt NaCl eq. (a partir de la ecuación 1).

- **MUESTRA T.A.U-9-15**

Las mediciones microtermométricas de las inclusiones primarias bifásicas del cuarzo muestran una temperatura de primera fusión detectable del líquido ó temperatura eutéctica (Te) entre -55.9 °C y -48.4 °C, lo cual indica la adición de sustancias; de allí se presume la presencia del ión Ca y Na; la temperatura de fusión final del hielo (Tf) está entre -6.7 °C y -6.5 °C y finalmente se da una homogenización a líquido en todos los casos a temperaturas entre 149.7 °C y 197.7 °C. De lo anterior se puede concluir que el sistema es complejo y que

posiblemente con contenido de sales de ~10% wt NaCl eq. (a partir de la ecuación1).

- **MUESTRA T.A.U-10.3-24**

Las mediciones microtermométricas de las inclusiones fluidas bifásicas del cuarzo muestran una temperatura de primera fusión detectable del líquido ó temperatura eutéctica (T_e) entre $-68.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y -50.2 , lo cual indica la presencia del ión Ca; la temperatura de fusión final del hielo (T_f) está en $-5.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y finalmente se da una homogenización a líquido a temperaturas entre 162.7°C y 173.7°C . De lo anterior se puede concluir que el sistema es complejo con contenido de sales de ~ 9% wt NaCl eq. (a partir de la ecuación 1)

De acuerdo con el análisis de los datos y teniendo en cuenta los estándares de las tablas 6 y 7 se concluye que se posiblemente el fluido hidrotermal responsable de la formación de los filones, que se presenta en las inclusiones fluidas primarias, implica un sistema no solo salino-acuoso representado por los siguientes compuestos: $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{KCl?} + \text{CaCl}_2 + (\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S})$, con un contenido de sales entre ~2.8% y ~15.5% wt NaCl eq. Las temperaturas de homogenización que comúnmente se asocian con las temperaturas de atrapamiento de las inclusiones son relativamente bajas y variables, entre $131\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $240.8\text{ }^{\circ}\text{C}$; lo cual posiblemente indicaría condiciones homogéneas (dado que todas las inclusiones homogenizan a líquido) de atrapamiento a poca profundidad. De igual forma el hecho de que se presenten fases gaseosas en equilibrio con fases líquidas puede indicar un fluido compuesto de estas dos fases.

Este sistema salino-acuoso implica la procedencia magmática del fluido; principalmente por la presencia de NaCl, KCl? y H_2S .

En ambos casos la presencia de KCl se pone en duda debido a que las temperaturas del punto eutéctico (Te) observadas, se acercan a la establecida teóricamente; pero solo en un caso; por lo cual no se considera suficiente para inferir que haya o no este componente en el fluido.

7.3 TIPOLOGIA DEL CUARZO

El cuarzo como material de relleno de los filones hidrotermales, presenta cambios en su estructura y aspecto; clasificándose en diferentes tipos, los cuales se describen a continuación.

- Cuarzo Blanco. De color blanco lechoso, en ocasiones presenta grano muy fino a grueso y brillo ceroso (Figura 40). El color se debe a que en su interior presenta muchas inclusiones líquidas y huecos microscópicos. En las muestra tomadas, este es el tipo más abundante y común; es decir, se presenta en todas las muestras tomadas; siendo la características composicional principal de estos filones hidrotermales. Este cuarzo es predominantemente amorfo; solo en ocasiones es posible determinar el grado de cristalización.

Figura 40. Cuarzo lechoso, muestra T.A.U-9-15.



- Cuarzo en drusa. Traslúcido de tamaño de grano fino, brillo vítreo y en forma de drusa (Figura 41). El hecho de que se presente cuarzo de este tipo implica que posiblemente hubo escape de vapores que dejaron espacios y tiempo suficiente para la cristalización en drusa. Se presenta ocasionalmente en los filones tipo I y tipo II en las porosidades del cuarzo lechoso.

Figura 41. Aspecto de la cristalización en drusa del cuarzo con oxidación, muestra T.A.U-8.2-13.



- Cuarzo Oqueroso. De color blanco-cremoso, amorfo, mate y con cavidades importantes en su estructura (Figura 42). Es un cuarzo poroso; su textura está dada por la condensación de vapor acidificado por oxidación; es producto residual de lixiviación ácida (hidrólisis extrema). Se relaciona con una alta sulfuración. Se presenta en los filones tipo II.

Figura 42. Oquedades en el cuarzo, muestra T.A.U-7-10.



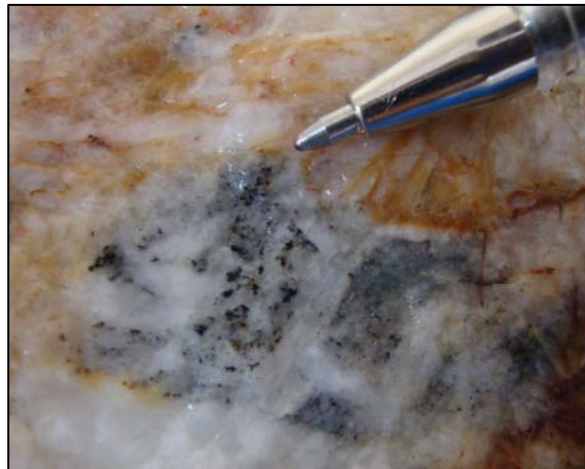
- Cuarzo Opalínico. De color muy blanco, amorfo a criptocristalino, se presenta relativamente liviano (Figura 43). Generalmente ocurre en un ambiente superficial de un sistema hidrotermal, con temperaturas típicas por debajo de 100°C y un pH bajo. Se presenta en los filones tipo I.

Figura 43. Cuarzo opalínico, muestra T.A.U-3-4.



- Cuarzo calcedónico. De color gris, amorfo y de ocurrencia ocasional en los filones (Figura 44). Generalmente se da en un ambiente superficial de un sistema hidrotermal a bajas temperaturas. Se presenta en los filones tipo II.

Figura 44. Cuarzo calcedónico con pirita en cuarzo lechoso, muestra T.A.U-8.3-14.

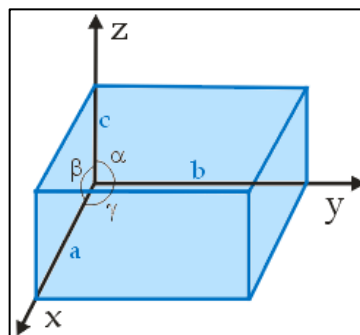


Es probable que las variaciones en el cuarzo estén relacionadas con diferentes eventos hidrotermales; de ellas puedo definir variaciones importantes en la temperatura y acidificación del fluido; al igual que la posible intervención e interacción de fluidos magmáticos con meteóricos. Las oquedades en el cuarzo se dan principalmente por escape de vapores o gases y por la acidificación de estos y se relacionan con ambientes magmáticos, el cuarzo lechoso se forma en rangos de temperatura variables; mientras que el cuarzo opalínico y calcedónico generalmente se producen en ambientes superficiales a temperaturas bajas. La cristalización en drusa se presenta porque el escape de gases en el fluido deja espacios en los cuales puede desarrollarse y también implica que tuvo tiempo para cristalizar.

7.3.1 Características Estructurales (Parámetros de Celda)

La caracterización de la celda unidad de los cristales incluye 6 parámetros: 3 distancias (a , b y c) y 3 ángulos (α , β y γ) formados por estas distancias (Figura 45).

Figura 45. Celda unidad.



Fuente: <http://www.uned.es/cristamine/cristal/imagenes/cedaunidad1.gif>

Para cada sistema cristalino, los parámetros de celda corresponderán a un valor determinado y la reagrupación de celdas unidad se conoce como redes de Bravais, (Tabla 9).

Tabla 9. Sistemas cristalinos y redes de Bravais.

Sistema	Longitudes axiales y ángulos	Redes de Bravais	Símbolo de la red
Cúbico	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple Centrado en cuerpo Centrado en caras	P I F
Tetragonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple Centrado en cuerpo	P I
Ortorrómbico	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple Centrado en cuerpo Centrado en las bases Centrado en caras	P I C F
Romboédrico*	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Simple	R
Hexagonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma = 120^\circ$	Simple	P
Monoclínico	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta \neq 90^\circ$	Simple Centrado en las bases	P C
Triclínico	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Simple	P

* También llamado trigonal.

Fuente: Pinto Camargo, J. L., 2005.

Los parámetros de celda se determinaron en seis muestras de cuarzo de filones, (Ver Anexo 1). En esta caracterización, se tiene en cuenta el valor estándar para $c = \sim 5.41 \text{ \AA}$ (Klein, C., Hurlbut, C. S. Jr., 1997). También es de considerar que el cuarzo pertenece al sistema hexagonal-trigonal, uno de los sistemas cristalinos con mayor simetría, y que existen dos figuras de mérito; definidas para hacer más confiable la cuantificación de los parámetros de celda (figura de mérito de Wolf M(N), 1969 y figura de mérito de Smith-Snyder F(N), 1979, donde N son los valores indexados o número de líneas observadas); las cuales tienen que ser mayores de 20 para ser consideradas confiables.

- **MUESTRA T.A.U-8-11.**

Corresponde al filón 6 de tipo II. Esta muestra representa el primero de los cuatro puntos muestreados en la vena de cuarzo; localizada a 200m del carreteable Berlín-Agua Clara en dirección SE de la escuela del mismo nombre (Figura 15). Se trata de cuarzo lechoso con variaciones de tonalidad a cuarzo grisáceo y presencia ocasional de cuarzo en drusa.

SISTEMA H E X A G O N A L			
PARAMETROS DIRECTOS:	a= 4.91528Å	c= 5.40732 Å	VOLUME= 113.14 Å ³
DESVIACIÓN ESTANDAR:	0.00021	0.00034	
FIGURAS DE MERITO			
1.- M(17) = 267.0			
2.- F(17) = 197.5(0.0045, 19)			

Las características de la celda unidad de este cuarzo indican que pertenece a un sistema hexagonal; por lo cual la distancia entre a y b es igual; mientras que la distancia a c es diferente en 0.49204 Å. El valor de c concuerda con lo que se sugiere en Klein, C., Hurlbut, C. S. Jr., (1997); allí aproximan este valor a 5.41 y en este caso la diferencia sería de 0.00268 Å. El valor alto de las figuras de mérito indica confiabilidad en la cuantificación de líneas indexadas. Dado que cumple con las características generales del cuarzo, y teniendo en cuenta los datos microtermométricos, es acertado decir que se formó bajo condiciones hidrotermales naturales en un rango de temperatura bajo (130.9 °C y 159.1 °C).

- **MUESTRA T.A.U-8.1-12**

Corresponde al filón 6 de tipo II. Esta muestra representa el segundo de los cuatro puntos muestreados en la vena de cuarzo; localizada a 200m del carreteable Berlín-Agua Clara en dirección SE de la escuela del mismo nombre; a 50m de la

muestra T.A.U-8-11 (Figura 15). Se trata de cuarzo con variaciones de tonalidad desde blanco hasta rosado y oquedades en donde se da espacio para el crecimiento de cuarzo en drusa. Posiblemente una brecha.

SISTEMA HEXAGONAL			
PARAMETROS DIRECTOS:	a= 4.91542 Å	c= 5.40674 Å	VOLUME= 113.13 Å ³
DESVIACIÓN ESTANDAR:	0.00041	0.00068	
FIGURAS DE MERITO			
1.- M(17) = 154.0			
2.- F(17) = 116.5(0.0077, 19)			

Las características de la celda unidad de este cuarzo indican que pertenece a un sistema hexagonal; por lo cual la distancia entre a y b es igual; mientras que la distancia a c es diferente en 0.49132 Å. El valor de c concuerda con lo que se sugiere en Klein, C., Hurlbut, C. S. Jr., (1997); allí aproximan este valor a 5.41 y en este caso la diferencia sería de 0.00326 Å. El valor alto de las figuras de mérito indica confiabilidad en la cuantificación de líneas indexadas aunque es más bajo en comparación con la muestra T.A.U-8-11. La diferencia en la distancia entre a y c también es más baja; por lo cual se sugiere que la celda unidad es más pequeña (teniendo en cuenta que los valores se dan en Armstrong) y el volumen varía en 0.1 Å, por lo tanto hay una mínima diferencia en la estructura. Dado que cumple con las características generales del cuarzo, y teniendo en cuenta los datos microtermométricos, es acertado decir que se formó bajo condiciones hidrotermales naturales en un rango de temperatura bajo (145.1 °C y 176.1 °C).

- **MUESTRA T.A.U-8.2-13**

Corresponde al filón 6 de tipo II. Esta muestra representa el tercero de los cuatro puntos muestreados en la vena de cuarzo; localizada a 200m del carretable Berlín-Agua Clara en dirección SE de la escuela del mismo nombre; a 50m de la muestra T.A.U-8.1-12 (Figura 15). Se trata de cuarzo lechoso, en donde además

se observa cuarzo blanco-cremoso amorfo y oquedades en donde crece cuarzo en drusa.

SISTEMA H E X A G O N A L		
PARAMETROS DIRECTOS:	a= 4.91590 Å	c= 5.40688 Å VOLUME= 113.16 Å ³
DESVIACIÓN ESTANDAR:	0.00014	0.00023
FIGURAS DE MERITO		
1.- M(17) = 445.2		
2.- F(17) = 227.7(0.0027, 19)		

Las características de la celda unidad de este cuarzo indican que pertenece a un sistema hexagonal; por lo cual la distancia entre a y b es igual; mientras que la distancia a c es diferente en 0.49098 Å. El valor de c concuerda con lo que se sugiere en Klein, C., Hurlbut, C. S. Jr., (1997); allí aproximan este valor a 5.41 y en este caso la diferencia sería de 0.00312 Å. El valor alto de las figuras de mérito indica confiabilidad en la cuantificación de líneas indexadas; en esta muestra es el más alto. La diferencia en la distancia entre a y c es más baja en comparación con las dos muestras anteriores (T.A.U-8-11 y T.A.U-8.1-12); por lo cual se sugiere que la celda unidad es más pequeña (teniendo en cuenta que los valores se dan en Armstrong), por lo tanto hay una mínima variación en la estructura. Dado que cumple con las características generales del cuarzo, y teniendo en cuenta los datos microtermométricos, es acertado decir que se formó bajo condiciones hidrotermales naturales en un rango de temperatura bajo (169.2 °C y 240.8 °C) pero más alto que las muestras anteriores.

- **MUESTRA T.A.U-8.3-14**

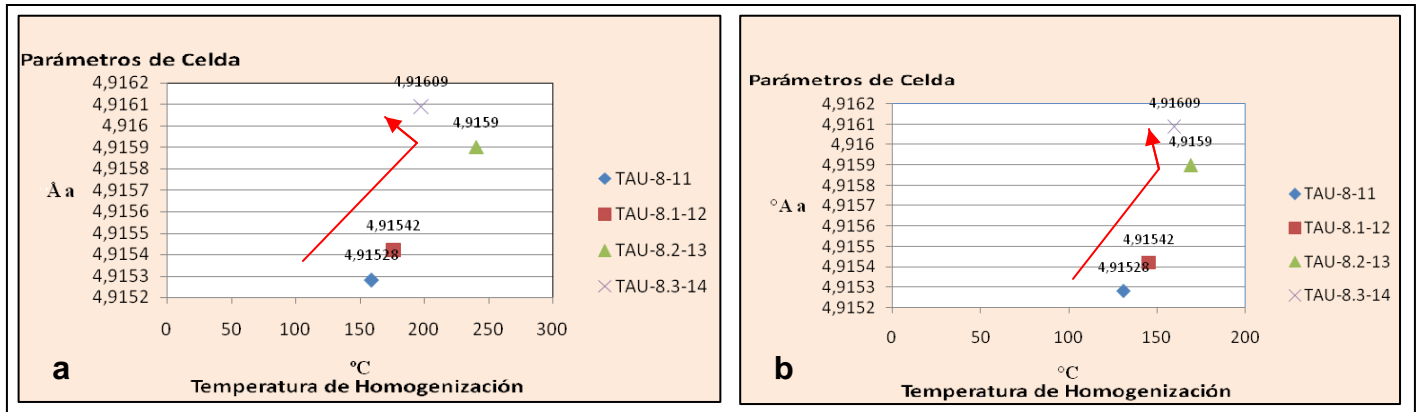
Corresponde al filón 6 de tipo II. Esta muestra representa el último de los cuatro puntos muestreados en la vena de cuarzo; localizada a 200m del carreteable Berlín-Agua Clara en dirección SE de la escuela del mismo nombre; a 50m de la muestra T.A.U-8.2-13 (Figura 15). Se trata de cuarzo lechoso.

SISTEMA H E X A G O N A L		
PARAMETROS DIRECTOS:	a= 4.91809 Å	c= 5.40698 Å VOLUME= 113.26 Å ³
DESVIACIÓN ESTANDAR:	0.00018	0.00030
FIGURAS DE MERITO		
1.- M(17) = 277.7		
2.- F(17) = 204.5(0.0044, 19)		

Las características de la celda unidad de este cuarzo indican que pertenece a un sistema hexagonal; por lo cual la distancia entre a y b es igual; mientras que la distancia a c es diferente en 0.48889 Å. El valor de c concuerda con lo que se sugiere en Klein, C., Hurlbut, C. S. Jr., (1997); allí aproximan este valor a 5.41 y en este caso la diferencia sería de 0.00302 Å. El valor alto de las figuras de mérito indica confiabilidad en la cuantificación de líneas indexadas. La diferencia en la distancia entre a y c es más baja en comparación con las tres muestras anteriores (T.A.U-8-11, T.A.U-8.1-12, T.A.U-8.2-13); por lo cual se sugiere que la celda unidad es más pequeña (teniendo en cuenta que los valores se dan en Armstrong), por lo tanto hay una mínima variación en la estructura. Esta muestra presenta el valor de volumen más alto con una diferencia promedio de ~0.12 Å. Dado que cumple con las características generales del cuarzo, y teniendo en cuenta los datos microtermométricos, es acertado decir que se formó bajo condiciones hidrotermales naturales en un rango de temperatura bajo (159.8 °C y 169.51 °C).

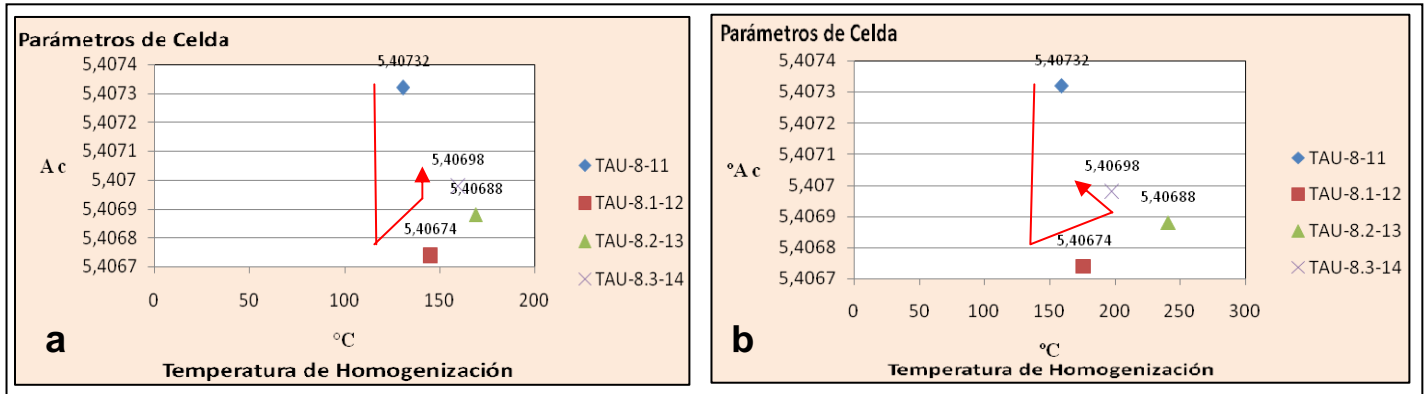
Los datos de celda unidad de las cuatro muestras anteriores pertenecen a un mismo filón (filón 5, tipo II); de acuerdo con las variaciones en el parámetro a, hay un cambio estructural en la celda del cuarzo a lo largo de la longitud del filón (aumenta); en la figura 46 se muestra la relación entre el parámetro a con la temperatura de homogenización (a. temperatura más baja, b. temperatura más alta); es evidente que a medida que aumenta la temperatura, aumenta también el valor del parámetro a; en este caso hay una relación directa entre estos dos factores.

Figura 46. Parámetros de celda (a) Vs Temperatura de homogenización. Filón 5 (tipo II). a) menor temperatura de homogenización registrada para todas las muestras. b) mayor temperatura de homogenización registrada para todas las muestras.



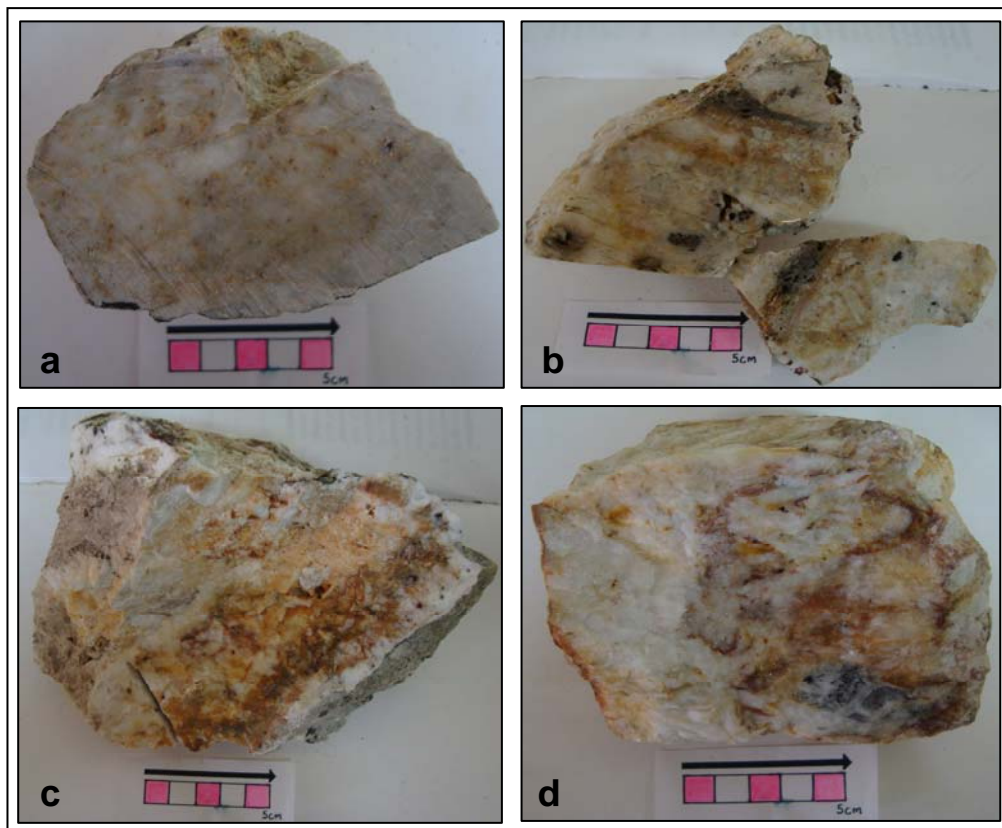
De acuerdo con las variaciones en el parámetro c, hay un cambio estructural en la celda del cuarzo a lo largo de la longitud del filón (disminuye bruscamente de la primera muestra a la segunda, y vuelve a aumentar); en la figura 47 se muestra la relación entre el parámetro c con la temperatura de homogenización (a. temperatura más baja, b. temperatura más alta); en este caso no hay una relación directa entre estos dos factores.

Figura 47. Parámetros de celda (c) Vs Temperatura de homogenización. Filón 5 (tipo II). a) menor temperatura de homogenización registrada para todas las muestras. b) mayor temperatura de homogenización registrada para todas las muestras.



Estos datos posiblemente expliquen las diferencias texturales observadas en campo y los distintos tipos de cuarzo presentes en el filón (Figura 48a, b, c y d).

Figura 48. Variaciones texturales y estructurales en muestra de mano del filón 5 (Tipo II). a) Muestra T.A.U-8-11, b) muestra T.A.U-8.1-12, c) muestra T.A.U-8.2-13, d) muestra T.A.U-8.3-14.



- **MUESTRA T.A.U-9.1-18**

Corresponde al filón 7 de tipo II. Esta muestra fue tomada de la vena afectada por la falla el Calvario; localizada en dirección SW del Corregimiento de Berlín, sobre una cantera. Se encuentra a 80m del carretable Berlín-El Calvario siguiendo la misma dirección (Figura 15). Se trata de cuarzo lechoso.

SISTEMA H E X A G O N A L		
PARAMETROS DIRECTOS:	a= 4.91439 Å	c= 5.40636 Å VOLUME= 113.08 Å ³
DESVIACIÓN ESTANDAR:	0.00032	0.00057
FIGURAS DE MERITO		
1.- M(17) = 220.7		
2.- F(17) = 154.8(0.0057, 18)		

Las características de la celda unidad de este cuarzo indican que pertenece a un sistema hexagonal; por lo cual la distancia entre a y b es igual; mientras que la distancia a c es diferente en 0.49197 Å. El valor de c concuerda con lo que se sugiere en Klein, C., Hurlbut, C. S. Jr., (1997); allí aproximan este valor a 5.41 y en este caso la diferencia sería de 0.00364 Å. El valor alto de las figuras de mérito indica confiabilidad en la cuantificación de líneas indexadas. De esta muestra no se tienen datos microtermométricos, pero se considera, deben seguir la tendencia de las otras muestras analizadas.

- **MUESTRA T.A.U-9.1-19a.**

Corresponde al filón 7 de tipo II. Esta muestra fue tomada de la vena afectada por la falla el Calvario (tope); localizada en dirección SW del Corregimiento de Berlín, sobre una cantera. Se encuentra a 80m del carretable Berlín-El Calvario siguiendo la misma dirección (Figura 15). Se trata de cuarzo lechoso y

SISTEMA H E X A G O N A L			
PARAMETROS DIRECTOS:	a= 4.91543 Å	c= 5.40750 Å	VOLUME= 113.15 Å ³
DESVIACIÓN ESTANDAR:	0.00021	0.00034	
FIGURAS DE MERITO			
1.- M(17) =	264.9		
2.- F(17) =	198.0(0.0045, 19)		

Las características de la celda unidad de este cuarzo indican que pertenece a un sistema hexagonal; por lo cual la distancia entre a y b es igual; mientras que la distancia a c es diferente en 0.49207 Å. El valor de c concuerda con lo que se sugiere en Klein, C., Hurlbut, C. S. Jr., (1997); allí aproximan este valor a 5.41 y en este caso la diferencia sería de 0.0025 Å. El valor alto de las figuras de mérito indica confiabilidad en la cuantificación de líneas indexadas. La diferencia en la distancia entre a y c es más alta en comparación con la muestra anterior (T.A.U-9.1-18), por lo cual se sugiere que la celda unidad es más grande (teniendo en cuenta que los valores se dan en Armstrong), por lo tanto hay una mínima variación en la estructura. Esta muestra presenta un valor de volumen más alto con una diferencia de ~0.07 Å.

Las muestras T.A.U-9.1-18 y T.A.U-9.1-19a pertenecen al mismo filón hidrotermal (filón 6, tipo II) y de acuerdo con los datos de la celda unidad para el cuarzo de este filón hay una variación en la estructura de menor a mayor distancia a c; lo cual, posiblemente explique las diferencias físicas del cuarzo en muestra de mano (Figura 49a y b).

Figura 49. Variaciones texturales y estructurales en muestra de mano del filón 6 (Tipo II). a) Muestra T.A.U-9.1-18, b) muestra T.A.U-9.1-19a.



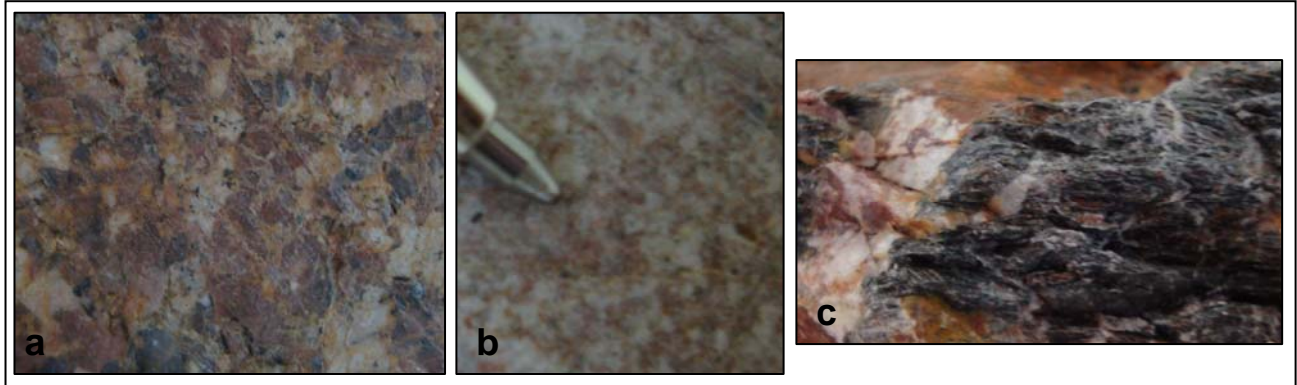
8. ROCA CAJA

Las litologías afectadas por los filones corresponden a: Intercalaciones de esquistos grafitosos con Cuarzitas encajando los filones tipo II; se encuentra igualmente afectada por venillas de cuarzo de aproximadamente 2cm de espesor en inmediaciones del filón; además presenta foliación predominantemente en sentido NE; cuarzomonzonita la cual encaja los filones tipo I y tipo II, presenta venillas de cuarzo de 3cm de espesor que la atraviesan en todos los sentidos solamente en inmediaciones del filón estudiado; es decir, después de aproximadamente 10m ya no hay presencia de venillas de cuarzo y finalmente granito de tipo monzogranito en la vía que conduce al Encenillo encajando los filones tipo III. Se destaca la cuarzomonzonita como litología principal (abarca mayor área) dentro de la zona estudiada.

8.1 MINERALOGIA Y PETROGRAFIA

Con base en el análisis macroscópico de las muestras obtenidas en campo (8 muestras) se determinó que las rocas ígneas (cuarzomonzonita y monzogranito) presentan estructura masiva y textura fanerítica (Figura 50a y b). Por su parte el esquisto cuarzo-grafitoso presenta estructura esquistosa-laminar (Figura 50c), siendo afectado por vetillas de cuarzo de aproximadamente 3mm de espesor en dirección de la foliación y en ocasiones cortándola.

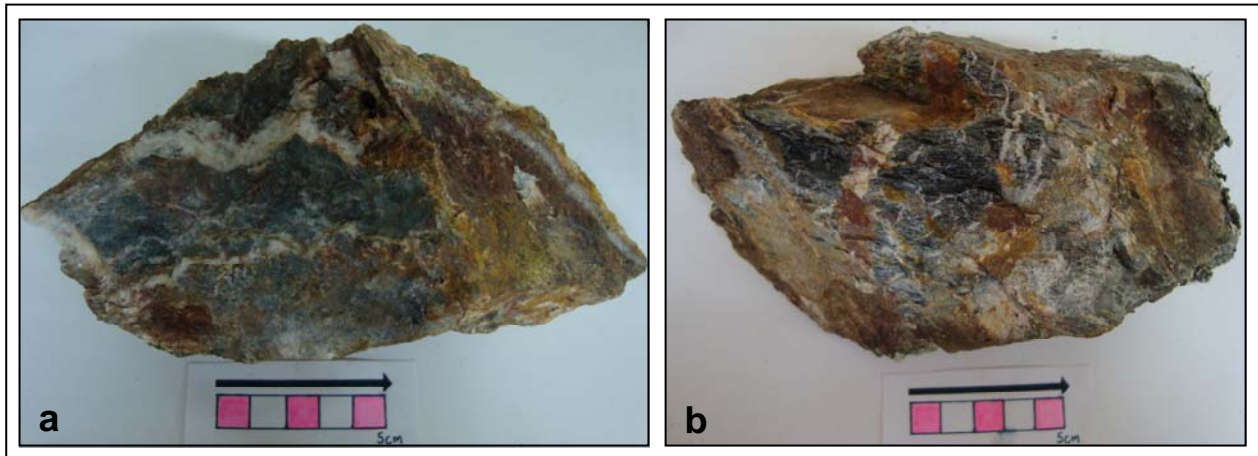
Figura 50. Características mineralógicas de las rocas encajantes. a) Aspecto tamaño de grano grueso y estructura masiva de la cuarzomonzonita, muestra T.A.U-1-2; b) Aspecto del tamaño de grano medio y estructura masiva del monzogranito, muestra T.A.U-10.1-22a; c) Aspecto del tamaño de grano fino y estructura esquistosa-laminar del esquistos cuarzo-grafitoso, muestra T.A.U-6-7.



8.1.1 Esquistos cuarzo-grafitoso (Formación Silgará)

Representa la roca encajante de filón de tipo II, de la cual se tomaron 2 muestras representativas: T.A.U-6-6 y T.A.U-6-7. Del análisis macroscópico de estas muestras se tiene que: el esquistos cuarzo-grafitoso presenta tamaño de grano fino a medio, de color grisáceo y comúnmente presenta microplegamiento producto de esfuerzos importantes. Composicionalmente se observa cuarzo (de color blanco lechoso predominantemente en venas que atraviesan la muestra, de tamaño de grano fino y brillo vítreo a mate), grafito (de color negro-grisáceo, tamaño de grano fino y textura laminar, brillo ceroso), feldespato potásico (de tamaño de grano fino y color rojo-naranja) y muscovita (de tamaño de grano fino, incolora a grisácea y aspecto laminar) como minerales principales; óxidos (de color naranja-rojizo y tamaño de grano fino) como minerales accesorios; además presenta lo que se conoce como “caracha”, que se da por lixiviación de sulfuros. (Figura 51. a y b).

Figura 51. Características estructurales de la roca encajante. a) Aspecto del microplegamiento y foliación del Esquisto cuarzo-grafitoso, muestra T.A.U-6-6. b) Aspecto de las venillas de cuarzo que afectan a la roca, muestra T.A.U-6-7.



- **Esquisto cuarzo-grafitoso (MUESTRA T.A.U-6-6)**

De tamaño de grano predominantemente grueso, heteroblástico con forma de los cristales subidioblástica a xenoblástica. Presenta textura Lepidogranoblástica y localmente se observan inclusiones de minerales accesorios en minerales principales, además el cuarzo presenta textura tipo “palizada” (intercrecimiento a manera de agujas producto del apretamiento físico de los cristales) (Fig. 52). Se encuentran minerales detríticos (ortoclasa y muscovita) como evidencia de su protolito sedimentario.

Composición mineralógica:

Minerales Principales: Cuarzo

Muscovita

Plagioclasa

Minerales Menores: Opacos

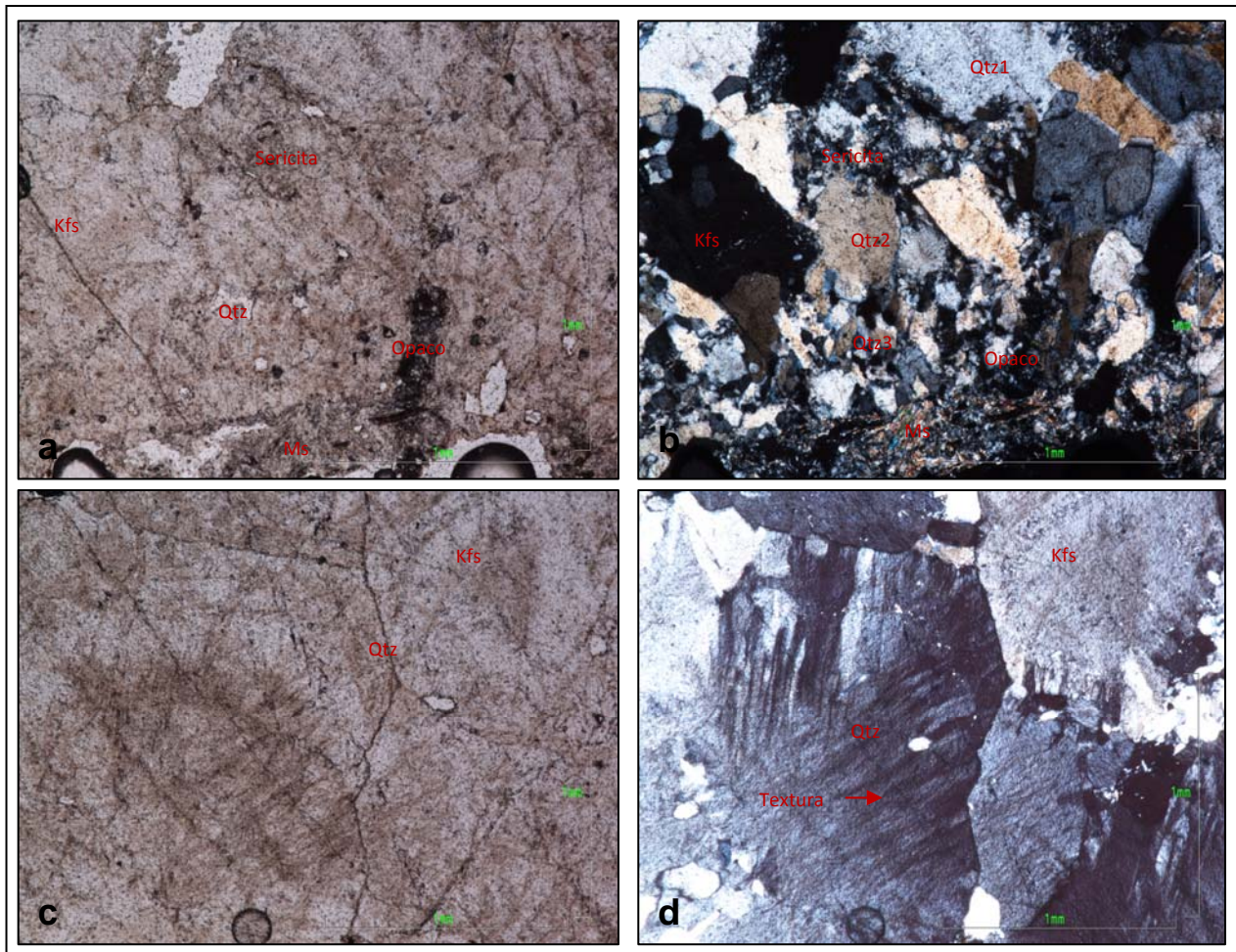
Oxidos

Minerales Accesorios: Apatito

Epidota

Minerales Secundarios: Sericita (Plagioclasa)

Figura 52. Características petrográficas de la muestra TAU-6-6. a) Evidencia de la variación en el tamaño de grano, en NII. b) Evidencia de la variación en el tamaño de grano, en NX. c) Evidencia de la textura “palizada”, en NII. d) Evidencia de la textura “palizada”, en NX. Qtz: cuarzo, Qtz1: cuarzo 1, Qtz2: cuarzo 2, Qtz3: cuarzo 3, Kfs: feldespato potásico, Ms: muscovita.



Cuarzo (60%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo, heteroblástico. Distribuido homogéneamente en la placa. Se encuentra notoriamente afectado por microfracturas en todas sus formas.

- Cuarzo 1: Tamaño de grano grueso (2.80mm) y forma subidioblástico. Presenta una textura de intercrecimiento hacia los bordes del cristal a manera de agujas, lo cual se conoce como textura tipo palizada. En ocasiones presenta inclusiones de muscovita.
- Cuarzo 2: Tamaño de grano medio (0.60-1.20mm) y forma subidioblástico. En ocasiones se encuentra incluido en cuarzo 1 y presenta inclusiones de muscovita y opacos.
- Cuarzo 3: Tamaño de grano fino (0.13mm) y forma subidioblástico, en ocasiones se observan como agregados en los bordes del cuarzo 1. Representa el cuarzo de la roca caja; el cual sigue una dirección de elongación preferencial (esquisto grafitoso). Se encuentra en contacto con la muscovita, la plagioclasa, epidota y cuarzo 1.

Muscovita (15%): Individuos o agregados incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden hasta amarillos de primer orden, subidioblásticos a heteroblásticos. Anisotrópico- biáxico de relieve bajo, exfoliación en una dirección y tamaño de grano medio (0.6mm). Se encuentra en contacto con el cuarzo 1 y el cuarzo 2. Está heterogéneamente distribuida en la placa.

- Los individuos que representan estrictamente la roca caja se encuentran afectados por microplegamiento y evidentemente siguen una dirección preferencial de elongación; presentan tamaño de grano fino (0.25mm). Se encuentran en contacto con opacos, epidota, cuarzo 1 y cuarzo 3.

Plagioclasa (13%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subidioblásticos y heteroblásticos. Anisotrópico-biáxico de relieve

bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano grueso (2.50mm). Presenta maclado tipo Carlsbad. Se encuentra en contacto neto con el cuarzo 2 y cuarzo 3. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

- Sericita: Agregado mineral producto de la alteración de la plagioclasa, incolora con birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano muy fino ($\geq 0.03\text{mm}$). Se encuentra distribuida homogéneamente en la placa; es abundante dado que ha reemplazado casi en su totalidad a la plagioclasa.

Opacos (10%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.09mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo 2 así como en contacto con este; presenta signos de oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

- Se presenta a manera de ramificaciones con textura fluida en la roca caja; se identifica como grafito y se encuentra en contacto con la muscovita, epidota y el cuarzo 3 siguiendo la misma dirección preferencial de estos (definiendo la foliación)

Epidota (1%): Individuos de color verde muy claro a incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden y amarillos de primer orden, xenoblásticos. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto y tamaño de grano fino (0.032mm-0.5mm). Presenta una característica particular que consiste en que los colores de birrefringencia se organizan a manera de “vitral”. Se encuentra heterogéneamente distribuido por la placa. Se encuentra obstruyendo la foliación en la roca caja, en contacto con la muscovita, el grafito y el cuarzo 3.

Apatito (1%): Individuos incoloros y birrefringencia que varía entre grises de primer orden, idioblásticos a manera de hexágono perfecto. Anisotrópico-uniáxico de

relieve moderado; en ocasiones se encuentra fracturado. Presenta un tamaño de grano fino (0.28mm). Se encuentra distribuido de forma heterogénea en la placa. Se encuentra como mineral accesorio en contacto con el cuarzo 2 y la plagioclasa.

Se clasifica como roca metamórfica de tipo Metapelítico, principalmente por la presencia de grafito. De acuerdo con esto se determina la facies respectiva (García Ramírez, C. A., 2007. Manual de Prácticas de Petrología Metamórfica).

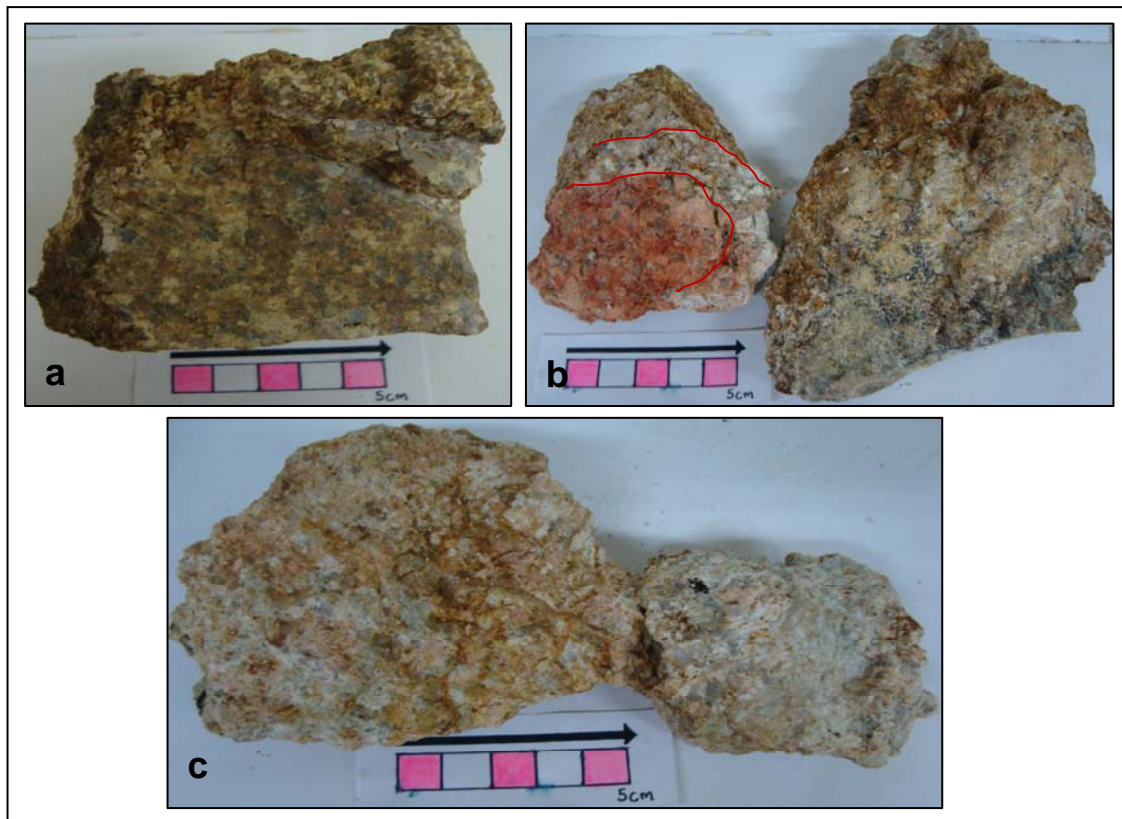
- PARAGENESIS: Qtz + Ms
Qtz + Ms + Ep
- FACIES: Esquistos Verdes, zona de la Clorita.

8.1.2 Cuarzomonzonita (Cuarzomonzonita de Santa Bárbara)

Representa la roca encajante de los Filones tipo I y II, dado que abarca un área considerable de la zona. Se tomaron 3 muestras representativas de esta unidad: T.A.U-1-2, T.A.U-9.1-20a, T.A.U-9.1-20b. Del análisis macroscópico de estas muestras se tiene que presenta tamaño de grano grueso y color rosado-naranja. Composicionalmente presenta feldespato potásico (predominantemente ortoclasa de tamaño de grano grueso, color rosado y comúnmente alterado a caolinita y sericita), plagioclasa (de color blanco-grisáceo, tamaño de grano medio a grueso y aspecto terroso, comúnmente alterado a sericita) y cuarzo (de tamaño de grano medio a grueso, incoloro a blanco lechoso) como minerales principales; biotita (de color café-negrusco, tamaño de grano fino, aspecto laminar y brillo vítreo), anfíboles (predominantemente de tipo hornblenda, de color verdoso y tamaño de grano fino), pirolusita (de color negro y en forma de ramificaciones), epidota (de color verdoso y tamaño de grano fino), óxidos (de color café-naranja y tamaño de

grano fino) y sulfuros (de color naranja-amarillo y tamaño de grano fino) como minerales accesorios. Se encontraron unos halos de alteración hidrotermal (aparentemente superficiales) en la cuarzomonzonita que se diferencian por su composición mineral; estos halos se clasificaron como: zona naranja-rojiza (alteración potásica: feldespato potásico, cuarzo, biotita), zona blanca-grisácea (alteración filica ó sericítica: muscovita, sericita, cuarzo, caolinita) y zona amarilla-grisácea (alteración propilítica: epidota, arcillas, cuarzo) (Figura 53b). Relacionado específicamente con el filón 6, donde además se evidencia epidotización en la roca más cercana al filón.

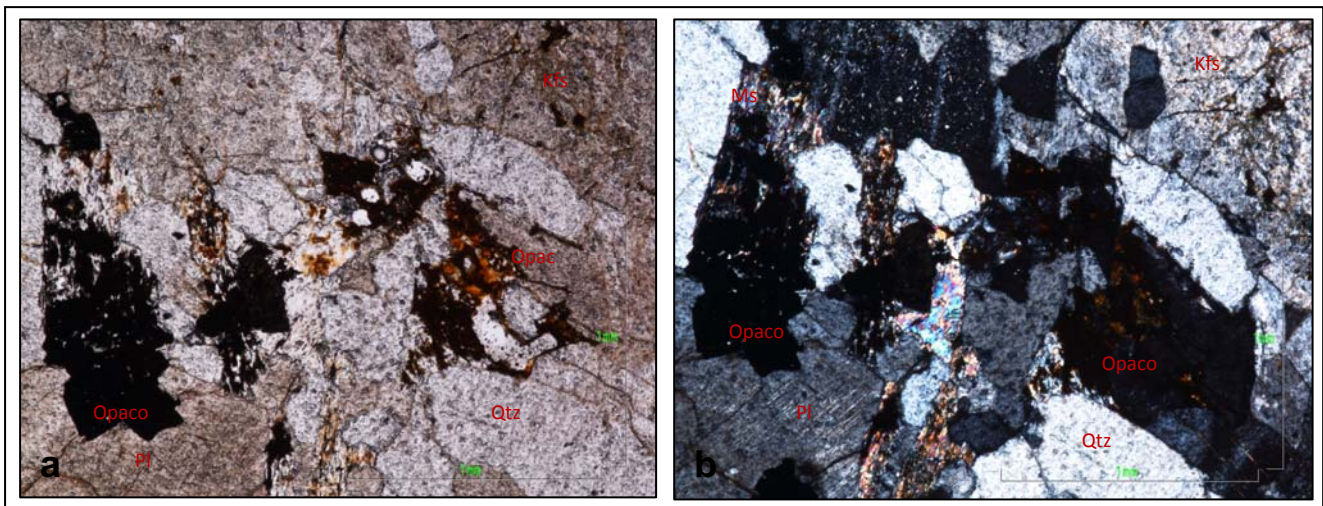
Figura 53. Características mineralógicas de la cuarzomonzonita. a) Aspecto del tamaño y textura de la roca, muestra T.A.U-1-2. b) Aspecto de los halos de alteración de la roca, muestra T.A.U-9.1-20a. c) Aspecto de la epidotización de la roca, muestra T.A.U-9.1-20b.



- **Cuarzomonzonita (MUESTRA T.A.U-1-2)**

Holocristalina de textura fanerítica, inequigranular de forma predominantemente subhedral, por lo tanto hipidiomórfica. Presenta índice de color mesocrático y localmente se observan texturas Poiquilitica (fenocristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico) y kelifítica (bordes reaccionales en el feldespato potásico, la plagioclasa y biotita principalmente). Se observan microfracturas que afectan a los minerales principales (de mayor tamaño). (Figura 54).

Figura 54. Minerales de la muestra T.A.U-1-2. a) En NII. b) En NX. Qtz: cuarzo, Pl.: plagioclasa, Kfs: feldespato potásico, Ms: muscovita.



Composición mineralógica:

Plagioclasa (30%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, anhedrales a subhedrales predominantemente. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano medio (1.34mm-2mm). Presenta maclado tipo albita y tipo Baveno; se observa alterada; es decir,

en su mayoría está sufriendo sericitización. En ocasiones presenta inclusiones de muscovita y opacos. Está homogéneamente distribuida por toda la placa.

- Sericita: Agregado mineral producto de la alteración de la plagioclasa, incolora con birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano muy fino ($\geq 1\text{mm}$). Se encuentra distribuida homogéneamente en la placa; es abundante dado que ha reemplazado casi en su totalidad a la plagioclasa.

Feldespatos potásicos (40%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, anhedrales a subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano fino a medio (0.34mm-1.15mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; en su mayoría está sufriendo caolinitización. Presenta inclusiones de opacos, zircón y muscovita. Está homogéneamente distribuida por toda la placa.

- Caolinita: Agregado mineral producto de la alteración del feldespato potásico, incolora con birrefringencia que varía entre amarillos y grises de primer orden. Anisotrópico uniáxico, de relieve bajo y tamaño de grano muy fino ($\geq 1\text{mm}$). Se encuentra distribuida homogéneamente en la placa; es abundante dado que ha reemplazado casi en su totalidad al feldespato potásico.

Cuarzo (12%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, anhedrales a subhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo y tamaño de grano grueso ($\geq 2\text{mm} < 8\text{mm}$). Presenta inclusiones ocasionales de epidota, opacos y muscovita. Está homogéneamente distribuido por toda la placa. Se observan sectorizaciones de agregados de tamaño fino (0.35mm).

Muscovita (7%): Individuos o agregados incoloros, con birrefringencia que varía entre amarillos de segundo orden hasta amarillos de primer orden, subhedrales a

euhedrales. Anisotrópico- biáxico de relieve bajo, exfoliación en una dirección y tamaño de grano medio (1.35mm). Se observa oxidación ocasional desde los bordes hacia el centro del cristal a manera de parches y cloritización desde el centro hacia los bordes. Se presenta incluida en el cuarzo, la plagioclasa y el feldespato potásico y en ocasiones se observan inclusiones de opacos. Está heterogéneamente distribuida en la placa.

- Clorita: Individuos o agregados de color verde muy claro y birrefringencia que varía entre azules de segundo orden y grises de primer orden, subhedrales de tamaño de grano fino a medio (0.5mm-2mm). Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y exfoliación en una dirección; producto de la alteración de la muscovita. Se encuentra heterogéneamente distribuida en la placa.

Epidota (4%): Individuos de color verde muy claro, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden y amarillos de primer orden, anhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto y tamaño de grano fino (0.07mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo. Presenta una característica particular que consiste en que los colores de birrefringencia se organizan a manera de “vitral”. Se encuentra heterogéneamente distribuido por la placa.

Opacos (6%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino a medio (0.47mm-1.29mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo, la plagioclasa, la muscovita y el feldespato potásico; presenta signos de oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

Zircón (1%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre rosado de tercer orden y amarillo de segundo orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto, anhedrales de tamaño de grano fino (0.032mm-0.5mm). En ocasiones se

encuentra incluido en el feldespato K. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

Tabla 10. Caracterización mineralógica de la muestra T.A.U-1-2.

MINERAL	ETAPA MAGMATICA	ETAPA DE ALTERACION
Plagioclasa	X	
Sericita		X
Feldespato K	X	
Caolinita		X
Cuarzo	X	
Muscovita	X	
Clorita		X
Epidota	X	
Opacos	X	
Zircón	X	

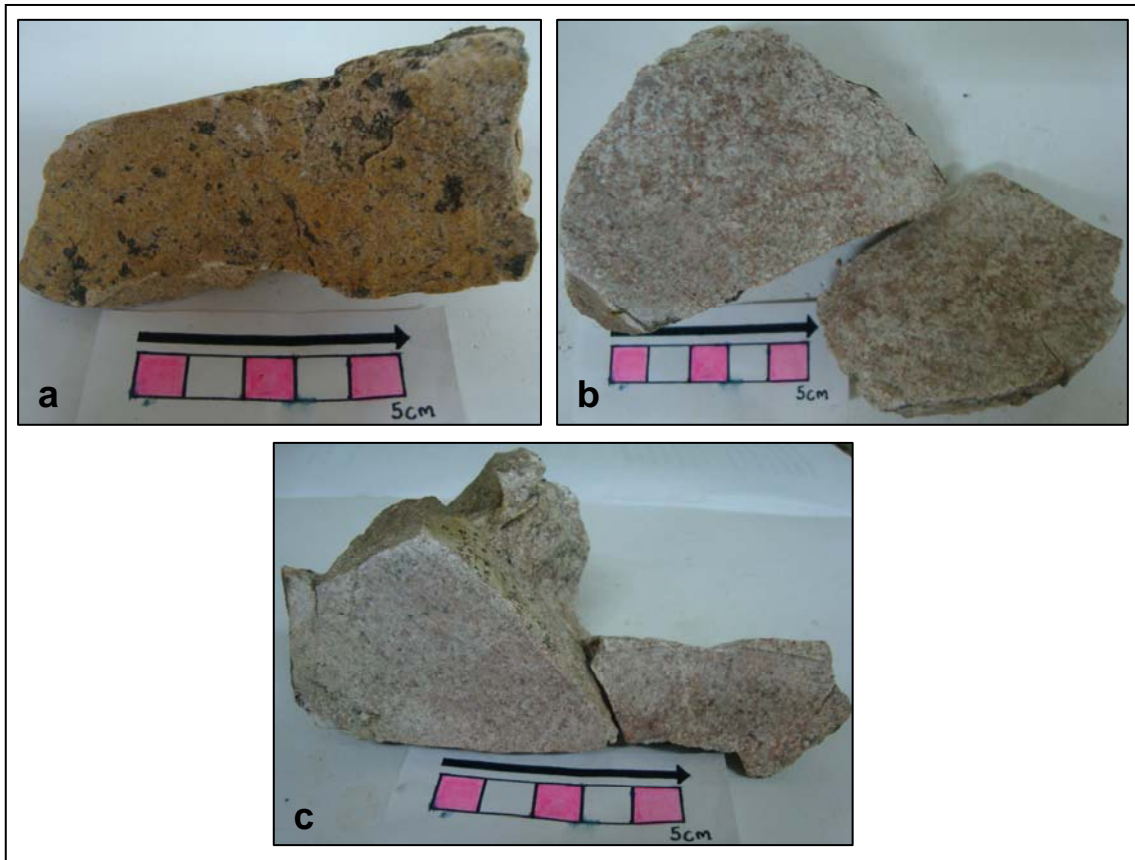
Se clasifica como cuarzomonzonita (Según clasificación de Streckeisen, 1976. Recomendado por la IUGS)

8.1.3 Monzogranito (Granito de Pescadero)

Representa la roca encajante del Filón tipo III de la cual se tomaron 3 muestras representativas: T.A.U-10-21b, T.A.U-10.1-22a y T.A.U-10.1-22b. Del análisis macroscópico de estas muestras se define que presenta tamaño de grano medio

siendo afectado por vetillas de cuarzo de aproximadamente 2mm de espesor en todas las direcciones y color rosado-grisáceo. Composicionalmente presenta cuarzo (de tamaño de grano medio, incoloro a blanco lechoso), feldespato potásico (predominantemente ortoclasa de tamaño de grano medio, color rosado y comúnmente alterado a caolinita) y plagioclasa (de color blanco-grisáceo, tamaño de grano medio y aspecto terroso, en ocasiones alterada a sericita) como minerales principales, epidota (de color verdoso y tamaño de grano fino), biotita (de color café-negruzco, tamaño de grano fino, aspecto laminar y brillo vítreo), muscovita (de tamaño de grano fino, incolora a grisácea, brillo sedoso y aspecto laminar), piroxenos (predominantemente de tipo enstatita, color negro-grisáceo y tamaño de grano fino) y anfíboles (predominantemente de tipo hornblenda, de color verdoso y tamaño de grano fino) como minerales accesorios. (Figura 55a, b y c).

Figura 55. Características estructurales y texturales del monzogranito a) Aspecto de los efectos de la meteorización en la muestra T.A.U-10-21b. b) Aspecto del tamaño de grano, color y textura de la muestra T.A.U-10.1-22a. c) Aspecto de las venillas de cuarzo que afectan la muestra T.A.U-10.1-22b.

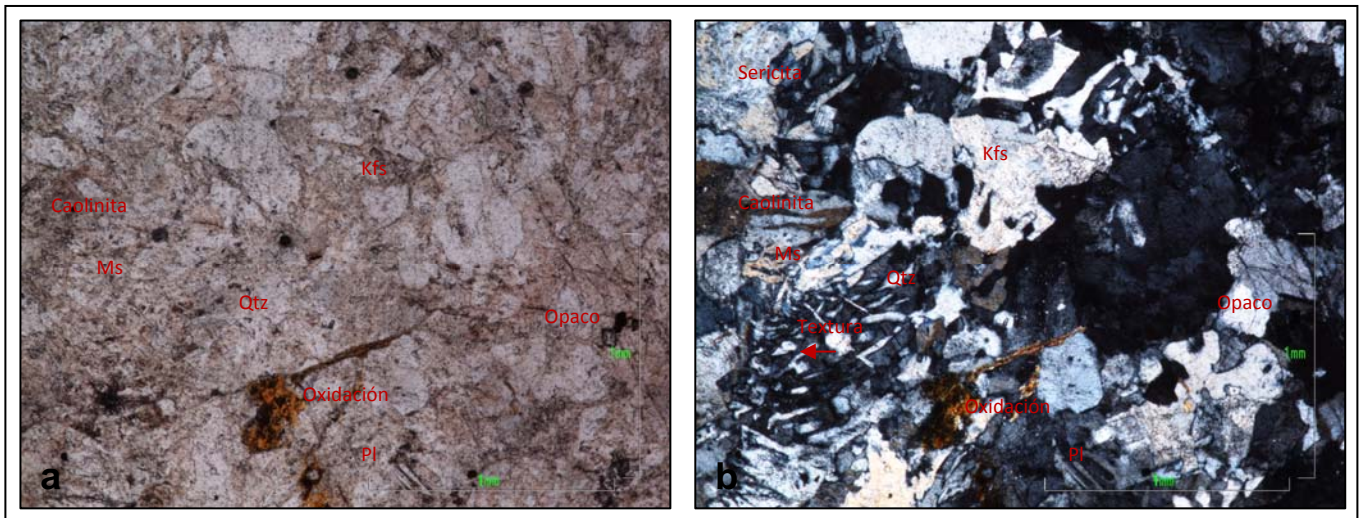


- **Monzogranito (MUESTRA T.A.U-10.1-22a).**

Holocristalina de textura fanerítica y tamaño inequigranular; forma predominantemente subhedral, por lo tanto, hipidiomórfica. Presenta índice de color mesocrático y texturas micrográfica (representa un enfriamiento rápido del magma granítico observable como un intercrecimiento fino del cuarzo con formas triangulares, en cuña y hexagonales distribuidos a lo largo de cristales de feldespato), Poiquilítica (inclusiones de minerales accesorios en minerales principales) y kelifítica (bordes reaccionales en algunos minerales). También se

observa un fuerte fracturamiento que favorece la oxidación y el intercrecimiento cristalino. (Figura 56).

Figura 56. Aspecto petrográfico de la muestra T.A.U-10.1-22a. a) En NII. b) En NX, se evidencia la textura micrográfica en el cuarzo y el tamaño de grano. Qtz: cuarzo, Ms: muscovita, Kfs: feldespato potásico, Pl.: plagioclasa.



Composición mineralógica

Cuarzo (25%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, anhedrales a subhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo y tamaño de grano medio (0.61mm-1.34mm). Presenta inclusiones ocasionales de biotita, epidota y opacos y a su vez se incluye en la plagioclasa. Está homogéneamente distribuido por toda la placa, en ocasiones se observa fuertemente fracturado. Presenta textura micrográfica; es decir, de intercrecimiento entre el cuarzo y el feldespato alcalino.

Feldespatos potásicos (25%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano medio (0.91mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa. Se encuentra incluida por zircón, opacos y óxidos, los cuales se están oxidando en los bordes y además favorecen el reemplazamiento en el feldespatos en su centro (bordes de reacción). Se observa fuertemente fracturado.

- Caolinita: Agregado mineral producto de la alteración del feldespatos potásico, incolora con birrefringencia que varía entre amarillos y grises de primer orden. Anisotrópico uniáxico, de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0.03mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa. El reemplazamiento se observa del centro hacia los bordes del cristal de feldespatos, en algunos casos se ha llevado a cabo en su totalidad.

Plagioclasa (20%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano medio (0.61mm-0.86mm). Presenta maclado tipo Albita y tipo Carlsbad. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa y se observa fuertemente fracturada. Presenta inclusiones ocasionales de cuarzo y óxidos.

- Sericita: Agregado mineral producto de la alteración de la plagioclasa, incolora con birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0.03mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa.

Piroxenos (10%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve alto, exfoliación en dos direcciones formando un ángulo casi perfecto y tamaño de grano medio (0.82mm-1.10mm). Se encuentran fuertemente fracturados. Se encuentran distribuidos

heterogéneamente en la placa, en contacto con el cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa. Se identifican como Enstatita.

Biotita (5%): Individuos o agregados cristalinos de color marrón claro y birrefringencia que varía entre verdes y amarillos de tercer orden a amarillos de segundo orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de hábito tabular, relieve medio y tamaño de grano fino (0.25mm). Presenta pleocroísmo débil con variaciones en tonos cafés y presenta exfoliación perfecta. Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa y en ocasiones se incluye en el cuarzo. En algunos sectores se observa oxidación producto de la biotita.

Opacos (10%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.34mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo y el feldespato potásico; así como en contacto con estos; presenta signos de oxidación hacia los bordes. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

Muscovita (3%): Individuos o agregados incoloros, con birrefringencia que varía entre amarillos de segundo orden hasta amarillos de primer orden, subhedrales a euhedrales. Anisotrópico- biáxico de relieve bajo, exfoliación en una dirección y tamaño de grano medio (0.8mm). Se observa oxidación ocasional desde los bordes hacia el centro del cristal a manera de parches y cloritización desde el centro hacia los bordes. Se presenta incluida en el cuarzo, la plagioclasa y el feldespato potásico y en ocasiones se observan inclusiones de opacos. Está heterogéneamente distribuida en la placa.

- **Sericita:** Agregado mineral producto de la alteración de la muscovita, incolora con birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0.03mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa.

Epidota (1%): Individuos de color verde muy claro, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden y amarillos de primer orden, anhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto y tamaño de grano fino (0.45mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo. Presenta una característica particular que consiste en que los colores de birrefringencia se organizan a manera de “vitral”. Se encuentra heterogéneamente distribuido en la placa.

Zircón (1%): Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre rosado de tercer orden y amarillo de segundo orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto, anhedrales de tamaño de grano fino (0.3mm). En ocasiones se encuentra incluido en el feldespatos potásico. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

Tabla 11. Caracterización mineralógica de la muestra T.A.U-10.1-22a.

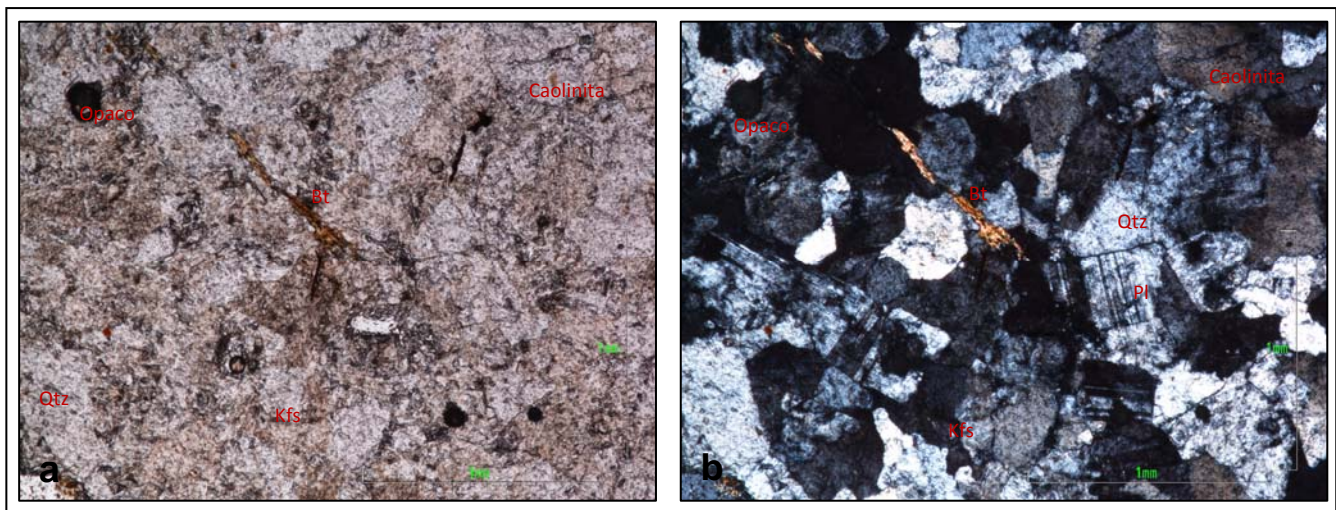
MINERAL	ETAPA MAGMÁTICA	ETAPA DE ALTERACION
Cuarzo	X	
Feldespatos K	X	
Caolinita		X
Plagioclasa	X	
Sericita		X
Piroxenos	X	
Biotita	X	
Opacos	X	
Muscovita	X	
Epidota	X	
Zircón	X	

Se clasifica como monzogranito (Según clasificación de Streckeisen, 1976. Recomendado por la IUGS)

- **Monzogranito (MUESTRA T.A.U-10.1-22b)**

Holocristalina de textura fanerítica y tamaño inequigranular; forma predominantemente subhedral, por lo tanto, hipidiomórfica. Presenta índice de color mesocrático y texturas Poiquilítica (inclusiones de minerales accesorios en minerales principales) y kelifítica (bordes reaccionales en algunos minerales) (Figura 57). También se observa que los anfíboles presentes en la muestra han sufrido un proceso de cloritización y además se están oxidando (anfíbol ferroso).

Figura 57. Composición mineralógica de la muestra T.A.U-10.1-22b. a) En NII. b) En NX, se evidencia su composición mineral y relación entre ellos. Qtz: cuarzo, Bt: biotita, Kfs: feldespato potásico, Pl.: plagioclasa.



Composición mineralógica:

Cuarzo (25%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, anhedrales a subhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve bajo y tamaño de grano medio (0.72mm-1.47mm). Presenta inclusiones ocasionales de biotita y opacos. Está homogéneamente distribuido por toda la placa, en ocasiones se observa fracturado.

Plagioclasa (25%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano medio (0.68mm). Presenta maclado tipo Albita y tipo Carlsbad. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa.

Feldespatos potásicos (20%): Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo y tamaño de grano medio (1.15mm). De tipo ortoclasa presenta una superficie “sucia” que la caracteriza; está en contacto con el cuarzo. Está heterogéneamente distribuida por toda la placa. Se encuentra incluida por biotita y opacos, los cuales se están oxidando en los bordes y además favorecen el reemplazamiento en el feldespatos en su centro (bordes de reacción).

- Caolinita: Agregado mineral producto de la alteración del feldespatos potásicos, incolora con birrefringencia que varía entre amarillos y grises de primer orden. Anisotrópico uniáxico, de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0.03mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa. El reemplazamiento se observa del centro hacia los bordes del cristal de feldespatos.

Biotita (10%): Individuos o agregados cristalinos de color marrón claro y birrefringencia que varía entre verdes y amarillos de tercer orden a amarillos de segundo orden, subhedrales. Anisotrópico-biáxico de hábito tabular, relieve medio y tamaño de grano fino (0.17mm). Presenta pleocroísmo débil con variaciones en

tonos cafés y presenta exfoliación perfecta. Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa y en ocasiones se incluye en el feldespato potásico y el cuarzo.

Opacos (10%): Individuos de color negro, sin birrefringencia, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.18mm-0.34mm). En ocasiones se encuentra incluido en el cuarzo y el feldespato potásico; así como en contacto con estos; presenta signos de oxidación hacia los bordes y además favorece el reemplazamiento del feldespato potásico cuando se encuentra incluido en este. Se encuentra distribuido heterogéneamente en la placa.

Anfíboles (10%): Individuos de color amarillo-verdoso, con birrefringencia que varía entre amarillos de segundo orden a grises de primer orden, anhedrales a subhedrales en ocasiones tabulares. Anisotrópico biáxico de relieve alto, tamaño de grano medio (1.24mm) y exfoliación en dos direcciones. De tipo Hornblenda no es muy evidente su pleocroísmo. Se está alterando a clorita del centro hacia los bordes y además está sufriendo una fuerte oxidación, se identifica como Hornblenda ferrosa. Está heterogéneamente distribuido en la placa y en contacto con el cuarzo 1 y cuarzo 2.

- Clorita: Agregado mineral producto de la alteración del anfíbol, de color verde muy claro y birrefringencia que varía entre azules de segundo orden y grises de primer orden. Anisotrópico-biáxico de relieve moderado y pleocroísmo débil. De tamaño de grano fino (0.34mm). Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa. El reemplazamiento se observa desde el centro del cristal.

Tabla 12. Caracterización mineralógica muestra T.A.U-10.1-22b

MINERAL	ETAPA MAGMATICA	ETAPA DE ALTERACION
Cuarzo	X	
Plagioclasa	X	
Feldespatos K	X	
Caolinita		X
Biotita	X	
Opacos	X	
Anfíboles	X	
Clorita		X

Se clasifica como monzogranito (Según clasificación de Streckeisen, 1976. Recomendado por la IUGS).

8.2 MINERALES DE ALTERACION EN LA CUARZOMONZONITA DE SANTA BARBARA (Jcs).

Todas las muestras analizadas (5 muestras a $-53\mu\text{m}$ y 5 muestras a $-2\mu\text{m}$) corresponden a la roca caja del filón 6 (Tipo II), ubicado a 80m y en dirección SW del carretable Berlín- El Calvario, en sentido S del Corregimiento de Berlín. Se recolectan en una pequeña cantera (Figura 58).

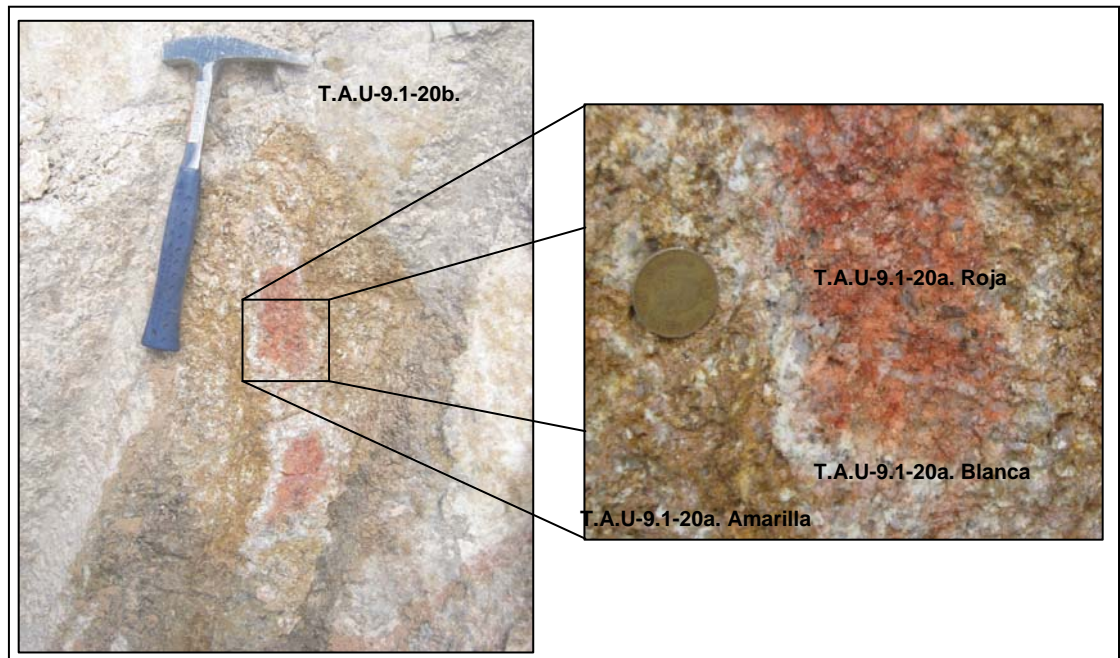
Figura 58. Cantera en donde aflora la unidad Cuarzomonzonita de Santa Bárbara.



Tomada en dirección SE.

La roca presenta unos halos de alteración posiblemente hidrotermal (Figura 59), los cuales son el objeto de este análisis.

Figura 59. Aspecto de los Halos de alteración en la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara con acercamiento. Tomada en dirección NE.



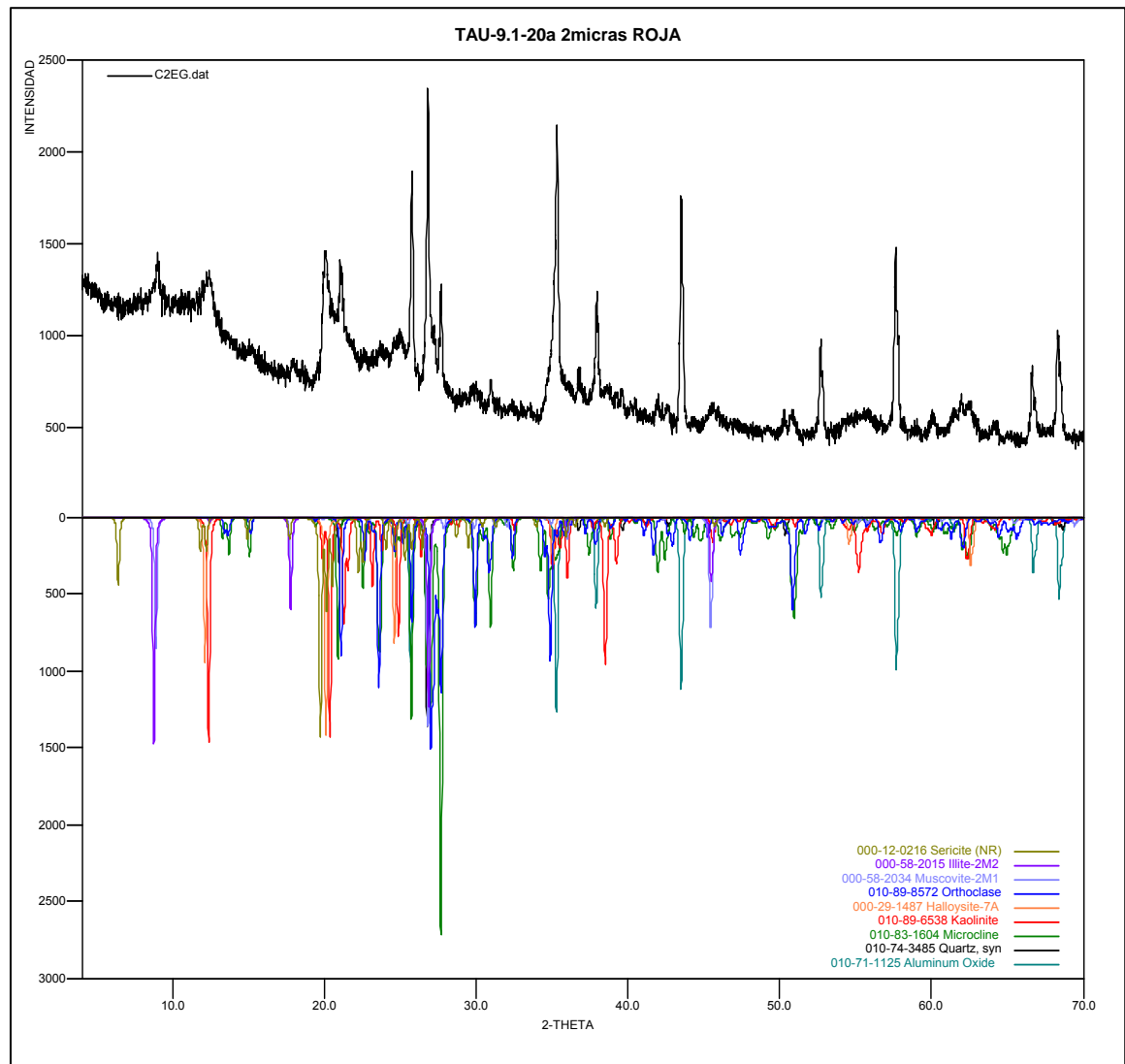
- **Cuarzomonzonita (Muestra TAU-9.1-17)**

La muestra presenta cantidades importantes de Cuarzo (principalmente), microclina, caolinita, muscovita e illita; y fases accesorias de sericita y gibbsita. A $-53\mu\text{m}$ se registra albita, mientras que a $-2\mu\text{m}$ no hay albita, pero si hay ortoclasa (Ver Anexo 2). De acuerdo con lo anterior la muestra presenta silicificación (58.7% de cuarzo a $-53\mu\text{m}$) y alteración casi total de la plagioclasa (no se registra a $-2\mu\text{m}$ y a $-53\mu\text{m}$ es casi imposible de cuantificar). La cantidad significativa de feldespato potásico y el registro de minerales arcilla como la caolinita y la sericita son evidencia de la alteración de la plagioclasa.

- **Cuarzomonzonita (Muestra T.A.U-9.1-20a. Roja)**

La muestra presenta cantidades importantes de feldespato potásico (microclina y ortoclasa), caolinita, muscovita y cuarzo; y fases accesorias de sericita y halloisita. A $-53\mu\text{m}$ se registra calcita magnesiana, mientras que a $-2\mu\text{m}$ no hay calcita magnesiana pero si hay illita en un 13.3% (Ver Anexo 2). El alto contenido de feldespato potásico que presenta esta muestra se relaciona con la alteración potásica de tipo hidrotermal que consiste en el reemplazamiento de plagioclasas y minerales máficos por feldespato potásico en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (REED, M. H., 1997). Es coherente dado que no hay registro de plagioclasa en el difractograma (Figura 60), pero si altas cantidades de feldespato potásico y minerales arcilla de alteración. Teniendo en cuenta que la posible temperatura del paleofluido hidrotermal responsable de la formación de los filones es relativamente baja y que se formaron a poca profundidad; es probable que esta alteración esté relacionada con un evento más superficial.

Figura 60. Difractograma de la muestra T.A.U-9.1-20a. Roja a $-2\mu\text{m}$.



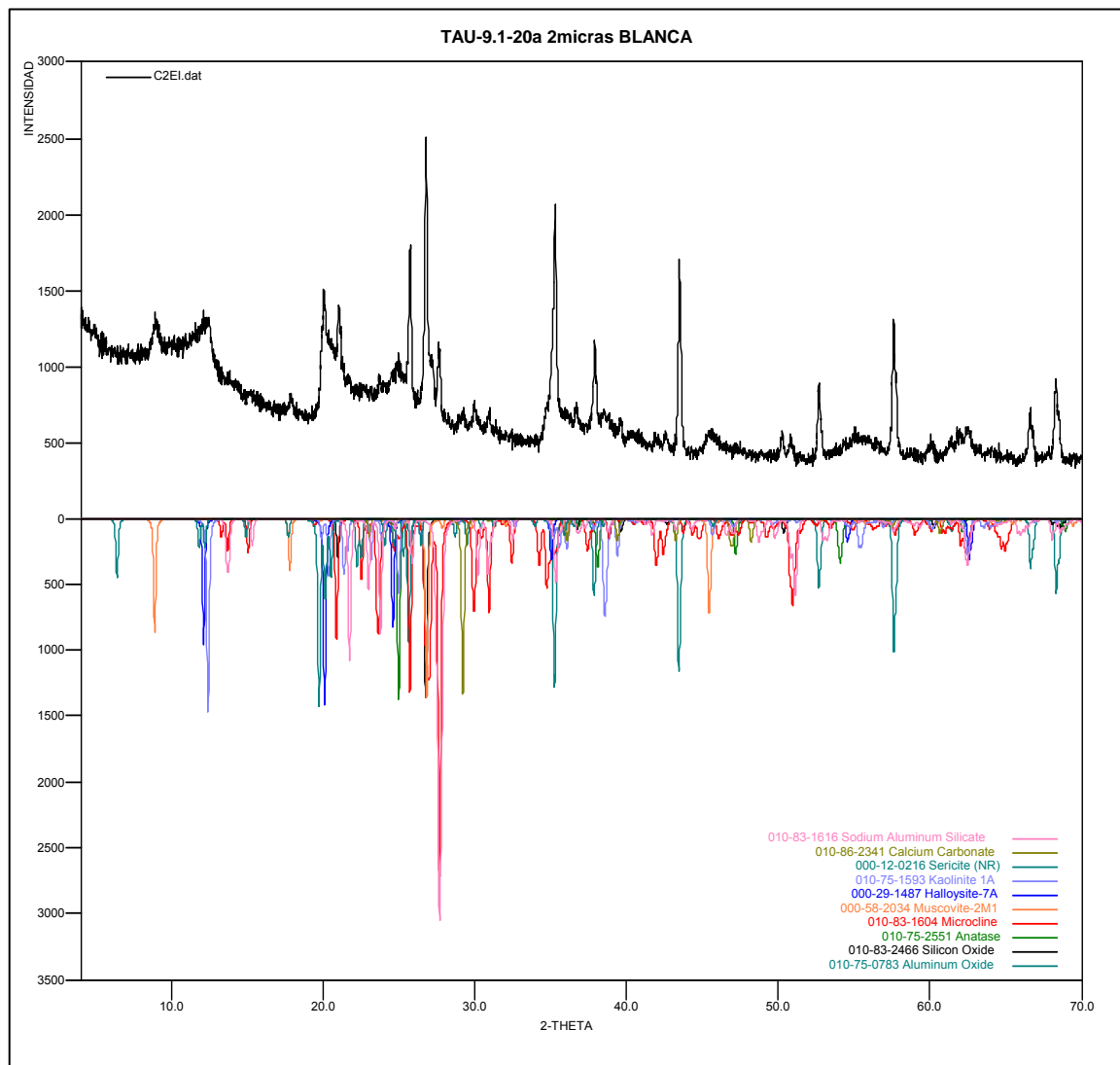
Fuente: Anexo 2.

- **Cuarzomonzonita (muestra T.A.U-9.1-20a. Blanca)**

La muestra presenta cantidades importantes de caolinita (principalmente), muscovita, microclina y cuarzo; y fases accesorias de calcita, sericita y halloisita. A $-53\mu\text{m}$ se registra ortoclasa (15.8%) e illita (7.3%), mientras que a $-2\mu\text{m}$ se

registra albita (en cantidades no cuantificables) y anatasa (0.9%) como accesorios (Ver Anexo 2). El alto contenido de caolinita y muscovita (Ver figura 61), le dan el color a la muestra; y también indican el reemplazamiento de plagioclasa por feldespato potásico y caolinita.

Figura 61. Difractograma, muestra T.A.U-9.1-20a. Blanca a $-2\mu\text{m}$.

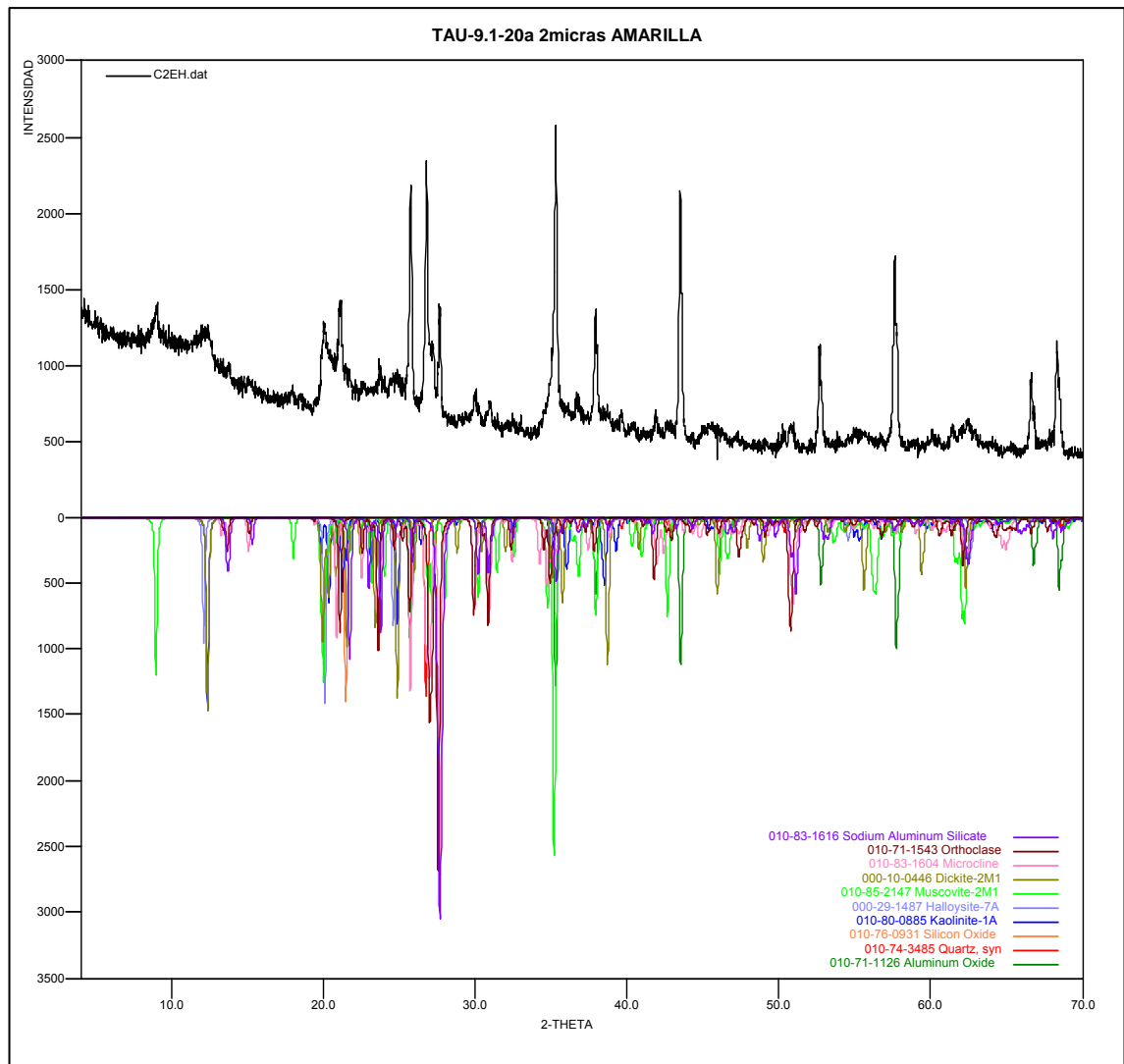


Fuente: Anexo 2.

- **Cuarzomonzonita (muestra T.A.U-9.1-20a. Amarilla)**

La muestra presenta cantidades importantes de minerales arcilla (caolinita y dickita), cuarzo, muscovita, microclina y ortoclasa; y fases accesorias de halloisita. A $-53\mu\text{m}$ se registra illita, mientras que a $-2\mu\text{m}$ no hay illita pero si se registra cristobalita y albita como accesorios (Ver Anexo 2). El alto contenido de fases arcillosas que presenta esta muestra se relaciona con la alteración argílica de tipo hidrotermal que consiste en el reemplazamiento de plagioclasas por minerales arcilla como caolinita, smectita, montmorillonita y dickita (REED, M. H., 1997). Es coherente dado que el registro de plagioclasa en el difractograma es muy pobre (Figura 62), pero si altas cantidades minerales arcilla de alteración. Teniendo en cuenta que la posible temperatura del paleofluido hidrotermal responsable de la formación de los filones es relativamente baja y que se formaron a poca profundidad; es probable que esta alteración esté relacionada con un evento más superficial.

Figura 62. Difractograma, muestra T.A.U-9.1-20a. Amarilla a-2 μm .



Fuente: Anexo 2.

- **Cuarzomonzonita (muestra T.A.U-9.1-20b)**

La muestra presenta cantidades importantes de muscovita (57.6% a $-2\mu\text{m}$ y 25.3% a $-53\mu\text{m}$), caolinita, feldespato potásico (microclina y ortoclasa), cuarzo, epidota; y fases accesorias de halloisita y gibbsita. El análisis a $-53\mu\text{m}$ no registra ninguna variación con el de $-2\mu\text{m}$ (Ver Anexo 2). Llama la atención el alto contenido de

muscovita y de caolinita en la muestra; dado que, durante el análisis macroscópico se observaron cantidades importantes de epidota; por lo cual, se sugería un proceso de epidotización para la roca, pero según estos resultados, este mineral se presenta en cantidades accesorias.

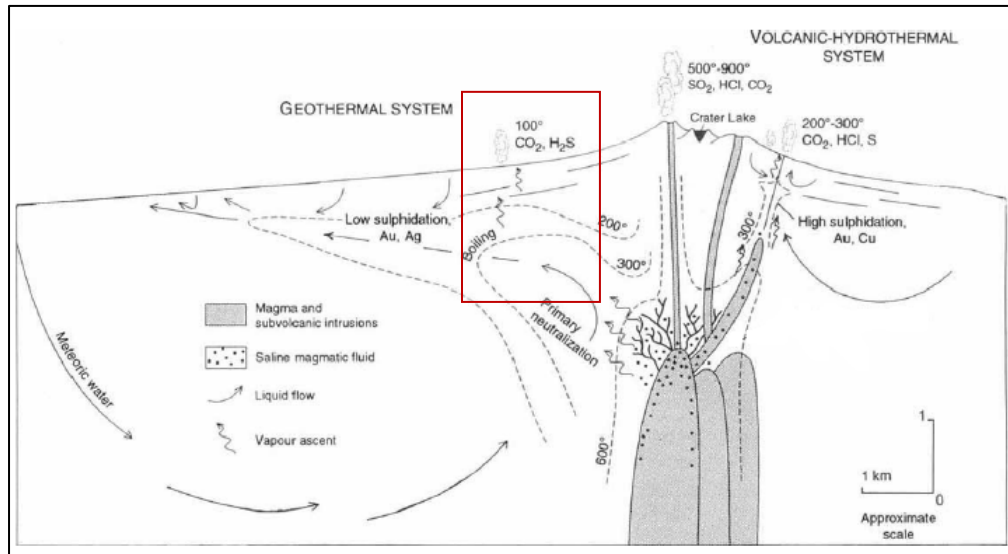
Las muestras analizadas evidencian un alto contenido de minerales arcillosos como la caolinita y de feldespato potásico como la microclina y ortoclasa; en algunos casos las cantidades de muscovita también son importantes; de acuerdo con los resultados la plagioclasa (inexistente o en cantidades no cuantificables) ha sufrido reemplazamiento casi total; evidenciado en las cantidades de feldespato potásico y minerales arcillosos. Teniendo en cuenta las características físicas de la roca y los datos arrojados por la difracción, es innegable que esta unidad ha sufrido un proceso de alteración importante; pero es probable que sea superficial y que no tenga que ver con los fluidos formadores de los filones.

9. CONSIDERACIONES PRELIMINARES SOBRE EL ORIGEN DEL FILON HIDROTHERMAL

El fluido hidrotermal responsable de la formación de estos filones de cuarzo en el área de Berlín, Santander; presenta una composición química de $H_2O + NaCl + KCl + CaCl_2 + (CO_2 + H_2S)$ según los resultados de microtermometría de inclusiones fluidas, con un contenido variable de CO_2 y H_2S (burbujas de gas que ocupan entre un 50% y un 5% de la inclusión y que se encuentran en equilibrio con la fase líquida). De estos mismos análisis se establece un contenido de sales entre 2% y 15.5% wt. NaCl eq.; y temperaturas de homogenización relativamente bajas (entre 130.9°C y 240.8°C), las cuales se relacionan con las temperaturas de atrape de las inclusiones o temperatura del fluido en el momento del atrapamiento.

Estos compuestos químicos, valores de salinidad bajos y temperaturas bajas se relacionan con un fluido de origen magmático que muy probablemente interacciona con aguas meteóricas; en un sistema magmático hidrotermal de tipo epitermal (Hedenquist, J. W., Lowenstern, J. B., 1994) (Figura 63). La presencia de cuarzo opalínico y calcedónico confirma la baja temperatura y poca profundidad de formación de los filones; mientras que la presencia de oquedades o lo que posiblemente puede caracterizarse como cuarzo oqueroso indica que los fluidos presentaban un pH bajo y reiteran su posible procedencia magmática.

Figura 63. Esquema ilustrativo de un sistema magmático hidrotermal responsable de diferentes ambientes de formación de depósitos minerales.



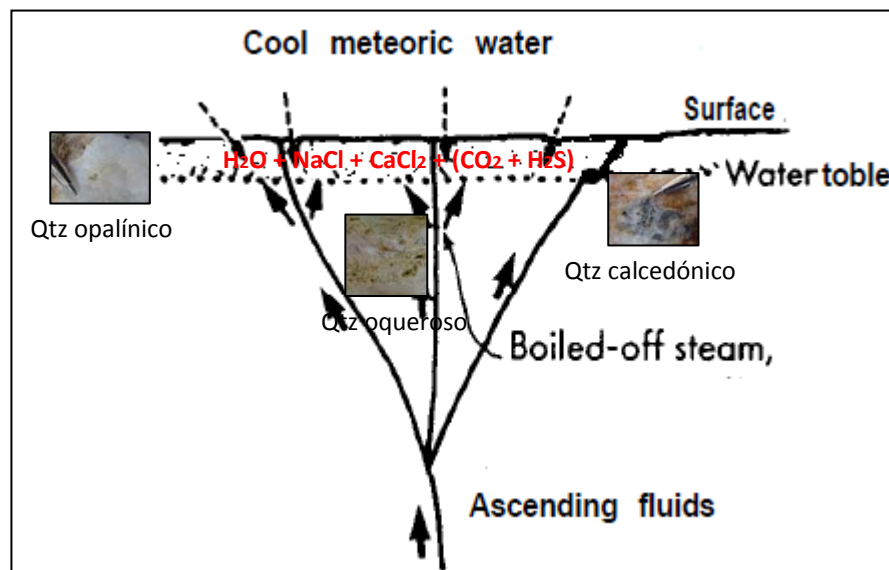
Fuente: Tomado de Hedenquist, J. W, Lowestern, J. B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits.

La variabilidad del cuarzo explica los cambios de temperatura y la mezcla de fluidos hidrotermales; estos cambios se evidencian en las diferencias de estructura de la celda unidad del mineral observadas en los resultados de los análisis de parámetros de celda; incluso la presencia de cuarzo en drusa sugiere un escape importante de vapores o gases del fluido que dejaron porosidades en donde hubo cristalización formal de este mineral e indica también un cambio en la velocidad de formación del cuarzo. Es posible que la desigualdad en los contenidos de las fases vapor en las inclusiones fluidas y el hecho de que se mantengan en equilibrio con las fases líquidas indique también ebullición del fluido en algún momento de su etapa ascendente.

A partir de la recopilación de todos los datos anteriormente descritos, se define que posiblemente la historia del paleofluido hidrotermal consistió en el desplazamiento de este hacia la superficie desde el plutón ó pulso magmático

generado a profundidad; a cierto nivel, ocurre ebullición en un grado considerable; originando vapores, los cuales, junto con el fluido líquido se mezclan a nivel de la capa freática con agua meteórica, enfriándose y escapando para su posterior cristalización por fracturas pree-existentes en la roca encajante. De esta forma y teniendo en cuenta la interacción del fluido con la roca caja, se estabiliza con composición $H_2O + NaCl + KCl + CaCl_2 + (CO_2 + H_2S)$ (Figura 64). El hecho de que los filones presenten en ocasiones pirita como mineral accesorio, corrobora la participación de H_2S .

Figura 64. Fluidos ascendentes a partir de los cuales se forman los filones de cuarzo. Qtz: cuarzo.



Fuente: Modificado de Hedenquist, J., Arribas, A., González, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. Reviews in Economic Geology.

Teniendo en cuenta que se propone la formación de los filones a poca profundidad (posiblemente a nivel de la capa freática), el hecho de que aún se encuentren en superficie con dimensiones considerables; implica que son relativamente jóvenes;

por lo tanto, el pulso responsable de la formación de estos filones también debe serlo. Esta hipótesis podría ser relacionada con los eventos magmáticos de edad entre 8.4Ma y 9Ma que propone Mantilla et al. (2009) para algunos sectores del Macizo de Santander.

La procedencia y composición del paleofluido formador de los filones de Berlín, Santander encaja dentro de las características de los sistemas epitermales; por lo cual es posible relacionarlo con los paleofluidos formadores de los depósitos del distrito minero Vetas-California; teniendo en cuenta que no implica que sea el mismo. El hecho de que los filones no se encuentren mineralizados puede deberse a diferentes factores; haciendo énfasis en que no todos los pulsos necesariamente tienen que terminar en una mineralización; pues depende de: la composición inicial del fluido, las condiciones de presión y temperatura del proceso y el pH del fluido, la composición de la roca encajante y la magnitud de la interacción entre el fluido y esta, entre otros (Hedenquist, J. W., Lowenstern, J. B., 1994).

Por otra parte también puede compararse con algunos sistemas magmáticos hidrotermales que se mantienen activos en la actualidad; tal es el caso de El Tatio, en la región de Antofagasta, Chile; el cual consiste en un sistema de tipo epitermal de baja sulfuración, en el que se encuentra a nivel superficial formaciones de sinters de sílice específicamente amorfa, como es el tipo de cuarzo calcedónico. El sistema también presenta minerales típicos de depósitos de baja sulfuración como la adularia. El Tatio consiste en una serie de fuetes termales que es típico de sistemas epitermales de baja sulfuración; las fases gaseosas que se presentan consisten en una asociación entre H_2S y CO_2 .

De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta las características de El Tatio, es posible correlacionar la zona de Berlín, Santander con un sistema magmático-hidrotermal de tipo epitermal de baja sulfuración como el que se propone para Vetas (geográficamente más cerca del área de estudio).

Figura 65. Aspecto del sistema magnatico-hidrotermal. El Tatio, Antofagasta, Chile.



Fuente: Mantilla, 2006. Introducción al estudio de inclusiones fluidas. Trabajo inédito, Universidad Industrial de Santander.

10. CONCLUSIONES

Se determinaron tres tipos de filones de cuarzo según su orientación: Filón tipo I (NW) con longitudes que varían entre 150m y 300m, Filón tipo II (NE) con longitudes que varían entre 100m y 500m y Filón tipo III (EW) con longitud de 700m.

La roca caja de los filones corresponde a: un esquisto cuarzo-grafitoso de la Formación Silgará; cuarzomonzonita de la unidad Cuarzomonzonita de Santa Bárbara y finalmente un monzogranito del Granito de Pescadero.

El material de relleno de los filones; consiste en diferentes tipos de cuarzo: cuarzo opalínico y calcedónico que implican bajas temperaturas de formación, cuarzo en drusa que implica espacio y tiempo suficiente de formación, cuarzo con oquedades que implica la acidificación del fluido y escape considerable de gases, y en mayor proporción cuarzo blanco amorfo, muy común en la corteza. Otros minerales son plagioclasa y feldespato potásico que indican una interacción con la roca encajante al punto de brechificación y pirita que implica la presencia de volátiles como H₂S en el fluido.

La alteración observada en la cuarzomonzonita, corresponde a alteración potásica (feldespato potásico y arcillas que reemplazan a la plagioclasa), alteración sílica (silicificación en la muestra), alteración argílica (abundancia de arcillas como caolinita, illita y dickita) y epidotización. Sin embargo, no fue posible establecer la relación de la alteración con el evento hidrotermal.

Se identificaron tres asociaciones de inclusiones primarias para los filones tipo I, II y III. Monofásicas (V) de las cuales no se tomaron datos microtermométricos debido a que se presentaban en tamaño muy pequeño; bifásicas (L+V) con (Te) entre -87°C a -28.6°C , (Tf) entre -11.5°C y 5.9°C y (Th) entre 130.9°C y 240.8°C ; polifásicas (L1+L2+V) con (Te) entre -85.4°C y -21.5°C , (Tf) entre -11.7°C y 2.9 , y (Th) de 166.7°C . Estos datos implican que el fluido pertenece posiblemente a un sistema tipo: $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{KCl} + \text{CaCl}_2 + (\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S})$, con un contenido de sales entre $\sim 2\%$ y $\sim 15.5\%$ wt NaCl eq. Las temperaturas de homogenización son relativamente bajas y variables, lo cual indicaría condiciones homogéneas de atrapamiento a poca profundidad. También se observaron inclusiones secundarias bifásicas (L+V) con (Te) entre -49.1°C y -45.1°C , hielo (Tf) de -3°C y (Th) de 163°C . Todas homogenizan a líquido.

Los parámetros de la celda unidad del cuarzo de relleno varían en los rangos a: 4.91528\AA y 4.91809\AA , c: 5.40674\AA y 5.40732\AA . La variación en el parámetro a estaría relacionada con las temperaturas de formación del cuarzo, mientras que los cambios registrados en c no parecen obedecer a las variaciones en la temperatura.

El paleofluido hidrotermal responsable de la formación de estos filones es de origen magmático (principalmente por la composición determinada a partir de las inclusiones fluidas), que interactuó con agua meteórica; y que dada la tipología del cuarzo y las temperaturas de homogenización se formaron a niveles superficiales (poca profundidad). El hecho de que aún permanezcan en la superficie puede indicar que son relativamente jóvenes; de esta forma es posible discernir que el evento o pulso magmático que dio origen a este fluido es “reciente” y que estaría relacionado con los eventos reconocidos en el distrito minero Vetas-California.

El evento hidrotermal ocurrió en varios pulsos y con mezcla de fluidos magmáticos y meteóricos; lo cual explicaría la variedad del cuarzo y la heterogeneidad de las inclusiones fluidas (fases líquidas en equilibrio con fases gaseosas).

11.RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un trabajo de campo detallado; en el que se recolecten muestras a profundidad de los filones hidrotermales y de la roca caja, con el propósito de identificar las zonas menos afectadas por los procesos de intemperismo y de esta forma llevar a cabo análisis de laboratorio sobre muestras frescas.

Intensificar el estudio de inclusiones fluidas y las mediciones microtermométricas, haciendo énfasis en los compuestos clorurados que posiblemente representan al paleofluido, en aras de determinar la presencia de KCl y corroborar la de los otros compuestos.

Corroborar con más análisis de difracción de rayos X sobre la cuarzomonzonita, las alteraciones; dado que es necesario definir con un mayor número de muestras tomadas, los alcances de estas alteraciones y su posible relación con el fluido formador de los filones hidrotermales.

Realizar análisis geoquímicos de isótopos de Oxígeno a las muestras de los filones, en aras de que la determinación de la procedencia de los fluidos sea más precisa.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Campo II. Trabajos Inéditos de Cartografía Geológica en el Páramo de Berlín, Pregrado, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 2006 y 2008.

Clavijo, J., Royero, J. Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, Memoria Explicativa, Escala 1:100.000. Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear, Ingeominas, República de Colombia. 2001.

Coronado Lizarazo, W., Mejía Moreno, C. 2006. Cartografía Geológica y Caracterización Estructural con Fines Hidrogeológicos en el Sector Nororiental de la Cuenca del Río de Oro. Tesis de pregrado: Universidad Industrial de Santander.

García Ch., H., Zambrano A., J. E. 1995. Paragénesis y Evaluación de los yacimientos de oro del Distrito Minero de Vetas. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Dirección de Investigaciones. Universidad Industrial de Santander. 109 p.

García Ramírez, C. A. 2003. Los Delirios: Un yacimiento hidrotermal de oro y plata en la región de Vetas, Santander (Colombia). En: Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, Vol. 25, N° 40, pp. 91-103.

García Ramírez, C. A. 2007. Manual de Prácticas de Petrología Metamórfica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Geología. pp 7-37, 49-54

García Ramírez, C. A., Ríos, C. Metamorfismo y Metalogenia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia. Informe Final Proyecto de Investigación 1102-05-083-95 Colciencias-Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1999. 191p.

García Ramírez, C.A., Uribe Portilla, E. 2006. Caracterización geológica y mineralógica del yacimiento La Tosca (Vetas, Santander, Colombia): Implicaciones para el procesamiento mineral de las menas auroargentíferas. En: Boletín de Geología, Vol. 28, N° 2, pp. 63-76.

Greystar Resources Ltd 2009. Angostura Gold Project. Preliminary Feasibility Study. Technical Report NI 43-101, 422p. En: [Sitio Web]
http://www.greystarresources.com/i/pdf/2009May_NI43-101.pdf

Hedenquist, J., Arribas, A., González, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. Reviews in Economic Geology. Gold 2000. Editors: Hagemann and Brown. Society of Economic Geologists, pp. 245-277.

Hedenquist, J. W, Lowenstern, J. B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. Review Article in Nature. Vol. 370, pp 519-526.

Herb, P., Hahn, L., Burgath, K., Wittich, Ch. And Wolff, E. (2000). The gold mineralization of Bucaramanga, Colombia-Implications to ore recovery. In: Proceedings of the sixth international congress on applied mineralogy ICAM 2000/Gottingen, Germany, July 17-19 2000, pp. 345-348.

Kerr, P. F. 1965. Mineralogía Optica. Universidad de Columbia. 436p.

Klein, C., Hurlbut, C. S. Jr., 1997. Manual de Mineralogía. Basado en la obra de J. D. Dana. Cuarta Edición. p. 585.

Mantilla Figueroa, L. C. 2003. Guía de Laboratorios de petrología Ignea. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Geología. Pp 2-25, 74-78, 116-118.

Mantilla, L. C. 2003. Termocronología K-Ar en Illitas: Aspectos Metodológicos. En: Boletín de Geología. Vol. 25, N° 49., pp. 11-22.

Mantilla, L. C.; Valencia, V.; Barra, F.; Pinto, J.; Colegial, J. 2009. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del distrito aurífero de Vetas-California (Dpto. de Santander, Colombia). En: Boletín de Geología, Vol. 31, N° 1., pp. 31-43

Mathur, R. et al 2003. Re-Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia. En: Journal of South American Earth Sciences, N° 15, pp. 815-821.

Mier Umaña, R. 1990. Manual de Laboratorio de Mineralogía Óptica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Geología. pp 64-78.

Pinto Camargo, J. L. 2005. Estudio del efecto del solvente sobre la cristalización del 3-(4-Fluorofenil)-2-(Naftil)-1,3-Tiazolidin-4-Ona, mediante difracción de Rayos X. Tesis de pregrado: Escuela de Química. Universidad Industrial de Santander. pp 24-34.

Reed, M. H., 1997. Hydrothermal Alteration and Its Relationship to Ore Fluid Composition. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication, 303-366.

Ríos Reyes, C. A., Castellanos Alarcón, O. M. 2005. Atlas de Minerales vistos bajo el Microscopio de Luz Transmitida. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Geología. 96p.

Roedder, E. 1984. Fluid Inclusions. Mineralogical Society of America. Vol. 12, 590p.

Royero, J.M, Vargas, R. Geología del Departamento de Santander a escala 1:300.000. Ingeominas, 1999.

Suárez, C., Villalba, R., López, H., Restrepo, J., Ardila, E., Gualdrón, J., Zapata, E. 2008. Conservación y Manejo Sostenible del Páramo de Berlín. Unidad Biogeográfica de Santurbán, Mediante la declaratoria de un área de Manejo Especial. Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. 7p.

Téllez, N., Villamizar, D. 1994. Apuntes sobre la Geología y la Geomorfología del Páramo de Berlín. En: Revista Facies. Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. Vol. 2, pp 1-11.

Van den Kherko, A. M., Heins, U. F. 2001. Fluid Inclusión Petrography. En: Elsevier. Lithos 55, pp 27-47.

Velasco, F. 2004. Introducción al estudio de las inclusiones fluidas. XXIII Curso Latinoamericano de Metalogenia. Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad del Vasco, España. 98p.

Ventana Gold Corp. 2008. Technical report NI 43-101 On the California-Vetas Property, 37p. En: [Sitio Web]
http://www.ventanagold.com/upload/technical_reports/CalVetasTechRepJune08_Final.pdf

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., y Restrepo, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12 y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S Geological Survey e Ingeominas. En: Boletín Geológico XXI (1-3), 1-132.

EN LA WEB

<http://maps.google.com/>

<http://co.lirondo.com/Santander/Berlin379550/como-llegar>

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

<http://www.uned.es/cristamine/cristal/imagenes/cedaunidad1.gif>

Google Earth

13.ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADOS DEL ANALISIS DE PARAMETROS DE CELDA EN LA FASE CRISTALINA DE CUARZO. FILONES HIDROTERMALES

METODOLOGÍA

1. Montaje de las muestras

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

2. Toma de datos de difracción

Se realizó en un difractómetro de polvo marca PANalytical modelo X'PERT PRO MPD bajo las siguientes condiciones:

Voltaje 45(kV)

Corriente 40(mA)

Rendijas Soller 0.04 rad (Incidencia y Difracción)

Rendijas Fijas 1/4 y 1/8 (Incidencia) y 1/4 (Difracción)

Muestreo 0.013° 2theta

Rango de Medición 4-70° 2theta

Radiación CuK α 1

Filtro Ni

Detector de estado sólido referencia PIXcel con 255 canales activos

Tipo de barrido Continuo

Tiempo por paso 59 segundos

3. Análisis por Difracción de Rayos-X

Tratamiento de datos.

El propósito del tratamiento de datos es extraer los datos útiles a partir del patrón experimental. Los pasos a seguir son: Alisamiento de perfil, sustracción del ruido de fondo o eliminación del background, eliminación de K α 2 y asignación de picos.

Asignación de índices a los perfiles de difracción (Indexación).

El objetivo de la indexación es restituir la tridimensionalidad de los puntos de la red recíproca a partir de datos de difracción unidimensional, asignando los valores hkl a las familias de planos que corresponden a cada línea de difracción. Esta reconstrucción no es solamente un problema cristalográfico y algebraico, sino que también depende de la precisión de los datos. Hay varios procedimientos para indexar, pero en todos mientras más decrece la simetría del cristal se presenta mayor dificultad, debido al número de variables a determinar. En la actualidad se han desarrollado una serie de programas especializados que nos permiten indexar perfiles de difracción desconocidos. Entre los más utilizados está el método de dicotomía de volúmenes, **Dicvol04**.

4. Información suministrada por el cliente

Análisis elemental: No.

Interés por alguna(s) fase(s) en particular: Cálculo de parámetros de celda unidad para la fase cristalina *Cuarzo*.

RESULTADOS

1. TAU-8-11 (C2CP)

SISTEMA HEXAGONAL
 PARAMETROS DIRECTOS: $a = 4.91528 \text{ \AA}$ $c = 5.40732 \text{ \AA}$ VOLUME = 113.14 \AA^3
 DESVIACIÓN ESTÁNDAR: 0.00021 0.00034
 FIGURAS DE MÉRITO
 1.- $M(17) = 267.0$
 2.- $F(17) = 197.5(0.0045, 19)$

2. TAU-8.1-12 (C2CQ)

SISTEMA HEXAGONAL
 PARAMETROS DIRECTOS: $a = 4.91542 \text{ \AA}$ $c = 5.40674 \text{ \AA}$ VOLUME = 113.13 \AA^3
 DESVIACIÓN ESTÁNDAR: 0.00041 0.00068
 FIGURAS DE MÉRITO
 1.- $M(17) = 154.0$
 2.- $F(17) = 116.5(0.0077, 19)$

3. TAU-8.2-13 (C2CN)

SISTEMA H E X A G O N A L

PARAMETROS DIRECTOS: $a= 4.91590\text{Å}$ $c= 5.40688\text{Å}$ VOLUME= 113.16 Å³

DESVIACIÓN ESTANDAR: 0.00014 0.00023

FIGURAS DE MERITO

1.- $M(17) = 445.2$

2.- $F(17) = 227.7(0.0027, 19)$

4. TAU-8.3-14 (C2CO)

SISTEMA H E X A G O N A L

PARAMETROS DIRECTOS: $a= 4.91809\text{Å}$ $c= 5.40698\text{Å}$ VOLUME= 113.26 Å³

DESVIACIÓN ESTANDAR: 0.00018 0.00030

FIGURAS DE MERITO

1.- $M(17) = 277.7$

2.- $F(17) = 204.5(0.0044, 19)$

5. TAU-9.1-18 (C2CR)

SISTEMA H E X A G O N A L

PARAMETROS DIRECTOS: $a= 4.91439\text{Å}$ $c= 5.40636\text{Å}$ VOLUME= 113.08 Å³

DESVIACIÓN ESTANDAR: 0.00032 0.00057

FIGURAS DE MERITO

1.- $M(17) = 220.7$

2.- $F(17) = 154.8(0.0057, 18)$

6. TAU-9.1-19a (C2CS)

SISTEMA H E X A G O N A L

PARAMETROS DIRECTOS: $a= 4.91543\text{Å}$ $c= 5.40750\text{Å}$ VOLUME= 113.15 Å³

DESVIACIÓN ESTANDAR: 0.00021 0.00034

FIGURAS DE MERITO

1.- $M(17) = 264.9$

2.- $F(17) = 198.0(0.0045, 19)$

OBSERVACIONES

- En los perfiles de difracción se observa otras reflexiones que no pertenecen a la fase de interés *Cuarzo*.
- Se adjunto en los anexos la salida del programa *Dicvol04*, empleado para la determinación de parámetros de celda unidad.

ANEXOS

*** TAU-8-11 ***

```

-----
| *** TAU-8-11 *** |
-----
                                INPUT DATA
                                *****
                                EXPERIMENTAL EXPERIMENTAL
                                2-THETA ERROR
                                20.849 0.030
                                26.626 0.030
                                36.520 0.030
                                39.447 0.030
                                40.268 0.030
                                42.428 0.030
                                45.768 0.030
                                50.112 0.030
                                50.592 0.030
                                54.842 0.030
                                55.299 0.030
                                57.222 0.030
                                59.924 0.030
                                64.012 0.030
                                65.755 0.030
                                67.701 0.030
                                68.107 0.030

----- PARAMETER LIMITS ----- VOLUME LIMITS -----
| | | A MAXIMUM = 25.00 A | | |
| | | VOLUME MINIMUM = 0.00 A**3 |
| | | B MAXIMUM = 25.00 A | | |
| | | VOLUME MAXIMUM = 2500.00 A**3 |
| | | C MAXIMUM = 25.00 A | | |
-----
                                WAVELENGTH = 1.540598 A
                                LOWER FIGURE OF MERIT REQUIRED FOR PRINTED SOLUTION(S) : M( 17) = 10.0
                                MAXIMUM NUMBER OF ACCEPTED UNINDEXED LINES AMONG THE FIRST 17 INPUT LINES: (-) 1
                                *****
                                ** **
                                ** ATTENTION : VOS DONNEES SONT-ELLES IRREPROCHABLES ? **
                                ** WARNING : ARE YOUR DATA IRREPROACHABLE ? **
                                ** **
                                *****
=====
>>>> SEARCH OF SOLUTIONS WITH A ZERO ERROR ON INPUT DATA = -.002 Deg. 2Theta
>>>> Search No. 1 (1/1)
=====
                                SEARCH OF TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)
                                *****
                                VOLUME DOMAIN BEING SCANNED :
                                =====
                                LOWER BOUND = 0.00 A**3 HIGHER BOUND = 400.00 A**3
                                HEXAGONAL SYSTEM
                                -----
                                H E X A G O N A L S Y S T E M
                                DIRECT PARAMETERS : A= 4.91528 C= 5.40732 VOLUME= 113.14
                                STANDARD DEVIATIONS : 0.00021 0.00034
                                REFINED ZERO-POINT SHIFT : 0.0085 deg. 2-theta

```

H	K	L	DOBS	DCAL	DOBS-DCAL	2TH.OBS	2TH.CAL	DIF.2TH.
1	0	0	4.25769	4.25848	-0.00079	20.847	20.843	0.004
1	0	1	3.34548	3.34577	-0.00028	26.624	26.621	0.002
1	1	0	2.45858	2.45819	0.00039	36.518	36.524	-0.006
1	0	2	2.28262	2.28271	-0.00008	39.445	39.443	0.001
1	1	1	2.23796	2.23784	0.00011	40.266	40.268	-0.002
2	0	0	2.12888	2.12879	0.00009	42.426	42.428	-0.002
2	0	1	1.98098	1.98083	0.00015	45.766	45.769	-0.004
1	1	2	1.81895	1.81887	0.00008	50.110	50.112	-0.002
0	0	3	1.80281	1.80272	0.00009	50.590	50.592	-0.003
2	0	2	1.67272	1.67260	0.00012	54.840	54.844	-0.004
1	0	3	1.65997	1.66001	-0.00004	55.297	55.295	0.001
2	1	0	1.60867	1.60912	-0.00045	57.220	57.202	0.018
2	1	1	1.54243	1.54229	0.00014	59.922	59.927	-0.006
1	1	3	1.45342	1.45362	-0.00020	64.010	64.000	0.010
3	0	0	1.41905	1.41908	-0.00003	65.753	65.751	0.002
2	1	2	1.38292	1.38277	0.00015	67.699	67.707	-0.008
2	0	3	1.37566	1.37563	0.00003	68.105	68.106	-0.002

```

* NUMBER OF LINES
.- LINES INPUT = 17
.- LINES INDEXED = 17
.- LINES CALCULATED = 19
* MEAN ABSOLUTE DISCREPANCIES
<Q> =0.5209E-04
<DELTA(2-THETA)> =0.4530E-02
MAX. ERROR ACCEPTED (DEG. 2-THETA) =0.4500E-01
* FIGURES OF MERIT
1.- M( 17) = 267.0
2.- F( 17) = 197.5(0.0045, 19)
-----
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
9 2 2 1 1 1 1
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
17 2 2 2 1 1 2

```

END OF SEARCH FOR TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)

--- T O T A L CALCULATION TIME : 0.000 SEC
DICVOL04 : USEFUL REFERENCES

-
- * BOULTIF, A. & LOUER, D. (2004). J. APPL. CRYST. 37, 724-731.
 - * LOUER, D. & LOUER, M. (1972). J. APPL. CRYST. 5, 271-275.
 - * BOULTIF, A. & LOUER, D. (1991). J. APPL. CRYST. 24, 987-993.

```

-----
| *** TAU-8.1-12 *** |
-----
                INPUT DATA
                *****
            EXPERIMENTAL EXPERIMENTAL
                2-THETA ERROR
                20.818 0.030
                26.596 0.030
                36.491 0.030
                39.415 0.030
                40.236 0.030
                42.398 0.030
                45.735 0.030
                50.079 0.030
                50.547 0.030
                54.811 0.030
                55.279 0.030
                57.135 0.030
                59.892 0.030
                63.984 0.030
                65.741 0.030
                67.674 0.030
                68.081 0.030

----- PARAMETER LIMITS ----- VOLUME LIMITS -----
                | A MAXIMUM = 25.00 A | | |
                | | VOLUME MINIMUM = 0.00 A**3 |
                | | B MAXIMUM = 25.00 A | |
                | | VOLUME MAXIMUM = 2500.00 A**3 |
                | | C MAXIMUM = 25.00 A | |
-----
                WAVELENGTH = 1.540598 A
                LOWER FIGURE OF MERIT REQUIRED FOR PRINTED SOLUTION(S) : M( 17) = 10.0
                MAXIMUM NUMBER OF ACCEPTED UNINDEXED LINES AMONG THE FIRST 17 INPUT LINES: (-) 1
                *****
                ** **
                ** ATTENTION : VOS DONNEES SONT-ELLES IRREPROCHABLES ? **
                ** WARNING : ARE YOUR DATA IRREPROACHABLE ? **
                ** **
                *****
=====
>>>> SEARCH OF SOLUTIONS WITH A ZERO ERROR ON INPUT DATA = 0.032 Deg. 2Theta
>>>> Search No. 1 (1/1)
=====
                SEARCH OF TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)
                *****
                VOLUME DOMAIN BEING SCANNED :
                =====
                LOWER BOUND = 0.00 A**3 HIGHER BOUND = 400.00 A**3
                HEXAGONAL SYSTEM
                -----
                H E X A G O N A L S Y S T E M
                DIRECT PARAMETERS : A= 4.91542 C= 5.40674 VOLUME= 113.13
                STANDARD DEVIATIONS : 0.00041 0.00068
                REFINED ZERO-POINT SHIFT : 0.0083 deg. 2-theta

```

```

H K L DOBS DCAL DOBS-DCAL 2TH.OBS 2TH.CAL DIF.2TH.
1 0 0 4.25705 4.25855 -0.00151 20.850 20.842 0.007
1 0 1 3.34497 3.34566 -0.00070 26.628 26.622 0.006
1 1 0 2.45825 2.45825 0.00000 36.523 36.523 0.000
1 0 2 2.28250 2.28254 -0.00004 39.447 39.446 0.001
1 1 1 2.23784 2.23784 0.00000 40.268 40.268 0.000
2 0 0 2.12868 2.12884 -0.00016 42.430 42.427 0.003
2 0 1 1.98093 1.98084 0.00009 45.767 45.769 -0.002
1 1 2 1.81891 1.81881 0.00010 50.111 50.114 -0.003
0 0 3 1.80317 1.80252 0.00065 50.579 50.598 -0.020
2 0 2 1.67263 1.67255 0.00008 54.843 54.846 -0.003
1 0 3 1.65958 1.65986 -0.00028 55.311 55.301 0.010
2 1 0 1.61003 1.60916 0.00087 57.167 57.200 -0.034
2 1 1 1.54237 1.54231 0.00006 59.924 59.927 -0.003
1 1 3 1.45329 1.45353 -0.00024 64.016 64.004 0.012
3 0 0 1.41866 1.41912 -0.00046 65.773 65.749 0.024
2 1 2 1.38279 1.38275 0.00003 67.706 67.708 -0.002
2 0 3 1.37551 1.37556 -0.00005 68.113 68.110 0.003

* NUMBER OF LINES
.- LINES INPUT = 17
.- LINES INDEXED = 17
.- LINES CALCULATED = 19
* MEAN ABSOLUTE DISCREPANCIES
<Q> =0.9031E-04
<DELTA(2-THETA)> =0.7711E-02
MAX. ERROR ACCEPTED (DEG. 2-THETA) =0.4500E-01
* FIGURES OF MERIT
1.- M( 17) = 154.0
2.- F( 17) = 116.0(0.0077, 19)
-----
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
9 2 2 1 1 1 1
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
17 2 2 2 1 1 2

END OF SEARCH FOR TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)
-----
--- T O T A L CALCULATION TIME : 0.000 SEC
DICVOL04 : USEFUL REFERENCES
-----
* BOULTIF, A. & LOUER, D. (2004). J. APPL. CRYST. 37, 724-731.
* LOUER, D. & LOUER, M. (1972). J. APPL. CRYST. 5, 271-275.
* BOULTIF, A. & LOUER, D. (1991). J. APPL. CRYST. 24, 987-993.

```

```

-----
| *** TAU-8.2-13 *** |
-----
INPUT DATA
*****
EXPERIMENTAL EXPERIMENTAL
2-THETA ERROR
20.823 0.030
26.600 0.030
36.499 0.030
39.425 0.030
40.242 0.030
42.398 0.030
45.742 0.030
50.088 0.030
50.577 0.030
54.817 0.030
55.284 0.030
57.187 0.030
59.899 0.030
63.977 0.030
65.720 0.030
67.681 0.030
68.087 0.030
*****
----- PARAMETER LIMITS ----- VOLUME LIMITS -----
| A MAXIMUM = 25.00 A | |
| | VOLUME MINIMUM = 0.00 A**3 |
| B MAXIMUM = 25.00 A | |
| | VOLUME MAXIMUM = 2500.00 A**3 |
| C MAXIMUM = 25.00 A | |
-----
WAVELENGTH = 1.540598 A
LOWER FIGURE OF MERIT REQUIRED FOR PRINTED SOLUTION(S) : M( 17) = 10.0
MAXIMUM NUMBER OF ACCEPTED UNINDEXED LINES AMONG THE FIRST 17 INPUT LINES: (-) 1
*****
** **
** ATTENTION : VOS DONNEES SONT-ELLES IRREPROCHABLES ? **
** WARNING : ARE YOUR DATA IRREPROACHABLE ? **
** **
*****
=====  

>>>> SEARCH OF SOLUTIONS WITH A ZERO ERROR ON INPUT DATA = 0.023 Deg. 2Theta  

>>>> Search No. 1 (1/1)  

=====
SEARCH OF TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)  

*****
VOLUME DOMAIN BEING SCANNED :  

=====
LOWER BOUND = 0.00 A**3 HIGHER BOUND = 400.00 A**3  

HEXAGONAL SYSTEM  

-----
H E X A G O N A L S Y S T E M  

DIRECT PARAMETERS : A= 4.91590 C= 5.40688 VOLUME= 113.16  

STANDARD DEVIATIONS : 0.00014 0.00023  

REFINED ZERO-POINT SHIFT : 0.0056 deg. 2-theta

```

```

H K L DOBS DCAL DOBS-DCAL 2TH.OBS 2TH.CAL DIF.2TH.
1 0 0 4.25786 4.25842 -0.00056 20.846 20.843 0.003
1 0 1 3.34559 3.34556 0.00003 26.623 26.623 0.000
1 1 0 2.45832 2.45831 0.00000 36.522 36.522 0.000
1 0 2 2.28245 2.28249 -0.00004 39.448 39.447 0.001
1 1 1 2.23800 2.23789 0.00011 40.265 40.267 -0.002
2 0 0 2.12911 2.12891 0.00020 42.421 42.425 -0.004
2 0 1 1.98101 1.98091 0.00011 45.765 45.767 -0.003
1 1 2 1.81891 1.81883 0.00008 50.111 50.113 -0.002
0 0 3 1.80248 1.80248 -0.00001 50.600 50.600 0.000
2 0 2 1.67272 1.67259 0.00012 54.840 54.844 -0.004
1 0 3 1.65969 1.65985 -0.00016 55.307 55.301 0.006
2 1 0 1.60892 1.60925 -0.00033 57.210 57.197 0.013
2 1 1 1.54242 1.54239 0.00003 59.922 59.923 -0.001
1 1 3 1.45362 1.45355 0.00007 64.000 64.003 -0.003
3 0 0 1.41924 1.41920 0.00003 65.743 65.745 -0.002
2 1 2 1.38282 1.38281 0.00001 67.704 67.704 -0.001
2 0 3 1.37557 1.37559 -0.00002 68.110 68.109 0.001

```

```

* NUMBER OF LINES
.- LINES INPUT = 17
.- LINES INDEXED = 17
.- LINES CALCULATED = 19
* MEAN ABSOLUTE DISCREPANCIES
<Q> =0.3124E-04
<DELTA(2-THETA)> =0.2730E-02
MAX. ERROR ACCEPTED (DEG. 2-THETA) =0.4500E-01
* FIGURES OF MERIT
1.- M( 17) = 445.2
2.- F( 17) = 327.7(0.0027, 19)
-----
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
9 2 2 1 1 1 1
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
17 2 2 2 1 1 2

```

END OF SEARCH FOR TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)

```

-----
--- T O T A L CALCULATION TIME : 0.000 SEC
DICVOL04 : USEFUL REFERENCES
-----

```

- * BOULTIF, A. & LOUER, D. (2004). J. APPL. CRYST. 37, 724-731.
- * LOUER, D. & LOUER, M. (1972). J. APPL. CRYST. 5, 271-275.
- * BOULTIF, A. & LOUER, D. (1991). J. APPL. CRYST. 24, 987-993.

```

-----
| *** TAU-8.3-14 *** |
-----
      INPUT DATA
      *****
      EXPERIMENTAL EXPERIMENTAL
      2-THETA ERROR
      20.819 0.030
      26.595 0.030
      36.487 0.030
      39.415 0.030
      40.233 0.030
      42.391 0.030
      45.734 0.030
      50.077 0.030
      50.583 0.030
      54.805 0.030
      55.282 0.030
      57.138 0.030
      59.876 0.030
      63.978 0.030
      65.702 0.030
      67.662 0.030
      68.069 0.030

----- PARAMETER LIMITS ----- VOLUME LIMITS -----
      | A MAXIMUM = 25.00 A | | |
      | | VOLUME MINIMUM = 0.00 A**3 |
      | | B MAXIMUM = 25.00 A | |
      | | VOLUME MAXIMUM = 2500.00 A**3 |
      | C MAXIMUM = 25.00 A | |
-----
      WAVELENGTH = 1.540598 A
      LOWER FIGURE OF MERIT REQUIRED FOR PRINTED SOLUTION(S) : M( 17) = 10.0
      MAXIMUM NUMBER OF ACCEPTED UNINDEXED LINES AMONG THE FIRST 17 INPUT LINES: (-) 1
      *****
      ** **
      ** ATTENTION : VOS DONNEES SONT-ELLES IRREPROCHABLES ? **
      ** WARNING : ARE YOUR DATA IRREPROACHABLE ? **
      ** **
      *****
=====
>>>> SEARCH OF SOLUTIONS WITH A ZERO ERROR ON INPUT DATA = 0.022 Deg. 2Theta
>>>> Search No. 1 (1/1)
=====
      SEARCH OF TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)
      *****
      VOLUME DOMAIN BEING SCANNED :
      =====
      LOWER BOUND = 0.00 A**3 HIGHER BOUND = 400.00 A**3
      HEXAGONAL SYSTEM
      -----
      H E X A G O N A L S Y S T E M
      DIRECT PARAMETERS : A= 4.91809 C= 5.40698 VOLUME= 113.26
      STANDARD DEVIATIONS : 0.00018 0.00030
      REFINED ZERO-POINT SHIFT : 0.0018 deg. 2-theta

```

H	K	L	DOBS	DCAL	DOBS-DCAL	2TH.OBS	2TH.CAL	DIF.2TH.
1	0	0	4.25875	4.25955	-0.00080	20.841	20.837	0.004
1	0	1	3.34625	3.34604	0.00022	26.617	26.619	-0.002
1	1	0	2.45912	2.45916	-0.00004	36.509	36.509	0.001
1	0	2	2.28303	2.28260	0.00042	39.437	39.445	-0.008
1	1	1	2.23850	2.23852	-0.00002	40.255	40.255	0.000
2	0	0	2.12947	2.12968	-0.00022	42.413	42.409	0.005
2	0	1	1.98136	1.98152	-0.00016	45.756	45.752	0.004
1	1	2	1.81930	1.81916	0.00014	50.099	50.103	-0.004
0	0	3	1.80229	1.80238	-0.00010	50.605	50.603	0.003
2	0	2	1.67306	1.67296	0.00011	54.827	54.831	-0.004
1	0	3	1.65976	1.65988	-0.00012	55.304	55.300	0.004
2	1	0	1.61020	1.60987	0.00033	57.160	57.173	-0.013
2	1	1	1.54297	1.54293	0.00003	59.898	59.900	-0.001
1	1	3	1.45361	1.45372	-0.00011	64.000	63.995	0.005
3	0	0	1.41959	1.41977	-0.00017	65.724	65.715	0.009
2	1	2	1.38317	1.38321	-0.00003	67.684	67.682	0.002
2	0	3	1.37589	1.37579	0.00010	68.091	68.097	-0.006

```

* NUMBER OF LINES
.- LINES INPUT = 17
.- LINES INDEXED = 17
.- LINES CALCULATED = 19
* MEAN ABSOLUTE DISCREPANCIES
<Q> =0.5005E-04
<DELTA(2-THETA)> =0.4375E-02
MAX. ERROR ACCEPTED (DEG. 2-THETA) =0.4500E-01
* FIGURES OF MERIT
1.- M( 17) = 277.7
2.- F( 17) = 204.5(0.0044, 19)
-----
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
8 2 2 1 1 1 1
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
17 2 2 2 1 1 3

```

END OF SEARCH FOR TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)

--- T O T A L CALCULATION TIME : 0.000 SEC
DICVOL04 : USEFUL REFERENCES

-
- * BOULTIF, A. & LOUER, D. (2004). J. APPL. CRYST. 37, 724-731.
 - * LOUER, D. & LOUER, M. (1972). J. APPL. CRYST. 5, 271-275.
 - * BOULTIF, A. & LOUER, D. (1991). J. APPL. CRYST. 24, 987-993.

```

-----
| *** TAU-9.1-18 *** |
-----
INPUT DATA
*****
EXPERIMENTAL EXPERIMENTAL
2-THETA ERROR
20.783 0.030
26.560 0.030
27.413 0.030
36.466 0.030
39.386 0.030
40.205 0.030
42.368 0.030
45.710 0.030
50.057 0.030
50.506 0.030
54.786 0.030
55.258 0.030
57.139 0.030
59.873 0.030
63.953 0.030
65.692 0.030
67.658 0.030
*****
----- PARAMETER LIMITS ----- VOLUME LIMITS -----
| A MAXIMUM = 25.00 A | |
| | VOLUME MINIMUM = 0.00 A**3 |
| B MAXIMUM = 25.00 A | |
| | VOLUME MAXIMUM = 2500.00 A**3 |
| C MAXIMUM = 25.00 A | |
-----
WAVELENGTH = 1.540598 A
LOWER FIGURE OF MERIT REQUIRED FOR PRINTED SOLUTION(S) : M( 17) = 10.0
MAXIMUM NUMBER OF ACCEPTED UNINDEXED LINES AMONG THE FIRST 17 INPUT LINES: (-) 1
*****
** **
** ATTENTION : VOS DONNEES SONT-ELLES IRREPROCHABLES ? **
** WARNING : ARE YOUR DATA IRREPROACHABLE ? **
** **
*****
====
>>>> SEARCH OF SOLUTIONS WITH A ZERO ERROR ON INPUT DATA = 0.070 Deg. 2Theta
>>>> Search No. 1 (1/1)
====
SEARCH OF TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)
*****
VOLUME DOMAIN BEING SCANNED :
====
LOWER BOUND = 0.00 A**3 HIGHER BOUND = 400.00 A**3
HEXAGONAL SYSTEM
-----
H E X A G O N A L S Y S T E M
DIRECT PARAMETERS : A= 4.91439 C= 5.40636 VOLUME= 113.08
STANDARD DEVIATIONS : 0.00032 0.00057
REFINED ZERO-POINT SHIFT : 0.0060 deg. 2-theta

```

```

H K L DOBS DCAL DOBS-DCAL 2TH.OBS 2TH.CAL DIF.2TH.
1 0 0 4.25643 4.25719 -0.00076 20.853 20.849 0.004
1 0 1 3.34471 3.34485 -0.00014 26.630 26.629 0.001
      1 0 1 3.24281 27.483 -0.854
1 1 0 2.45740 2.45758 -0.00018 36.536 36.533 0.003
1 0 2 2.28200 2.28216 -0.00016 39.456 39.453 0.003
1 1 1 2.23746 2.23730 0.00016 40.275 40.278 -0.003
2 0 0 2.12829 2.12828 0.00001 42.438 42.438 0.000
2 0 1 1.98040 1.98037 0.00003 45.780 45.781 -0.001
1 1 2 1.81837 1.81846 -0.00009 50.127 50.124 0.003
0 0 3 1.80327 1.80232 0.00095 50.576 50.605 -0.029
2 0 2 1.67226 1.67222 0.00004 54.856 54.857 -0.001
1 0 3 1.65911 1.65965 -0.00054 55.328 55.308 0.019
2 1 0 1.60895 1.60877 0.00018 57.209 57.216 -0.007
2 1 1 1.54193 1.54195 -0.00002 59.943 59.942 0.001
1 1 3 1.45315 1.45331 -0.00016 64.023 64.015 0.008
3 0 0 1.41887 1.41878 0.00010 65.762 65.767 -0.005
2 1 2 1.38239 1.38247 -0.00008 67.728 67.723 0.005

```

```

* NUMBER OF LINES
.- LINES INPUT = 17
.- LINES INDEXED = 16
.- LINES CALCULATED = 18
* MEAN ABSOLUTE DISCREPANCIES
<Q> =0.6585E-04
<DELTA(2-THETA)> =0.5742E-02
MAX. ERROR ACCEPTED (DEG. 2-THETA) =0.4500E-01
* FIGURES OF MERIT
1.- M( 17) = 220.7
2.- F( 17) = 154.8(0.0057, 18)
-----

```

```

ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
39 12 2 1 1 1 1

```

```

END OF SEARCH FOR TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)
-----

```

```

--- T O T A L CALCULATION TIME : 0.010 SEC
DICVOL04 : USEFUL REFERENCES
-----

```

- * BOULTIF, A. & LOUER, D. (2004). J. APPL. CRYST. 37, 724-731.
- * LOUER, D. & LOUER, M. (1972). J. APPL. CRYST. 5, 271-275.
- * BOULTIF, A. & LOUER, D. (1991). J. APPL. CRYST. 24, 987-993.

```

-----
| *** TAU-9.1-19a *** |
-----
          INPUT DATA
          *****
          EXPERIMENTAL EXPERIMENTAL
          2-THETA ERROR
          20.860 0.030
          26.636 0.030
          36.545 0.030
          39.457 0.030
          40.279 0.030
          42.443 0.030
          45.780 0.030
          50.130 0.030
          50.615 0.030
          54.856 0.030
          55.297 0.030
          57.226 0.030
          59.934 0.030
          64.017 0.030
          65.766 0.030
          67.717 0.030
          68.127 0.030

----- PARAMETER LIMITS ----- VOLUME LIMITS -----
          | A MAXIMUM = 25.00 A | | | | |
          | | | VOLUME MINIMUM = 0.00 A**3 |
          | | | B MAXIMUM = 25.00 A | | |
          | | | VOLUME MAXIMUM = 2500.00 A**3 |
          | | | C MAXIMUM = 25.00 A | | |
-----
          WAVELENGTH = 1.540598 A
          LOWER FIGURE OF MERIT REQUIRED FOR PRINTED SOLUTION(S) : M( 17) = 10.0
          MAXIMUM NUMBER OF ACCEPTED UNINDEXED LINES AMONG THE FIRST 17 INPUT LINES: (-) 1
          *****
          ** **
          ** ATTENTION : VOS DONNEES SONT-ELLES IRREPROCHABLES ? **
          ** WARNING : ARE YOUR DATA IRREPROACHABLE ? **
          ** **
          *****
          >>>> SEARCH OF SOLUTIONS WITH A ZERO ERROR ON INPUT DATA = -.009 Deg. 2Theta
          >>>> Search No. 1 (1/1)
          *****
          SEARCH OF TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)
          *****
          VOLUME DOMAIN BEING SCANNED :
          *****
          LOWER BOUND = 0.00 A**3 HIGHER BOUND = 400.00 A**3
          HEXAGONAL SYSTEM
          -----
          H E X A G O N A L S Y S T E M
          DIRECT PARAMETERS : A= 4.91543 C= 5.40750 VOLUME= 113.15
          STANDARD DEVIATIONS : 0.00019 0.00032
          REFINED ZERO-POINT SHIFT : 0.0014 deg. 2-theta

```

```

H K L DOBS DCAL DOBS-DCAL 2TH.OBS 2TH.CAL DIF.2TH.
1 0 0 4.25690 4.25717 -0.00027 20.851 20.849 0.001
1 0 1 3.34512 3.34499 0.00013 26.627 26.628 -0.001
1 1 0 2.45742 2.45781 -0.00039 36.536 36.530 0.006
1 0 2 2.28246 2.28238 0.00008 39.448 39.449 -0.001
1 1 1 2.23775 2.23753 0.00021 40.270 40.274 -0.004
2 0 0 2.12850 2.12851 -0.00001 42.434 42.433 0.000
2 0 1 1.98078 1.98060 0.00018 45.771 45.775 -0.004
1 1 2 1.81858 1.81869 -0.00011 50.121 50.117 0.003
0 0 3 1.80228 1.80255 -0.00026 50.606 50.598 0.008
2 0 2 1.67253 1.67245 0.00008 54.847 54.849 -0.003
1 0 3 1.66022 1.65987 0.00035 55.288 55.300 -0.013
2 1 0 1.60875 1.60899 -0.00024 57.217 57.207 0.009
2 1 1 1.54236 1.54217 0.00019 59.925 59.933 -0.008
1 1 3 1.45346 1.45352 -0.00006 64.008 64.005 0.003
3 0 0 1.41897 1.41899 -0.00001 65.757 65.756 0.001
2 1 2 1.38276 1.38268 0.00007 67.708 67.712 -0.004
2 0 3 1.37543 1.37555 -0.00012 68.118 68.111 0.007

```

```

* NUMBER OF LINES
.- LINES INPUT = 17
.- LINES INDEXED = 17
.- LINES CALCULATED = 19
* MEAN ABSOLUTE DISCREPANCIES
<Q> =0.5252E-04
<DELTA(2-THETA)> =0.4518E-02
MAX. ERROR ACCEPTED (DEG. 2-THETA) =0.4500E-01
* FIGURES OF MERIT
1.- M( 17) = 264.9
2.- F( 17) = 198.0(0.0045, 19)
-----
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
9 2 2 1 1 1 1
ITERATION NUMBER AT EACH DICHOTOMY LEVEL :
17 2 2 2 1 2 3

```

END OF SEARCH FOR TETRAGONAL AND/OR HEXAGONAL SOLUTION(S)

--- T O T A L CALCULATION TIME : 0.000 SEC
DICVOL04 : USEFUL REFERENCES

* BOULTIF, A. & LOUER, D. (2004). J. APPL. CRYST. 37, 724-731.
* LOUER, D. & LOUER, M. (1972). J. APPL. CRYST. 5, 271-275.
* BOULTIF, A. & LOUER, D. (1991). J. APPL. CRYST. 24, 987-993.

Elaboró:

Qco. José Luis Pinto C.

Profesional Analista
PQ. 2009

Revisó:

Qco. MSc. Jesús Andelfo Pinilla A.

Director Técnico
PQ. 1585

ANEXO 2
RESULTADOS DEL ANALISIS DE DIFRACCION DE RAYOS X (DRX). ROCA
CAJA (CUARZOMONZONITA DE SANTA BARBARA)

METODOLOGÍA

1. Preparación y Montaje de las muestras

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

2. Toma de datos de difracción

Se realizó en un difractómetro de polvo marca PANalytical modelo X'PERT PRO MPD bajo las siguientes condiciones:

Voltaje 45(kV)
Corriente 40(mA)
Rendijas Soller 0.04 rad (Incidencia y Difracción)
Rendijas Fijas 1/4 y 1/8 (Incidencia) y 1/4 (Difracción)
Muestreo 0.013° 2theta
Rango de Medición 5-70° 2theta
Radiación CuK α 1
Filtro Ni
Detector de estado sólido referencia PIXcel con 255 canales activos
Tipo de barrido Continuo

3. Tipo de Análisis

Análisis Cualitativo

El análisis cualitativo de las fases presentes en la muestra se realizó mediante comparación del perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD).

Análisis Cuantitativo

El análisis cuantitativo de las fases encontradas se realizó mediante el refinamiento por el Método de Rietveld del perfil observado habiéndole agregado a la muestra

una cantidad conocida de un estándar interno (*Aluminum oxide*, -100mesh, 99%. *Corundum*, α -phase. Aldrich No. 23,474-5) correspondiente al 20%.

4. Información suministrada por el cliente

Análisis elemental: No.

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

RESULTADOS

1. T.A.U-9.1-17 2 μ m (C2EK)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-75-8321	Cuarzo	37.4 % (D.E = 0.2)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	010-75-0938	Caolinita	15.3 % (D.E = 0.4)
	$\text{K} (\text{Si}_{0.75} \text{Al}_{0.25})_4 \text{O}_8$	010-77-0135	Microclina	8.8 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0032	Moscovita	19.3 % (D.E = 0.4)
	$\text{K} (\text{Al, Fe}) \text{Si}_2 \text{O}_6$	000-08-0048	Ortoclasa	2.8 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-12-0216	Sericita	-
	$(\text{K, H}_3\text{O}) \text{Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	000-58-2014	Illita	7.7 % (D.E = 0.2)
	$\text{Al} (\text{OH})_3$	000-07-0324	Gibbsita	1.0 % (D.E = 0.1)
Total Cristalino				92.3 %
Amorfos y otros				7.7 %

2. T.A.U-9.1-17 53 μ m (C2DW)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-75-8321	Cuarzo	58.7 % (D.E = 0.4)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	010-75-1593	Caolinita	11.3 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	010-72-1114	Microclina	14.6 % (D.E = 0.2)
	$\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$	000-09-0466	Albita	N.C
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-70-3754	Moscovita	1.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-12-0216	Sericita	-
	$(\text{K, H}_3\text{O}) \text{Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	00-58-2015	Illita	7.5 % (D.E = 0.1)
	$\text{Al} (\text{OH})_3$	000-07-0324	Gibbsita	0.3 % (D.E = 0.1)
Total Cristalino				93.4 %
Amorfos y otros				6.6 %

3. T.A.U-9.1-20b 2µm (C2EJ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-88-2487	Cuarzo	1.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-58-2004	Caolinita	25.8 % (D.E = 0.3)
	$\text{K} (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_8$	010-76-1239	Microclina	2.7 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	010-75-1592	Ortoclasa	0.8 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	010-70-3754	Moscovita	57.6 % (D.E = 0.4)
	$\text{Ca}_2 \text{Al}_2 \text{Fe Si}_3 \text{O}_{12} (\text{OH})$	010-72-2375	Epidota	2.9 % (D.E = 0.1)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-13-0375	Halloisita	-
	$\text{Al} (\text{OH})_3$	000-07-0324	Gibbsita	N.C
Total Cristalino				90.8 %
Amorfos y otros				9.2 %

4. T.A.U-9.1-20b 53µm (C2DY)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-75-8322	Cuarzo	13.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-58-2004	Caolinita	15.0 % (D.E = 0.2)
	$\text{K} (\text{Si}_{0.75} \text{Al}_{0.25})_4 \text{O}_8$	010-77-0135	Microclina	12.5 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	000-19-0931	Ortoclasa	13.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	000-07-0025	Moscovita	25.3 % (D.E = 0.2)
	$\text{Ca}_2 \text{Al}_2 \text{Fe Si}_3 \text{O}_{12} (\text{OH})$	010-72-2375	Epidota	N.C
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-29-1487	Halloisita	-
	$\text{Al} (\text{OH})_3$	010-70-2038	Gibbsita	0.2 % (D.E = 0.1)
Total Cristalino				79.0 %
Amorfos y otros				21.0 %

5. T.A.U-9.1-20a 2µm ROJA (C2EG)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-74-3485	Cuarzo	5.3 % (D.E = 0.1)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	010-89-6538	Caolinita	35.1 % (D.E = 0.4)
	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	010-83-1604	Microclina	4.7 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	010-89-8572	Ortoclasa	4.3 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-58-2034	Moscovita	6.8 % (D.E = 0.1)
	$(\text{K, H}_2\text{O}) \text{Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	000-58-2015	Illita	13.3 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-12-0216	Sericita	-
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-29-1487	Halloisita	-
Total Cristalino				69.5 %
Amorfos y otros				30.5 %

6. T.A.U-9.1-20a 53µm ROJA (C2DX)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-75-8322	Cuarzo	16.7 % (D.E = 0.1)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-58-2028	Caolinita	29.7 % (D.E = 0.3)
	K (Al Si ₃ O ₈)	010-89-8573	Microclina	21.5 % (D.E = 0.2)
	K Al Si ₃ O ₈	010-75-1592	Ortoclasa	8.2 % (D.E = 0.1)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-07-0032	Moscovita	17.6 % (D.E = 0.2)
	(Mg _{0.03} Ca _{0.97}) CO ₃	010-89-1304	Calcita Magnésiana	N.C
	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	00012-0216	Sericita	-
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-29-1487	Halloisita	-
Total Cristalino				93.7 %
Amorfos y otros				6.3 %

7. TAU-9.1-20a 2µm BLANCA (C2EI)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-83-2466	Cuarzo	7.7 % (D.E = 0.1)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	010-75-1593	Caolinita	45.6 % (D.E = 0.3)
	K Al Si ₃ O ₈	010-83-1604	Microclina	12.8 % (D.E = 0.2)
	Na Al Si ₃ O ₈	010-83-1616	Albita	N.C
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2034	Moscovita	16.3 % (D.E = 0.2)
	Ca CO ₃	010-86-2341	Calcita	N.C
	Ti O ₂	010-75-2551	Anatasa	0.9 % (D.E = 0.1)
	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	000-12-0216	Sericita	-
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-29-1487	Halloisita	-
Total Cristalino				83.3 %
Amorfos y otros				16.7 %

8. TAU-9.1-20a 53µm BLANCA (C2DZ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-75-8321	Cuarzo	15.7 % (D.E = 0.2)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	010-89-6538	Caolinita	32.7 % (D.E = 0.3)
	K (Si _{0.75} Al _{0.25}) ₄ O ₈	010-77-0135	Microclina	9.5 % (D.E = 0.3)
	K Al Si ₃ O ₈	010-76-0825	Ortoclasa	15.8 % (D.E = 0.2)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2035	Moscovita	10.9 % (D.E = 0.2)
	Ca CO ₃	010-72-1652	Calcita	N.C
	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	000-12-0216	Sericita	-
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-13-0375	Halloisita	-
	(K, H ₃ O) Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂ · x H ₂ O	000-58-2015	Illita	7.3 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				91.9 %
Amorfos y otros				8.1 %

9. TAU-9.1-20a 2µm AMARILLA (C2EH)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-74-3485	Cuarzo	4.8 % (D.E = 0.1)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	010-80-0885	Caolinita	11.8 % (D.E = 0.3)
	K Al Si ₃ O ₈	010-83-1604	Microclina	4.1 % (D.E = 0.2)
	Na Al Si ₃ O ₈	010-83-1616	Albita	N.C
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	010-85-2147	Moscovita	10.0 % (D.E = 0.4)
	K Al Si ₃ O ₈	010-71-1543	Ortoclasa	5.6 % (D.E = 0.2)
	Si O ₂	010-76-0931	Cristobalita	0.3 % (D.E = 0.1)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-10-0446	Dickita	5.5 % (D.E = 0.2)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-29-1487	Halloisita	-
Total Cristalino				42.1 %
Amorfos y otros				57.9 %

10. TAU-9.1-20a 53µm AMARILLA (C2EA)

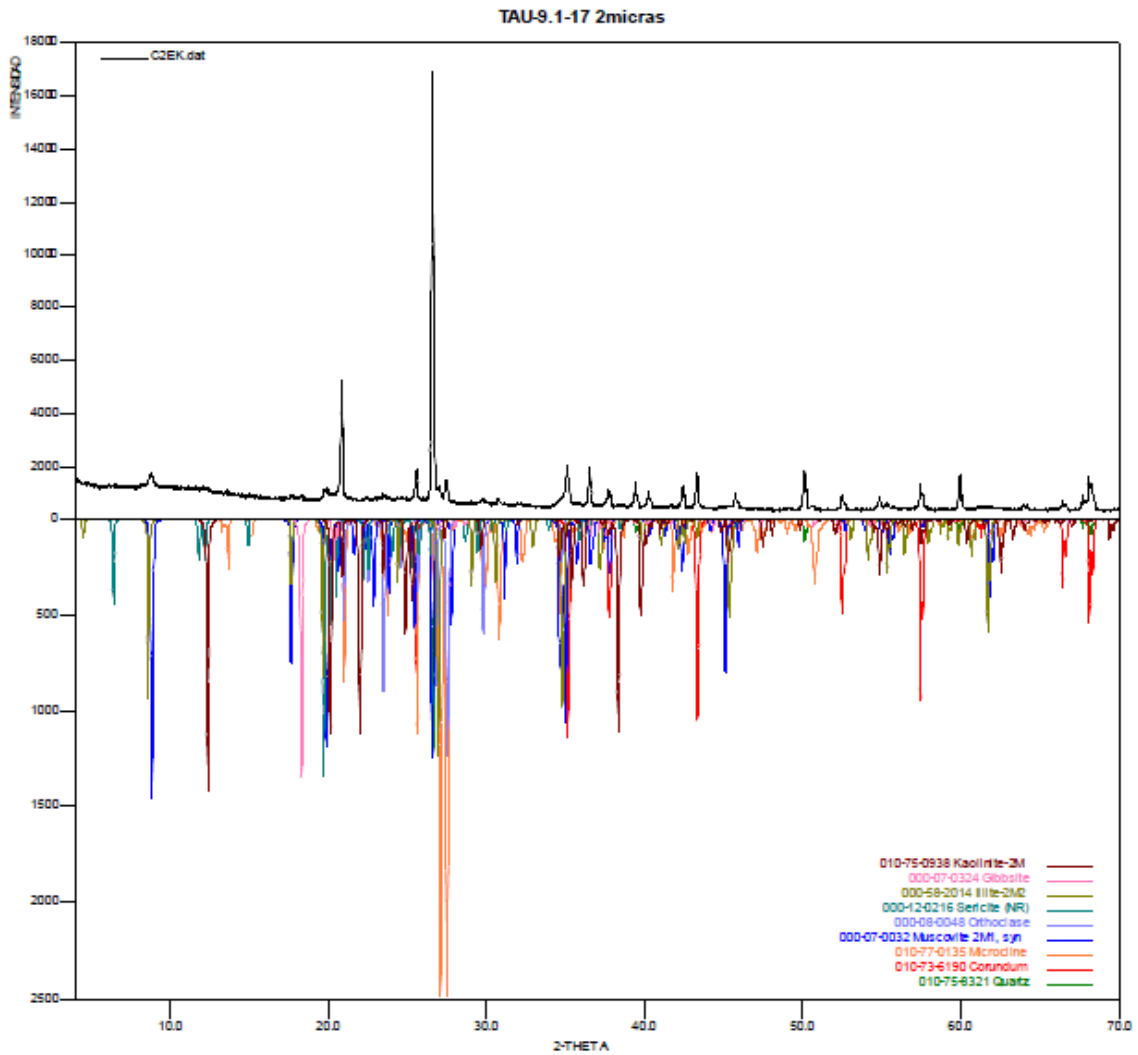
FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-75-8322	Cuarzo	15.3 % (D.E = 0.1)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-01-0527	Caolinita	19.6 % (D.E = 0.3)
	K (Si _{0.75} Al _{0.25}) ₄ O ₈	010-77-0135	Microclina	20.5 % (D.E = 0.3)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	010-70-3754	Moscovita	11.5 % (D.E = 0.5)
	K Al Si ₃ O ₈	000-08-0048	Ortoclasa	10.1 % (D.E = 0.1)
	(K, H ₃ O) Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂ · x H ₂ O	000-58-2014	Illita	5.2 % (D.E = 0.3)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	010-72-8193	Dickita	9.8 % (D.E = 0.2)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-13-0375	Halloisita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				92.0 %
Amorfos y otros				8.0 %

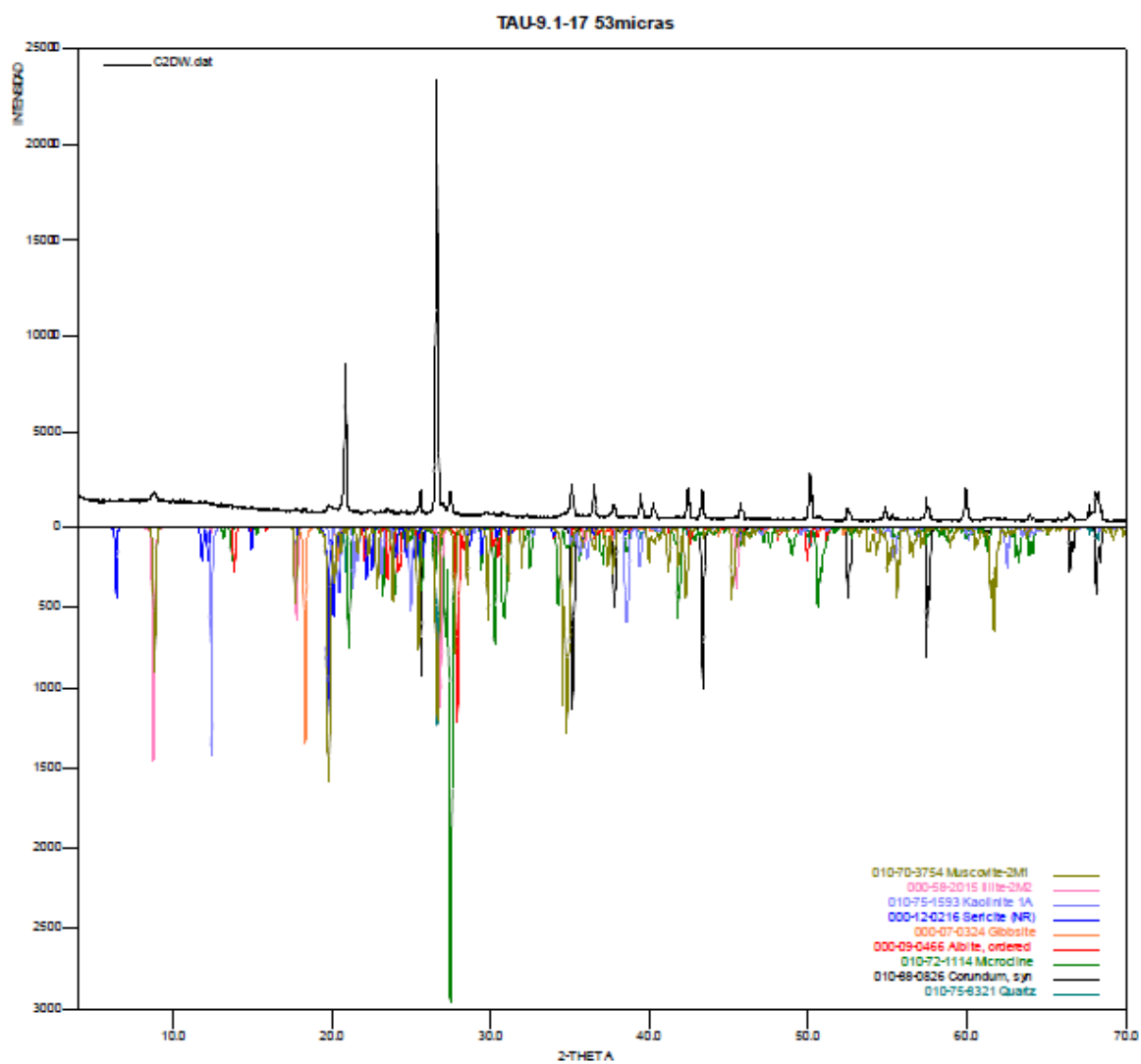
Nota:
D.E= Desviación estándar

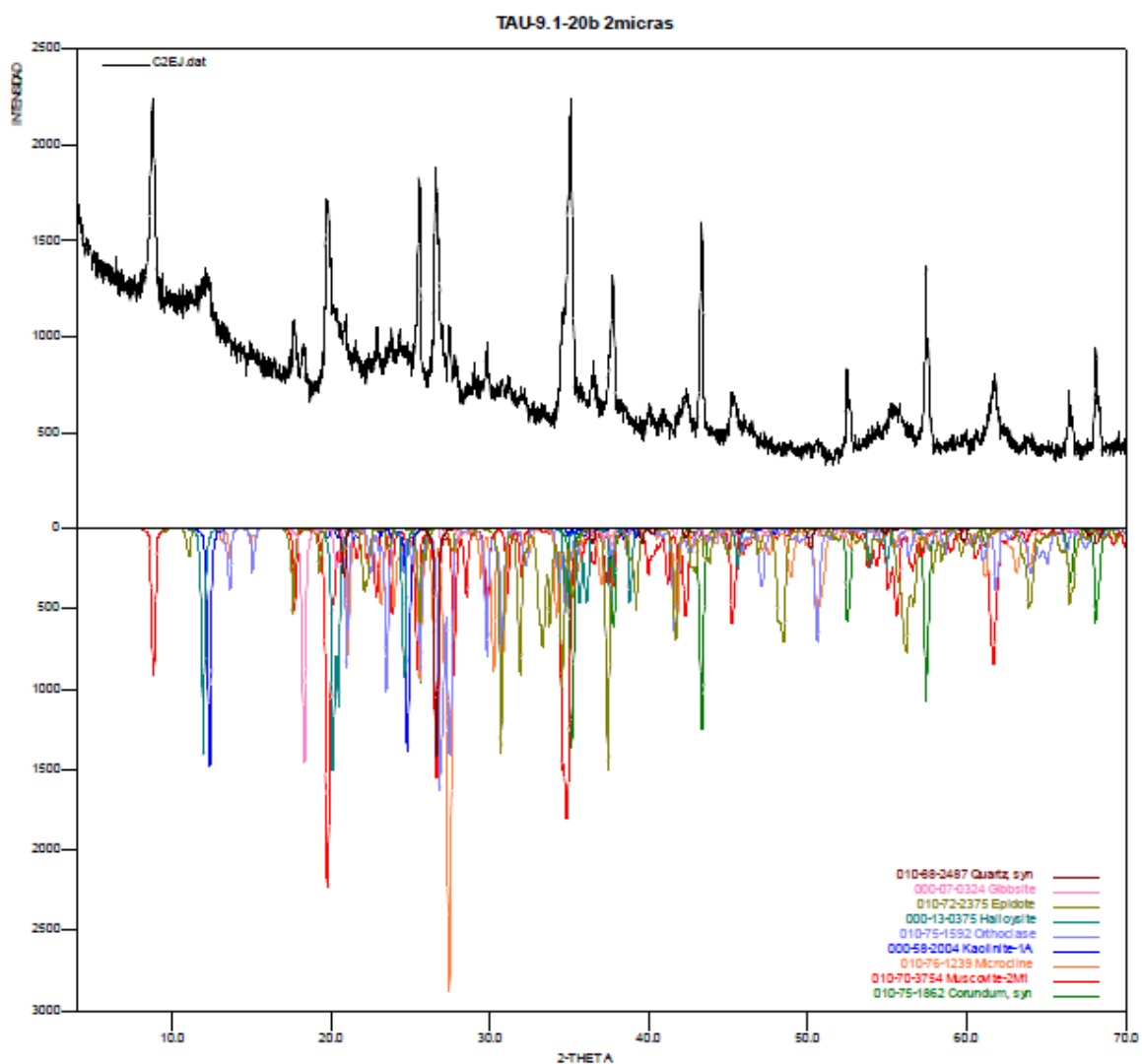
Observaciones:

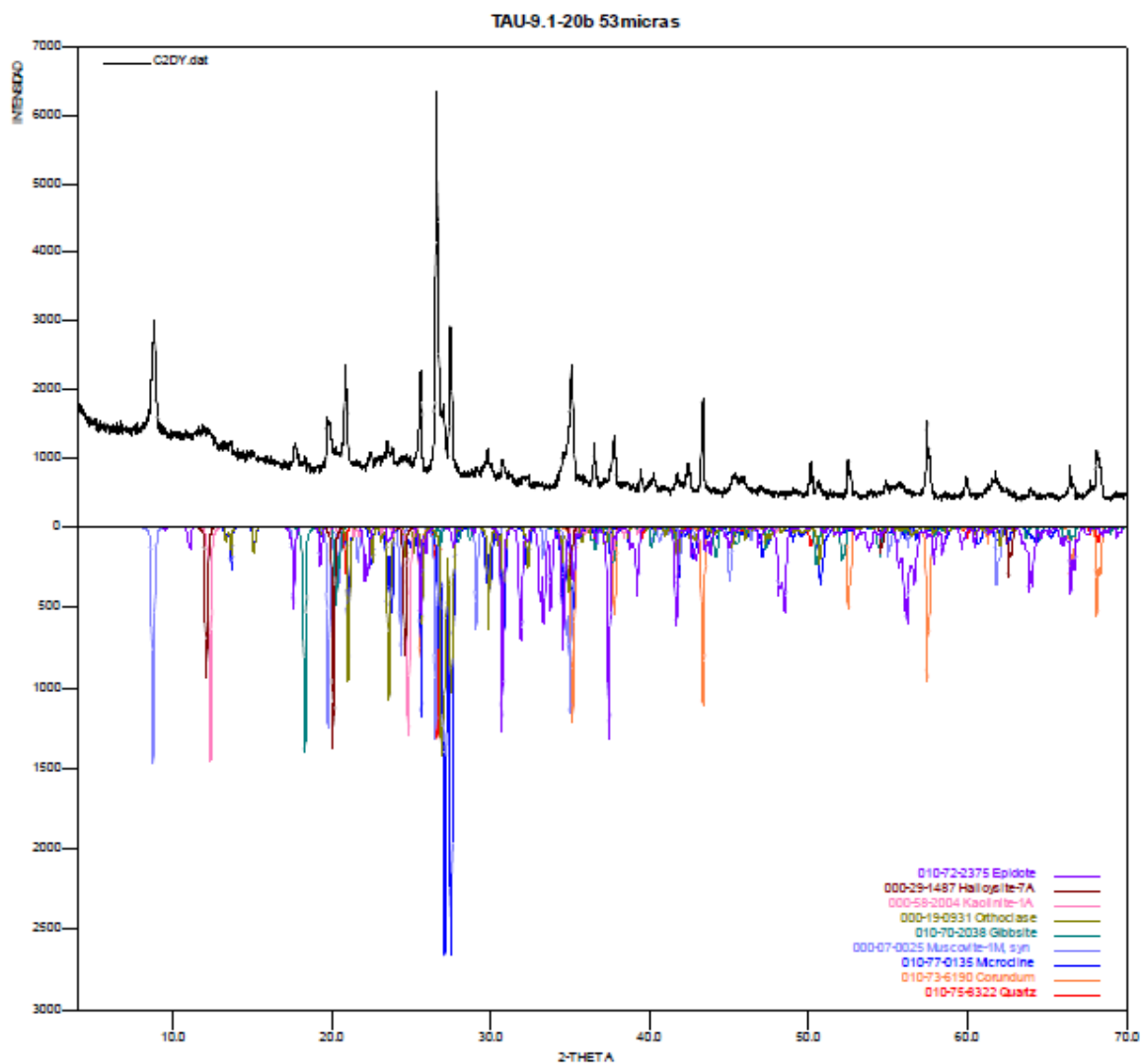
- Se recomienda realizar análisis elemental para corroborar la presencia de las fases reportadas.
- En los perfiles de difracción se observa la fase de *Corundum - Aluminum Oxide* (estándar interno), el cual fue agregado a la muestra en una cantidad conocida para la respectiva cuantificación.
- En algunas muestras recibidas en el laboratorio, la(s) fase(s) *Halloisita* (Al₂ Si₂ O₅ (OH)₄) y *Sericita* (K Al₂ (Si₃ Al) O₁₀ (OH)₂) no fueron cuantificadas

ya que no se tienen sus datos cristalográficos reportados en la base de datos para su respectiva cuantificación.

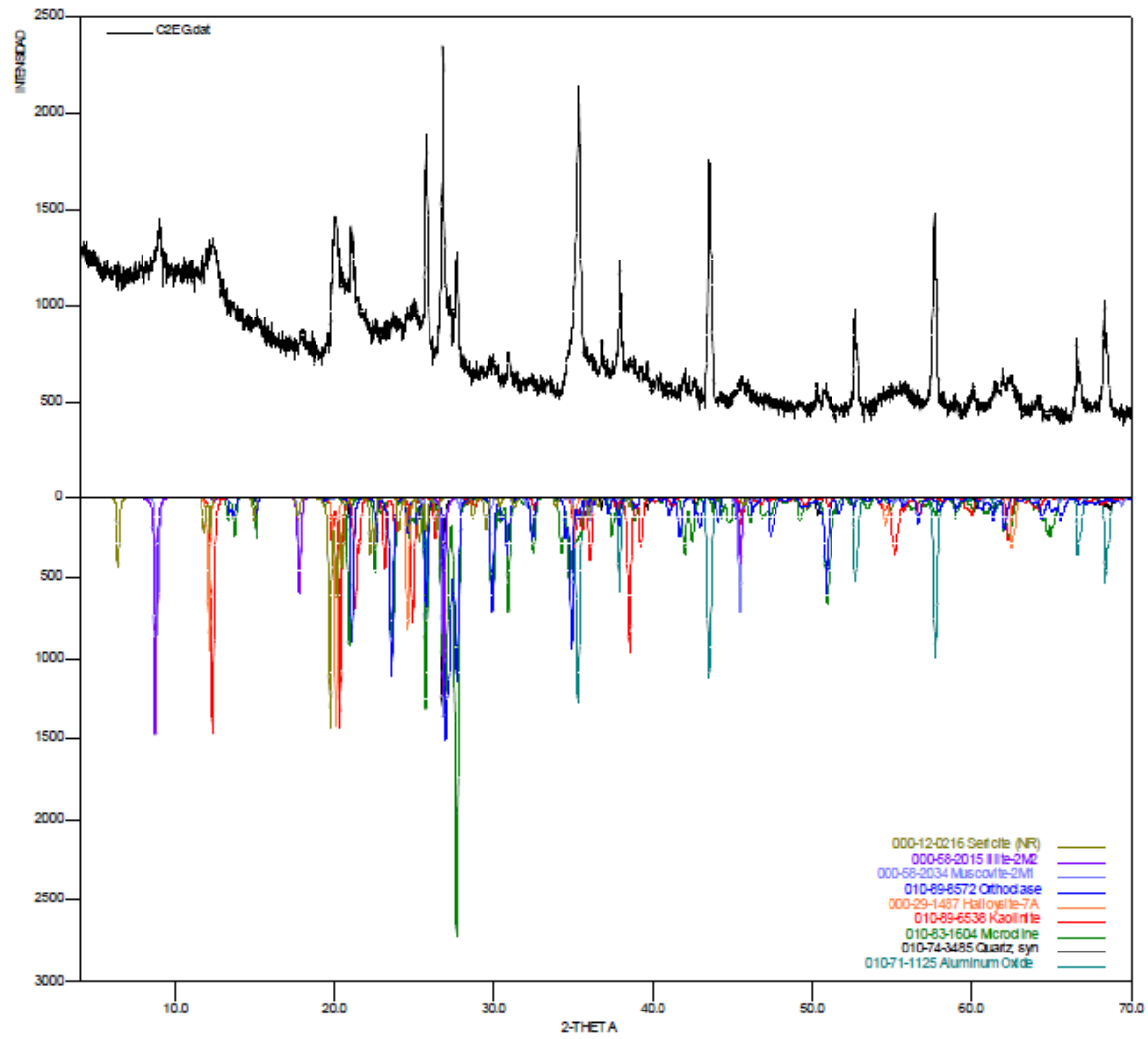


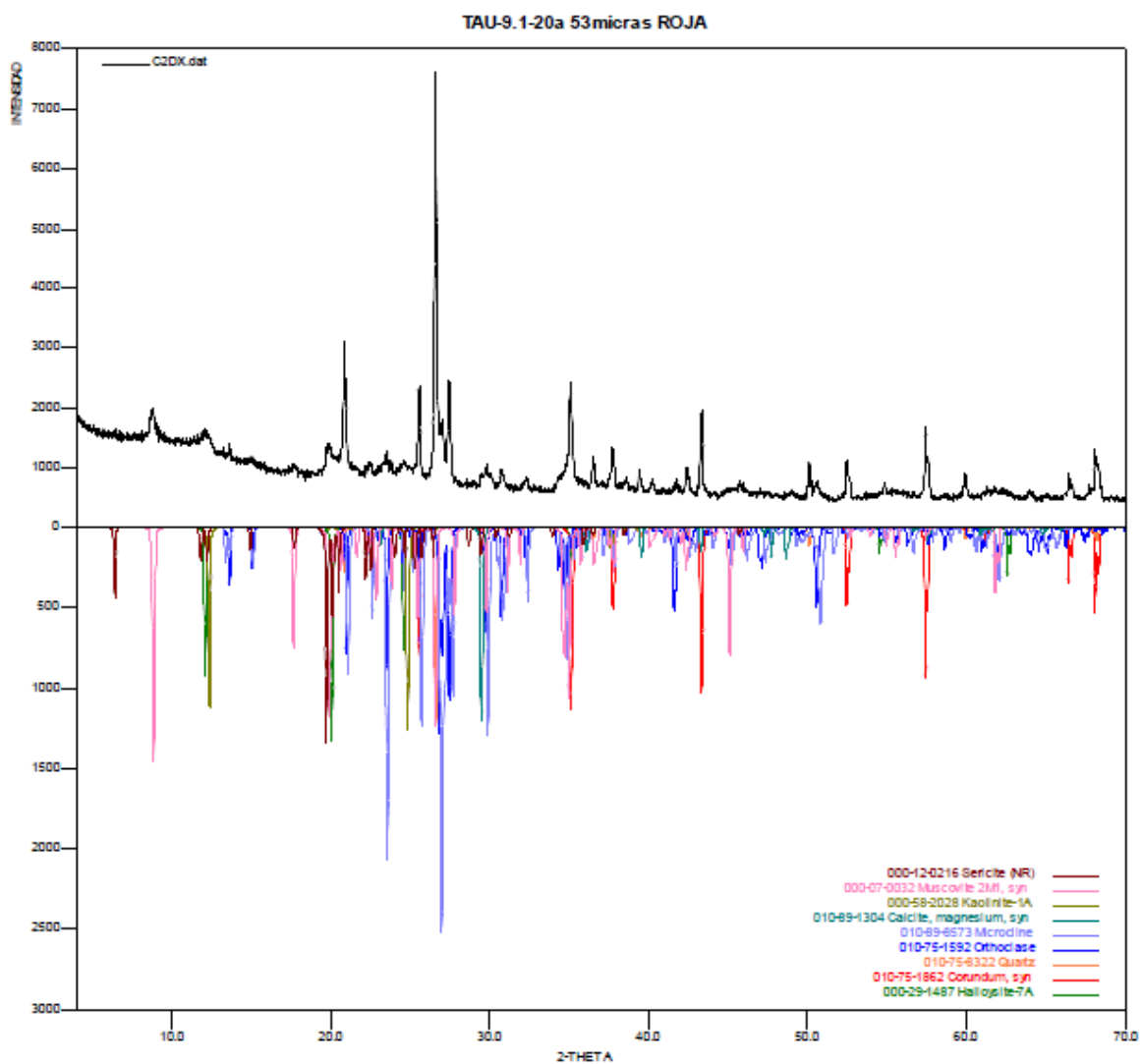


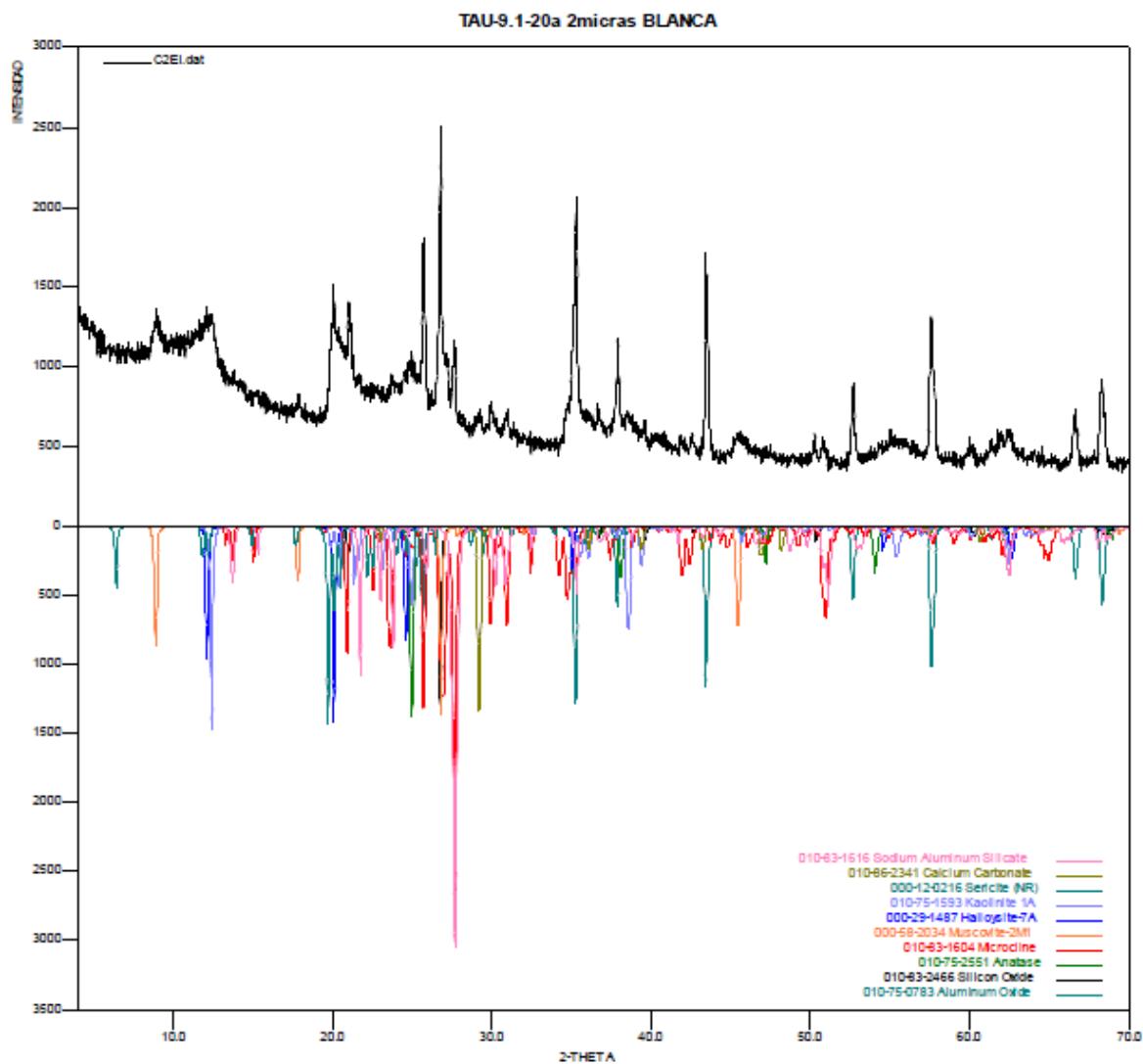




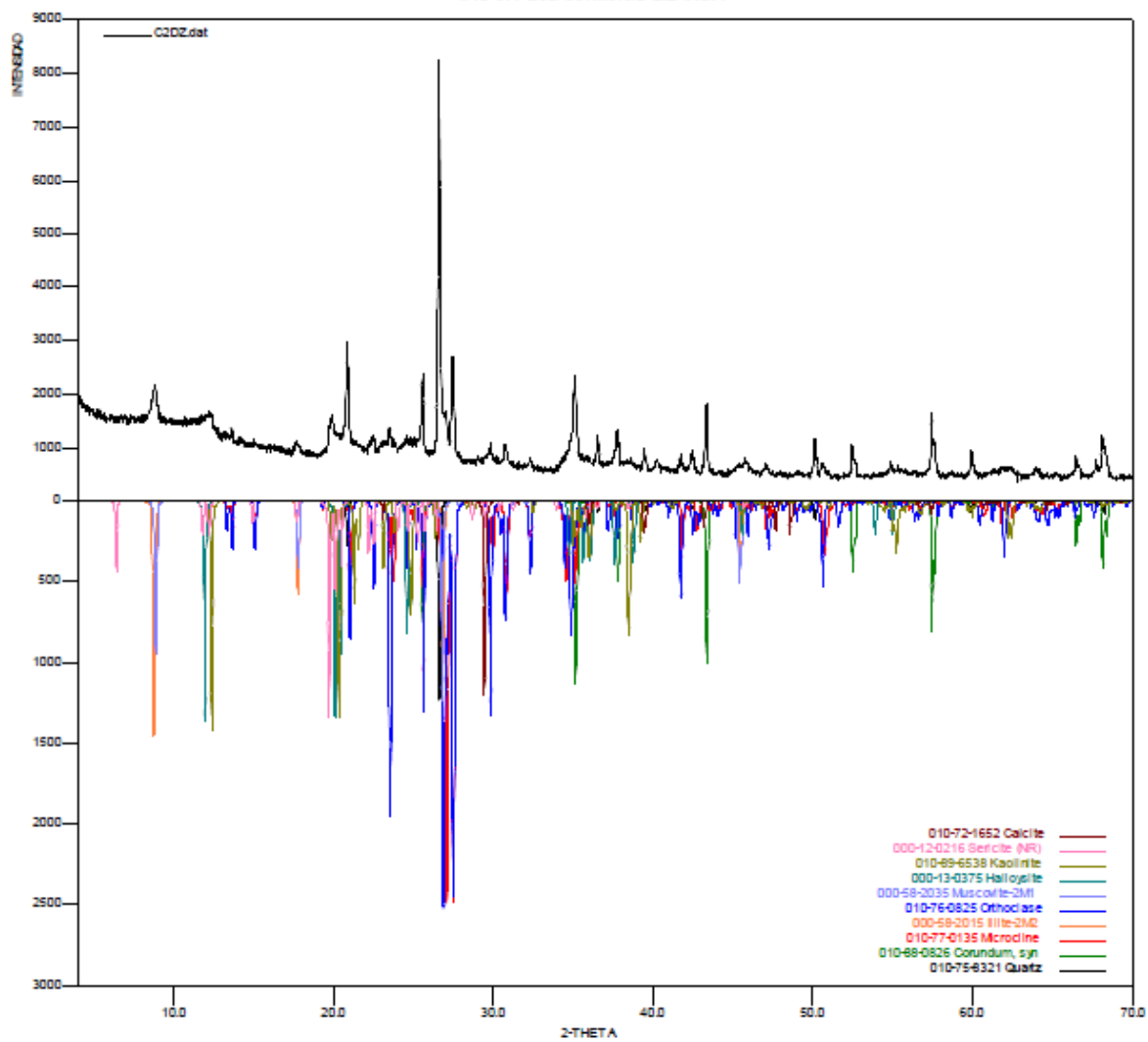
TAU-9.1-20a 2micras ROJA



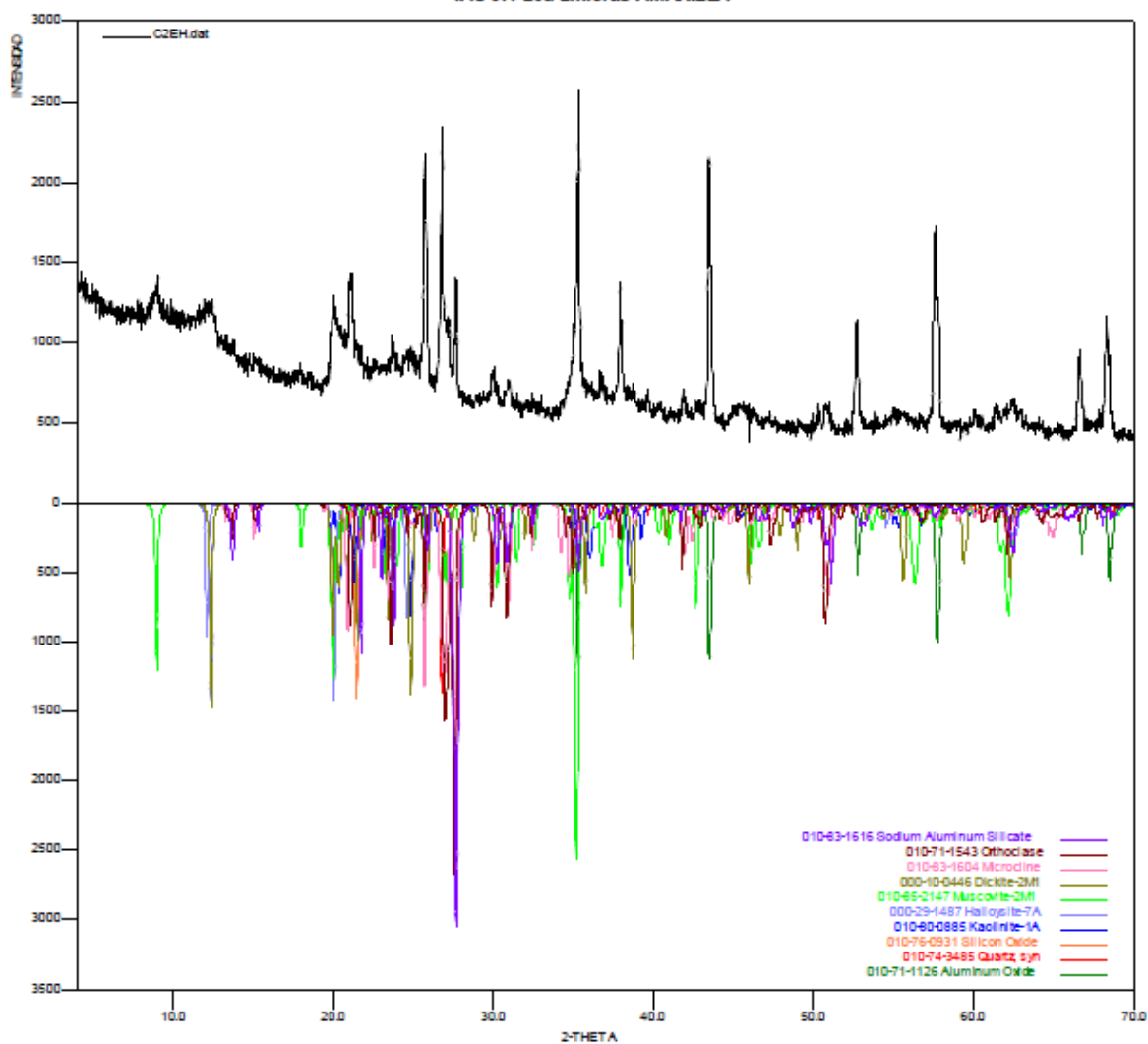


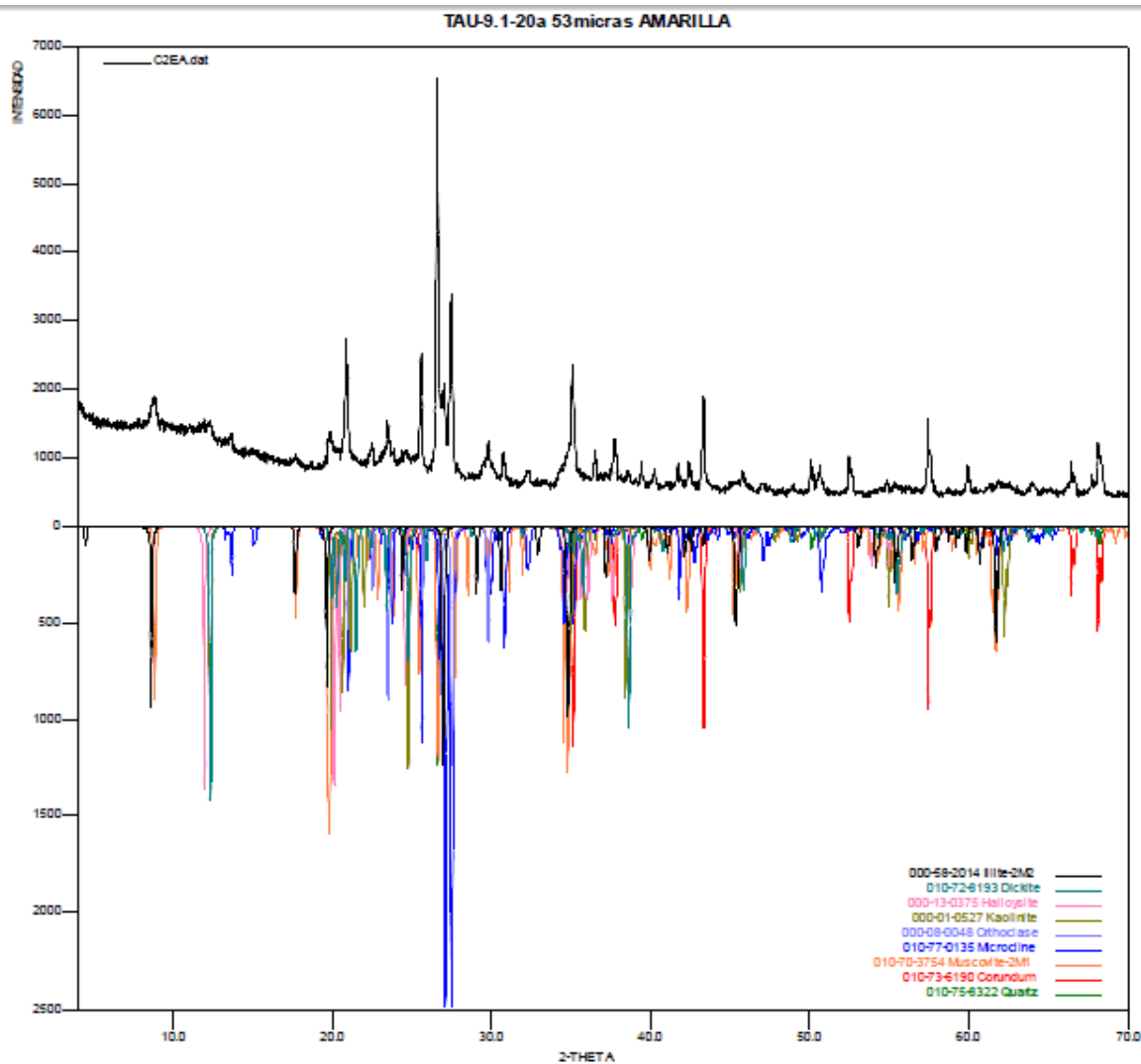


TAU-9.1-20a 53micras BLANCA



TAU-9.1-20a 2micras AMARILLA





Elaboró:

Qco. José Luis Pinto C.

Profesional Analista

PQ. 2009

Revisó:

Qco. MSc. Jesús Andelfo Pinilla A.

Director Técnico

PQ. 1585