

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE
LAS ROCAS PORFIRÍTICAS AFLORANTES EN EL SECTOR DE LA FRANCIA
(DISTRITO MINERO DE VETAS-CALIFORNIA, MACIZO DE SANTANDER)**

GINA TATIANA SUÁREZ MUCCIANTE

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2013**

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE
LAS ROCAS PORFIRÍTICAS AFLORANTES EN EL SECTOR DE LA FRANCIA
(DISTRITO MINERO DE VETAS-CALIFORNIA, MACIZO DE SANTANDER)**

GINA TATIANA SUÁREZ MUCCIANTE

Trabajo de grado para la obtención del título de GEÓLOGA

Director:

PhD. Geol. Luis Carlos Mantilla Figueroa

Co-Director:

MSc. Geol. Jesús Hernando Mendoza Forero

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2013**

DEDICATORIA

Con inmensa alegría y con mucho amor quiero dedicar mi tesis de grado:

A Dios...

*...quien nunca me desampara y siempre me dio tanta fe, salud, fortaleza y
esperanza para culminar exitosamente este trabajo.*

A mis queridos padres Rosellina y Oscar Fernando...

*...quienes han llenado mi vida de amor, me han apoyado incondicionalmente en
mi formación integral y con sus esfuerzos constantes me han brindado lo mejor.*

A mi abuelita Raquel...

...quien ha sido un modelo de perseverancia, bondad y sabiduría.

A la memoria de mi tío Gígino...

*...mi fuente de inspiración, quien me enseñó a amar la naturaleza y a vivir
intensamente cada momento de mi vida.*

A mi tía Carla, mi tía Vincenza y mi tía Giuliana...

*...quienes siempre me han dado su cariño, apoyo y comprensión en los momentos
más difíciles.*

A mi hermanita Andrea Giuliana...

*...quien ha sido mi consejera, mi amiga y cada día me llena de orgullo por ser una
personita tan juiciosa, llena de virtudes, valores y principios.*

A mi novio Daniel Andrés...

*...con quien he compartido muchos momentos felices, está conmigo
incondicionalmente y día a día me recuerda cuanto me quiere.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre por su eterna misericordia y por darme grandes triunfos como este.

A mi director Luis Carlos Mantilla Figueroa por la confianza que depositó en mí, su paciencia al enseñar y por todas las oportunidades que me brindó durante la carrera para crecer personal y profesionalmente.

A mi codirector Jesús Hernando Mendoza Forero por brindarme su tiempo, seguridad y respaldo durante el desarrollo de este proyecto.

A mi Universidad, a mi Facultad, a mi Escuela y a mis profesores por darme una excelente educación académica y permitir que hoy sea una profesional íntegra y orgullosa de esta carrera tan hermosa que es la Geología.

Al Grupo de Investigación MINPETGEO por el financiamiento de este trabajo.

A mis padres y mi abuelita Raquel por ser mi mayor motivación y el impulso de persistir para hacer realidad mis sueños.

A mi amorcito por su compañía, su constante apoyo, por querer siempre lo mejor para mí y por llenar mi vida de felicidad y amor.

A Terry, quien Dios me puso en el camino para que yo tuviera una madre más, una consejera y una gran amiga que nunca nos falla y siempre está ahí.

A Jairo Conde por su gentileza y colaboración desinteresada que me ayudó a sentir seguridad y confianza en mi misma y en el desarrollo del proyecto.

A Sandra, Leito y todos mis compañeros de Geología que siempre mostraron interés en ayudarme dándome su amistad y colaboración en momentos de triunfos y dificultades.

A todas aquellas personas que en este momento olvido mencionar pero que de una u otra manera creyeron en mí y me apoyaron para sentir la satisfacción de este logro alcanzado.

Este proyecto no hubiera sido posible sin ustedes... Muchísimas Gracias...!!

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 Objetivo general	19
1.2 Objetivos específicos	19
2. METODOLOGÍA.....	21
3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
3.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	25
3.2 RASGOS FISIOGRÁFICOS GENERALES	28
4. MARCO GEOLÓGICO	29
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL	29
4.2 GEOLOGÍA LOCAL	34
4.3 ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA MINERALIZACIÓN EN EL DISTRITO MINERO DE VETAS-CALIFORNIA	39
5. RESULTADOS	43
5.1 LITOLOGÍAS AFLORANTES EN EL SECTOR DE LA FRANCIA	43
5.1.1 Rocas metamórficas del Precámbrico	43
5.1.2 Rocas ígneas graníticas del Jura-Triásico	50
5.1.3 Rocas ígneas porfiríticas del Neógeno	57
5.2 GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL	77



6. CONCLUSIONES	88
7. RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del sector de La Francia.	26
Figura 2. Mapa de vías que muestra el recorrido desde Bucaramanga hasta el Distrito Minero de Vetás-California.	27
Figura 3. Esquema ilustrativo del sistema de drenajes del Distrito Minero de Vetás-California y localización en éste del sector de La Francia.	28
Figura 4. Tectónica regional en el área de estudio: a) Esquema de las provincias tectónicas de Santander; b) Esquema estructural del Depto. de Santander	32
Figura 5. Imagen satelital adaptada del área de estudio.....	34
Figura 6. Esquema geológico del Distrito Minero de Vetás-California y las estaciones hechas en campo.....	36
Figura 7. Esquema geológico del Distrito Minero de Vetás-California donde se muestra el sector de La Francia.....	37
Figura 8. Afloramiento de las rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga en el sector de La Francia (Estación HAM 38).	44
Figura 9. a) Neis cuarzo feldespático micáceo con oxidación (muestra HAM 38-1); b) Neis cuarzo feldespático micáceo con bandeo composicional (muestra HAM 38-2); c) Neis cuarzo feldespático micáceo muy fracturado (muestra HAM 40-1)..	45
Figura 10. a) Neis cuarzo feldespático micáceo con alteración potásica? (Muestra HAM 38-1); b) Neis cuarzo feldespático micáceo con silicificación hidrotermal (Muestra HAM 38-2); c) Neis cuarzo feldespático micáceo con biotita en agregado escamoso? (Muestra HAM 40-1).(Izq: nicoles paralelos; Der: nicoles cruzados)..	46

Figura 11. Afloramiento del dique de granitos leucocráticos cortando rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga en el sector de La Francia. (Estación HAM 41).....	51
Figura 12. Granitos leucocráticos a) y b) a 80 m de un puente sobre el margen derecho de la Quebrada La Plata (aguas abajo) (Muestras HAM 40-2 y HAM 41-1); c) al interior del túnel abandonado de la Mina La Francia (Muestra HAM 44-2).	52
Figura 13. Granitos leucocráticos a) con presencia de sericita (Muestra HAM 40-2); b) con óxidos de hierro (Muestra HAM 41-1); y c) con presencia de caolinita (Muestra HAM 44-2). (Izq: nicols II. Der: nicols X).....	53
Figura 14. Afloramiento del Pórfido tipo I del Neógeno en el sector de La Francia. (Estación HAM-39).....	58
Figura 15. Muestra de mano del Pórfido tipo I del Neógeno en el sector de La Francia	58
Figura 16. Granodioritas porfiríticas a) con presencia de sericita (Muestra HAM 39-2) y b) con presencia de clorita (Muestra HAM 46-1). (Izq: nicols II. Der: nicols X).....	59
Figura 17. Afloramiento del Pórfido tipo II del Neógeno: a) sobre el margen derecho de la Quebrada La Plata (aguas abajo) hacia la Mina La Francia (Estación HAM 43); b) en la Mina abandonada La Francia (Estación HAM 44)..	64
Figura 18. Muestras de mano del Pórfido tipo II del Neógeno en el sector de La Francia: a), d), f) y g) Riodacitas (Muestras HAM 39-1, HAM 44-1, HAM 45-1 y GI 27-M2); b), c) y e) Dacitas (Muestras HAM 42-1, HAM 43-1 y HAM 44-3).....	65

Figura 19. Riodacitas porfiríticas a) con matriz afanítica (Muestra HAM 39-1); d) con cuarzos con textura de embahiamiento (Muestra HAM 44-1); f) con clorita (Muestra HAM 45-1); g) con fenocristales pseudo hexagonales de biotita (Muestra GI 27-M2); y Dacitas porfiríticas b) con sericita y cuarzos redondeados (Muestra HAM 42-1); c) con sericita y clorita (Muestra HAM 43-1); e) con alunita y vetillas de cuarzo (Muestra HAM 44-3). (Izq: nicoles II. Der: nicoles X).....	67
Figura 20. Pórfido tipo II del Neógeno (Dacita) con vetilleo, aflorante en el túnel de la Mina La Francia (Muestra HAM 44-3) a) Vetilla de cuarzo; b) Vetilla de cuarzo-alunita; c) Vetilla de óxido; d) Vetilla de Jarosita. (Izq: nicoles II. Der: nicoles X).....	76
Figura 21. Diagrama que muestra el tipo de alteración hidrotermal en las muestras analizadas geoquímicamente.	78
Figura 22. Clasificación química de las muestras representativas del Pórfido tipo II basada en los elementos inmóviles según Winchester y Floyd (1977).....	80
Figura 23. Subdivisión de rocas subalcalinas mediante diagrama de proyección SiO_2 vs. K_2O	82
Figura 24. Clasificación TAS para las rocas porfiríticas que pasaron el test de alteración propuesto por Davies and Whitehead (2006).	83
Figura 25. Diagrama de discriminación del ambiente tectónico Yb <i>versus</i> Ta para las rocas porfiríticas del Neógeno analizadas geoquímicamente.	84
Figura 26. Elementos traza normalizados al manto primitivo.	85
Figura 27. Tierras raras normalizadas al condrito 1	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones analíticas de calibración para la realización de los análisis de Difracción de Rayos X (DRX).....	23
Tabla 2. Estaciones de campo y sus correspondientes variedades litológicas muestreadas. (M: Roca Metamórfica, I: Roca Ígnea).....	38
Tabla 3. Resumen del análisis mineralógico y petrográfico de las rocas metamórficas del Precámbrico en el sector de La Francia.....	48
Tabla 4. Resultados del análisis de DRX en las rocas metamórficas del Precámbrico en el sector de La Francia.....	49
Tabla 5. Resumen del análisis mineralógico y petrográfico de los granitos leucocráticos del Jura-Triásico en el sector de La Francia.....	55
Tabla 6. Resultados del análisis de DRX en los granitos leucocráticos del Jura-Triásico en el sector de La Francia.....	56
Tabla 7. Resumen del análisis mineralógico y petrográfico del Pórfido tipo I del Neógeno en el sector de La Francia.....	61
Tabla 8. Resultados del análisis de DRX en el Pórfido tipo I del Neógeno en el sector de La Francia	62
Tabla 9. Resumen del análisis mineralógico y petrográfico del Pórfido tipo II del Neógeno en el sector de La Francia.....	72
Tabla 10. Resultados del análisis de DRX en el Pórfido tipo II del Neógeno en el sector de La Francia.....	74
Tabla 11. Muestras empleadas para los análisis geoquímicos.....	77

Tabla 12. Índice químico de meteorización para las rocas analizadas geoquímicamente.....	79
Tabla 13. Porcentaje en peso de los elementos mayores presentes en las muestras analizadas geoquímicamente.....	81
Tabla 14. Anomalía de Nb calculada en las muestras analizadas geoquímicamente.....	86

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Catálogo de muestras.....	100
ANEXO B. Catálogo petrográfico de las secciones delgadas.....	115
ANEXO C. Difracción de Rayos X (DRX).....	146
ANEXO D. Análisis geoquímicos.....	168

RESUMEN

TÍTULO: Caracterización Mineralógica, Petrográfica y Geoquímica de las rocas porfiríticas aflorantes en el sector de La Francia (Distrito Minero de Vetas-California, Macizo de Santander)*.

AUTOR: Gina Tatiana Suárez Mucciante**

PALABRAS CLAVES: Caracterización, Dique, Alaskita, Hidrotermal, Epitermal, Rocas Porfiríticas, Metalogénesis.

DESCRIPCIÓN

El presente estudio geológico realizado en el Distrito Minero de Vetas-California, comprende la caracterización (desde el punto de vista mineralógico, petrográfico y geoquímico) tanto de las rocas ígneas con textura porfirítica aflorantes en el sector conocido como 'La Francia' (*sensu lato*), como sus posibles alteraciones hidrotermales asociadas.

En el área se reconoció la presencia de rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga (de edad Neoproterozoico) las cuales están cortadas por diques de composición alaskítica (de edad Triásico Tardío-Jurásico Temprano) y diques porfiríticos (de edad Neógeno) con matriz fanerítica y afanítica aquí denominados Pórfido tipo I y Pórfido tipo II, respectivamente.

Tanto las rocas metamórficas del Precámbrico (neises cuarzo-feldespáticos micáceos), como los diques alaskíticos del Jura-Triásico (granitos leucocráticos) presentan alteraciones hidrotermales típicas de ambientes porfiríticos someros (sericitización), epitermales (caolinitización) y supergénicos.

Por otra parte, los diques porfiríticos del Neógeno aquí estudiados hacen referencia a rocas de composición dacítica, de la serie calcoalcalina, con una saturación de alúmina propia de rocas peraluminicas y ambiente propio de granitos de arco volcánico.

Específicamente en la Mina abandonada La Francia, estos diques están afectados por procesos de alteración hidrotermal de tipo sericitica (estilo de mineralización porfirítico) y argílica avanzada (estilo de mineralización epitermal, ambiente de alta sulfidación), posiblemente relacionados con la metalogénesis del oro en este sector, donde también se evidencia una alteración supergénica caracterizada por vetillas de óxidos de hierro y jarosita, la cual representa el evento de alteración más reciente aquí documentado.

*Proyecto de Grado, Modalidad Investigación

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: PhD. Geol. Luis Carlos Mantilla Figueroa. Codirector: MSc. Geol. Jesús Hernando Mendoza Forero.

ABSTRACT

TITLE: Mineralogical, Petrographical and Geochemical Characterization of the Porphyritic Rocks in the Sector of La Francia (Vetas-California Mining District, Santander Massif)*.

AUTHOR: GINA TATIANA SUÁREZ MUCCIANTE**

KEY WORDS: Characterization, Dike, Alaskite, Hydrothermal, Epithermal, Porphyry Rocks, Metallogenesis.

DESCRIPTION

This geological study in the Vetas-California Mining District, comprises the mineralogical, petrographical and geochemical characterization of the igneous rocks with porphyritic texture outcropping in the sector known as 'La Francia' (*sensu lato*) and their associated hydrothermal alterations.

In this area were recognized metamorphic rocks of the Bucaramanga Gneiss (Neoproterozoic age) which are cut by dikes of alaskites (Late Triassic-Early Jurassic age) and porphyry dikes (Neogene age) with phaneritic matrix and aphanitic matrix, here denominated as Porphyry type I and Porphyry type II, respectively.

The metamorphic rocks of the Precambrian (micaceous quartz-feldspar gneisses) and the alaskites of the Triassic-Jurassic (leucocratic granites) have hydrothermal alterations typical of shallow porphyritic settings (sericitization), epithermal settings (caolinitization) and supergene settings.

By other hand, the Neogene porphyry dikes studied here were classified as peraluminic dacitic rocks of the calc-alkaline series in a volcanic arc granites setting.

Specifically in the abandoned mine 'La Francia', these dikes are affected by hydrothermal alteration processes as sericitic alteration (porphyritic mineralization) and advanced argillic alteration (epithermal mineralization, high sulfidation setting), possibly related to gold metallogenesis in this sector, which also show a supergene alteration characterized by veinlets of iron oxides and jarosite, which represent the most recent alteration event documented here.

*Graduation research project.

**Department of Physical and Chemical Engineering. School of Geology. Director: PhD. Geol. Luis Carlos Mantilla Figueroa. Codirector: MSc. Geol. Jesús Hernando Mendoza Forero.

INTRODUCCIÓN

La metalogénesis del oro se relaciona, entre otros, con procesos magmático-hidrotermales en donde suele interactuar: a) un fundido silicatado; b) un fluido acuoso-salino ($\pm$ volátiles) de origen magmático; c) un fluido (agua) procedente de otras fuentes diferente a los magmas silicatados y; d) unas litologías (encajantes), cuya variedad composicional está determinada por la geología local. Estos procesos magmático-hidrotermales suelen tener lugar en diferentes contextos tectónicos tales como: suprasubducción, rift intracontinental, etc.

La caracterización tanto de las litologías ígneas (desde el punto de vista mineralógico-petrográfico y geoquímico), como de los estilos de mineralización presentes en un sector concreto de la corteza (ya sea a escala de depósito o distrito), son sin duda alguna una herramienta útil para establecer los aspectos antes mencionados, es decir, son una ayuda para reconocer los condicionantes físicos (por ejemplo contexto tectónico) y químicos (por ejemplo reacciones químicas y mineralógicas generadas en el marco de la interacción fluido-roca) involucrados en la formación de un determinado estilo o modelo de depósito mineral.

El presente documento es el resultado de una tesis de pregrado 'modalidad investigación', realizada en el Distrito Minero de Vetas-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental de Colombia), con el objetivo de caracterizar (desde el punto de vista mineralógico, petrográfico y geoquímico) tanto las rocas ígneas con textura porfírica aflorantes en el sector conocido como 'La Francia' (ver Figura 1), como sus posibles alteraciones hidrotermales asociadas. De esta

manera, se pretende contribuir al conocimiento geológico del Distrito Minero de Vetás-California y al conocimiento de la metalogénesis del oro en éste.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Caracterizar desde el punto de vista mineralógico-petrográfico y geoquímico las rocas porfiríticas aflorantes en el sector de La Francia (Distrito Minero de Vetas-California) e identificar los tipos de alteración hidrotermal asociados.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar mineralógica y petrográficamente las rocas ígneas de textura porfirítica aflorantes en el sector de La Francia (Distrito Minero de Vetas-California), mediante microscopía óptica, electrónica y difracción de rayos X, con el propósito de poder clasificarlas desde el punto de vista modal y geoquímico.
- Establecer el contexto tectónico del emplazamiento de los magmas asociados a la formación de las rocas porfiríticas, utilizando diferentes diagramas geoquímicos propuestos para tal fin en la literatura.
- Reconocer los tipos de alteración hidrotermal presentes en las rocas porfiríticas objeto de estudio a partir de análisis mineralógicos a nivel de muestra de mano, microscopía óptica y DRX.
- Establecer a la luz de los nuevos datos la relación temporal (en términos relativos, no absolutos) y de posible causa-efecto existente entre el

magmatismo asociado a la formación de las rocas porfiríticas y los diferentes tipos de alteración hidrotermal presentes en estas rocas.

2. METODOLOGÍA

Para el logro de los objetivos antes mencionados, se siguió una metodología convencional compuesta de las siguientes fases de estudio: a) Oficina, b) campo y c) laboratorio.

La fase de oficina consistió principalmente en la búsqueda y análisis de la información existente acerca de la geología del Macizo de Santander y específicamente el Distrito Minero de Vetas-California, con el fin de conocer los diferentes estudios de algunos autores que han aportado al conocimiento geológico en la zona de estudio.

Seguida de la fase de oficina se llevó a cabo la fase de campo, la cual se basó en trabajos realizados por un grupo de estudiantes de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander durante las prácticas de cartografía geológica de superficie realizadas en el marco de la asignatura Campo II desarrollada en el área del Distrito Minero de Vetas-California, los cuales fueron soportados por una salida de campo de 5 días en donde se hizo la toma de muestras georeferenciadas y demás datos de campo durante el reconocimiento del sector conocido como 'La Francia'.

Por último se desarrolló la fase de laboratorio en donde se realizó: a) la descripción macroscópica de las muestras colectadas previamente en la fase de campo, b) el análisis de las muestras mediante microscopía óptica, c) la identificación de las fases minerales presentes en las muestras de roca mediante análisis de Difracción de Rayos X (DRX) y d) el análisis de la composición química (geoquímica) de las rocas.

A continuación se describen las condiciones en las cuales se realizaron los respectivos análisis de laboratorio y las características de los equipos analíticos utilizados:

Durante los análisis macroscópicos de las muestras colectadas en campo, se documentó, entre otros rasgos, el color (basado en la percepción del autor sin tener en cuenta ninguna tabla de la literatura), la composición mineralógica de las rocas y sus características estructurales y texturales. Para apoyar esta descripción, se utilizó una lupa marca NIKON N1-150 modelo C-PS localizada en el laboratorio de lupas de la Escuela de Geología (Universidad Industrial de Santander).

Para los análisis de microscopía óptica (estudio de láminas delgadas), se empleó un microscopio de luz transmitida marca NIKON ECLIPSE E 200 50/POL con cámara Digital Sight DS-SM y pantalla Digital Sight DS-L1, localizado en el laboratorio de microscopía óptica de la Escuela de Geología (Universidad Industrial de Santander). En el marco de estos análisis, se estudia la textura, composición, asociaciones y alteraciones minerales de cada una de las muestras colectadas.

Previo a los análisis de DRX del agregado en polvo (fracción de muestra de roca pulverizada en una malla de 250), se preparó la muestra sometiéndola a su trituración, molienda, tamizado, pulverización y cuarteado para seleccionar una fracción representativa de esta. Este tratamiento se llevó a cabo en el laboratorio de preparación de muestras de la Escuela de Geología de la UIS. Posteriormente, el agregado en polvo de cada una de las muestras estudiadas se montó en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado frontal. Seguidamente, se

realizó la toma de los datos de difracción bajo las condiciones analíticas relacionadas en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Condiciones analíticas de calibración para la realización de los análisis de Difracción de Rayos X (DRX).

CONDICIÓN	UNIDADES
Voltaje	40KV
Corriente	30 mA
Rendija de Divergencia	0.15 mm
Rendijas Soller Primario	2°
Muestreo	0.02° 2theta
Rango de Medición	2-70° 2theta
Radiación	CuK α 1
Monocromador	Grafito
Detector	Centelleo
Tipo de Barrido	Continuo
Tiempo de Muestreo	1 Segundo

La identificación de las fases minerales presentes en los agregados en polvo se realizó comparando los perfiles de DRX obtenidos para nuestras muestras, con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data (ICDD)*, refinando esta comparación mediante el Método de Rietveld. Un equipo de DRX marca SIEMENS modelo D500, del laboratorio de DRX de la Escuela de Química de la UIS, fue utilizado durante estos

estudios. Los análisis de DRX se realizaron para identificar las fases minerales presentes en las muestras, especialmente de aquellas de granulometrías muy finas, en donde las fases minerales no se identifican fácilmente mediante análisis de microscopía óptica.

Finalmente, la preparación de las muestras para los análisis de geoquímica se inició con la partición de estas para reducirlas a un tamaño de grano de 6 mm y posteriormente poder ser trituradas y pulverizadas. Estos análisis se realizaron en el laboratorio ALS Colombia Ltda. localizado en Funza (Cundinamarca) mediante diferentes métodos: fluorescencia de rayos X (o espectrometría de fluorescencia) para los elementos mayores y fusión total de la muestra en borato de litio para los elementos trazas y tierras raras (REE). Cabe mencionar que posterior al análisis de fusión total de las muestras, los resultados se analizaron mediante la técnica ICP-MS, y la preparación de estas para el análisis de los óxidos (elementos mayores) se hizo con borato de litio al igual que para el análisis de fusión total, a excepción del óxido ferroso (FeO) el cual pasó por una digestión ácida de H_2SO_4 -HF. La clasificación geoquímica de las rocas porfiríticas objeto de estudio se llevo a cabo utilizando el software MinPet versión 2.02 y el software IgPet versión 2005.

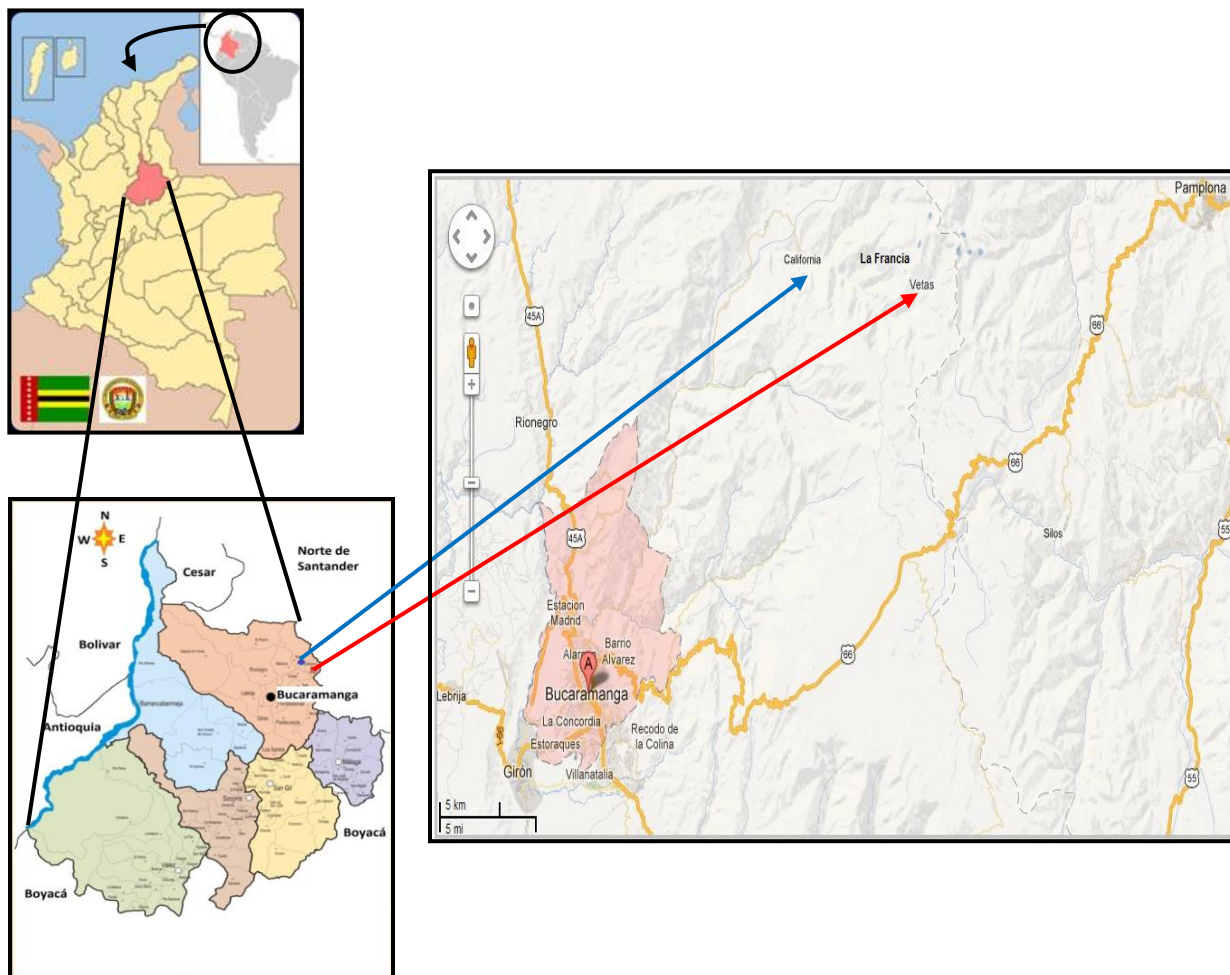
3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El sector de La Francia se encuentra localizado geográficamente entre los Municipios de Vetás y California, en el Departamento de Santander, hacia el Noreste de Bucaramanga (Capital del Departamento), Cordillera Oriental Colombiana (**Figura 1**).

El área que abarca el presente estudio es aproximadamente de 1 Km² debido a que por causas de alta pendiente y abundante vegetación, entre otras, no es posible acceder a los alrededores de la Mina abandonada La Francia, la cual está ubicada en las coordenadas (origen Bogotá) X= 1'303.065 ±8 m, Y= 1'130.059 ±8 m y Z= 2755 m.s.n.m.

Figura 1. Localización geográfica del sector de La Francia.

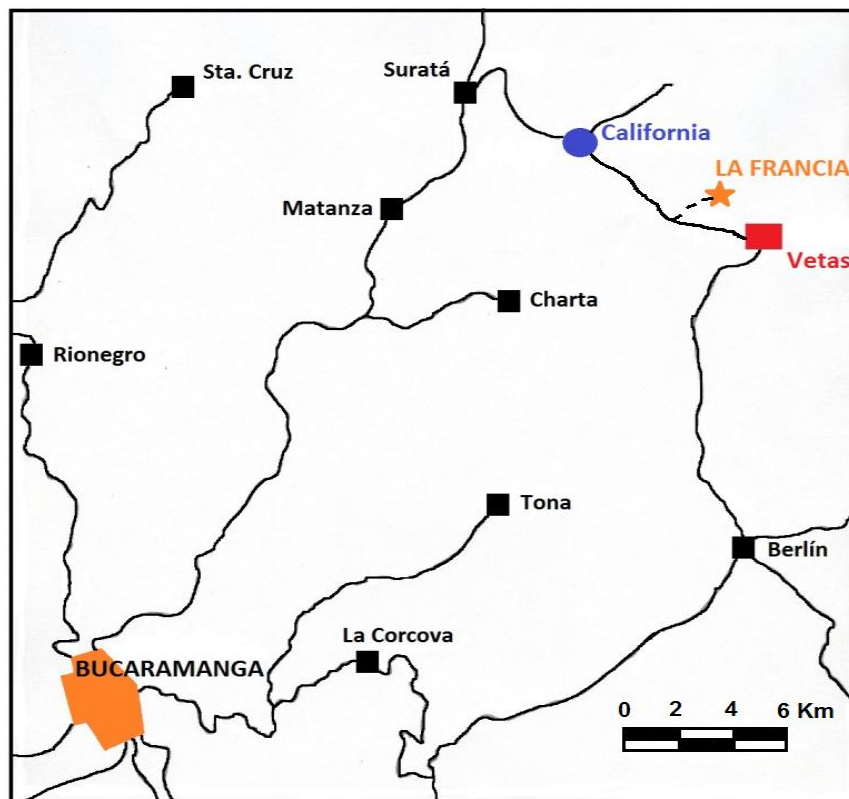


Adaptado de www.santander.gov.co y <http://maps.google.es/>

La vía de acceso principal que conlleva a la zona de estudio es una carretera pavimentada en buen estado hasta proximidades del Municipio de Matanza, y luego destapada, que parte desde el Noreste de Bucaramanga hacia el Municipio de California ubicado aproximadamente a 52 Km de esta, pasando por el Municipio de Suratá (**Figura 2**). Desde el Municipio de California se encuentra una vía con destino al Municipio de Vetás (ubicado aproximadamente a 67 Km de Bucaramanga) de la cual se desprende un camino de herradura que se dirige a

cercanías de la Quebrada La Plata en donde se localiza la Mina La Francia (de ahí lo que se ha denominado el sector de La Francia).

Figura 2. Mapa de vías que muestra el recorrido desde Bucaramanga hasta el Distrito Minero de Vetas-California.



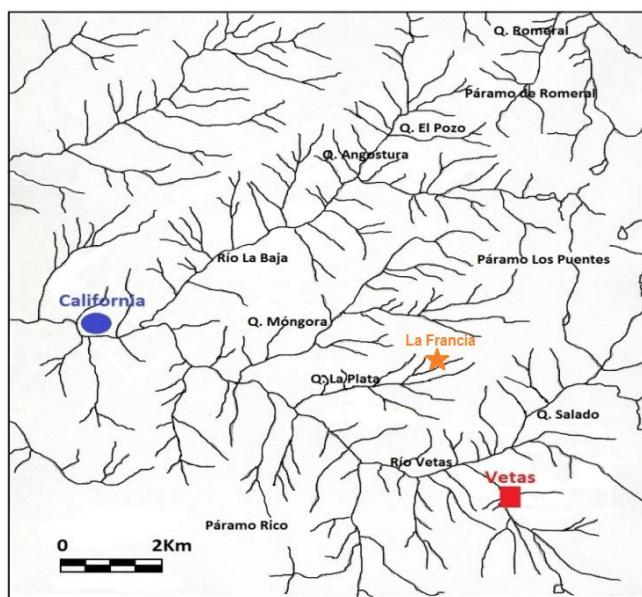
Adaptado de Ward et al. (1970)

Otra vía para acceder al sector de La Francia también se muestra en la **Figura 2**, partiendo igualmente desde la ciudad de Bucaramanga hacia el Corregimiento de Berlín, el cual está localizado a unos 25 Km del Municipio de Vetas y unos 85 Km de la capital Santandereana.

3.2 RASGOS FISIOGRÁFICOS GENERALES

Santander es uno de los departamentos más montañosos de Colombia, tal como se evidencia en la fisiografía del Macizo de Santander (Cordillera Oriental), la cual muestra un relieve de escarpado a moderado (Royero y Clavijo, 2001). La Mina La Francia (en general el sector de la Francia) se encuentra a una altura entre 2600 y 2800 metros sobre el nivel del mar, donde predomina un clima templado a frío y en donde la temperatura varía desde los 20°C en el día hasta los 4°C en la noche. El agua es escasa en verano, pero en época de lluvias se presentan arroyos con rápidos cauces. El Río Vetás y la Quebrada La Baja corren en valles profundos en forma de V (Ward et al., 1970), y muy cerca de la zona de estudio existe una corriente principal de agua que es la Quebrada La Plata, la cual vierte sus aguas en el Río Vetás. El patrón de drenaje en general es dendrítico a subparalelo (**Figura 3**).

Figura 3. Esquema ilustrativo del sistema de drenajes del Distrito Minero de Vetás-California y localización en éste del sector de La Francia.



Adaptado de Ward et al. (1970).

4. MARCO GEOLÓGICO

A continuación se presenta un breve resumen del estado del arte sobre la geología del Macizo de Santander, apoyado en la información geológica existente, en aras de establecer de manera general el marco geológico regional y local del área de estudio. Por su relación con este trabajo, se hará más énfasis en los eventos magmáticos reconocidos en el macizo hasta la fecha. Finalmente, también se presentará un resumen sobre las mineralizaciones presentes en el distrito.

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Desde el punto de vista del conocimiento de la historia magmática del Macizo de Santander, es importante resaltar que estudios geológicos previos, apoyados en dataciones puntuales o en simples observaciones de campo, permiten identificar al menos cinco eventos magmáticos:

1. Un evento relacionado con inyecciones de fundidos graníticos, responsables de la formación de plutones y pegmatitas, al cual se le asigna una edad K-Ar en torno a 461 ± 10 Ma. a partir del estudio de una moscovita de una pegmatita (Ward et al., 1973).
2. Un evento granítico, responsable de la formación de la Monzonita de Onzaga, con una edad reportada en torno a 394 ± 23 Ma. según Boinet et al. (1985).

3. Un evento magmático de composición entre diorita a granito, responsable de la formación de batolitos y plutones tales como los cuerpos ígneos de Páramo Rico, Santa Bárbara, Pescadero, Mogotes, Rionegro, entre otros, agrupados dentro del denominado Grupo Plutónico de Santander (Mantilla et al., 2009). Las edades Rb-Sr y U-Pb obtenidas para estos cuerpos, relacionan estas litologías con un importante evento magmático que tuvo lugar hace unos 210 Ma. (Triásico) (Goldsmith et al., 1971; Polania, 1982; Dörr et al., 1995).
4. Un evento magmático responsable de la formación, posiblemente simultánea, de diques riolíticos y de diabasas (magmatismo bimodal?), al parecer del Cretácico Inferior, tomando como referencia algunas dataciones K-Ar en sanidinas obtenidas a partir de diques porfiríticos del sector de Ocaña (127 ± 3 Ma.) (Ward et al., 1973). Este evento es relativamente especulativo debido a la poca información existente.
5. Un evento magmático de posible edad Finicretácico-Eoterciario en torno a 57 ± 10 Ma., según extrapolación de las edades Re-Os obtenidas a partir de concentrados de piritas de filones auríferos del área de California (Mathur et al., 2003).

Estudios geocronológicos recientes U-Pb en circones, realizados por Mantilla et al. (2009; 2011), apuntan a la existencia de un pulso magmático de edad Mioceno Tardío (entre 10.9 y 8.4 ± 0.2 Ma.), reconocido por ahora en el Distrito Minero de Vetás-California mediante la presencia de diques y cuerpos de rocas porfiríticas que no sobrepasan un kilómetro cuadrado de exposición. Por otro lado, estos

autores ponen en duda la edad del evento magmático reportado por Mathur et al. (2003).

En resumen, en el Distrito Minero de Vetas-California las rocas ígneas reconocidas hasta la fecha se han relacionado con eventos magmáticos del Ordovícico Medio (posibles pegmatitas datadas en otras áreas del macizo en torno a 461 ± 10 Ma.), del Triásico – Jurásico (rocas graníticas) y las del Mioceno (rocas porfiríticas) (Ward et al., 1977; Mantilla et al., 2011).

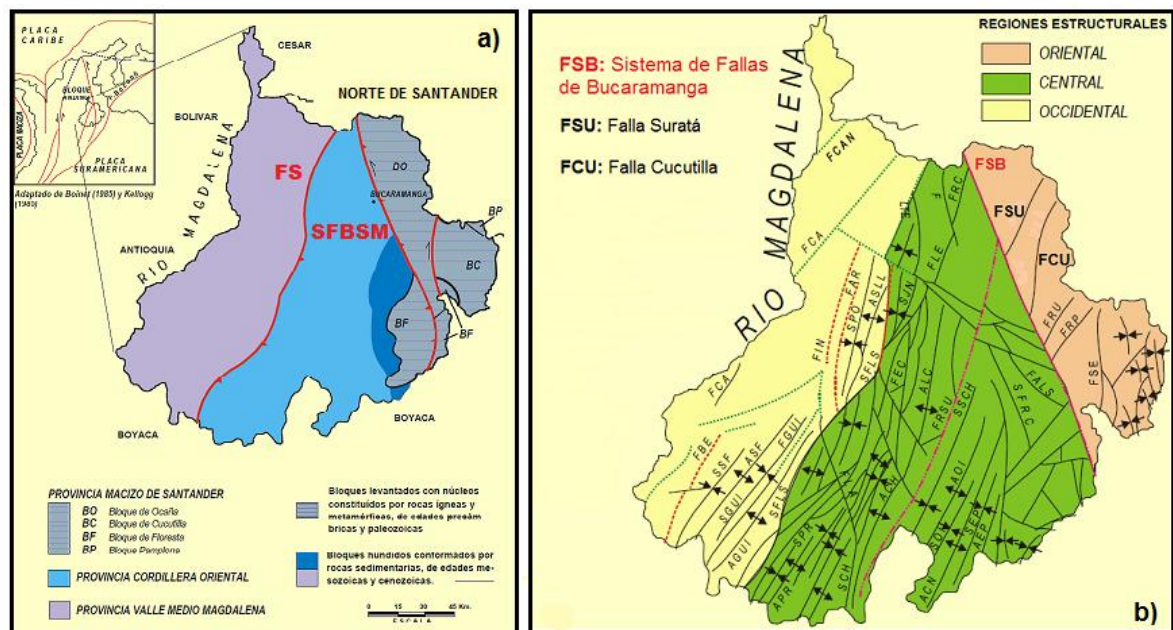
Desde el punto de vista tectónico, Royero y Clavijo (2001) consideran que el Nororiente Colombiano de Los Andes es un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico. Su conformación está relacionada con la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramérica, y el área de Santander por encontrarse dentro de este dominio, despierta gran interés y genera discusiones sobre su origen y su conformación geológica. Para la caracterización tectónica del territorio de Santander, estos mismos autores lo han subdividido en tres provincias tectónicas como son la del Macizo de Santander, la del Valle Medio del Magdalena y la de la Cordillera Oriental, las cuales están limitadas por el Sistema de Fallas Bucaramanga-Santa Marta (SFBSM) y la Falla Suárez (FS) (**Figura 4a**).

El Sistema de Fallas Bucaramanga-Santa Marta es el rango estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región Centro-Oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes satelitales y fotografías aéreas (Royero y Clavijo, 2001). Además, es considerada como un sistema de fallas de rumbo (Campbell, 1965; León, 1991; Vargas y Niño, 1992; Clavijo et al., 1993),

con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz (1969; 1974) entre 100 y 110 Km.

Otras fallas presentes a nivel regional son las fallas Cucutilla y Suratá (**Figura 4b**), las cuales se consideran satélites de la falla de Bucaramanga y de alguna manera han debido afectar el desarrollo del Distrito Minero de Vetás-California (Mantilla et al., 2011). La falla de Cucutilla se localiza en la parte central del Macizo de Santander con una dirección Noreste; y la falla de Suratá presenta un rumbo predominante N15°E, su trazo sigue el curso del Río Suratá y se prolonga en el Departamento de Norte de Santander. Asimismo, es una falla inversa de ángulo alto y su plano de falla buza al Noroccidente (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 4. Tectónica regional en el área de estudio: **a)** Esquema de las provincias tectónicas de Santander; **b)** Esquema estructural del Departamento de Santander.

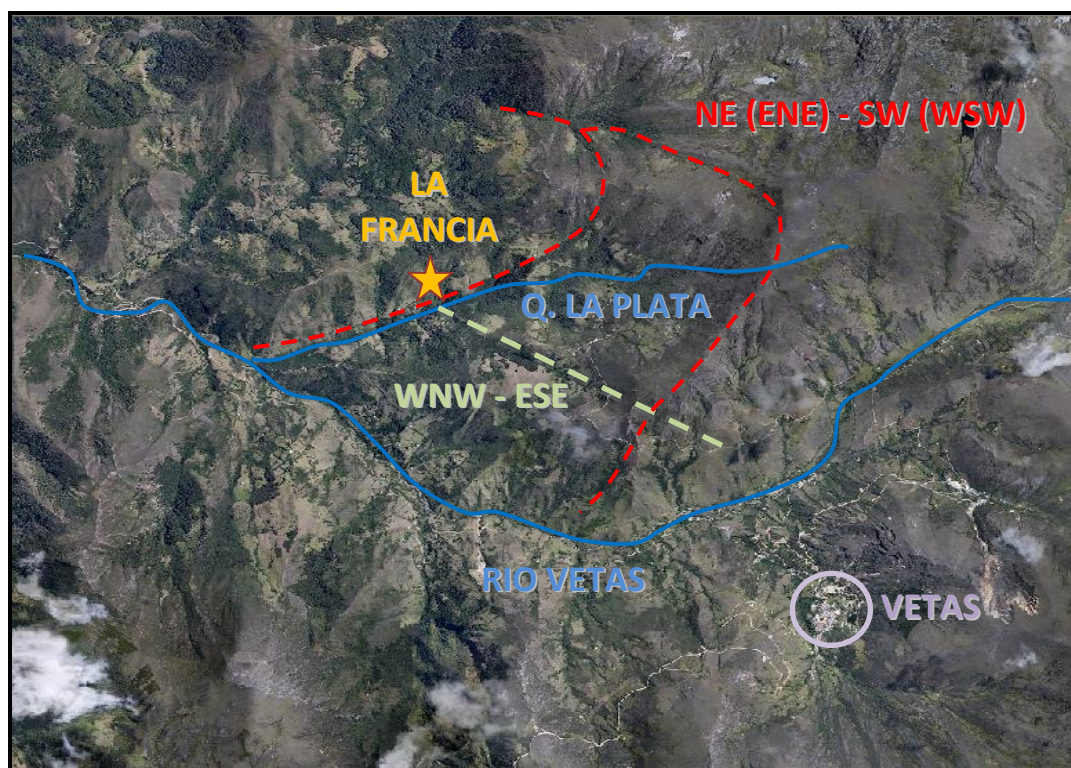


Adaptado de Clavijo et al. (1993); Vargas (1979); León (1986; 1991).

En una primera aproximación al Distrito Minero de Vetas-California, resulta muy evidente (a partir de imágenes aéreas y la configuración de su drenaje; **Figuras 1c, 3 y 5**) la existencia de dos familias de lineamientos: una de dirección aproximada NE (ENE) - SW (WSW) y otra de dirección WNW - ESE. Estos lineamientos representan fallas geológicas tal como se han representado en un esquema geológico preliminar publicado por Mantilla et al. (2011). En este sentido, tanto la Mina La Francia (*sensu stricto*), como el sector aquí denominado La Francia (*sensu lato*), se proyectan al interior del bloque conformado por las Fallas Móngora (localizada al Oeste) y la Falla La Plata (localizada al Este), y muy próxima a ésta última y a su intersección con un lineamiento de dirección WNW - ESE (**Figura 5**).

Aunque el objetivo del presente trabajo de Tesis de Pregrado no es la historia de deformación del Distrito Minero de Vetas-California, aquí se sugiere que la supuesta curvatura de la Falla La Plata (lineamiento de dirección NE (ENE) - SW (WSW)), en un sector donde ésta es intersectada por un lineamiento de dirección WNW - ESE (**Figura 5**), podría estar indicando que ésta última familia de lineamientos es el resultado de una tectónica reciente (seguramente más reciente que aquella responsable de la formación de las fallas o lineamientos de dirección NE (ENE) - SW (WSW)), que pudo haber favorecido el escape de fluidos magmático-hidrotermales responsables de la mineralización en el sector de La Francia.

Figura 5. Imagen satelital adaptada del área de estudio.



Fuente: Empresa CVS Explorations Ltda.

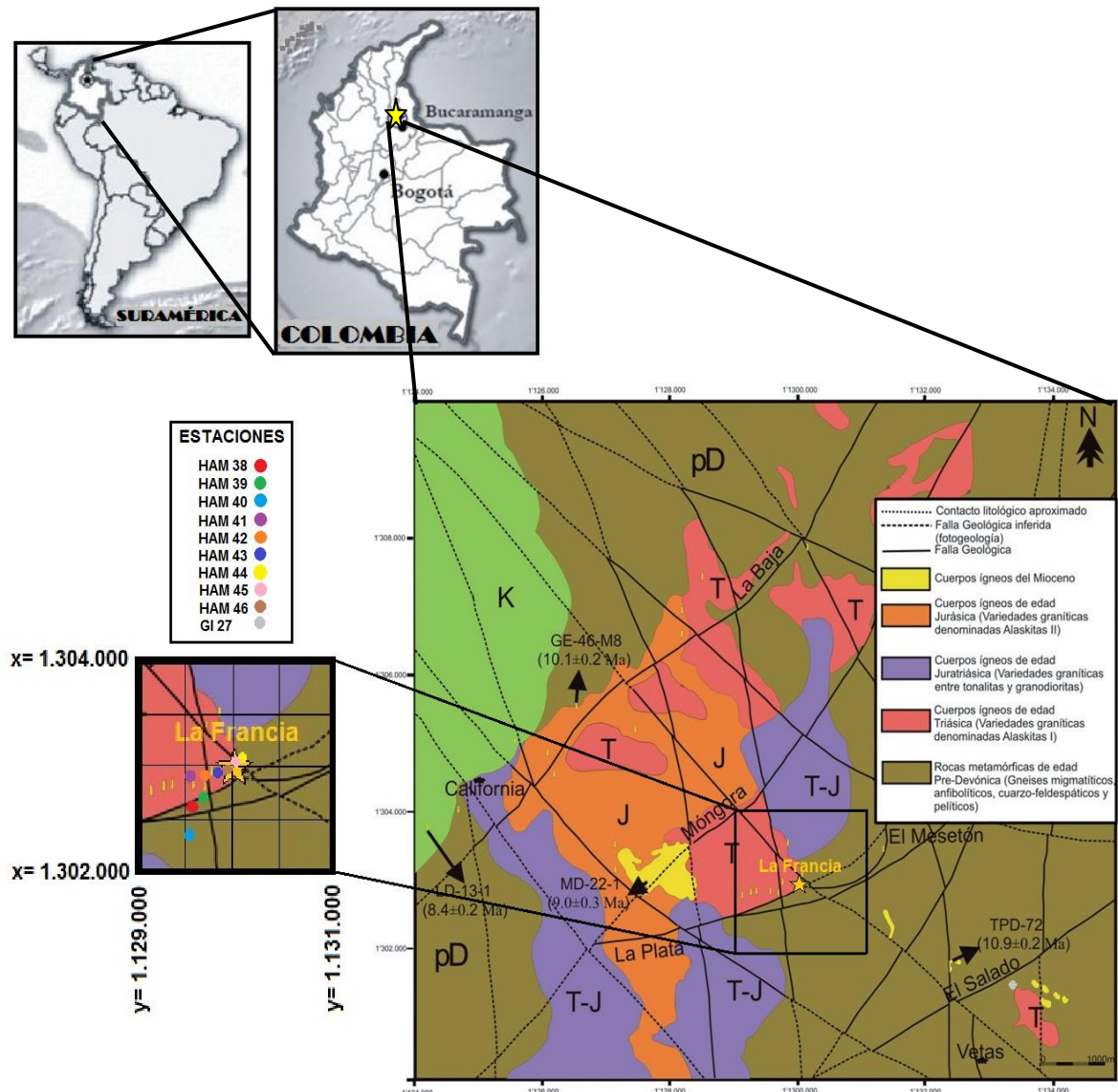
4.2 GEOLOGÍA LOCAL

Entre las litologías aflorantes en el Macizo de Santander se destacan las rocas metamórficas agrupadas dentro de un gran paquete denominado rocas 'Pre-Devónicas' del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). A estas litologías Pre-Devónicas pertenecen las unidades y formaciones denominadas: Neis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará, Ortoneis, y seguramente también una secuencia de rocas meta-siliciclásticas denominadas en diferentes sectores del macizo como Formación La Virgen, Metasedimentitas de Guaca, entre otros nombres relacionados en la bibliografía especializada (Ward et al., 1973; Clavijo, 1994; Ríos y García, 2001; entre otros).

En el área del Distrito Minero de Vetas-California solo se han reconocido las rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga y unos metagabros-metadioritas de edad Ordovícico Temprano (Ward et al., 1973; Mantilla et al., 2011).

Desde el punto de vista de las litologías aflorantes al interior del bloque comprendido por las Fallas Móngora y La Plata (**Figura 6**), destaca la presencia de algunos sectores con rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga (de Edad Neoproterozoico), granitoides de edad Triásico Tardío-Jurásico Temprano (TJ) y diques porfiríticos los cuales se consideran de edad Neógeno (más concretamente del Mioceno Tardío), según dataciones U-Pb de rocas relativamente similares reportadas en Mantilla et al. (2009; 2011).

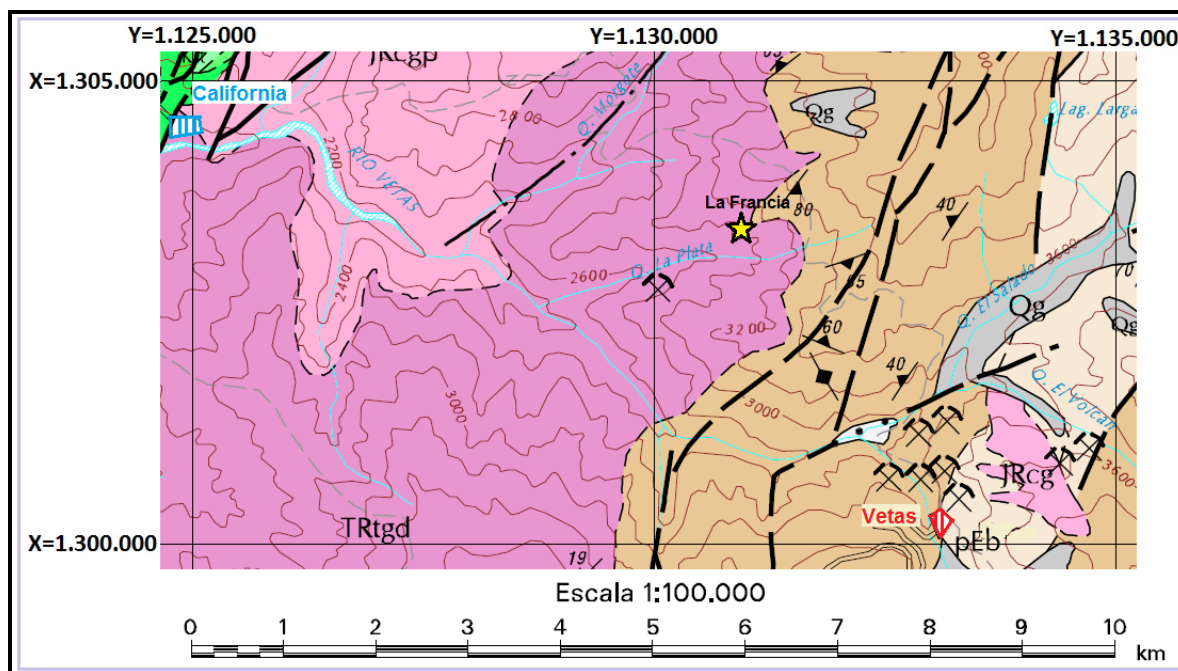
Figura 6. Esquema geológico del Distrito Minero de Vetas-California y las estaciones hechas en campo.



Adaptado de Mantilla et al. (2011)

Según la cartografía geológica a escala 1:100.000 (según Ward et al., 1977), en el sector de la Francia afloran rocas tonalíticas y granodioríticas de edad Triásico (**Figura 7**), pero como se demostrará más adelante, esos tipos de rocas intermedias no son representativas del área objeto de estudio.

Figura 7. Esquema geológico del Distrito Minero de Vetras-California donde se muestra el sector de La Francia.



ROCAS IGNEAS	
JRcg	Cuarzo monzonita y granito
JRcgp	Cuarzo monzonita, aplita y pórfido
TRtgd	Tonalita y granodiorita
ROCAS METAMÓRFICAS	
pEb	Neis de Bucaramanga
pEbh	

Adaptado de Ward et al. (1977).

Tomando en cuenta las afirmaciones anteriores y en base a las litologías previamente reconocidas y colectadas en el sector de La Francia (**Tabla 2**), se afirma la presencia de tres grupos de variedades litológicas en la zona: rocas metamórficas del Precámbrico, rocas ígneas graníticas del Jura-Triásico y rocas ígneas porfiríticas del Neógeno.

Tabla 2. Estaciones de campo y sus correspondientes variedades litológicas muestreadas. (M: Roca Metamórfica, I: Roca Ígnea).

EDAD	COD. ESTACIÓN	COD. MUESTRA	TIPO DE ROCA	COORDENADAS			NOMBRE DE LA ROCA
				X	Y	Z	
Pre-cámbrico	HAM 38	HAM 38-1	M	1'302.714	1'129.549	2608	Neis Cuarzo-feldespático micáceo
		HAM 38-2	M	± 4 m	± 4 m	m.s.n.m.	
	HAM 40	HAM 40-1	M	1'302.287	1'129.499	2632	
				± 13 m	± 13 m	m.s.n.m.	
Jura-Triásico	HAM 40	HAM 40-2	I	1'302.287	1'129.499	2632	Granito leucocrático
				± 13 m	± 13 m	m.s.n.m.	
	HAM 41	HAM 41-1	I	1'302.851	1'129.457	2626	
				± 11 m	± 11 m	m.s.n.m.	
	HAM 44	HAM 44-2	I	1'303.065	1'130.059	2755	
				± 8 m	± 8 m	m.s.n.m.	
Neógeno	HAM 39	HAM 39-1	I	1'302.814	1'129.694	2593	Riodacita
		HAM 39-2	I	± 4 m	± 4 m	m.s.n.m.	Granodiorita
	HAM 42	HAM 42-1	I	1'302.856	1'129.543	2656	Dacita
				± 5 m	± 5 m	m.s.n.m.	
	HAM 43	HAM 43-1	I	1'302.924	1'129.643	2673	Dacita
				± 4 m	± 4 m	m.s.n.m.	
	HAM 44	HAM 44-1	I	1'303.065	1'130.059	2755	Riodacita
		HAM 44-3	I	± 8 m	± 8 m	m.s.n.m.	Dacita
	HAM 45	HAM 45-1	I	1'303.055	1'130.052	2776	Riodacita
				± 21 m	± 21 m	m.s.n.m.	
	HAM 46	HAM 46-1	I	1'302.982	1'129.766	2705	Granodiorita
				± 4 m	± 4 m	m.s.n.m.	
	GI 27	GI 27-M2	I	1'301.363	1'133.455	3201	Riodacita
				± 11 m	± 11 m	m.s.n.m.	

4.3 ESTUDIOS RELACIONADOS CON LA MINERALIZACIÓN EN EL DISTRITO MINERO DE VETAS-CALIFORNIA

Ward et al. (1970) en su publicación acerca de los recursos minerales de los departamentos de Santander y Norte de Santander, afirman que la aparición del oro en Vetás ocurrió después de la fundación de Pamplona en el año 1555, desatando la fiebre del oro hasta 1644 cuando las minas fueron abandonadas. Después fueron trabajadas periódicamente hasta 1886 por compañías privadas como Colombian Mining Association y Francia Gold and Silver Company, produciéndose en 1966 un promedio mensual de 15, 844 gramos de oro, del cual el 75% provino de Vetás. Además, señalan que en el Distrito por lo general la mineralización se manifiesta principalmente por silicificación, predominando la pirita en fracturas y zonas de cizallamiento. Los cuerpos mineralizados, generalmente de alta inclinación, siguen estas zonas estrechas de cizallamiento y fracturas en la roca encajante silicificada y alterada.

Ward et al. (1973) también desarrollaron la cartografía geológica de los cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona, en donde describen los rasgos estructurales y edades de las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas en los departamentos de Santander y Norte de Santander, evidenciando que una alta actividad magmática se produjo en el área y generó los fluidos que interactuaron con las rocas del Macizo de Santander y dieron lugar a las mineralizaciones de metales preciosos.

Mendoza y Jaramillo (1979) en un estudio geoquímico realizado en un área que abarca 24 km² en el Municipio de California, afirman que la mineralización auroargentífera de esta zona es de carácter filoniano y está relacionada tanto con el pórfido de California como el pórfido de Vetás, los cuales conforman la roca

encajante y demuestran su importancia en los procesos hidrotermales debido a las alteraciones presentes de este tipo como silicificación y sericitización. Sin embargo, también reconocen que la mineralización primaria en el Municipio de California ocurrió bajo condiciones mesotermales a epitermales, posiblemente haciendo parte de un evento contemporáneo o más joven que los cuerpos porfiríticos asociados a la mineralización.

Sillitoe et al. (1982) describen tres prospectos de depósitos pórfiricos de cobre en los Andes Colombianos, donde el Distrito Minero de Vetas-California hace parte de uno de ellos, el cual fue generado durante el Jurásico Medio al Cretáceo Temprano con edades de 144 ± 3 Ma., donde se reconocieron alteraciones como argílica avanzada (caracterizada por la presencia de alunita, caolinita y pirofilita), silicificación y sericitización, al igual que brechas hidrotermales. Estos autores también aclaran que los pórfidos de cobre formados en ambiente continental tienden a ser más ricos en molibdeno que los formados en ambiente oceánico; sin embargo, cuando hay presencia de oro esta aclaración es contraria, pero en el caso del Distrito Minero de Vetas-California no parece ser muy cierta debido a que ellos mencionan a California como uno de los municipios ricos en oro de la Cordillera Oriental Colombiana.

Galvis (1998) expone una estructura de forma anular que tiene por centro el Cerro El Violetal y su litología es un pórfido principalmente de moscovita, pirita y calcopirita de grano fino y como minerales secundarios calcantita y carbonatos, que presenta alteración fílica (silicificación) y parece haberse originado en un colapso que formó una caldera cuyas fallas circulares sirvieron de vía para el posterior ingreso del pórfido y soluciones hidrotermales las cuales determinaron la alteración y las mineralizaciones de edad post-Cretácica.

Buenaventura (2002) nombra una Provincia Metalogénica Central en Colombia, cuyo potencial aurífero está supeditado a la superposición de dos eventos metalogénicos que tuvieron lugar uno en el Mesozoico (desde el Triásico-Jurásico hasta el Cretáceo) y otro en el Cenozoico (durante el Neógeno), donde la época metalogénica del Mesozoico estuvo asociada con una intensa actividad magmática de tipo alcalino y de composición ácida que dio lugar a mineralizaciones epitermales auríferas de tipo filoniana y diseminada, además de pórfidos cupríferos con molibdeno; y la época metalogénica del Cenozoico estuvo asociada con un magmatismo calcoalcalino, dando lugar a depósitos epitermales de metales preciosos de tipo filoniano y diseminados tanto en la Cordillera Central como en el Cordillera Oriental.

Mathur et al. (2003), por medio de dataciones Re-Os en piritas de filones auríferos de las Minas La Plata (California) y El Volcán (Vetas), relacionan la mineralización aurífera de Vetas y California con un pulso magmático dacítico de edad en torno a 57 ± 10 Ma. También proponen un tipo de depósito de alta sulfuración para California y uno de baja sulfuración para Vetas.

Felder et al. (2005) indican que la Cordillera Oriental de Colombia, y más concretamente el Macizo de Santander, presenta mineralizaciones hidrotermales, especialmente de Au-Ag (Distrito Minero de Vetas-California), consideradas como formadas en ambientes epitermales.

Mantilla et al. (2009; 2011) relacionan las rocas porfiríticas presentes en el Distrito Minero de Vetas-California con pulsos magmáticos que tuvieron lugar durante el Mioceno Tardío (con edades U-Pb en circones entre 10.9 y 8.4 ± 0.2 Ma.). Dataciones Re-Os en Molibdenitas (en Mantilla et al., 2012; Bissig et al., 2012) de

venas de cuarzo-molibdenita, presentes en el sector de la Mina El Cuatro (Quebrada La Baja), han permitido establecer que este pulso magmático del Mioceno Tardío guarda relación directa (causa-efecto) con los estilos de mineralización porfirítico reconocidos en sectores concretos a lo largo de la Quebrada La Baja. Asimismo, estos autores mencionan la existencia de estilos de mineralización epitermal, los cuales se sobre imponen a los estilos de mineralización porfirítica antes mencionados.

5. RESULTADOS

5.1 LITOLOGÍAS AFLORANTES EN EL SECTOR DE LA FRANCIA

En este apartado se presentan los rasgos macroscópicos y microscópicos de las litologías reconocidas y colectadas en el sector de La Francia (**Figura 6; Tabla 2**). La composición mineralógica de las muestras aquí estudiadas se apoya tanto en análisis de microscopía óptica, como en análisis de Difracción de Rayos X (DRX).

Vale la pena mencionar que algunas de las rocas antes mencionadas han sido afectadas localmente por procesos de alteración hidrotermal. Por tal razón, para cada grupo de litologías se elaboró una tabla indicando el tipo de roca y diferenciando cuáles minerales son primarios (metamórficos (M) e ígneos (I)), de alteración supergénica (A.S.) y de alteración hidrotermal (A.H.).

A continuación se describe por separado cada uno de los grupos de rocas reconocidos en la zona de estudio:

5.1.1 Rocas metamórficas del Precámbrico

Las rocas metamórficas aflorantes en el sector de La Francia pertenecen al Neis de Bucaramanga (según Clavijo, 1994), el cual representa un evento Orogénico Precámbrico en torno a 1100 Ma. (según Ward et al., 1973) relacionado con la Orogenia Grenvilliana (según Restrepo-Pace et al., 1997; Cordani et al., 2005; Mantilla et al., 2012).

A escala de afloramiento se evidencia el desarrollo de un importante diaclasamiento (**Figura 6; Figura 8**) orientado en la misma dirección de la Quebrada La Plata (NE (WNE)).

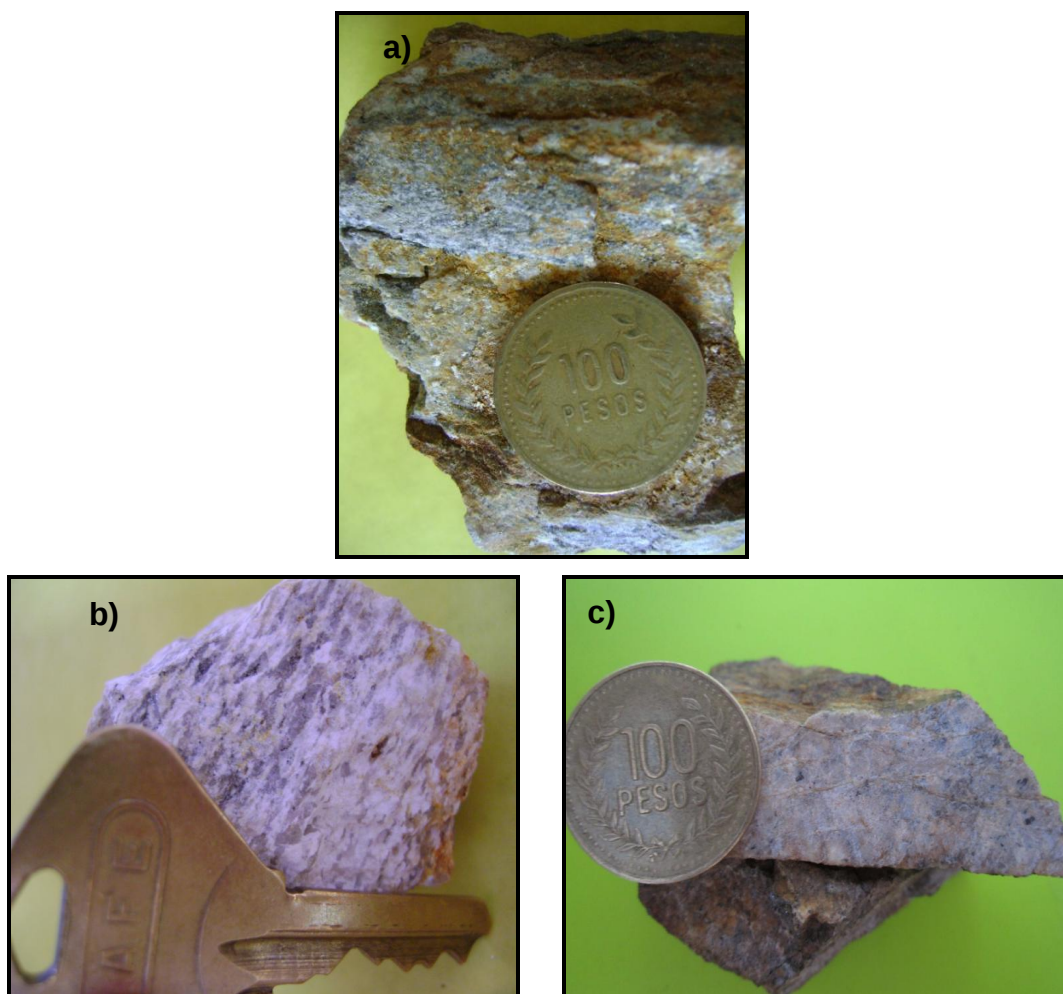
Figura 8. Afloramiento de las rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga en el sector de La Francia (Estación HAM 38).



A escala de muestra de mano, estas rocas metamórficas néisicas presentan tamaño de grano medio y están compuestas principalmente por cuarzo, biotita, moscovita y plagioclasa. Asimismo, por la vía que comunica el carreteable Vetás-California con el sector de La Francia, en estas rocas se observan pátinas de óxidos de hierro (**Figura 9 a; Tabla 2**); a 80 metros de un puente sobre el margen derecho de la Quebrada La Plata aguas abajo se muestran con algunas fracturas rellenas de minerales del grupo de las arcillas (**Figura 9 c; Tabla 2**) y a 300

metros de la misma Quebrada, en un sitio conocido como Santo Ecce Homo, presentan un bandeo composicional de cuarzo muy marcado (**Figura 9 b; Tabla 2**).

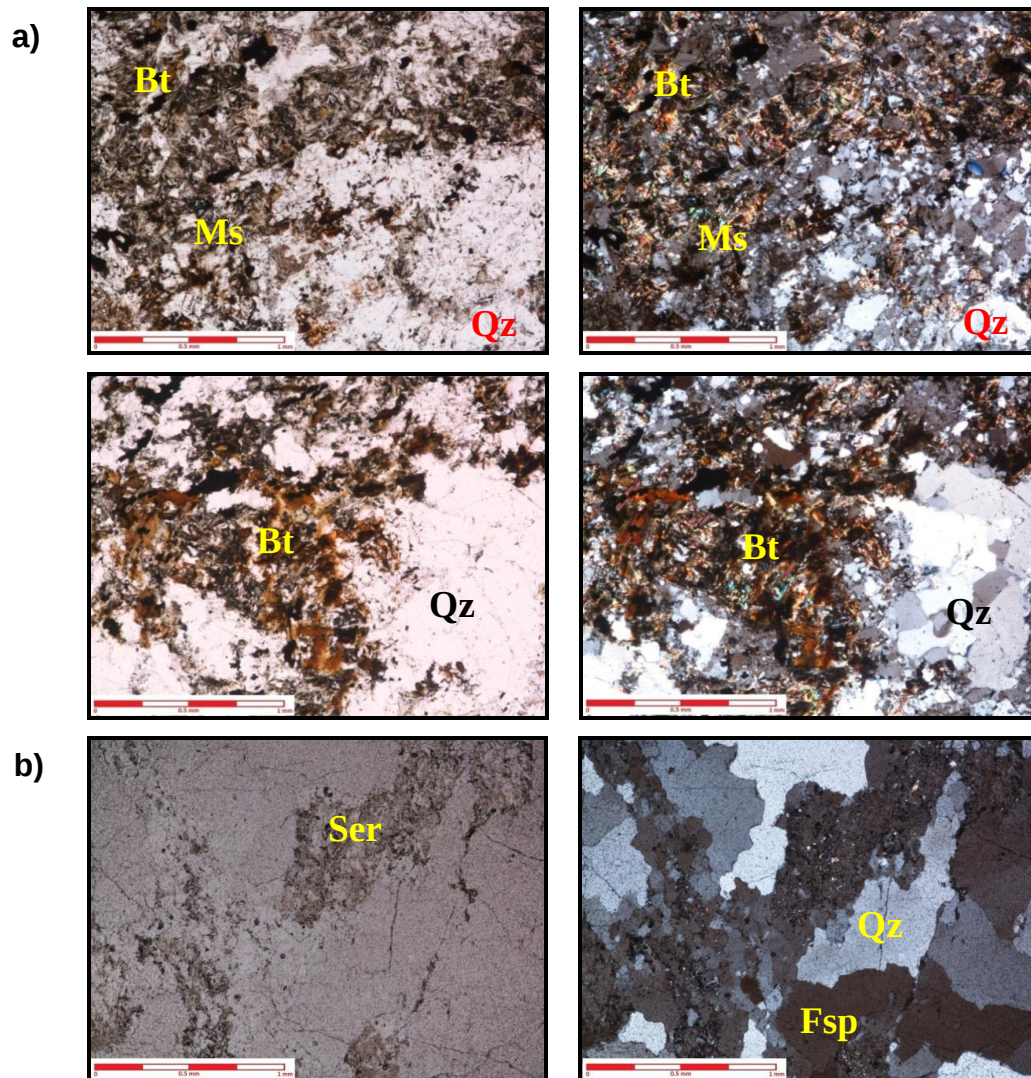
Figura 9. a) Neis cuarzo feldespático micáceo con oxidación (muestra HAM 38-1); **b)** Neis cuarzo feldespático micáceo con bandeo composicional (muestra HAM 38-2); **c)** Neis cuarzo feldespático micáceo muy fracturado (muestra HAM 40-1).

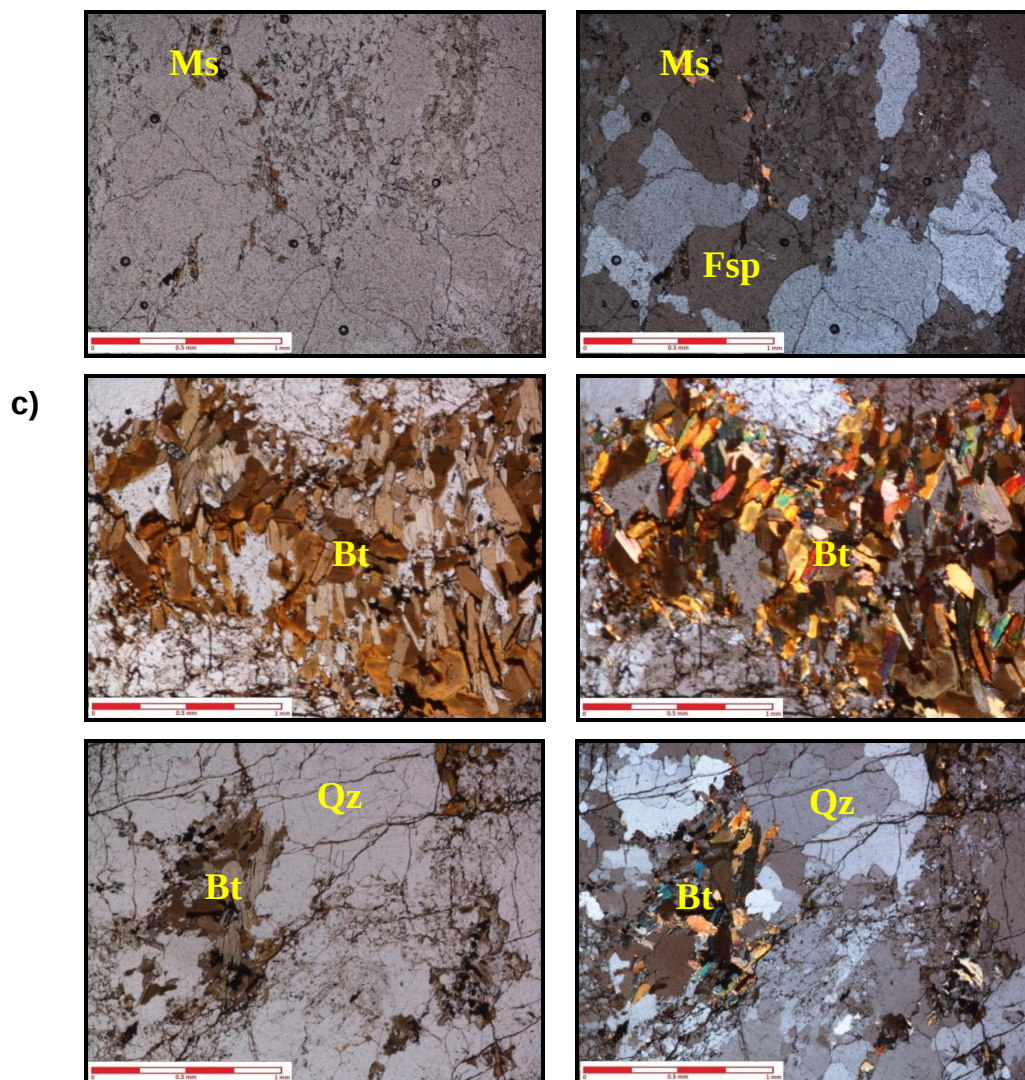


A nivel petrográfico, las rocas metamórficas del Precámbrico están compuestas principalmente por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y sericita, al igual que

biotita y moscovita orientadas a lo largo de los planos de foliación regional (**Figura 10 a**). La biotita se presenta formando agregados finos de aspecto escamosos (**Figura 10 c**) y localmente estas rocas presentan alteraciones hidrotermales tipo silicificación (**Figura 10 b**).

Figura 10. a) Neis cuarzo feldespático micáceo con alteración potásica? (Muestra HAM 38-1); **b)** Neis cuarzo feldespático micáceo con silicificación hidrotermal (Muestra HAM 38-2); **c)** Neis cuarzo feldespático micáceo con biotita en agregado escamoso? (Muestra HAM 40-1). (**Izq:** nicoles paralelos; **Der:** nicoles cruzados).





Según el contenido de minerales metamórficos en estas rocas (**Tabla 3**), es posible clasificar las litologías metamórficas aquí estudiadas como Neises cuarzo-feldespáticos micáceos.

Tabla 3. Resumen del análisis mineralógico y petrográfico de las rocas metamórficas del Precámbrico en el sector de La Francia.

MUESTRA	MINERALES	%	TIPO DE MINERAL				TIPO ROCA	NOMBRE
			M	I	A.S.	A.H.		
HAM 38-1	Cuarzo	20	X			X	Metamórfica	Neis Cuarzo-feldespático micáceo
	Biotita	10	X			X?		
	Moscovita	10	X					
	Plagioclasa	10	X					
	Sericita	15				X		
	Ortoclase	25	X					
	Caolinita	10				X		
HAM 38-2	Cuarzo	55	X			X	Metamórfica	Neis Cuarzo-feldespático micáceo
	Sericita	20				X		
	Ortoclase	10	X					
	Caolinita	10				X		
	Biotita y Moscovita	5	X					
HAM 40-1	Cuarzo	20	X			X	Metamórfica	Neis Cuarzo-feldespático micáceo
	Biotita	15	X			X?		
	Plagioclasa	25	X					
	Sericita	15				X		
	Ortoclase	15	X					
	Caolinita	10				X		

La presencia de una biotita como la que se muestra en las Figuras 10 a y c, al igual que la presencia de sericita y clorita, se interpretan como relacionadas con alteraciones hidrotermales hipógenas (posiblemente evidencias de alteraciones potásica, sericítica y propilítica, respectivamente). No obstante, se requieren mayores estudios en este tipo de rocas con esas evidencias de las alteraciones hidrotermales mencionadas, en aras de corroborar o descartar la presencia de

esos ambientes de estilo porfirítico afectando las rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga. En el marco de este estudio, esos análisis no fueron realizados debido a que el enfoque de la presente investigación es principalmente en las rocas ígneas porfiríticas.

Desde el punto de vista de los minerales de alteración hidrotermal presentes en estas rocas (composición obtenida mediante análisis de microscopía óptica y DRX, ver resultados en **Anexos 2 y 3**), resulta muy llamativo la presencia de biotita (?), sericita y caolinita (**Tabla 4**).

Tabla 4. Resultados del análisis de DRX en las rocas metamórficas del Precámbrico en el sector de La Francia.

FASES MINERALES	FÓRMULA QUÍMICA	PORCENTAJE (%)
Cuarzo	Si O_2	10.8% a 56.5%
Albita	$(\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25}) \text{Al Si}_3 \text{O}_8$	8.8% a 23.9%
Sericita	$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	9.1% a 13.1%
Microclina	$\text{K} (\text{Si}_{0.75} \text{Al}_{0.25})_4 \text{O}_8$	21.1%
Ortoclasa	$\text{K} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	12.4% a 21.2%
Caolinita	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	6.7% a 9.9%
Biotita	$\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	6.9%

Aunque el enfoque de este estudio no fue caracterizar de manera detallada la secuencia paragenética de las diferentes alteraciones hidrotermales presentes en estas litologías metamórficas, de manera preliminar, es posible señalar que la presencia de sericita ($\pm$ cuarzo, pirita?) podría estar indicando un ambiente de

alteración hidrotermal hipógeno (tipo sericítica), relacionable con un ambiente porfirítico apical o somero.

La presencia de minerales como caolinita, se deben relacionar con ambientes epitermales o supergénicos. En ausencia de alunita (sea hipógena o de tipo *steam-heated*), se asume éste mineral como propios de una alteración hidrotermal argílica. Finalmente, la presencia de pátnas de óxidos de hierro, principalmente, debe estar relacionada exclusivamente con ambientes de alteración supergénica.

5.1.2 Rocas ígneas graníticas del Jura-Triásico

Cortando la foliación regional de las rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga en el área de estudio, se reconocen unos diques de granitos leucocráticos de feldespato alcalino, denominados aquí como alaskitas, siguiendo la nomenclatura utilizada en trabajos anteriores (por ejemplo Mantilla et al., 2011). La edad de estas rocas se considera del límite Triásico-Jurásico, según datos geocronológicos U-Pb convencional (en circones) publicados por Dörr et al. (1995). Sin embargo, estudios recientes (Mantilla et al., 2011; Mantilla et al., 2012) indican que existen dos pulsos magmáticos generadores de estos granitos (denominados como Alaskita tipo I y Alaskita tipo II), los cuales están separados por inyecciones de magmas generadores de rocas fundamentalmente de composición ácida a intermedia. En este sentido, los autores consideran que la formación de la primera generación de alaskitas tuvo lugar durante el Triásico Tardío y la segunda generación de alaskitas durante el Jurásico Temprano. Estos dos pulsos de alaskitas se reconocen con base en geocronología y relaciones de campo (Mantilla et al., 2012). No obstante, en ausencia de relaciones de campo

determinantes, resulta difícil identificar entre estos dos pulsos de alaskitas, considerando la similitud composicional (tanto mineralógica, como geoquímica).

La zona donde afloran estas rocas graníticas (**Figura 6; Figura 11**) se caracteriza por presentar una pendiente media-alta con mucha vegetación, donde se forma el valle de la Quebrada La Plata y se observan algunas familias de diaclasas (58/65, 80/42, 271/69 y 240/68) que pueden ser el resultado de la cinemática del lineamiento de dirección NE (ENE) - SW (WSW) mencionado anteriormente.

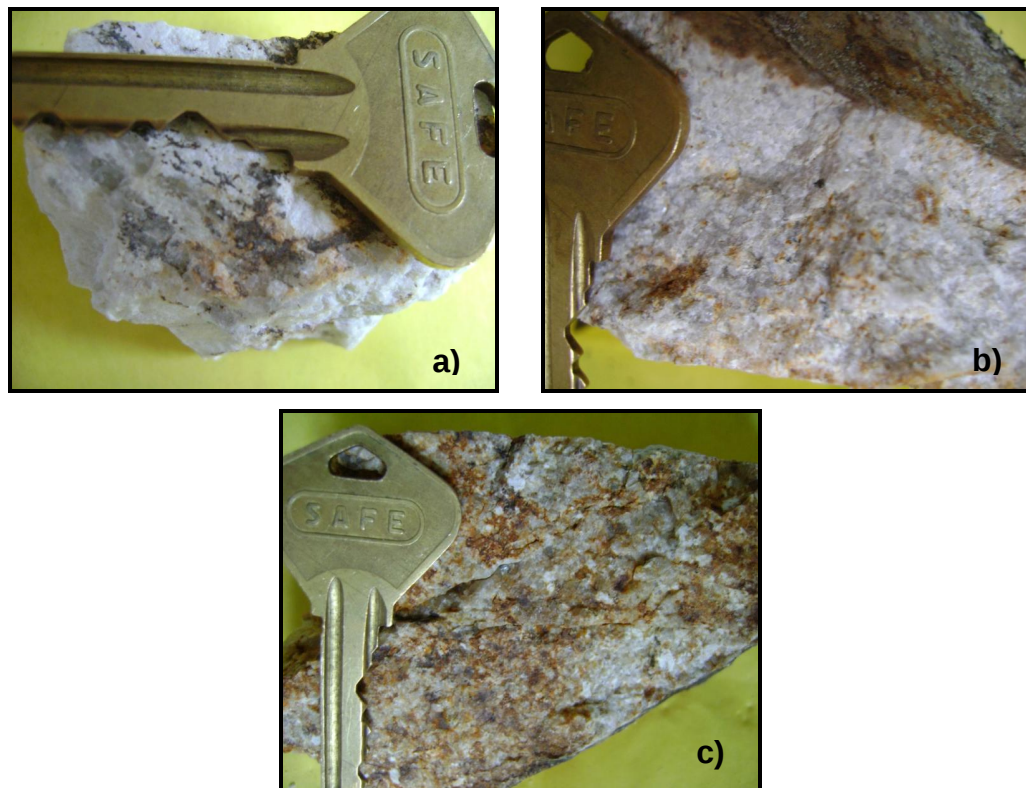
Figura 11. Afloramiento del dique de granitos leucocráticos cortando rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga en el sector de La Francia.
(Estación HAM 41).



Sobre el margen derecho de la Quebrada La Plata (aguas abajo) y en los túneles abandonados de la Mina La Francia, estas rocas ígneas se presentan a manera

de diques con textura fanerítica con un alto contenido de cuarzo lechoso y vítreo (**Figura 12 a; Tabla 2**), y en menor proporción sericita y biotita, mostrando un desarrollo importante de planos de anisotropía (tipo fracturas) (**Figura 12 b; Tabla 2**), a lo largo de los cuales se concentran productos de oxidación superficial (**Figura 12 c; Tabla 2**).

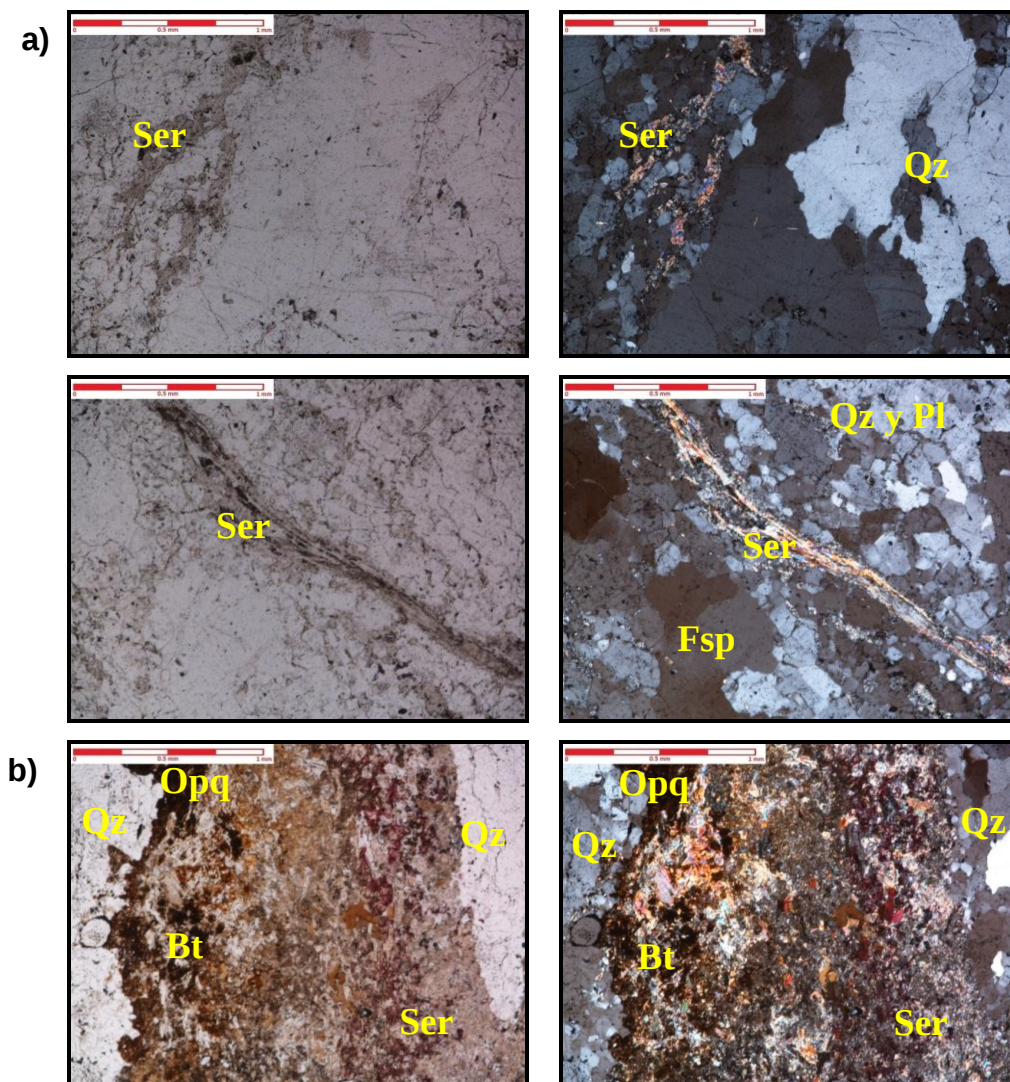
Figura 12. Granitos leucocráticos **a) y b)** a 80 m de un puente sobre el margen derecho de la Quebrada La Plata (aguas abajo) (Muestras HAM 40-2 y HAM 41-1); **c)** al interior del túnel abandonado de la Mina La Francia (Muestra HAM 44-2).

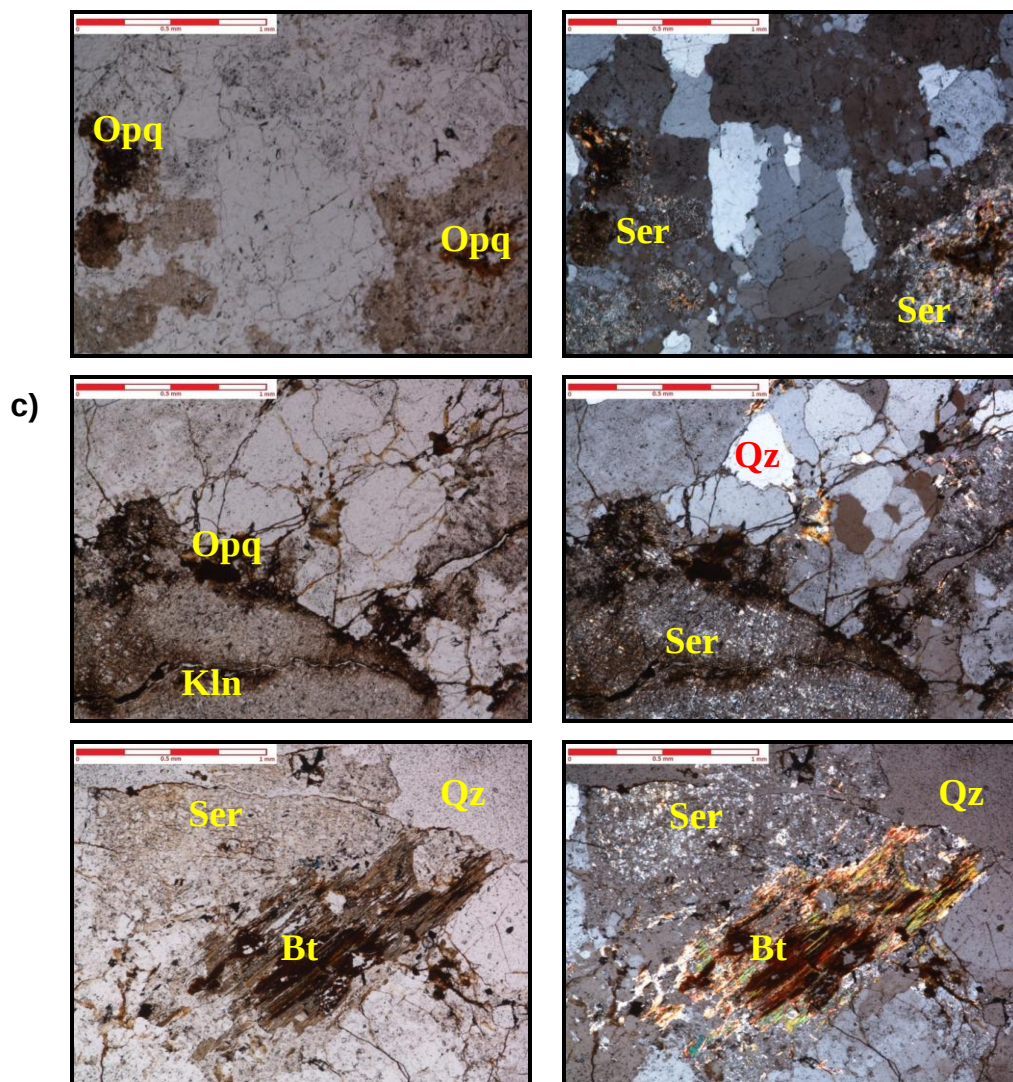


A nivel petrográfico, estas rocas ígneas graníticas están compuestas principalmente de cuarzo, cuyos cristales de mayor tamaño son xenomórficos y los de menor tamaño idiomórficos, y aglomeraciones de diminutos cristales de sericita

(Figura 13 a). También se observan algunos óxidos que afectan en gran medida a la roca (Figura 13 b) y cristales grandes de biotita (Figura 13 c).

Figura 13. Granitos leucocráticos **a)** con presencia de sericita (Muestra HAM 40-2); **b)** con óxidos de hierro (Muestra HAM 41-1); y **c)** con presencia de caolinita (Muestra HAM 44-2). (Izq: nicoles II. Der: nicoles X).





Apoyados en la mineralogía de estos cuerpos ígneos identificada con microscopía óptica (**Tabla 5**), es posible clasificar estas rocas como granitoides de variedades fundamentalmente granitos ricos en cuarzo según diagrama de Streckeisen (1979).

Tabla 5. Resumen del análisis mineralógico y petrográfico de los granitos leucocráticos del Jura-Triásico en el sector de La Francia.

MUESTRA	MINERALES	%	TIPO DE MINERAL				TIPO ROCA	NOMBRE
			M	I	A.S.	A.H.		
HAM 40-2	Cuarzo	60		X		X	Ígnea	Granitoide rico en cuarzo
	Sericita	10				X		
	Ortoclasa	20		X				
	Caolinita	10				X		
HAM 41-1	Cuarzo	50		X		X	Ígnea	Granitoide rico en cuarzo
	Sericita	20				X		
	Óxidos de Fe	5			X			
	Ortoclasa	10		X				
	Caolinita	10				X		
	Biotita	5		X				
HAM 44-2	Cuarzo	50		X		X	Ígnea	Granitoide rico en cuarzo
	Plagioclasa	10		X				
	Sericita	10				X		
	Ortoclasa	10		X				
	Caolinita	5				X		
	Óxidos de Fe	5			X			
	Biotita	10		X				

Desde el punto de vista de los minerales de alteración hidrotermal presentes en estas rocas (composición obtenida mediante análisis de microscopía óptica y DRX (**Tabla 6**)), resulta muy llamativo la presencia de sericita, caolinita y óxidos de hierro.

Tabla 6. Resultados del análisis de DRX en los granitos leucocráticos del Jura-Triásico en el sector de La Francia.

FASES MINERALES	FÓRMULA QUÍMICA	PORCENTAJE (%)
Cuarzo	Si O_2	5.8% a 25.5%
Albita	$(\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25}) \text{Al Si}_3 \text{O}_8$	7.0% a 12.8%
Sericita	$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	9.3% a 10.4%
Ortoclasa	$\text{K} (\text{Al, Fe}) \text{Si}_2 \text{O}_8$	29.9% a 41.7%
Caolinita	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	1.9% a 10.7%
Hematita	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	1.5%

En este sentido, y de manera preliminar, es posible señalar que la presencia de sericita-cuarzo-pirita(?) suele apuntar a ambientes porfiríticos apicales o someros, es decir, desarrollado en las partes más someras de un sistema porfirítico, y cuyo cuerpo ígneo responsable de ésta alteración debe estar en profundidad (no aflorando).

La presencia de minerales como caolinita se puede relacionar con ambientes epitermales o supergénicos, aunque se requiere de más datos para poder establecer este ambiente de alteración hidrotermal.

La presencia de hematita, especialmente confinada a zonas superficiales, indica la existencia de neoformación mineral, propia de ambientes de alteración supergénica.

5.1.3 Rocas ígneas porfiríticas del Neógeno

Recientes dataciones mediante el método U-Pb en el Distrito Minero de Vetas-California evidencian una etapa magmática durante el Mioceno Tardío, lo cual merece especial atención debido a la posible relación que pueden tener estos ambientes con la formación de yacimientos magmáticos hidrotermales (por ejemplo: pórfidos de Cu-Au-Mo), tal como se ha reconocido a lo largo del Sistema Orogénico Andino (Mantilla et al., 2009; 2011).

Apoyados en las diferencias mineralógicas y petrográficas de los diferentes cuerpos porfiríticos observados en el sector de la Francia, fue posible diferenciar por lo menos dos (2) variedades de rocas porfiríticas. Estas variedades litológicas se han denominado en el presente estudio como Pórfido tipo I y Pórfido tipo II. La enorme similitud de estas rocas porfiríticas del sector de la Francia (similitudes de tipo textural y composicional), con las rocas porfiríticas datadas por Mantilla et al. (2009; 2011) en diferentes sectores del Distrito Minero de Vetas-California, permiten establecer que las litologías porfiríticas aquí estudiadas hacen parte igualmente del magmatismo de edad Neógeno (Mioceno Tardío). No obstante, no se descarta la presencia de cuerpos ígneos más jóvenes en el área, aunque esto requiere de más estudios geocronológicos.

- **Pórfido tipo I**

El aquí denominado Pórfido tipo I, aflora hacia la Mina La Francia, sobre toda la orilla de la Quebrada La Plata por la vía Móngora-Santo Ecce Homo (**Figura 6; Figura 14**).

Figura 14. Afloramiento del Pórfido tipo I del Neógeno en el sector de La Francia.
(Estación HAM-39).



Este cuerpo ígneo de textura porfirítica presenta fenocristales de hasta 10 mm de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotita dentro de una matriz fanerítica muy silíceo (Figura 15; Tabla 2).

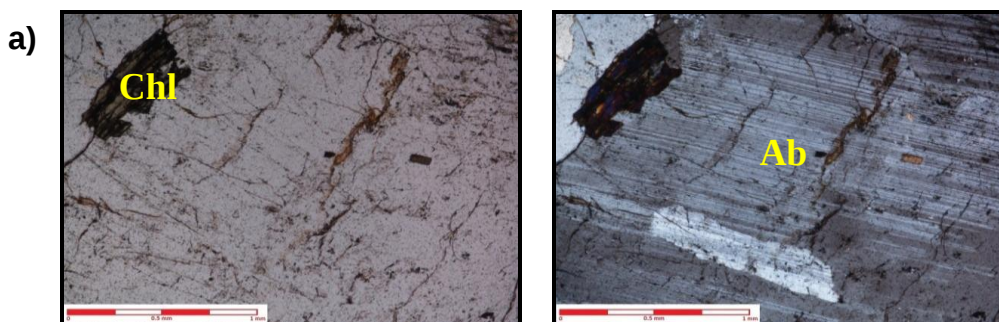
Figura 15: Muestra de mano del Pórfido tipo I del Neógeno en el sector de
La Francia. (Muestra HAM 39-2).

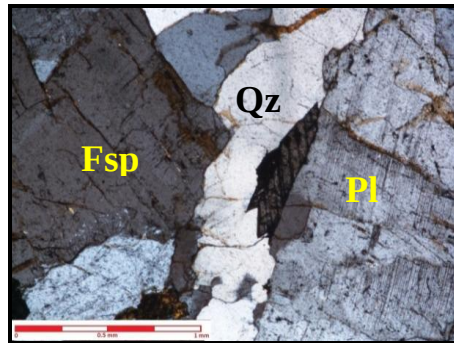
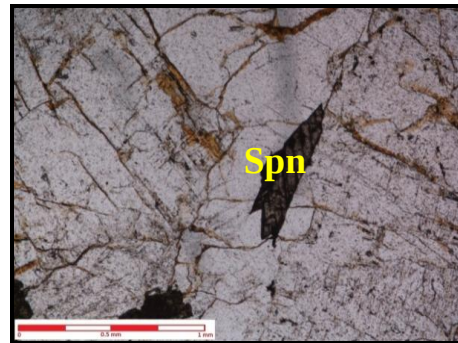
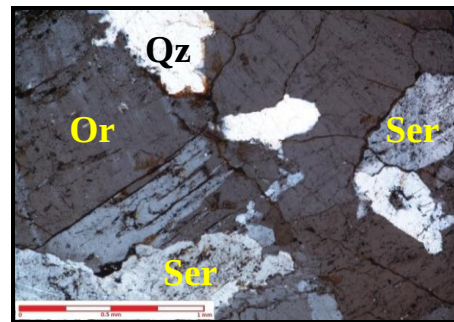
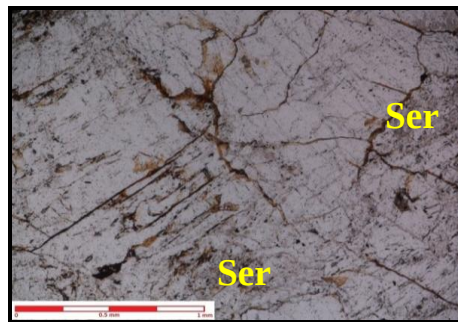


Con base en los análisis petrográficos (**Figura 16**), estas rocas porfiríticas se caracterizan por presentar fenocristales de cuarzo, plagioclasas con maclas polisintéticas (albita), feldespato potásico y biotita (alterada algunas veces a clorita) (**Figura 16 a**). El cuarzo y la plagioclasa, además de presentarse como fenocristales, se muestran como agregados de cristales muy pequeños y forma irregular que están asociados a los fenocristales de biotita (**Figura 16 b**).

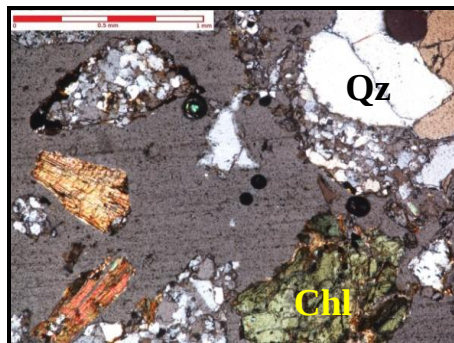
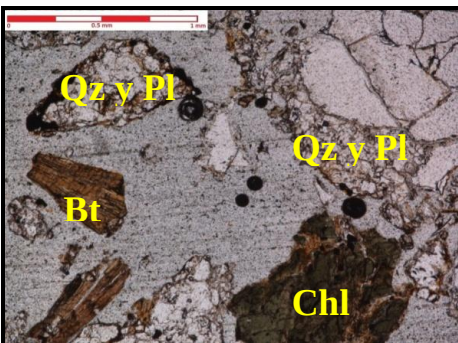
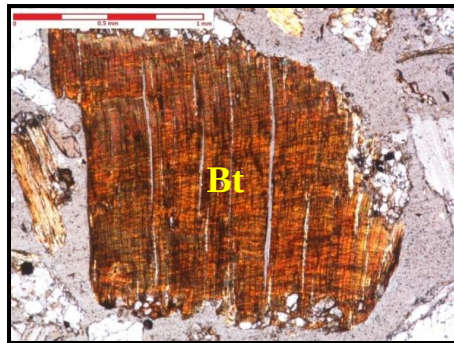
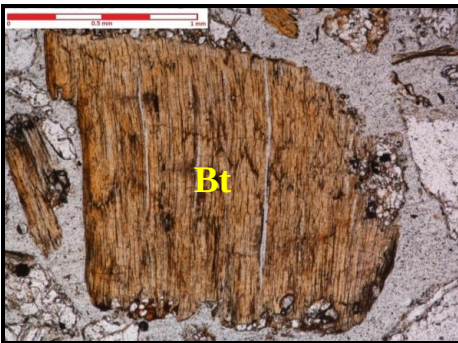
Es preciso mencionar que en la **Figura 16 b** se observan los fenocristales dentro de una matriz muy fina (que según lo reportado en este estudio debería ser de grano grueso), lo cual se pone en duda debido a que la lámina delgada de esta muestra se elaboró con un testigo de roca muy disgregado y posiblemente esta matriz hace parte de una resina utilizada para juntar los granos. Sin embargo, estos análisis mineralógico-petrográficos se tuvieron en cuenta debido a que permitieron identificar la composición de los fenocristales que hacen parte de este pórfido.

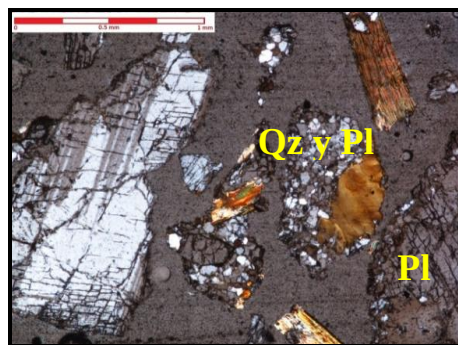
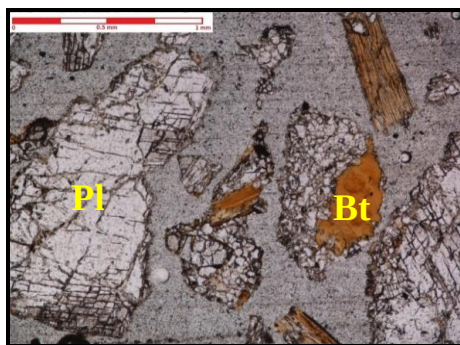
Figura 16. Granodioritas porfiríticas **a)** con presencia de sericita (Muestra HAM 39-2) y **b)** con presencia de clorita (Muestra HAM 46-1). (**Izq:** nicoles II. **Der:** nicoles X).





b)





Basado en la mineralogía identificada tanto a nivel macroscópico como microscópico (**Tabla 7**), estas rocas que hacen parte del denominado Pórfido tipo I se clasifican según Streckeisen (1979) como: Granodioritas porfiríticas.

Tabla 7. Resumen del análisis mineralógico y petrográfico del Pórfido tipo I del Neógeno en el sector de La Francia.

MUESTRA	MINERALES	%	TIPO DE MINERAL				TIPO ROCA	NOMBRE
			M	I	A.S.	A.H.		
HAM 39-2	Cuarzo	25		X			Ígnea	Granodiorita
	Plagioclasa	30		X				
	Sericita	10				X		
	Ortoclasa	10		X				
	Caolinita	10				X		
	Biotita	10		X				
	Clorita	5				X		
HAM 46-1	Cuarzo	20		X			Ígnea	Granodiorita
	Plagioclasa	25		X				
	Sericita	10				X		
	Ortoclasa	20		X				
	Caolinita	10				X		

	Biotita	10		X				
	Clorita	5				X		

Por otra parte, según los resultados de los análisis de DRX (**Tabla 8**) se confirma que estas rocas ígneas están compuestas principalmente de plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo, con biotita en menor proporción. La clorita no fue registrada como tal en la difracción debido a su bajo porcentaje, pero si se presentan algunos minerales de hierro como hematita y koninckita. Estos últimos relacionados con procesos de alteración supergénica.

Tabla 8. Resultados del análisis de DRX en el Pórfido tipo I del Neógeno en el sector de La Francia.

FASES MINERALES	FÓRMULA QUÍMICA	PORCENTAJE (%)
Cuarzo	Si O ₂	4.6%
Albita - Oligoclasa	(Na, Ca) (Si, Al) ₄ O ₈	27.1%
Sericita	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	8.9%
Ortoclasa	K (Al, Fe) Si ₂ O ₈	17.5%
Hematita	Fe ₂ O ₃	1.0%
Koninckita	(Fe, Al) PO ₄ · 3 H ₂ O	-
Biotita	K Fe Mg ₂ (Al Si ₃ O ₁₀) (OH) ₂	2.7%
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	-

Desde el punto de vista de los minerales de alteración hidrotermal presentes en estas rocas (composición obtenida mediante análisis de microscopía óptica y DRX, como se mencionó anteriormente), resulta muy llamativo la presencia de la clorita, sericita, caolinita y óxidos de hierro.

En este sentido, y de manera preliminar, es posible señalar que la presencia de clorita y sericita podrían estar indicando un ambiente de alteración hidrotermal hipógeno, el cual, dada su mineralogía, apuntan a ambientes de tipo propilítico (generalmente estériles, desde el punto de vista del contenido de metales), el cual se suele desarrollar en torno a los sistemas porfiríticos (en los cuales sí se concentra la mineralización).

La presencia de minerales como caolinita se puede relacionar con ambientes epitermales o supergénicos, aunque se requiere de más datos para poder establecer este ambiente de alteración hidrotermal.

La presencia de hematita, especialmente confinada a zonas superficiales, indican la existencia de neoformación mineral, propia de ambientes de alteración supergénica.

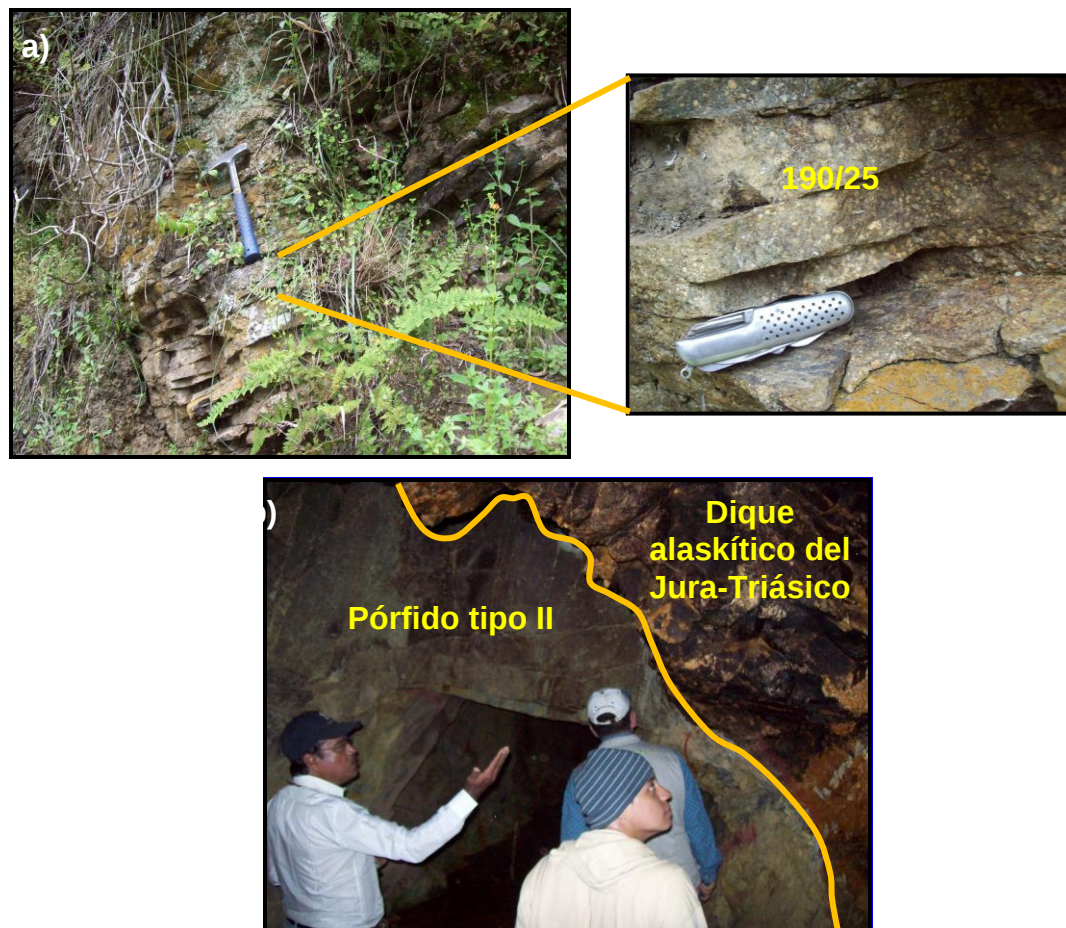
- **Pórfido tipo II**

En el sector de La Francia se muestran otros diques porfiríticos con una matriz afanítica (a escala de muestra de mano) cuyos fenocristales no alcanzan las dimensiones mostradas en el pórfido tipo I y se destacan por la presencia de cuarzos corroídos. Tomando como referencia las rocas porfiríticas datadas en torno a 10 ± 0.2 Ma. (U-Pb en circones) por Mantilla et al. (2011), podrían correlacionarse estas mismas con las muestras pertenecientes al Pórfido tipo II.

Específicamente este tipo de litología fue encontrado en diferentes zonas del sector objeto de estudio: en el mismo sitio donde aflora el Pórfido tipo I (con

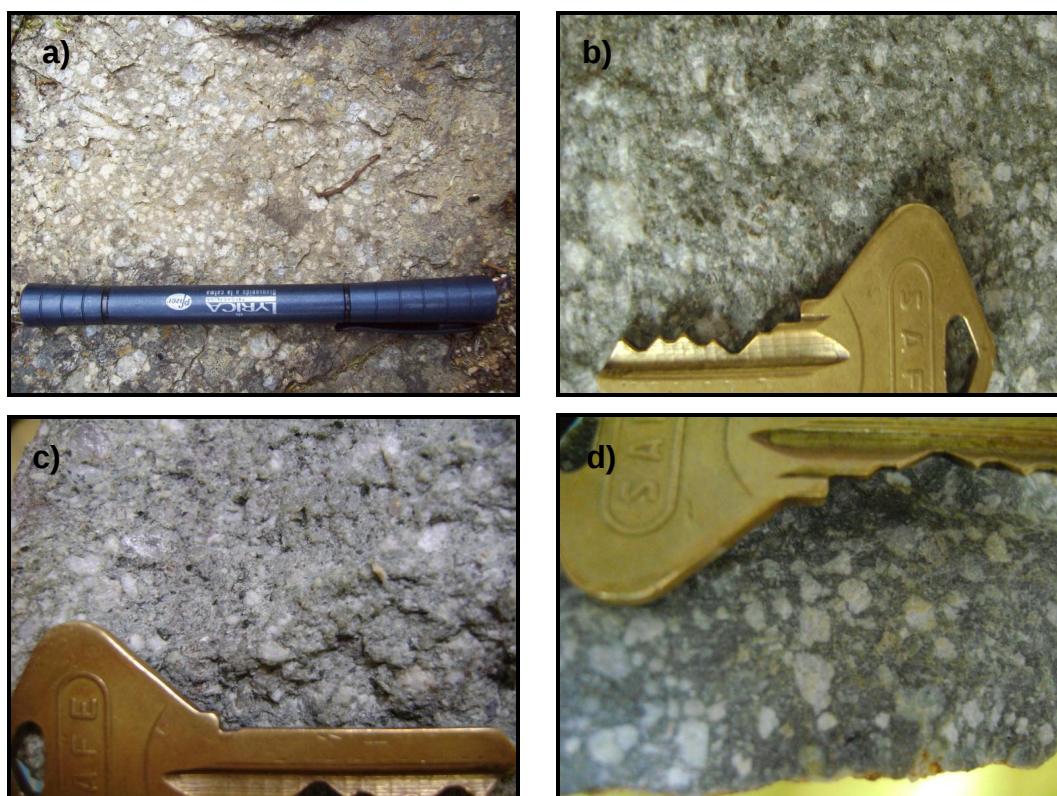
diacclasas (55/50) que rompen algunos cuarzos poco bipiramidales en el afloramiento), hacia la Mina La Francia a unos 30 metros de la Quebrada La Plata (donde está afectado por varias familias de diacclasas(113/30, 275/65, 256/64 y 142/60) pero la más predominante (190/25) genera una especie de pseudo-estratificación (**Figura 6; Figuras 17 a)**), en el túnel abandonado de la Mina La Francia (**Figura 6; Figura 17 b)** y en un camino de herradura que conlleva a la Quebrada Móngora (donde también se evidencian varias familias de diacclasas en el afloramiento (276/26, 51/35, 120/70 y 34/53)).

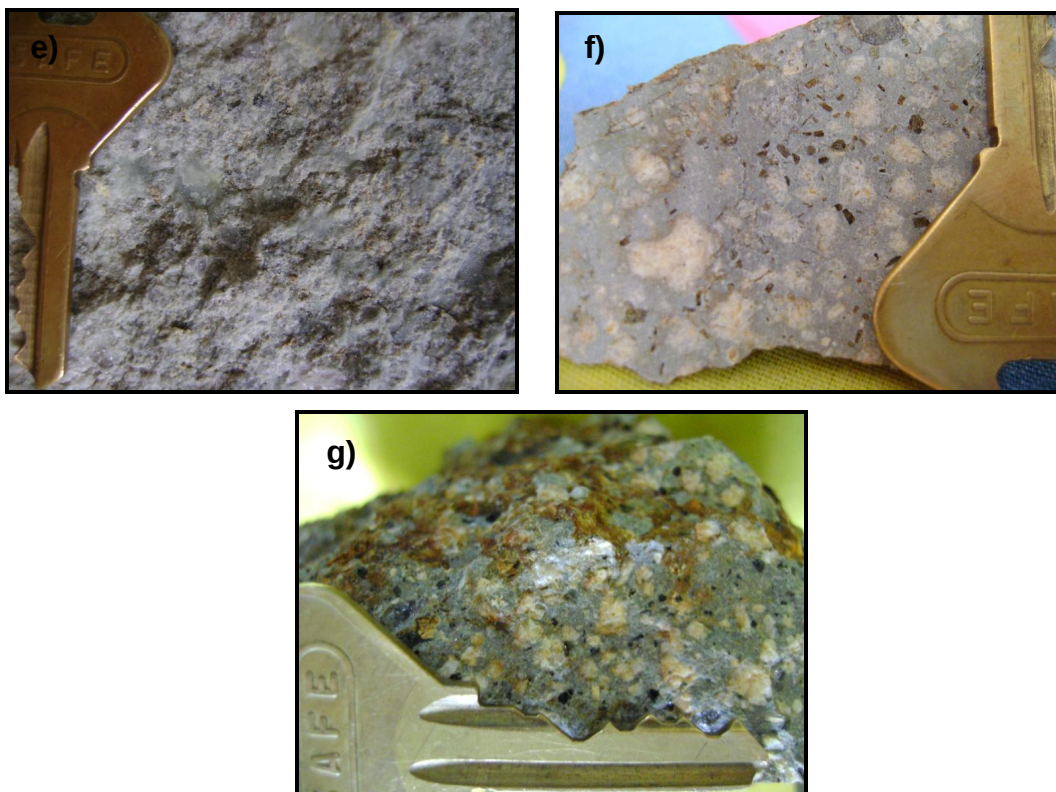
Figura 17: Afloramiento del Pórfido tipo II del Neógeno: **a)** sobre el margen derecho de la Quebrada La Plata (aguas abajo) hacia la Mina La Francia (Estación HAM 43); **b)** en la Mina abandonada La Francia (Estación HAM 44).



A nivel macroscópico se observa una matriz afanítica de color gris claro y verdoso (**Figura 18 b; Tabla 2**) en la cual están embebidos fenocristales que varían su tamaño entre 2 a 10 mm, compuestos de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita. En algunos casos la roca presenta fracturas rellenas de óxidos y sericita (**Figura 18 a; Tabla 2**) o de óxidos y cuarzo (**Figura 18 d; Tabla 2**); otras veces se observa muy diaclasada (**Figura 18 c; Tabla 2**) (inyectando el neis cuarzo-feldespático micáceo donde las diaclasas siguen el mismo plano en el que inyecta (**Figura 18 f; Tabla 2**)), meteorizada (**Figura 18 g; Tabla 2**) y alterada hasta el punto de hacer casi irreconocibles los minerales originales de la roca (**Figura 18 e; Tabla 2**).

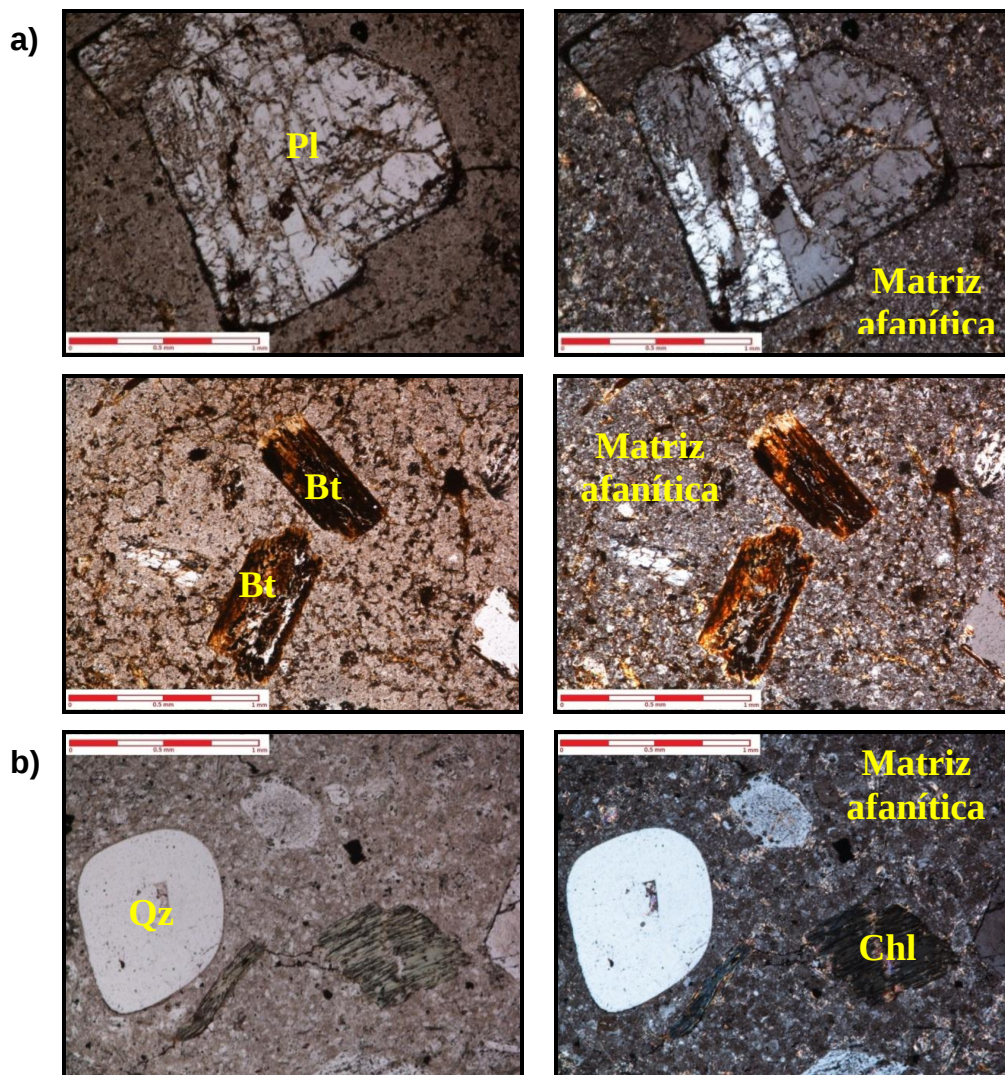
Figura 18: Muestras de mano del Pórfido tipo II del Neógeno en el sector de La Francia: **a), d), f) y g)** Riodacitas (Muestras HAM 39-1, HAM 44-1, HAM 45-1 y GI 27-M2); **b), c) y e)** Dacitas (Muestras HAM 42-1, HAM 43-1 y HAM 44-3).



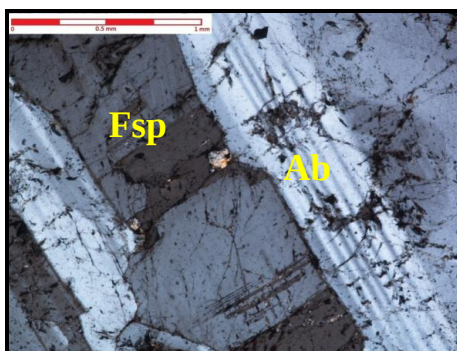
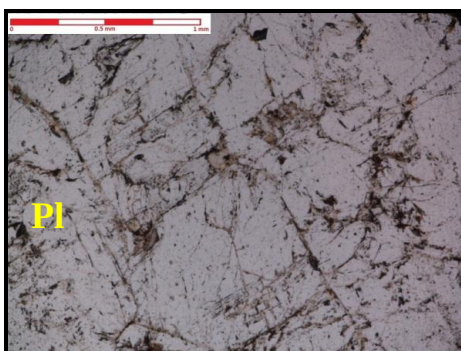
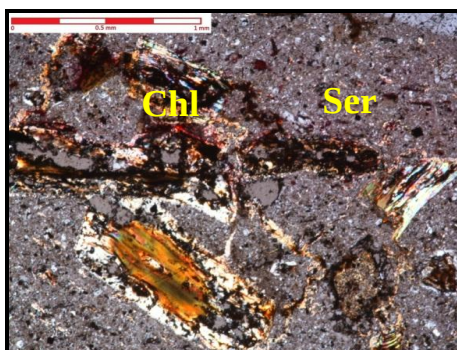
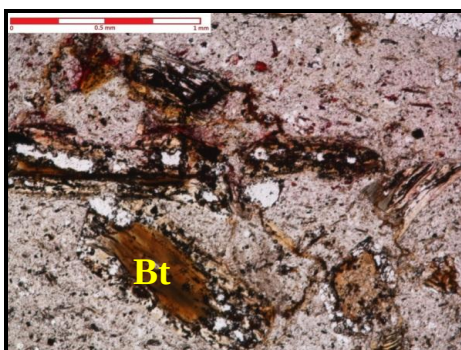
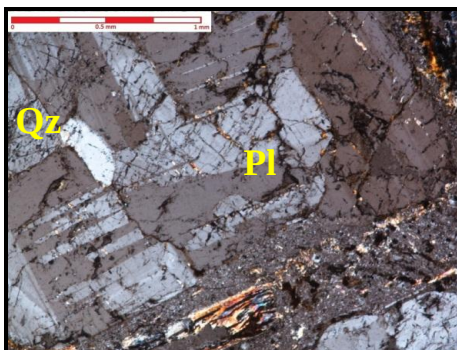
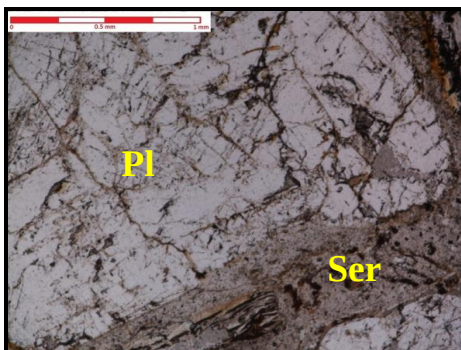
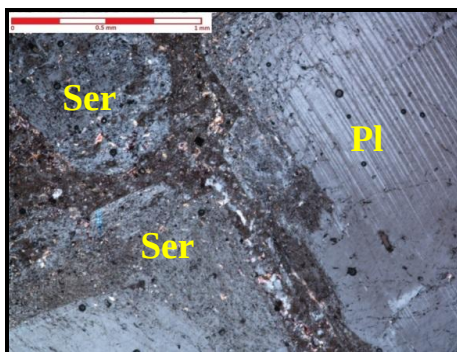
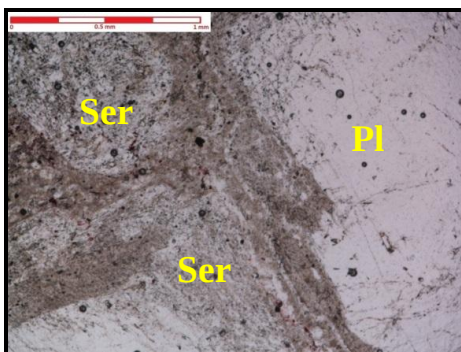


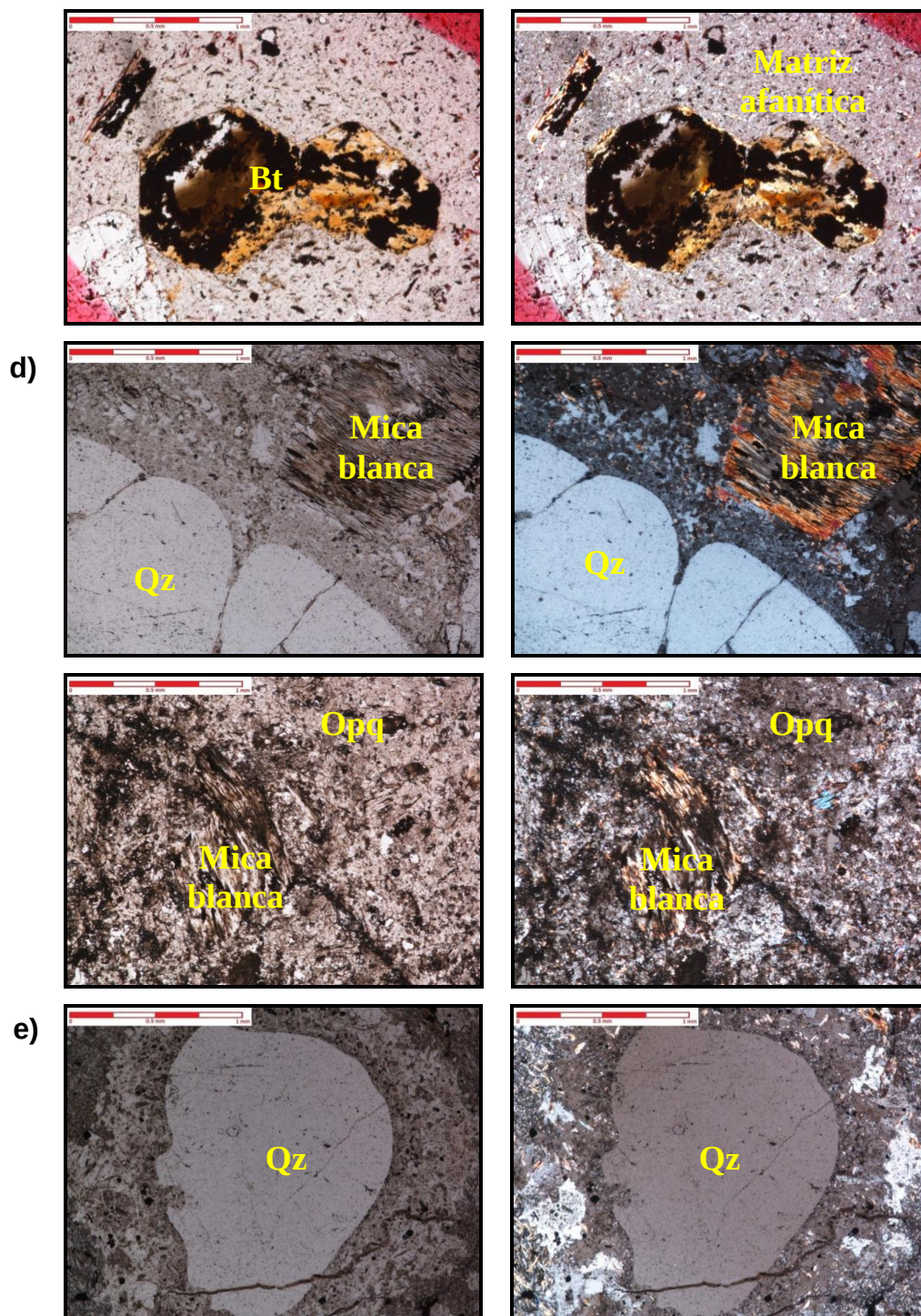
Desde el punto de vista petrográfico se reconoció también una matriz afanítica en la cual están embebidos fenocristales de plagioclasa y biotitas de color café oscuro (**Figura 19 a**), mica blanca (**Figuras 19 d y e**) y cuarzos redondeados y muy limpios (**Figuras 19 b y f**) cuya textura de embahiamiento (**Figura 19 d y e**) puede ser fundamentalmente debido a una mezcla de magmas o a un enfriamiento adiabático que originaron esta reabsorción-corrosión. Generalmente los fenocristales de biotita se presentan en forma pseudo-hexagonal (**Figuras 19 c y g**) y en algunos casos están reemplazados total o parcialmente por clorita (**Figuras 19 b y f**). En una sección ortogonal al clivaje (001) de la biotita (**Figura 19 g**) se observa la precipitación orientada de agujas de óxidos de Fe y Ti (presencia de rutilo-sagenita (**Figura 19 d**)).

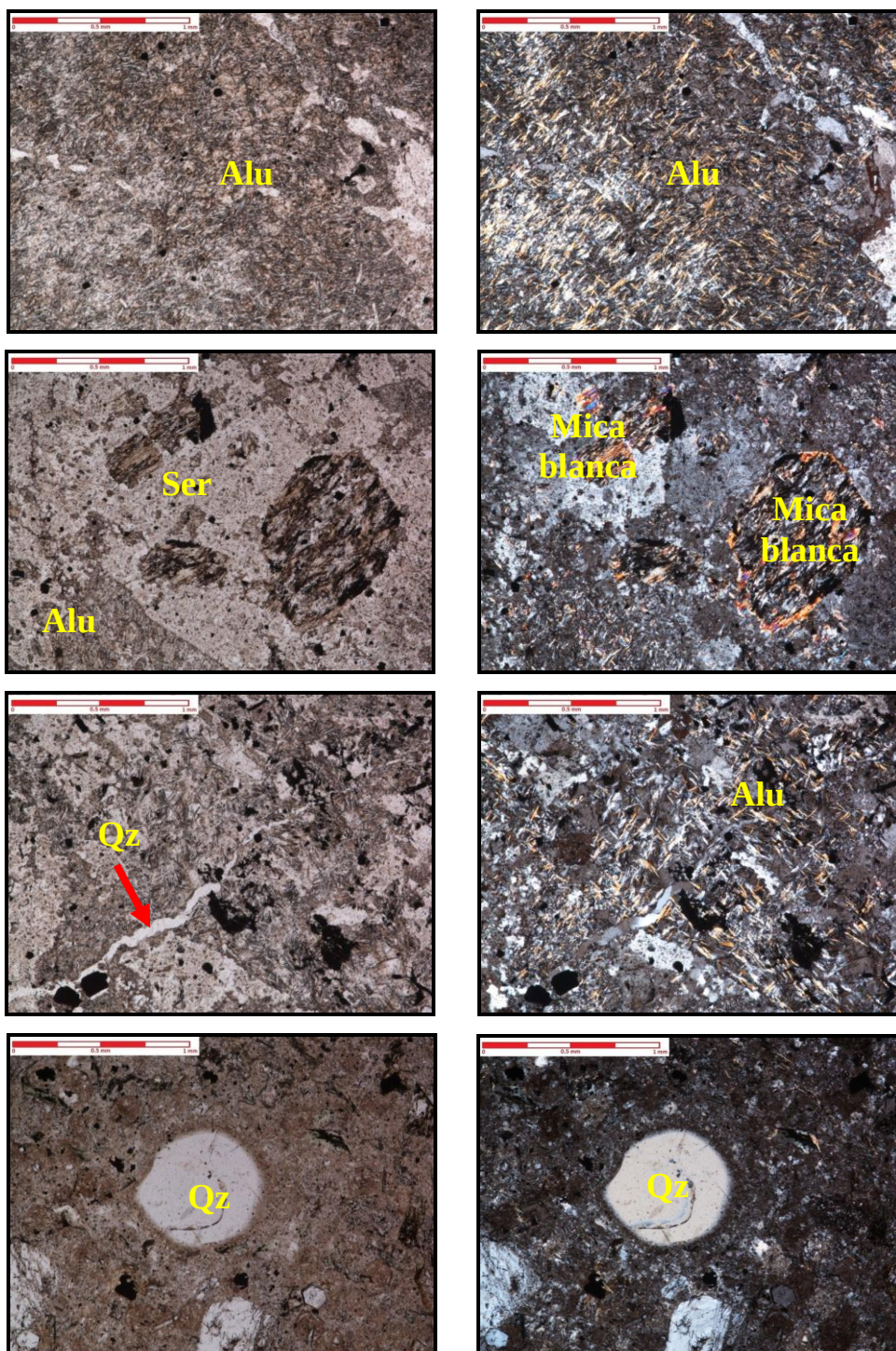
Figura 19: Riodacitas porfíricas **a)** con matriz afanítica (Muestra HAM 39-1); **d)** con cuarzos con textura de embahiamiento (Muestra HAM 44-1); **f)** con clorita (Muestra HAM 45-1); **g)** con fenocristales pseudo hexagonales de biotita (Muestra GI 27-M2); y Dacitas porfíricas **b)** con sericita y cuarzos redondeados (Muestra HAM 42-1); **c)** con sericita y clorita (Muestra HAM 43-1); **e)** con alunita y vetillas de cuarzo (Muestra HAM 44-3). (**lq:** nicoles II. **Der:** nicoles X).



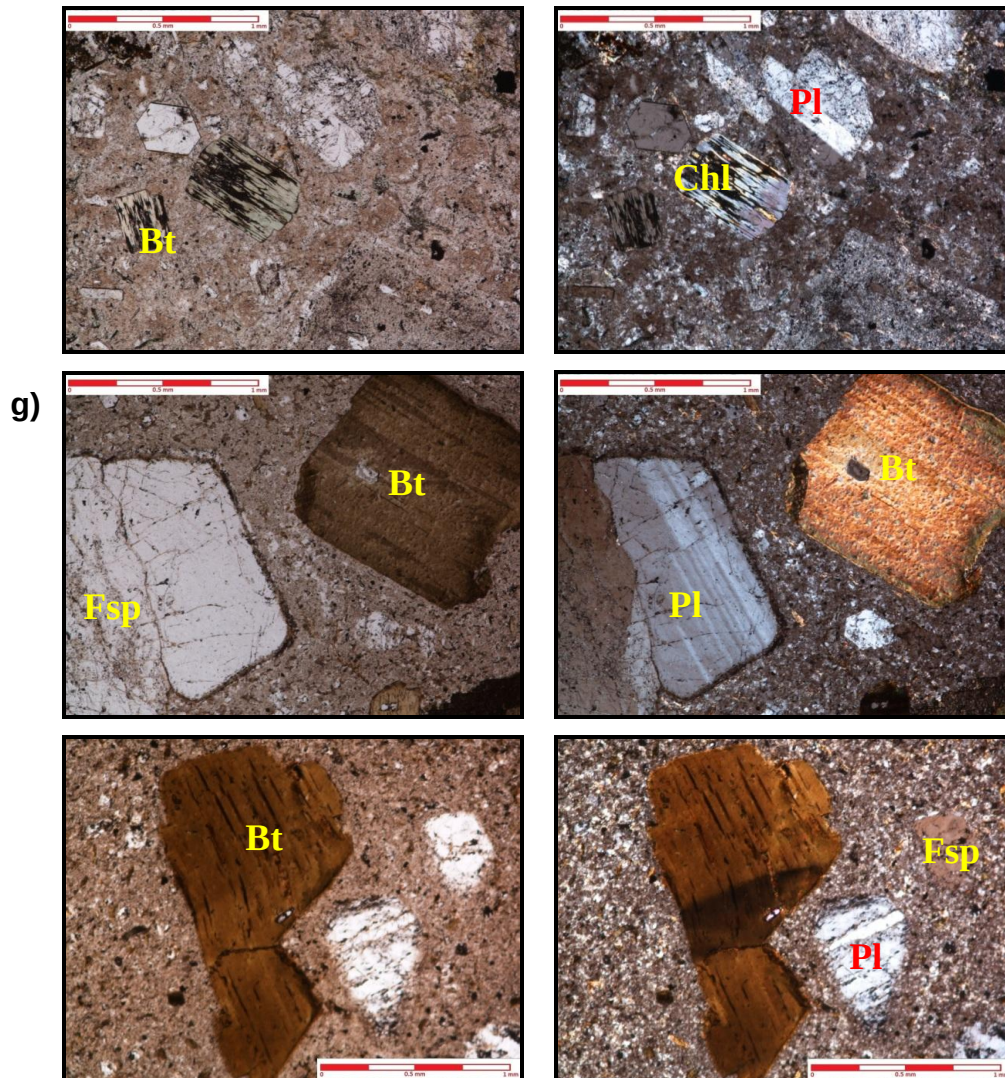
c)







f)



Como se mencionó anteriormente, la forma ovoidal de los cuarzos son el producto de procesos de reabsorción o corrosión (*resorption or corrosion*), los cuales tienen lugar entre el cristal y el magma que lo rodea, 1) cuando la inyección de un nuevo magma (tal vez más caliente y/o más primitivo) genera la disolución parcial del cristal (en este caso de cuarzo) y 2) cuando hay pérdida de volátiles a medida que el magma asciende a regiones más someras de la corteza (proceso de enfriamiento adiabático). Sin embargo, en este caso donde se observa que el fracturamiento de los cuarzos se conecta con los bordes corroídos del cristal, se

propone que el proceso de reabsorción-corrosión de los cristales tiene que ver con una mezcla de magmas y enfriamiento adiabático simultánea a la pérdida de volátiles por despresurización del fundido. Es decir, la posible presencia de inclusiones fluidas a lo largo de las zonas de fracturas de los cuarzos sería un indicador adicional del proceso de liberación de volátiles a partir del magma que rodeó y logró corroer el cuarzo, dando lugar al aspecto ovoide que aquí se muestra en algunos cristales. Esta propuesta se hace tomando en cuenta los atributos mencionados anteriormente, los cuales son apoyados en estudios publicados por Hibbard (1981), Glazner et al. (1990), Müller et al. (2005) y Betsi and Lentz (2010).

Teniendo en cuenta la mineralogía basada en análisis petrográficos (**Tabla 9**) y de Difracción de Rayos X (DRX) (**Tabla 10**), estas rocas que hacen parte del denominado Pórfido II se clasifican según Streckeisen (1979) como: Dacitas y Riodacitas.

Tabla 9. Resumen del análisis mineralógico y petrográfico del Pórfido tipo II del Neógeno en el sector de La Francia.

MUESTRA	MINERALES	%	TIPO DE MINERAL				TIPO DE ROCA	NOMBRE
			M	I	A.S.	A.H.		
HAM 39-1	Plagioclasa	25		X			Ígnea	Riodacita
	Sericita	20				X		
	Cuarzo	20		X		X		
	Ortoclasa	15		X				
	Caolinita	10				X		
	Biotita	10		X				
HAM 42-1	Plagioclasa	40		X			Ígnea	Dacita
	Cuarzo	25		X				

	Sericita	20				X		
	Clorita	15				X		
HAM 43-1	Albita	30		X			Ígnea	Dacita
	Cuarzo	20		X				
	Sericita	25				X		
	Ortoclase	15		X				
	Biotita	10		X				
HAM 44-1	Plagioclase	30		X			Ígnea	Riodacita
	Cuarzo	20		X				
	Sericita	15				X		
	Clorita	15				X		
	Mica blanca	10		X				
	Óxidos	10			X			
HAM 44-3	Alunita	40				X	Ígnea	Dacita
	Sericita	30				X		
	Cuarzo	20		X				
	Mica blanca	10		X				
HAM 45-1	Sericita	40				X	Ígnea	Riodacita
	Cuarzo	20		X				
	Plagioclase	15		X				
	Ortoclase	10		X				
	Biotita	10		X				
	Clorita	5				X		
G1 27-M2	Plagioclase	30		X			Ígnea	Riodacita
	Cuarzo	30		X				
	Sericita	20				X		
	Biotita	10		X				
	Ortoclase	10		X				

Tabla 10. Resultados del análisis de DRX en el Pórfido tipo II del Neógeno en el sector de La Francia.

FASES MINERALES	FÓRMULA QUÍMICA	PORCENTAJE (%)
Cuarzo	Si O_2	7.3% a 21.9%
Cristobalita	Si O_2	2.3%
Albita	$(\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25}) \text{Al Si}_3 \text{O}_8$	16.8% a 32.0%
Sericita	$\text{K Al}_2 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	12.1% a 20.5%
Ortoclasa	$\text{K} (\text{Al}, \text{Fe}) \text{Si}_2 \text{O}_8$	6.2% a 10.8%
Caolinita	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	0.9% a 5.3%
Sanidina	$\text{K} (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_8$	6.4%
Clinocloro férrico	$(\text{Mg}, \text{Fe})_6 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	4.7% a 7.1%
Microclina	$\text{K} (\text{Si}_{0.75} \text{Al}_{0.25})_4 \text{O}_8$	11.7%
Illita	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O}) \text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} (\text{OH})_2$	20.9%
Hematita	$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	1.8%
Alunita	$\text{K} (\text{Al}_3 (\text{OH})_6 (\text{SO}_4)_2)$	34.3%

Respecto a los minerales de alteración hidrotermal presentes en estas rocas (composición obtenida mediante análisis de microscopía óptica (**Tabla 9**) y DRX (**Tabla 10**)), resulta muy llamativo la presencia de clorita, sericita y caolinita.

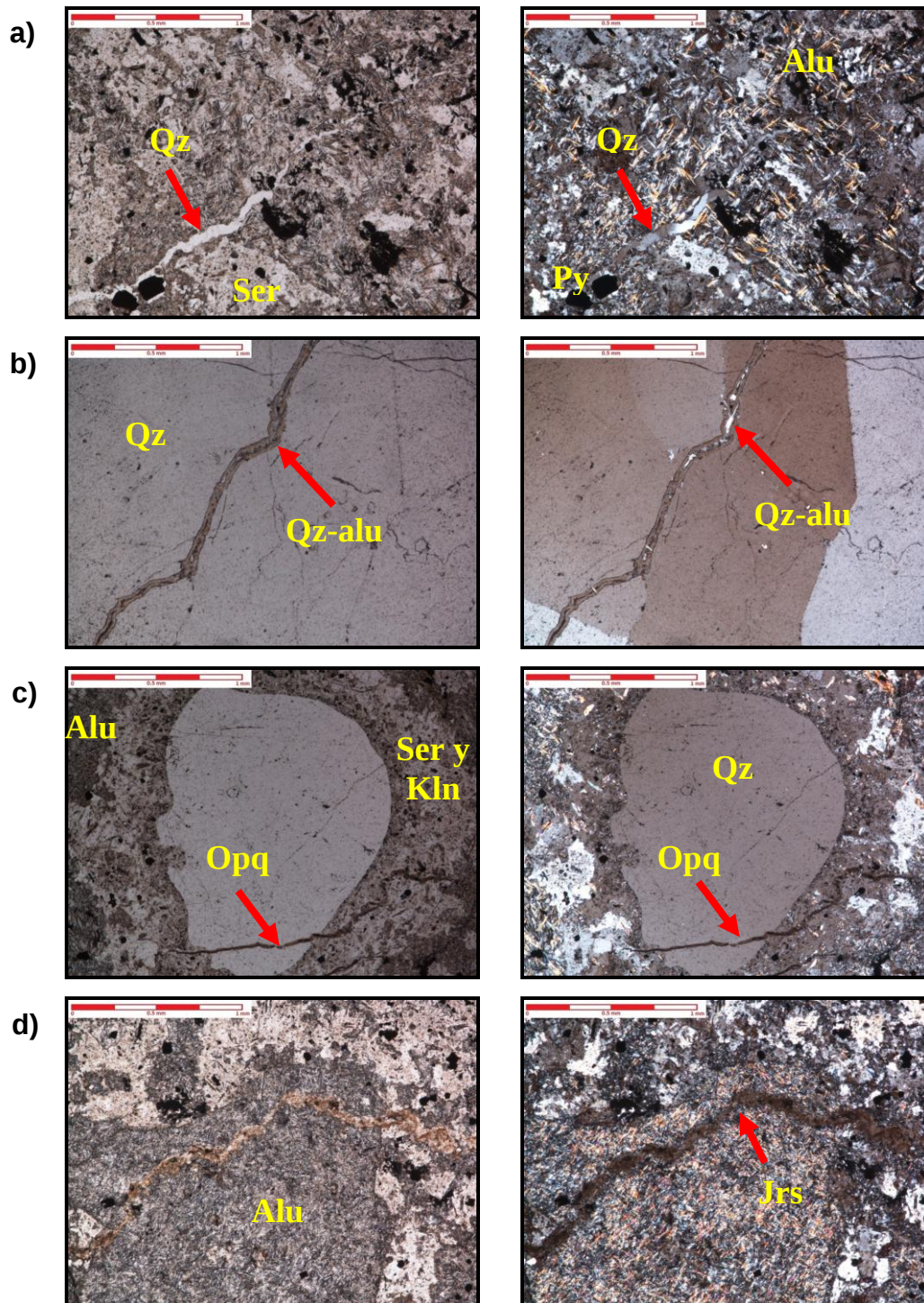
En este sentido, y de manera preliminar, es posible señalar que la presencia de clorita y sericita podrían estar indicando un ambiente de alteración hidrotermal hipógeno, el cual, dada su mineralogía, podría estar apuntado a ambientes de tipo propilítico, sericítico o argílico intermedio. Sin embargo, debido a la falta de estudios más detallados en este sentido, lo cual implicaría una mayor densidad de muestreo y estudios paragenéticos de los minerales de los diferentes productos de

las alteraciones hidrotermales que han afectado las rocas, no es posible determinar con precisión el ambiente de la alteración hidrotermal asociada a estas. No obstante, apoyados en los actuales datos puntuales, es posible señalar que estos minerales son propios de ambientes porfiríticos y no epitermales.

La presencia de minerales como caolinita, se puede relacionar con ambientes epitermales o supergénicos, aunque se requiere de más datos para poder establecer este ambiente de alteración hidrotermal. Por otra parte, la presencia de alunita en algunas muestras y de caolinita en otras, o incluso ambas en la misma muestra (junto con pirita, tal como se observa en lámina delgada), implica la existencia de alteraciones hidrotermales tipo argílica hipógena y argílica avanzada. Estas últimas propias de estilos de mineralización epitermal de alta sulfidación.

Además de las alteraciones anteriormente mencionadas, se identificaron vetillas compuestas de cuarzo (**Figura 20 a**) y cuarzo-alunita (**Figura 20 b**), las cuales evidencian una alteración de tipo epitermal, y vetillas sinuosas de óxidos (**Figura 20 c**) y jarosita (**Figura 20 d**) producto de una alteración supergénica que conforma la alteración más tardía presente en las rocas porfiríticas objeto de estudio.

Figura 20. Pórfido tipo II del Neógeno (Dacita) con vetilleo, aflorante en el túnel de la Mina La Francia (Muestra HAM 44-3) **a)** Vetilla de cuarzo; **b)** Vetilla de cuarzo-alunita; **c)** Vetilla de óxido; **d)** Vetilla de Jarosita. (Izq: nicoles II. Der: nicoles X).



5.2 GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

Los análisis geoquímicos se llevaron a cabo con 3 muestras pertenecientes a rocas ígneas subvolcánicas porfiríticas del Neógeno en la zona de estudio (**Tabla 11; Anexo 4**), con el propósito de clasificarlas geoquímicamente y establecer el contexto tectónico y algunas características de los magmas que las originaron, basados en la composición química de los elementos mayores, menores y trazas.

Sin embargo, debido a que estas muestras presentan algún tipo de alteración hidrotermal, se tuvieron en cuenta principalmente los datos de elementos trazas inmóviles para tal fin.

Tabla 11. Muestras empleadas para los análisis geoquímicos.

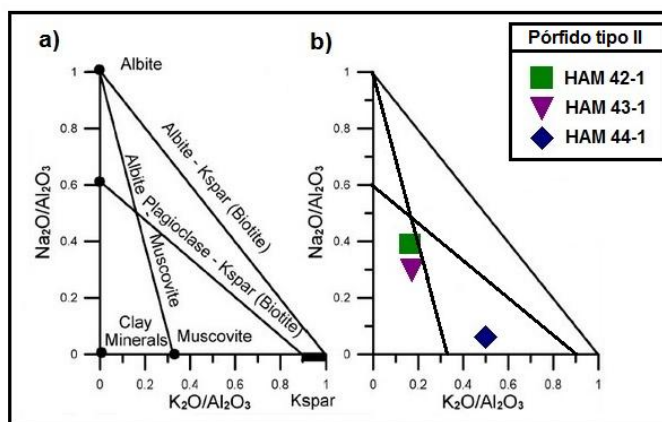
CÓDIGO DE LA ESTACIÓN	CÓDIGO DE LA MUESTRA	TIPO DE ROCA	NOMBRE DE LA ROCA
HAM 42	HAM 42-1	Ígnea porfirítica (Pórfido tipo II)	Dacita
HAM 43	HAM 43-1	Ígnea porfirítica (Pórfido tipo II)	Dacita
HAM 44	HAM 44-1	Ígnea porfirítica (Pórfido tipo II)	Riodacita

Los datos obtenidos del análisis geoquímico de roca total fueron sometidos inicialmente a un test de alteración (siguiendo el procedimiento propuesto por Davies and Whitehead, 2006), para poder identificar las muestras que han

presentado mayor grado de pérdida o ganancia de elementos (re-movilización de elementos), a consecuencia de procesos de alteración hidrotermal o supergénica. Una vez se comprueba que la roca no pasa el test de alteración (debido a la pérdida o ganancia de los elementos más móviles, es decir, los elementos LILE- *Large ion lithophile elements*-), se procede al tratamiento de sus datos, solo apoyados en los elementos HFSE y REE, por ser estos los que suelen comportarse como elementos inmóviles frente a procesos de alteración hidrotermal y supergénica (Rollinson, 1993; Hollings and Wyman, 2005).

En el sentido antes mencionado, se pudo reconocer que la muestra HAM-44-1 es la que presenta el mayor grado de re-movilización de elementos (no pasa el test de alteración), debido principalmente a que ésta se proyecta en la parte más inferior del diagrama de la **Figura 21**, coincidiendo con el campo de las alteraciones sericíticas. Las dos muestras restantes analizadas se proyectan más cerca de la línea de la Plagioclase-Feldespato Potásico, y por lo tanto se puede considerar que pasan el test de la alteración.

Figura 21. Diagrama que muestra el tipo de alteración hidrotermal en las muestras analizadas geoquímicamente.



Fuente: Davies and Whitehead (2006).

El índice de meteorización CIW (*Chemical Index of Weathering*), propuesto por Harnois (1988), fue igualmente utilizado para comparar las muestras con y sin alteración, previamente analizadas, siguiendo el procedimiento de Davies and Whitehead (2006). Éste índice de alteración se define como el grado de pérdida de componentes móviles respecto a los componentes inmóviles de las rocas. Es decir, el calcio, el sodio y el potasio son generalmente removidos de los feldespatos, incrementando la proporción de alúmina y álcalis en los productos de la meteorización (Nesbitt and Young, 1982). Según Harnois (1988), el CIW se establece mediante la siguiente relación:

$$CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] * 100$$

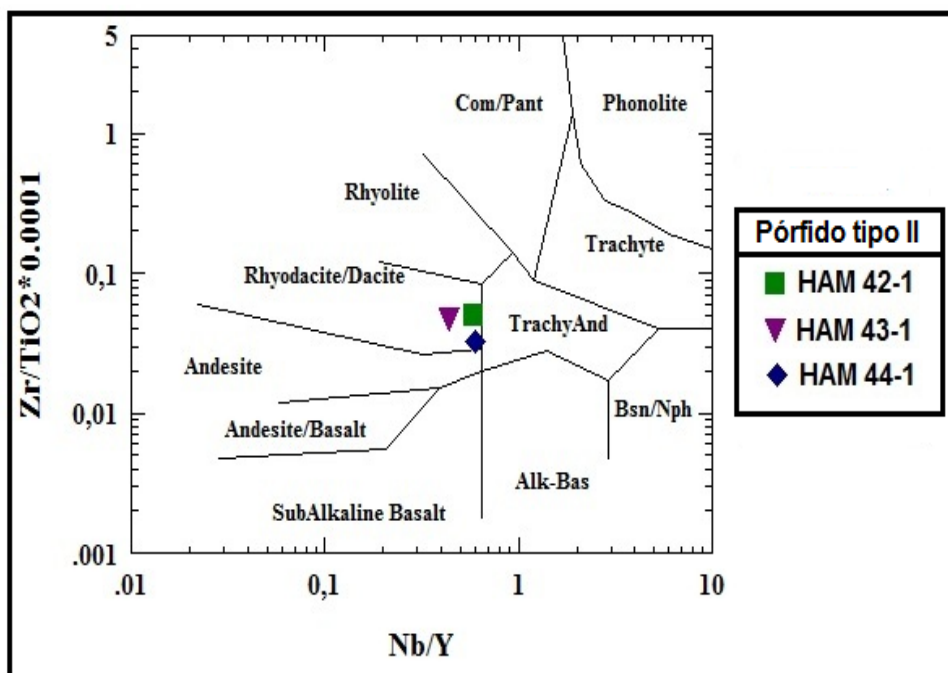
De acuerdo a la ecuación anterior se puede establecer que las rocas con menor grado de alteración (según el test de Davies and Whitehead, 2006), son las que aquí presentan un CIW en torno a 96.52; mientras que las rocas con menor grado de alteración presentan valores < 81% (**Tabla 12**).

Tabla 12. Índice químico de meteorización
para las rocas analizadas geoquímicamente.

CÓDIGO DE LA MUESTRA	NOMBRE DE LA ROCA	CIW
HAM 42-1	Dacita (Pórfido tipo II)	75.84 %
HAM 43-1	Dacita (Pórfido tipo II)	81.01 %
HAM 44-1	Riodacita (Pórfido tipo II)	96.52 %

Considerando la intensa alteración de la muestra HAM-44-1, y para evitar los problemas derivados de la movilidad de las LILE en ésta muestra, se opta por clasificar ésta roca (al igual que las restantes), utilizando el diagrama Zr/TiO_2 vs. Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977). Según esta clasificación, las muestras del análisis geoquímico aparecen en el campo Riodacita/Dacita (**Figura 22**), lo cual es concordante con la clasificación mineralógica y petrográfica que se documentó anteriormente.

Figura 22. Clasificación química de las muestras representativas del Pórfido tipo II basada en los elementos inmóviles según Winchester and Floyd (1977).



Fuente: MinPet versión 2.02

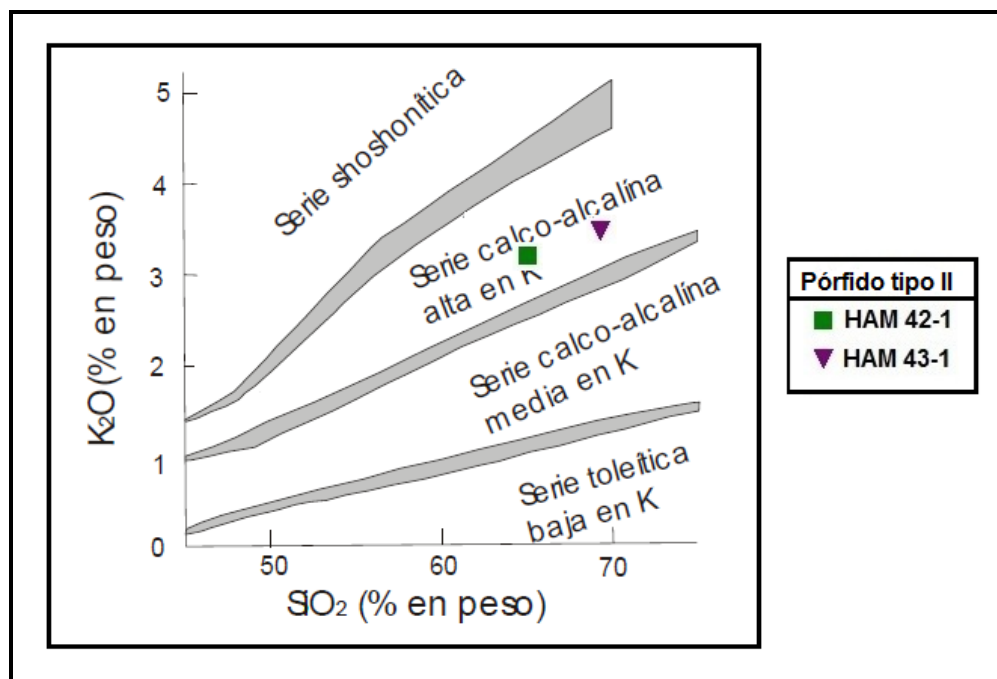
Los datos de elementos mayores de las muestras restantes (HAM-42-1 y HAM-43-1) (**Tabla 13**) serán aquí utilizados principalmente para clasificar las rocas mediante el TAS, la saturación de alumina y para determinar la serie.

Tabla 13. Porcentaje en peso de los elementos mayores presentes en las muestras analizadas geoquímicamente.

ÓXIDOS MAYORES	MUESTRAS		
	HAM 42-1	HAM 43-1	HAM 44-1
Al_2O_3	17.65	17.50	17.55
BaO	0.124	0.121	0.107
CaO	1.65	1.20	0.08
Cr_2O_3	<0.001	<0.001	<0.001
Fe_2O_3	3.00	2.25	2.61
FeO	1.28	0.52	0.57
K_2O	3.12	3.51	7.72
MgO	0.99	0.31	0.45
MnO	0.105	0.094	0.016
Na_2O	3.97	2.90	0.551
P_2O_5	0.175	0.136	0.052
SiO_2	64.9	69.7	67.7
SrO	0.092	0.064	0.035
TiO_2	0.35	0.25	0.52
LOI	1.63	2.10	3.31
TOTAL	99.036	100.655	101.271

En este sentido, es posible establecer que las muestras HAM-42-1 y HAM-43-1 se proyectan en el campo de rocas de serie Calco-Alcalinas altas en potasio (según diagrama SiO_2 vs. K_2O ; **Figura 23**).

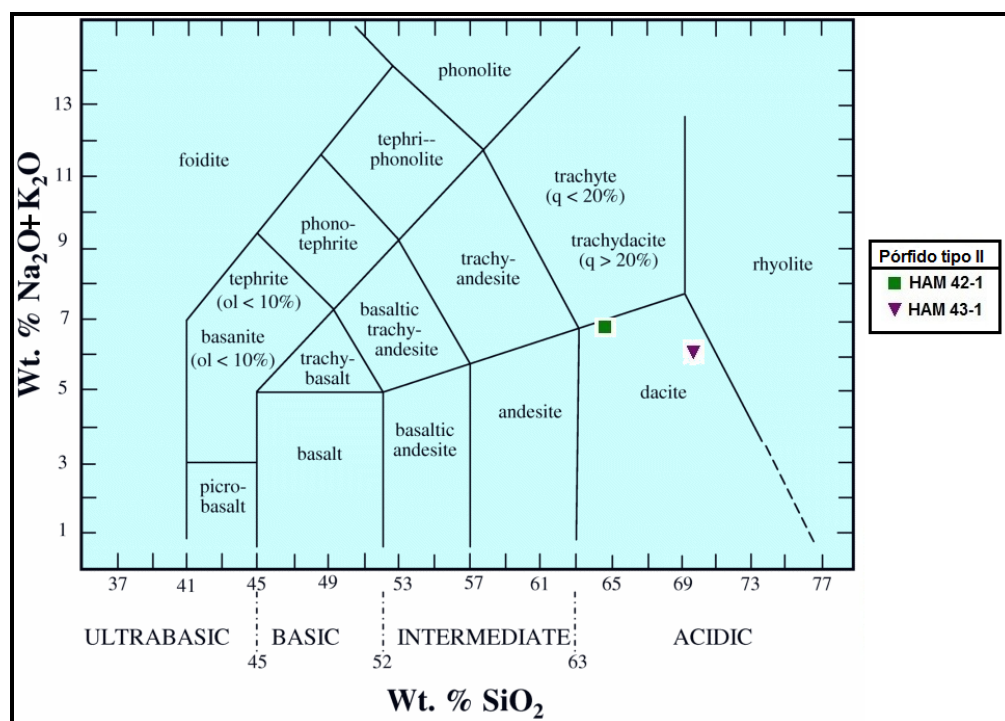
Figura 23: Subdivisión de rocas subalcalinas mediante diagrama de proyección SiO_2 vs. K_2O .



Fuente: Irvine and Baragar (1971).

Según la Clasificación TAS, las muestras HAM-42-1 y HAM-43-1 se proyectan en el campo de las rocas dacíticas (equivalente al análogo intrusivo de tipo granodiorítico) (**Figura 24**). Desde el punto de vista de la saturación de alúmina, estas muestras presentan relaciones molares de $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$; valores molares $0.17 > 0.02 + 0.03 + 0.04$ (0.06), respectivamente), lo cual permite establecer su carácter peraluminico. El hecho que estas rocas sean de serie calcoalcalina, es un indicador de un magmatismo asociado a un contexto de suprasubducción. Por otro lado, el carácter peraluminico de estas rocas puede ser interpretado como producto de la fusión parcial de una fuente sedimentaria (asociada al *slab* subducido), con procesos de contaminación cortical o debido a un enriquecimiento en Al_2O_3 derivado de los procesos de diferenciación magmática de magmas procedentes de la fusión parcial de la cuña mantélica.

Figura 24: Clasificación TAS para las rocas porfiríticas que pasaron el test de alteración propuesto por Davies and Whitehead (2006).

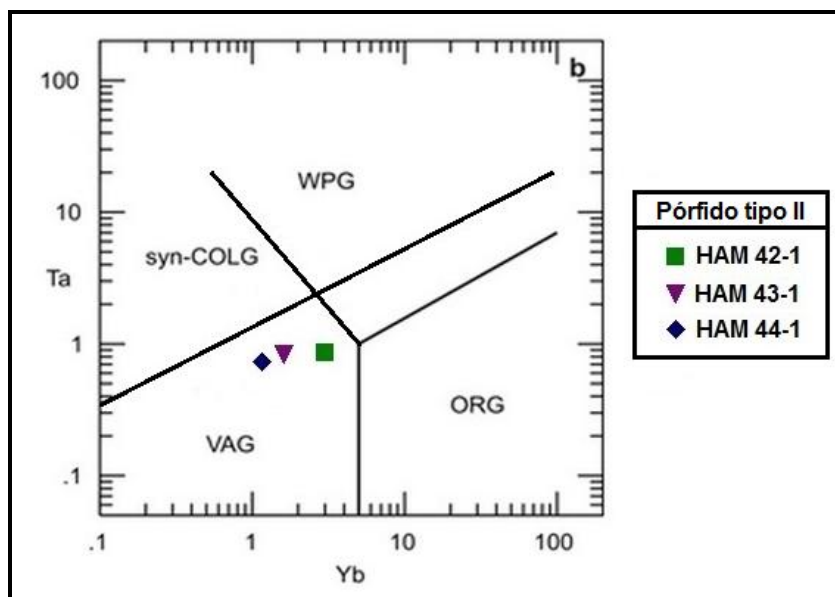


Fuente: Le Maitre (2002).

Para fines de poder determinar con seguridad cuál de estas hipótesis es la más válida para nuestro caso, se requiere de una mayor densidad de análisis, tanto de geoquímica de MMT, como de geoquímica isotópica, los cuales están fuera del alcance de los objetivos del presente trabajo de tesis de pregrado.

Con el propósito de discriminar el ambiente tectónico en el cual debió tener lugar el emplazamiento de los magmas generados de las rocas ígneas aquí estudiadas, se utilizó el diagrama para rocas graníticas de Pearce et al. (1984). Según este diagrama, las rocas porfiríticas aflorantes en el sector de la Francia se proyectan en el campo de los Granitos de Arco Volcánico (**Figura 25**).

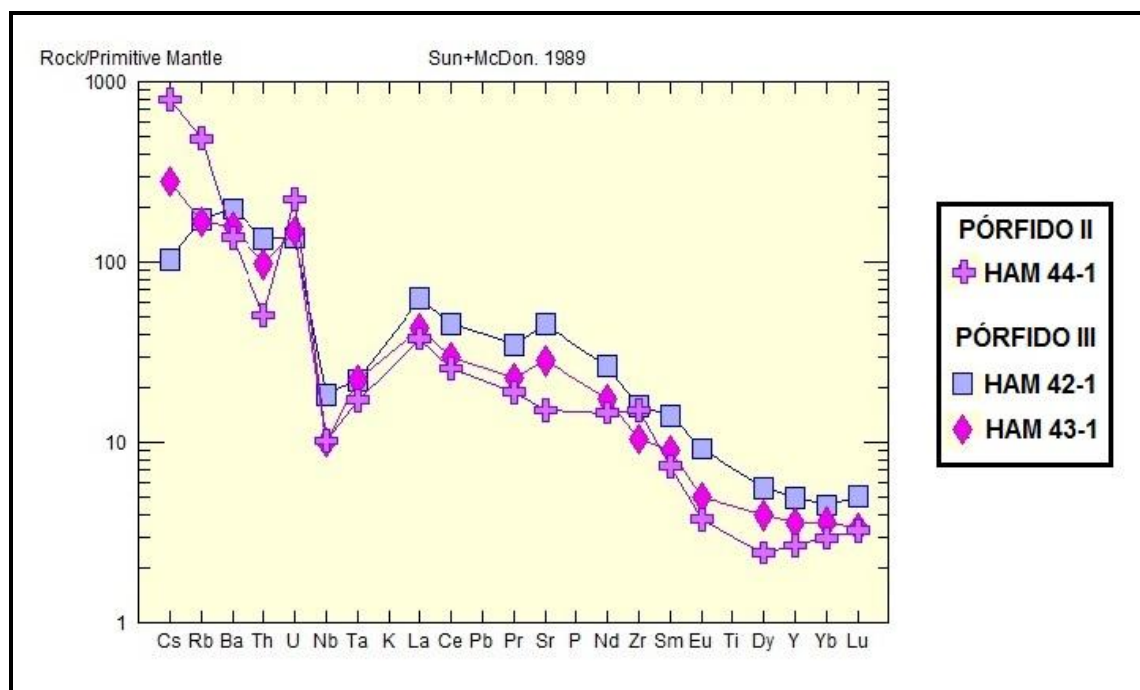
Figura 25. Diagrama de discriminación del ambiente tectónico Yb *versus* Ta para las rocas porfiríticas del Neógeno analizadas geoquímicamente.



Fuente: Pearce et al. (1984).

Los diagramas araña obtenidos a partir de la normalización de las muestras de rocas porfiríticas aquí estudiadas respecto al manto primitivo (**Figura 26**), utilizando los valores reportados en McDonough et al. (1992), muestran claramente un enriquecimiento de los LILE como Cs, Rb, Ba y Th con respecto a los elementos de radio iónico pequeño (HFSE) como Y, Zr, Ti, Nb y Ta, además de una notable anomalía negativa en Nb-Ta, y la no muy evidente anomalía en P-Ti, las cuales son características geoquímicas típicas de zonas de subducción.

Figura 26. Elementos traza normalizados al manto primitivo.



Fuente: IgPet versión 2005.

Los enriquecimientos en Cs, Rb, Ba y Pb podrían ser atribuidos al transporte preferencial de estos elementos móviles por los fluidos acuosos de alta temperatura generados durante la deshidratación de la placa en subducción, tal como se ha documentado en otros contextos geológicos similares (Wilson, 1989; White, 2005).

La anomalía negativa en Nb para cada muestra analizada geoquímicamente en la zona de estudio (**Tabla 14**) se calculó mediante la ecuación Nb_n / Nb^* , donde Nb_n significa la abundancia normal del elemento en rocas de la corteza terrestre y Nb^* se refiere al valor de Nb obtenido de los análisis geoquímicos.

Tabla 14: Anomalía de Nb calculada en las muestras analizadas geoquímicamente.

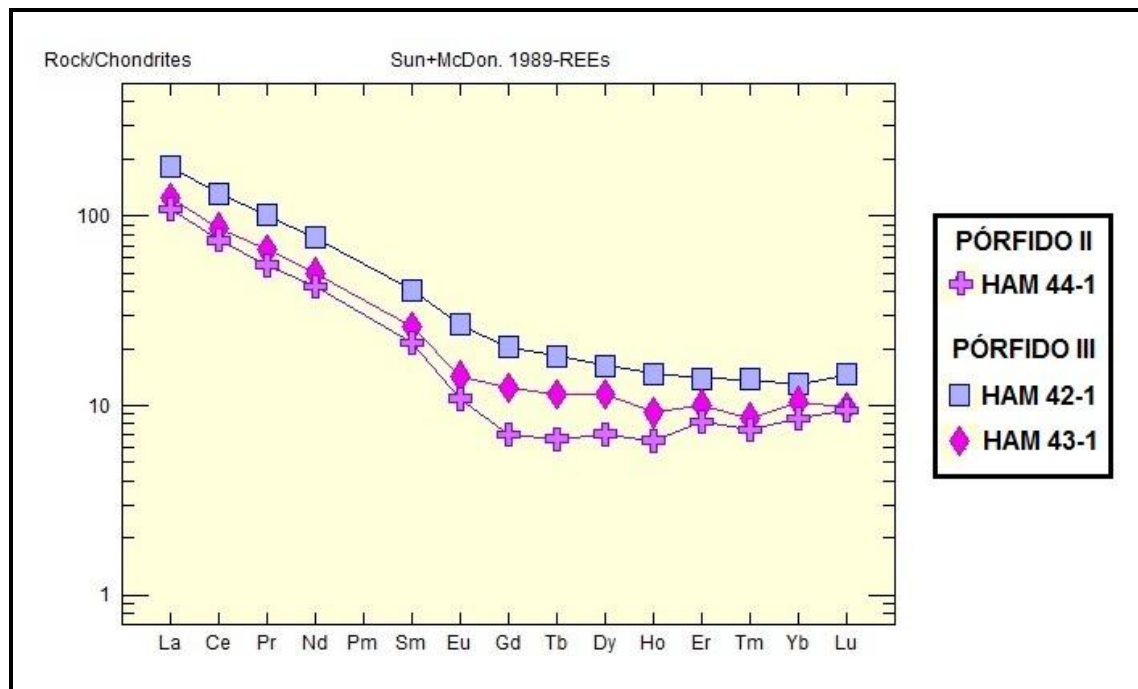
COD. MUESTRA	Nb _n (Sun & McDon.,1989)	Nb*	Anomalía
HAM 42-1	0.713	13.1	0.0544
HAM 43-1	0.713	7.1	0.1004
HAM 44-1	0.713	7.3	0.0976

Como resultado se obtuvieron valores menores a 0.15 que junto con el desacoplamiento entre elementos LILE y HFSE representa la evidencia de un ambiente de arco (Pearce, 1982).

El patrón de las REE de las muestras analizadas obtenido mediante la normalización de los datos al condrito C1 (según valores de Sun and McDonough, 1989) (**Figura 27**), evidencian un importante fraccionamiento de las REE, manifiesto en un enriquecimiento de las LREE respecto a las HREE. Por otro lado, el fraccionamiento de las HREE es prácticamente nulo (próximo a 1).

La ausencia de anomalía negativa en Eu indica que las rocas porfíricas del sector de La Francia, junto con otros rasgos geoquímicos (por ejemplo: altas relaciones Sr/Y), apuntan a que este magmatismo de edad Neógeno es propio de un magmatismo de arco con alta fertilidad o potencialidad para formar depósitos de tipo pórfido de Cu ± Mo ± Au (según Richards, 2011).

Figura 27. Tierras raras normalizadas al condrito 1.



Fuente: IgPet versión 2005.

6. CONCLUSIONES

- El estudio geológico realizado en el sector de La Francia (Municipio de Vetás, Macizo de Santander) permitió reconocer la presencia de rocas metamórficas del Neis de Bucaramanga (de edad Neoproterozoico) cortadas por diques de composición alaskítica (relacionados con un evento magmático de edad Triásico Tardío – Jurásico Temprano) y por diques porfiríticos de edad Neógeno.
- Los análisis mineralógico-petrográficos y geoquímicos de las rocas porfiríticas aflorantes en el sector de La Francia permitieron establecer que los diques porfiríticos aquí estudiados representan litologías fundamentalmente de tipo dacitas (puntualmente riodacitas), de serie calco-alcalina y con una saturación de alúmina propia de rocas peraluminicas.
- La presencia de cuarzos fragmentados con bordes de reabsorción o corrosión (*resorption or corrosion*) en las rocas porfiríticas del sector de La Francia, se interpretan en el presente estudio como el resultado de un proceso de mezcla de magmas acompañado de una liberación de volátiles por despresurización del fundido (enfriamiento adiabático).
- Los rasgos geoquímicos de las rocas porfiríticas del Neógeno en el sector de La Francia (*sensu lato*) indican que la génesis de sus magmas parentales son de afinidad adakítica (altas relaciones Sr/Y y ausencia de anomalía negativa en Eu debido al alto contenido de volátiles), y en consecuencia tienen potencialidad para formar mineralizaciones de tipo pórfido de Cu-Au-Mo.

- Los diagramas araña de los elementos traza (normalizados al manto primitivo) y las relaciones Ta vs. Yb derivados de la geoquímica de roca total de las rocas porfiríticas, apuntan a un ambiente propio de granitos de arco volcánico.
- La presencia de diques porfiríticos en el sector de la Francia (correlacionables con el magmatismo del Mioceno Tardío, según Mantilla et al., 2011) afectados por diaclasamiento y por alteraciones magmático-hidrotermales, son una evidencia de la existencia de procesos de deformación y magmatismo de edad post-Mioceno Tardío en el área del Distrito Minero de Vetás-California.
- El estudio mineralógico-petrográfico y de DRX en rocas afectadas por procesos de alteración hidrotermal, permitió establecer la existencia de una sobre-imposición de alteraciones propilítica, sericítica, argílica y argílica avanzada. La presencia de alteraciones hidrotermales tipo sericítica (propias de un estilo de mineralización de ambiente porfirítico somero) y argílica avanzada (propias de un estilo de mineralización epitermal de alta sulfuración) en la Mina 'La Francia' (*sensu stricto*), permite suponer que estos eventos de alteración hidrotermal están relacionados directamente con la metalogénesis del oro en ese sector específico, aunque no hay datos que permitan establecer con cuál de estos dos eventos de alteración se relacionan más las mayores concentraciones de metales preciosos.
- La presencia de vetillas de óxidos de hierro y jarosita en las rocas porfiríticas del sector de la Francia, se relaciona con procesos de alteración supergénica, y por lo tanto, temporalmente representan los eventos de alteración más recientes aquí documentados.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo un análisis mediante geocronología en el área de estudio con el fin de comprobar de manera más certera la edad de la etapa magmática en la cual estas rocas porfiríticas tuvieron lugar, la cual pudo haber favorecido la formación del sistema magmático hidrotermal responsable de los depósitos minerales en el sector de La Francia.
- Debido a que el sector presenta el registro de varios eventos de alteración hidrotermal, es recomendable realizar un análisis de Inclusiones Fluidas con una gran densidad de datos para poder interpretar estos eventos de una mejor manera.
- Es necesario analizar las rocas porfiríticas objeto de estudio mediante geoquímica isotópica, en aras de explicar las causas de tener un magma peraluminico que causa el enriquecimiento de Al_2O_3 en este ambiente de subducción.

BIBLIOGRAFÍA

Betsi, Th. and Lentz, D. 2010. The nature of “quartz eyes” hosted by dykes associated with Au-Bi-As-Cu, Mo-Cu and base-metal-Au-Ag mineral occurrences in the Mountain Freegold región (Dawson Range), Yukon, Canada. *Journal of Geosciences*, 55 (2010), 347-368.

Camprubí, A., González-Partida, E., Levresse, G., Tritlla, J. y Carrillo-Chávez, A. 2003. Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo LVI, Núm. 1.

Castellanos, O., Ríos, C. and Akira, T. 2008. A new approach on the tectonometamorphic mechanisms associated with P-T paths of the Barrovian-tipe Silgará Formation at the Central Santander Massif, Colombian Andes. *Earth Sci. Res. J.* Vol.12, No. 2: 125-155.

Clavijo, J. 1994. Mapa geológico generalizado del Departamento de Norte de Santander, Memoria explicativa. Informe interno INGEOMINAS.p.67.

Cordani, U. G., Cardona, A., Jimenez, D. M., Liu, D. and Nutman, A. 2005. Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. In: *Terrane Processes at Margins of Gondwana: The Geological Society of London, Special Publications*. Edited by Vaughan, A.; Leat, P.; Pankhurst, R. Vol. 246, pp. 329-346.

Davies, J.F. and Whitehead, R.E. 2006. Alkali-Alumina and MgO-Alumina Molar Ratios of Altered and Unaltered Rhyolites: *Exploration and Mining Geology*, Vol. 15, N° 1-2, pp. 75-88.

Dörr, W., Grösser, J.R., Rodriguez G.I. and Kramm, U. 1995. Zircon U-Pb age of the Paramo Rico tonalite-granodiorite, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia) and its geotectonic significance. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 8, N° 2, pp. 187-194.

Eco, H. 1988. *Cómo se hace una tesis, técnicas y procedimientos de estudio, investigación y escritura*. Editorial Gedisa, S. A. 6ª Edición, 240 p.

Evans, J. 1977. *Geological and Geochemical Reconnaissance in the Central Santander Massif, Departments of Santander and Norte de Santander, Colombia*: U.S. Geological Survey (edits): 43 p.

Felder, G., Ortiz, G., Campos, C., Monsalve, I. and Silva, A. 2005. ANGOSTURA PROJECT, A High Sulfidation Gold-Silver Deposit located in the Santander Complex of North Eastern Colombia. Greystar Resources Ltda: Thech Report.

Galvis, J. 1998. Una caldera volcánica en el Macizo de Santander, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* Vol. XXII, N° 84-Septiembre de 1998.

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

García, C., Ríos, C. and Castellanos, O. 2005. Medium-Pressure Metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes: *Boletín de Geología*, Vol 27 N° 2.

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

Glazner, AF., Ussler, M. and Mathis, AC. 1990. Interpretation of plagioclase texture in volcanic rocks. EOS (Transactions of the American Geophysical Union) 71: 1678.

Goldsmith, R., Marvin, R. F. and Mehnert, H. 1971. Radiometric Ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes: Prepared on Behalf of the A.I.D., U.S.G.S. and the Government of Colombia.

Harnois, L. 1988. The CIW index: a new chemical index of weathering. Sedimentary Geology, 55: 319-322.

Hibbard, MJ. 1981. The magma mixing origin of mantled feldspar. Contrib Mineral Petrol 76: 158-170.

Hollings, P. and Wyman, D. 2005. The Geochemistry of Trace Elements in Igneous Systems: Principles and Examples from Basaltic Systems. In: Linnen, R. and Samson, I. (Eds), Rare-element geochemistry and mineral deposits, Newfoundland, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. Pp. 1-16. Short Course Notes. v. 17.

Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 8, p. 523-548.

Le Maitre, R.W. 2002. Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. 2nd ed. Cambridge University Press, 236 p.

Mantilla, L. C. 2003. Guía de Laboratorio de Petrología Ígnea. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas. Escuela de Geología.

Mantilla, L., Valencia, V., Barra, F., Pinto, J. y Colegial, J. 2009. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del Distrito aurífero de Vetás-California (Departamento de Santander, Colombia). Boletín de Geología, Vol 31, N° 1.

Mantilla, L., Mendoza, H., Bissig, T. y Craig, H. 2011. Nuevas evidencias sobre el magmatismo Miocénico en el Distrito Minero de Vetás-California (Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología, Vol 33, N° 1.

Mantilla, L., Bissig, T., Cottle, J. and Craig, H. 2012. Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera), Journal of South American Earth Sciences, Vol. 38; 1-12.

Mantilla Figueroa, L. C., Bissig, T., Rodríguez, A. and Hart, C. 2012. Magmatic history and mineralization in the Vetás-California Au Mining District and its metallogenetic significance (Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia): Abstract XVI Peruvian Geological Congress & SEG Conference. The 23rd and 26th of September 2012. Lima, Perú.

Mathur, R., Ruiz, J., Herb, P., Hahn, L. and Burgath, K.-P. 2003. Re-Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, Northeastern Colombia: Journal of South American Earth Sciences, N° 15.

Mc Donough, W.F., Sun, S.S., Ringwood, A.E., Jagoutz, E. and Hofmann, A.W. 1992. K, Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle: *Geochim. Cosmoch. Acta* 56, 1001-1012.

Melgarejo, J., Proenza, J., Galí, S. y Llovet, X. 2010. Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. 62, N° 1.

Mendoza, H. y Jaramillo, L. 1979. Geología y geoquímica del área de California, Santander. *Boletín Geológico. INGEOMINAS*. Vol. 22.

Müller, A., Breiter, K., Seltnann, R. and Pecskey, Z. 2005. Quartz and feldspar zoning in the eastern Erzgebirge Volcano-plutonic Complex (Germany, Czech Republic): evidence of multiple magma mixing: *Lithos* 80: 201-227.

Nesbitt, H.W. and Young, G.M. 1982. Early Proterozoic climate and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715-717.

Pearce, J.A. 1982. Trace elements characteristics of lavas from destructive plate boundaries; p. 525-548, in Thorpe, R.S. (ed.), *Andesites: Orogenic andesites and related rocks*, John Wiley and Sons, New York, 724 p.

Pearce, J.A., Harris, N.W. and Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks: *Journal of Petrology*, v. 25, 956-983.

Polania, J. 1982. Mineralizaciones de Uranio y otros metales en California (Santander del Sur). *Geología Norandina*, N°6.

Restrepo-Pace, P.A., Ruiz, J., Gehrels, G. and Cosca, M. 1997. Geochronology and Nd isotopic data of Greenville-age rocks in Columbian Andes: new constraints for late Proterozoic - early Paleozoic paleocontinental reconstructions of Americas: Earth and Planetary Sciences Letters 154: 331-347.

Richards, J.P. 2011. High Sr/Y arc magmas and porphyry Cu $\pm$ Mo $\pm$ Au deposits: just add water. Economic Geology, Vol. 106, pp. 1075-1081.

Richards, J., Spell, T., Rameh, E., Razique, A. and Fletcher, T. 2012. High Sr/Y Magmas Reflect Arc Maturity, High Magmatic Water Content, and Porphyry Cu $\pm$ Mo $\pm$ Au Potential: Examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. Economic Geology, v. 107, pp. 295-332.

Rios, C. y Castellanos, O. 2005. Atlas de minerales vistos bajo el microscopio de luz transmitida. Bucaramanga. Ediciones UIS, ISBN 958-8187-38-9.

Rollinson, H.R. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Pearson Education Limited, Prentice Hall. England, 352 p.

Royero, J.M. y Clavijo, J. 2001. Mapa Geológico generalizado Departamento de Santander. Memoria explicativa, INGEOMINAS.

Sillitoe, R., Jaramillo, L., Damon, P., Shafiquallah, M. and Escovar, R. 1982. Setting, Characteristics, and Age of the Andean Porphyry Copper Belt in Colombia. Economic Geology, Vol. 77, pp 1837-1850.

Streckeisen, A. 1979. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks: recommendations and suggestions of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Geology, 7.Pp. 331-335.

Sun, S.S. and Mc Donough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, vol. 42, No.1, pp. 313-345.

Toussaint, J-F. 1995. Evolución Geológica de Colombia-Triásico y Jurásico. Universidad Nacional de Colombia. 94 p.

Urueña-Suarez, C.L. y Zuluaga, C.A. 2011. Petrografía del Neis de Bucaramanga en cercanías a Cepitá, Berlín y Vetás-Santander. Geología Colombiana, Vol. 36 N° 1, Edición especial: ISSN 0072-0992.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J. y Restrepo, H. 1970. Recursos Minerales de parte de los Departamentos de Norte de Santander y Santander. Boletín Geológico. U. S. Geological Survey, INGEOMINAS. Vol. 17, N° 3.

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

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C.L. y Vargas, R.I. 1977. Mapa Geológico de la Plancha H-13 a escala 1:100.000.

White, W.M. 2005. Geochemistry (libro electrónico en línea): Baltimore, EE.UU., Johns-Hopkins University Press, disponible en <www.imwa.info/white-geochemistry.html>.

Whitney, D.L. and Evans, B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals: American Mineralogist, Volume 95, pages 185-187.

Wilson, M. 1989. Igneous Petrogenesis: A global tectonic approach: Unwin Hyman, London, 466 p.

Winchester, J.A. and Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements: Chemical Geology, v. 20, p. 325-343.

ANEXOS

ANEXO A. CATÁLOGO DE MUESTRAS

MUESTRA HAM 38-1



TIPO DE ROCA	Metamórfica			
NOMBRE	Neis cuarzo feldespático micáceo			
COORDENADAS	X=1´302,714 ± 4 m	Y=1´129,549 ± 4 m	Z=2608 m.s.n.m.	
TEXTURA	Lepidogranoblástica			
ESTRUCTURA	Néisica			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		45%	
	Biotita		35%	
	Moscovita		10%	
	Plagioclasa		10%	
DESCRIPCIÓN	Roca metamórfica de color marrón a blanco grisáceo, con textura lepidogranoblástica, estructura néisica, constituida por cuarzo en un 45%, biotita 35%, plagioclasa 10% y moscovita 10%.Cristales de los minerales micáceos concordantes con la foliación de la roca y presencia de oxidación.			

MUESTRA HAM 38-2



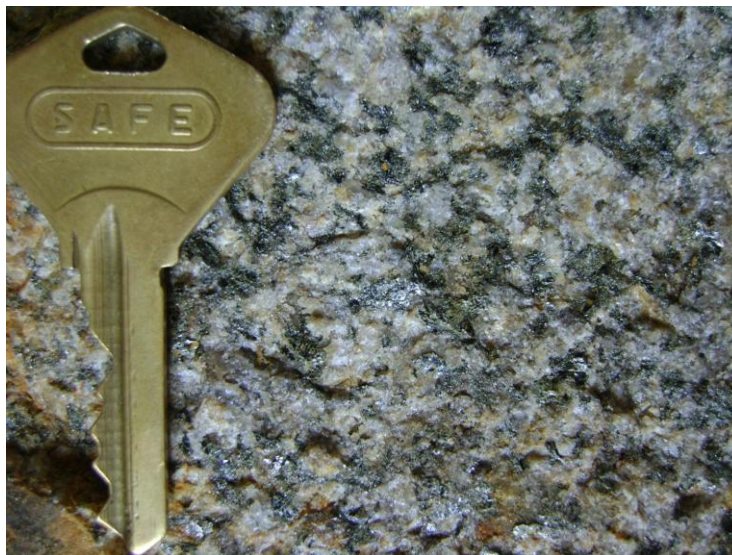
TIPO DE ROCA	Metamórfica			
NOMBRE	Neis cuarzo feldespático micáceo			
COORDENADAS	X=1´302,714 ± 4 m	Y=1´129,549 ± 4 m	Z=2608 m.s.n.m.	
TEXTURA	Lepidogranoblástica			
ESTRUCTURA	Néisica			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		55%	
	Plagioclasa		30%	
	Moscovita		10%	
	Biotita		5%	
DESCRIPCIÓN	Roca metamórfica de color blanco a gris, con textura lepidogranoblástica, estructura néisica, constituida por cuarzo en un 55%, plagioclasa 30%, moscovita 10% y biotita 5%. Esta roca de estructura néisica y tamaño de grano medio presenta bandeo composicional y silicificación.			

MUESTRA HAM 39-1



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Riodacita			
COORDENADAS	X=1´302,814 ± 4 m	Y=1´129,694 ± 4 m	Z=2593 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Plagioclasa		45%	
	Cuarzo		30%	
	Sericita		13%	
	Biotita		12%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color gris claro, con textura porfirítica, estructura masiva, constituida por plagioclasa en un 45%, cuarzo 30%, sericita 13% y biotita 12%, cuyos cristales de mayor tamaño de la muestra (5-10 mm de arista) están embebidos en una matriz afanítica y están compuestos por plagioclasa, cuarzo y biotita. Roca oxidada con fracturas rellenas por óxidos.			

MUESTRA HAM 39-2



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granodiorita			
COORDENADAS	X=1´302,814 ± 4 m	Y=1`129,694 ± 4 m	Z=2593 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		40%	
	Plagioclasa		22%	
	Ortoclasa		18%	
	Biotita		10%	
	Hornblenda		10%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color amarillo a naranja claro, con textura porfirítica, estructura masiva, constituida por cuarzo en un 40%, plagioclasa 22%, ortoclasa 18%, biotita 10% y hornblenda 10%, con fenocristales de hasta 10 mm de cuarzo, plagioclasa, ortoclasa y hornblenda dentro de una matriz fanerítica.			

MUESTRA HAM 40-1



TIPO DE ROCA	Metamórfica			
NOMBRE	Neis cuarzo feldespático micáceo			
COORDENADAS	X=1´302,287 ± 13 m	Y=1´129,499 ± 13 m	Z=2632 m.s.n.m.	
TEXTURA	Lepidogranoblástica			
ESTRUCTURA	Néisica			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		42%	
	Biotita		30%	
	Plagioclasa		22%	
	Ortoclasa		6%	
DESCRIPCIÓN	Roca metamórfica de color blanco a gris claro, con textura lepidogranoblástica, estructura néisica, constituida por cuarzo en un 42%, biotita 30%, plagioclasa 22% y ortoclasa 6%. Presenta un fuerte fracturamiento relleno por minerales del grupo de las arcillas o sin relleno.			

MUESTRA HAM 40-2



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granitoide rico en cuarzo			
COORDENADAS	X=1´302,287 ± 13 m	Y=1´129,499 ± 13 m	Z=2632 m.s.n.m.	
TEXTURA	Fanerítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		80%	
	Moscovita y sericita		20%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color blanco, con textura fanerítica, estructura masiva, constituida por cuarzo en un 80% y moscovita y sericita 20%. Se encuentra afectada por alteración hidrotermal debido a que sus minerales originales han sido cambiados por sílice principalmente.			

MUESTRA HAM 41-1



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granitoide rico en cuarzo			
COORDENADAS	X=1´302,851 ± 11 m	Y= 1´129,457 ± 11 m	Z=2626 m.s.n.m.	
TEXTURA	Fanerítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		50%	
	Sericita		25%	
	Óxidos		15%	
	Biotita		10%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color blanco con algunas motas de color pardo rojizas, con textura fanerítica, estructura masiva, constituida por cuarzo en un 50%, sericita 25%, óxidos 15% y biotita 10%. Está afectada por alteración hidrotermal debido a que la roca se encuentra enriquecida en sílice y sericita, con la presencia de una alta oxidación de la roca.			

MUESTRA HAM 42-1



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Dacita			
COORDENADAS	X=1´302,856 ± 5 m	Y=1´129,543 ± 5 m	Z=2656 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Plagioclasa		40%	
	Cuarzo		25%	
	Sericita		20%	
	Clorita		15%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color gris claro, con textura porfirítica, estructura masiva, constituida por plagioclasa en un 40%, cuarzo 25%, sericita 20% y clorita 15%. La muestra de mano presenta una matriz afanítica de color gris claro a verdoso en la cual están embebidos los cristales de mayor tamaño de la muestra (3-4 mm de arista) compuestos por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita.			

MUESTRA HAM 43-1



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Dacita			
COORDENADAS	X=1´302,924 ± 4 m	Y=1´129,643 ± 4 m	Z=2673 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		25%	
	Ortoclasa		10%	
	Plagioclasa		30%	
	Biotita		10%	
	Moscovita		5%	
	Sericita		20%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color gris claro, con textura porfirítica, estructura masiva, constituida por cuarzo en un 25%, ortoclasa 10%, plagioclasa 30%, biotita 10%, moscovita 5% y sericita 20%, cuyos fenocristales de cuarzo y plagioclasa (2-3 mm de arista) están embebidos en una matriz afanítica.			

MUESTRA HAM 44-1



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Riodacita			
COORDENADAS	X= 1´303,065 ± 8 m	Y= 1´130,059 ± 8 m	Z= 2755 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfírica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Plagioclasa		45%	
	Cuarzo		25%	
	Moscovita y sericita		15%	
	Clorita		15%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color gris claro, con textura porfírica, estructura masiva, constituida por plagioclasa en un 45%, cuarzo 25%, moscovita y sericita 15% y clorita 15%. La muestra de mano presenta una matriz afanítica de color gris claro en la cual están embebidos los cristales de mayor tamaño de la muestra (3-4 mm de arista) compuestos por plagioclasas, cuarzo y clorita. Presenta fracturas rellenas de cuarzo y/u óxidos.			

MUESTRA HAM 44-2



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granitoide rico en cuarzo			
COORDENADAS	X= 1° 303,065 ± 8 m	Y= 1° 130,059 ± 8 m	Z= 2755 m.s.n.m.	
TEXTURA	Fanerítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		60%	
	Plagioclasa		30%	
	Biotita		5%	
	Sericita y caolinita		5%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color blanco, con textura fanerítica, estructura masiva, constituida por cuarzo en un 60%, plagioclasa 30%, biotita 5% y sericita y caolinita 5%. La muestra está afectada por alteración hidrotermal debido a la presencia de silicificación y presenta un fuerte fracturamiento y oxidación superficial y penetrativa siguiendo el fracturamiento.			

MUESTRA HAM 44-3



TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Dacita			
COORDENADAS	X= 1° 303,065 ± 8 m	Y= 1° 130,059 ± 8 m	Z= 2755 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		45%	
	Plagioclasa alterada a sericita		40%	
	Mica blanca		10%	
	Rutilo y otros óxidos		5%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color blanco verdoso a gris claro, con textura porfirítica, estructura masiva, constituida por cuarzo en un 45%, plagioclasa 40%, mica blanca 10% y óxidos 5%, afectada por alteración hidrotermal debido a que sus minerales originales han sido cambiados o transformados hasta hacer casi irreconocible la roca original.			

MUESTRA HAM 45-1



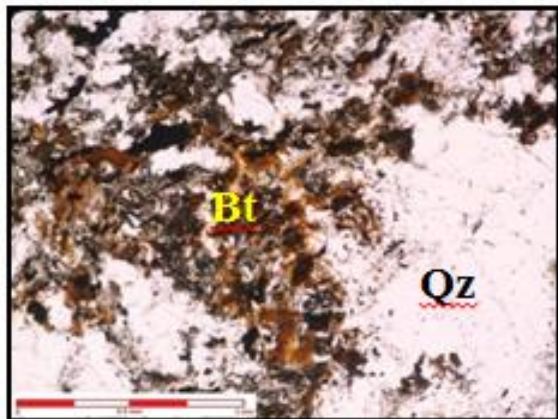
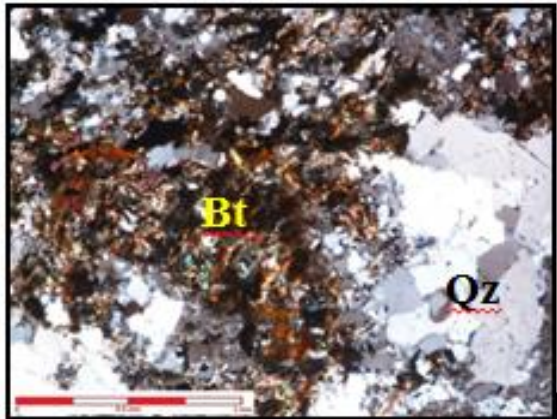
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Riodacita			
COORDENADAS	X= 1´303,055 ± 21 m	Y= 1´130,052 ± 21 m	Z= 2776 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		20%	
	Ortoclasa		10%	
	Plagioclasa		15%	
	Sericita		40%	
	Biotita		10%	
	Clorita		5%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color gris con rosado, con textura porfirítica, estructura masiva, constituida por cuarzo en un 20ortoclasa 10%, plagioclasa 15%, sericita 40%, biotita 10% y clorita 5%, cuyos fenocristales de 2 a 6 mm de arista compuestos de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita embebidos dentro de una matriz afanítica.			

MUESTRA GI 27-M2

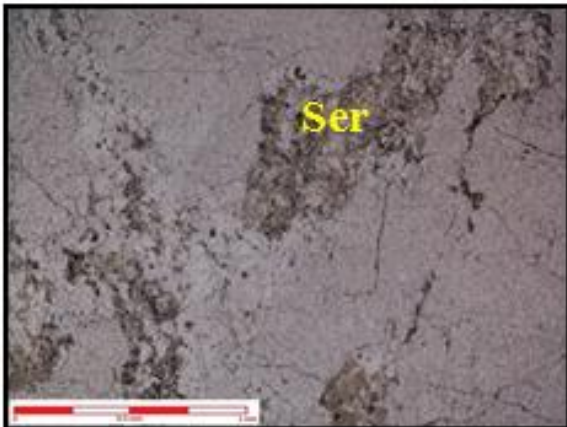
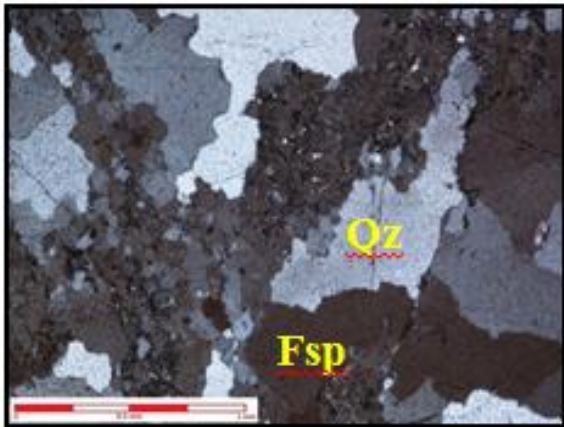


TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Riodacita			
COORDENADAS	X= 1´301,363 ± 11 m	Y= 1´133,455 ± 11 m	Z= 3201 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Plagioclasa		30%	
	Sericita		20%	
	Cuarzo		30%	
	Biotita		10%	
	Ortoclase		10%	
DESCRIPCIÓN	Roca ígnea de color gris con manchas rosadas y motas negras, con textura porfirítica, estructura masiva, constituida por plagioclasa en un 30%, sericita 20%, cuarzo 30%, biotita 10% y ortoclase 10%, cuyos fenocristales de plagioclase de 3 mm, cuarzoes de 8 mm y biotitas de 2 mm se encuentran dentro de una matriz afanítica.			

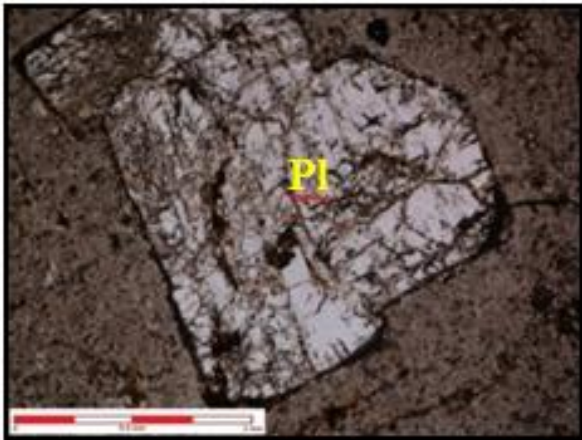
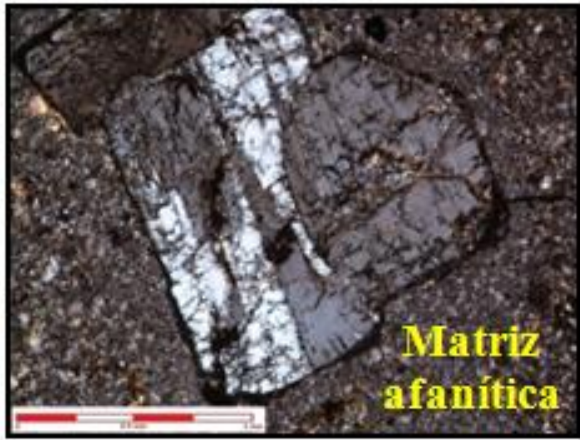
ANEXO B. CATÁLOGO PETROGRÁFICO DE LAS SECCIONES DELGADAS

MUESTRA HAM 38-1			
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS	
			
TIPO DE ROCA	Metamórfica		
NOMBRE	Neis cuarzo feldespático micáceo		
COORDENADAS	X=1´302,714 ± 4 m	Y=1´129,549 ± 4 m	Z=2608 m.s.n.m.
TEXTURA	Lepidogranoblástica		
ESTRUCTURA	Néisica		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo	20%	
	Biotita	10%	
	Moscovita	10%	
	Plagioclasa	10%	
	Sericita	15%	
	Ortoclasa	25%	
	Caolinita	10%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos de primer orden, de hábito granular y cristales xenomórficos con superficie limpia, tamaños heterogéneos en la muestra y formas muy irregulares.		
	BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro y amarillo, relieve medio-alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos de tercer orden pero enmascarados por los colores del mineral, con una dirección de exfoliación, hábito hojoso y cristales subidiomórficos. La alteración a Clorita es mínima.		

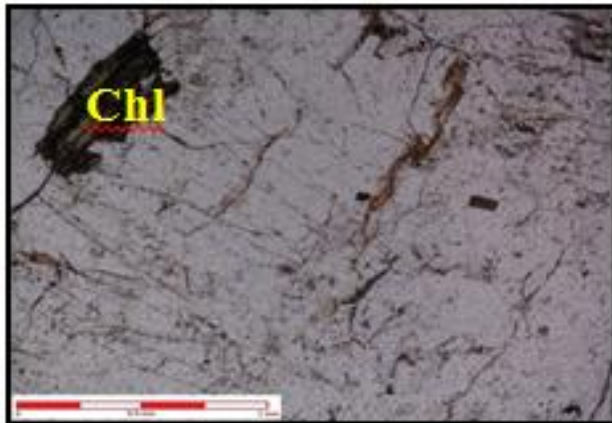
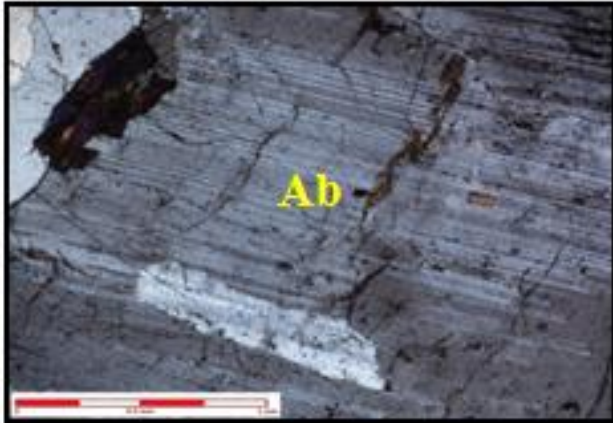
	MOSCOVITA: Cristales individuales incoloros, relieve de bajo a alto por presentar la propiedad óptica de basculamiento del relieve, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos de tercer orden, con una dirección de exfoliación, hábito hojoso y cristales subidiomórficos en asociación estrecha con la biotita, ya que estos minerales filosilicatos marcan la dirección de foliación de esta roca (Neis). PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos de primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas polisintéticas según la ley de la albita, hábitos granulares y cristales xenomórficos de superficie manchada y alterados a sericita. ORTOCLASA: Cristales individuales granulares y xenomórficos, incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos de primer orden y sin direcciones de exfoliación. La ocurrencia de caolinita en la muestra proviene de la alteración del feldespato potásico
--	---

MUESTRA HAM 38-2			
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS	
			
TIPO DE ROCA	Metamórfica		
NOMBRE	Neis cuarzo feldespático micáceo		
COORDENADAS	X=1´302,714 ± 4 m	Y=1´129,549 ± 4 m	Z=2608 m.s.n.m.
TEXTURA	Lepidogranoblástica		
ESTRUCTURA	Néisica		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo	55%	
	Sericita	20%	
	Ortoclasa	10%	
	Caolinita	10%	
	Biotita y moscovita	5%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales de superficie limpia, individuales e incoloros, de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos de primer orden, de hábito granular y cristales xenomórficos. Los cristales de tamaños heterogéneos muestran una alineación de los mismos.		
	BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro y amarillo, relieve medio-alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos de tercer orden, con una dirección de exfoliación, hábito hojoso y cristales subidiomórficos. La alteración a clorita es mínima.		

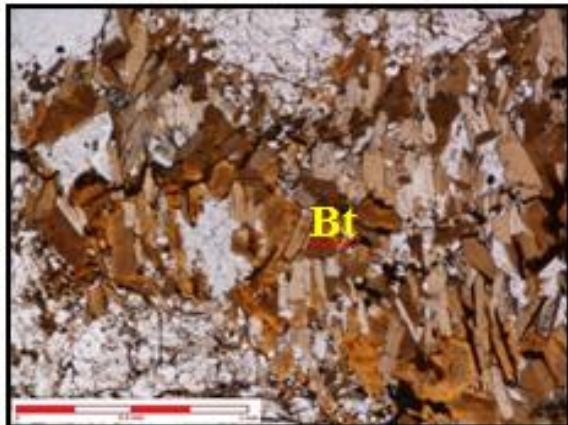
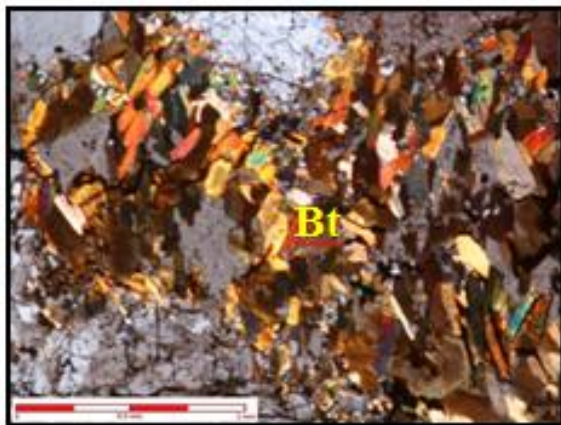
	MOSCOVITA: Cristales individuales incoloros, relieve de bajo a alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos de tercer orden, con una dirección de exfoliación, de hábito hojoso y cristales subidiomórficos no muy asociados a la biotita debido a que la silicificación alteró más del 50% de la roca. PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos de primer orden, sin direcciones de exfoliación, hábitos granulares y cristales xenomórficos con superficie manchada y alterados a sericita. ORTOCLASA: Cristales individuales granulares y xenomórficos, incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos de primer orden y sin direcciones de exfoliación. La ocurrencia de caolinita en la muestra proviene de la alteración del feldespato potásico.
--	--

MUESTRA HAM 39-1				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		
				
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Riodacita			
COORDENADAS	X=1'302,814 ± 4 m	Y=1'129,694 ± 4 m	Z=2593 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Plagioclasa		25%	
	Sericita		20%	
	Cuarzo		20%	
	Ortoclasa		15%	
	Caolinita		10%	
	Biotita		10%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas tipo Albite, hábitos granulares y cristales idiomórficos, con superficies manchadas y alterándose a sericita. Algunos cristales muestran una zonación óptica.			
	SERICITA: Cristales individuales no pleocroicos, relieve medio, con birrefringencia de colores amarillo-fucsia-azul del tercer orden, con una dirección de exfoliación, hábito hojoso y cristales subidiomórficos. Este mineral está presente en la matriz afanítica haciendo parte importante de esta y también se presenta como alteración de los fenocristales de plagioclasa de la muestra.			

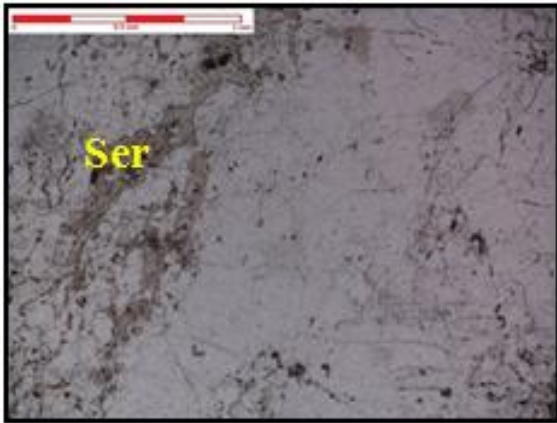
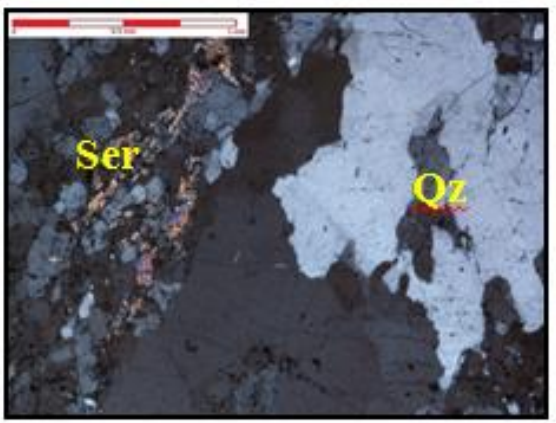
	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de hábito granular e idiomórficos principalmente, con superficie limpia. Los cuarzoes encontrados en esta muestra son de gran tamaño y hábitos circulares. ORTOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, macla de Carlsbad, hábitos granulares y cristales xenomórficos, con superficie manchada. La ocurrencia de Caolinita en la muestra proviene de la alteración del feldespatopotásico. BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro a claro, relieve alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos del tercer orden pero totalmente enmascarados por los colores del mineral, con una dirección de exfoliación, hábito hojoso e idiomórficos, algunas veces alterados a clorita.
--	---

MUESTRA HAM 39-2				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		
				
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granodiorita			
COORDENADAS	X=1°302,814 ± 4 m	Y=1°129,694 ± 4 m	Z=2593 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		25%	
	Plagioclasa		30%	
	Sericita		10%	
	Ortoclasa		10%	
	Caolinita		10%	
	Biotita		10%	
	Clorita		5%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales grandes, fracturados, incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de hábito granular y cristales xenomórficos, de superficie limpia.			
	PLAGIOCLASA: Cristales individuales, incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas polisintéticas de la albita, hábitos granulares y cristales xenomórficos, con superficies manchadas y alterándose a sericita.			

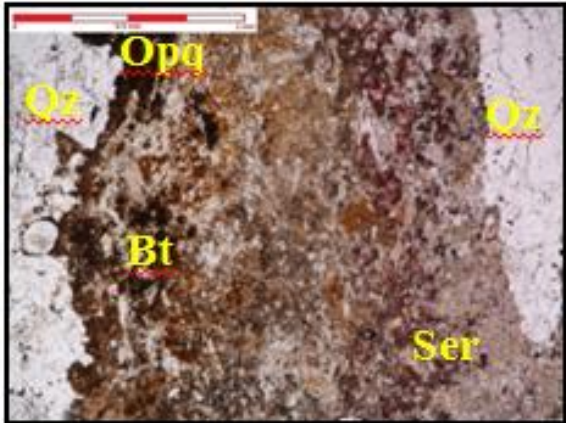
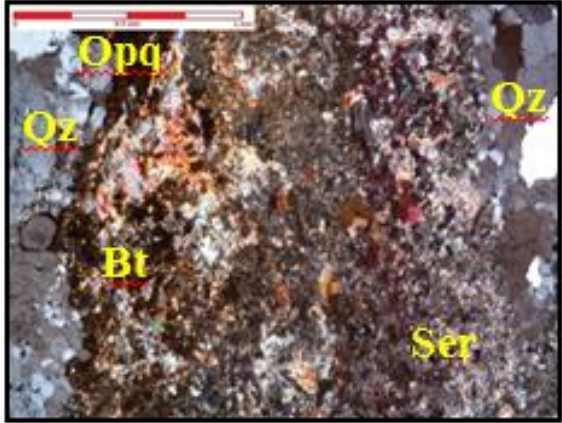
	ORTOCLASA: Cristales individuales, incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, macla de Carlsbad, hábitos granulares y cristales xenomórficos con superficie manchada, alterados a caolinita. BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro y amarillo, relieve medio-alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos del tercer orden, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos, algunos alterados casi en su totalidad a clorita.
--	---

MUESTRA HAM 40-1			
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS	
			
TIPO DE ROCA	Metamórfica		
NOMBRE	Neis cuarzo feldespático micáceo		
COORDENADAS	X=1'302,287 ± 13 m	Y=1'129,499 ± 13 m	Z=2632 m.s.n.m.
TEXTURA	Lepidogranoblástica		
ESTRUCTURA	Néisica		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo	20%	
	Biotita	15%	
	Plagioclasa	25%	
	Sericita	15%	
	Ortoclasa	15%	
	Caolinita	10%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de hábito granular y xenomórficos. Cristales con superficie limpia, grandes y fracturados.		
	BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro y amarillo, relieve medio-alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos del tercer orden, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso e idiomórficos, raramente alterados a clorita, de tamaño muy fino, formando aglomerados.		

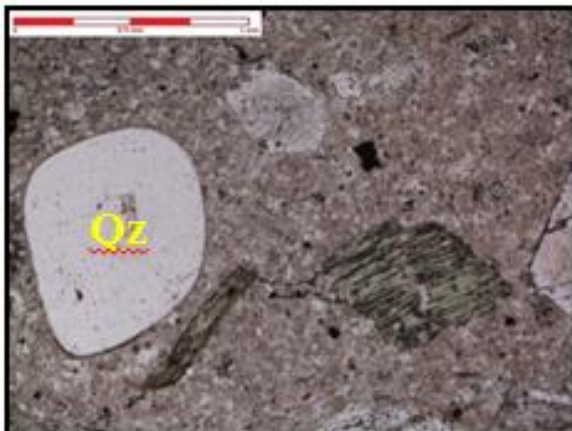
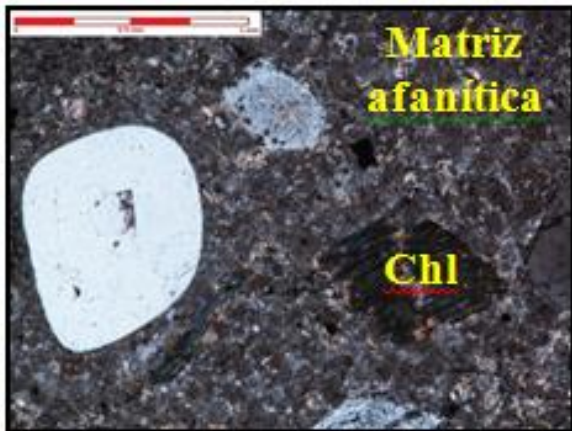
	PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas polisintéticas según la ley de la albita, hábitos granulares y xenomórficos, con superficie manchada, alterados a sericita. ORTOCLASA: Cristales individuales granulares y xenomórficos, incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos de primer orden y sin direcciones de exfoliación. La ocurrencia de Caolinita en la muestra proviene de la alteración del feldespato potásico.
--	---

MUESTRA HAM 40-2			
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS	
			
TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granitoide rico en cuarzo		
COORDENADAS	X=1'302,287 ± 13 m	Y=1'129,499 ± 13 m	Z=2632 m.s.n.m.
TEXTURA	Fanerítica		
ESTRUCTURA	Masiva		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo	60%	
	Sericita	10%	
	Ortoclasa	20%	
	Caolinita	10%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de hábito granular y xenomórficos principalmente, con superficies limpias. Los cristales de mayor tamaño son xenomórficos y los de menor tamaño son idiomórficos. La roca se encuentra silicificada.		
	SERICITA: Cristales individuales incoloros, de relieve de bajo a alto por presentar la propiedad óptica de basculamiento del relieve, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos del tercer orden, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos-xenomórficos.		

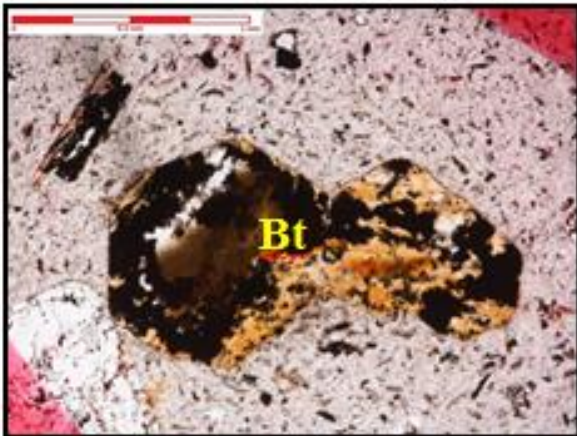
	ORTOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, macla de Carlsbad, hábitos granulares y cristales xenomórficos, con superficie manchada, alterados a caolinita.
--	---

MUESTRA HAM 41-1				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		
				
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Granitoide rico en cuarzo			
COORDENADAS	X=1'302,851 ± 11 m	Y= 1'129,457 ± 11 m	Z=2626 m.s.n.m.	
TEXTURA	Fanerítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Cuarzo		50%	
	Sericita		20%	
	Óxidos		5%	
	Ortoclasa		10%	
	Caolinita		10%	
	Biotita		5%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de hábito granular y xenomórficos principalmente, con superficies limpias. Los cristales son de diferentes tamaños. La roca se encuentra silicificada y sericitizada.			
	SERICITA: Cristales individuales no pleocroicos, relieve medio, con birrefringencia de colores amarillo-fucsia-azul del tercer orden, con una dirección de exfoliación, de hábito hojoso y xenomórficos, producto de la alteración de las plagioclasas.			

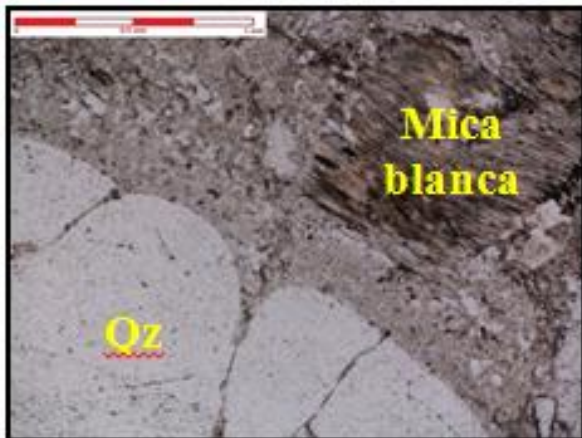
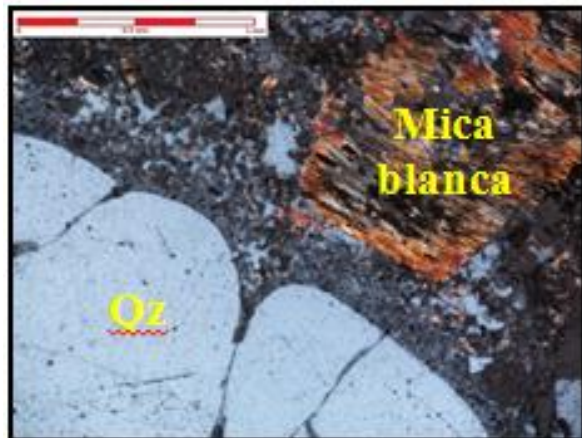
	ORTOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, hábitos granulares y cristales xenomórficos, con superficie manchada, alterados a caolinita. ÓXIDOS: Minerales de colores café oscuro a negro (opaco), de relieve alto, birrefringencia no observable por el enmascaramiento de dicha propiedad debido al color de estos minerales, sin exfoliación observable, generalmente hábitos granulares y xenomórficos. Este mineral es el producto de la alteración de la pirita. BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro hasta amarillo, relieve alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos del tercer orden, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos. La biotita, sericita y óxidos conforman las bandas de matriz alrededor de las aglomeraciones de Cuarzo.
--	--

MUESTRA HAM 42-1				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		
				
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Dacita			
COORDENADAS	X=1'302,856 ± 5 m	Y=1'129,543 ± 5 m	Z=2656 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Plagioclasa		40%	
	Cuarzo		25%	
	Sericita		20%	
	Clorita		15%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas polisintéticas tipo albita, hábitos granulares e idiomórficos, con superficies manchadas y alterándose a caolinita. Algunos de los cristales más grandes (3mm) de este mineral presentan zonación óptica y maclas entrecruzadas.			
	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de habito granular e idiomórficos principalmente, con superficies limpias, muy redondeados y muy limpios.			
	SERICITA: Cristales individuales no pleocroicos, relieve medio, con birrefringencia de colores amarillo-fucsia-azul del tercer orden, con una dirección de exfoliación, de hábito hojoso y subidiomórficos. Es producto de la alteración de la plagioclasa presente en la matriz y como fenocristales.			

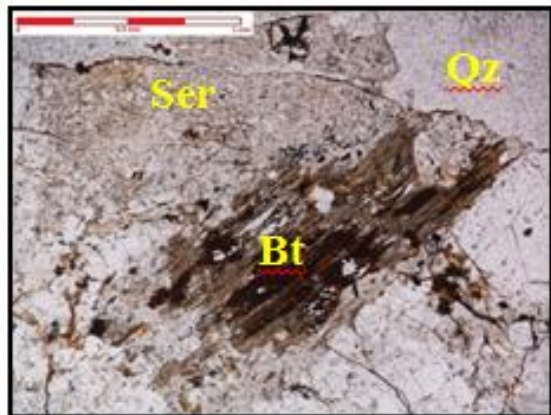
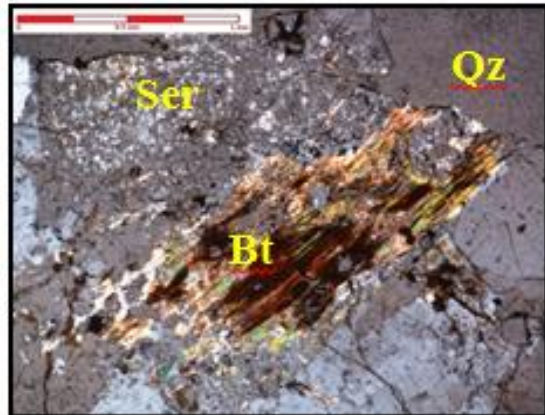
	CLORITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre verde a verde muy pálido, relieve de medio, birrefringencia gris azulado anómalo, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos. Este mineral ha reemplazado totalmente los cristales biotita de la muestra.
--	--

MUESTRA HAM 43-1				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		
				
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Dacita			
COORDENADAS	X=1´302,924 ± 4 m	Y=1´129,643 ± 4 m	Z=2673 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Plagioclasa		30%	
	Cuarzo		20%	
	Sericita		25%	
	Ortoclasa		15%	
	Biotita		10%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de hábito granular e idiomórficos principalmente, con superficie limpia y subredondeados.			
	ORTOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, macla de Carlsbad, hábitos granulares y cristales xenomórficos, con superficie manchada, alterados a caolinita.			
	PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas polisintéticas, hábitos granulares y xenomórficos, con superficies manchadas y alterándose a sericita.			

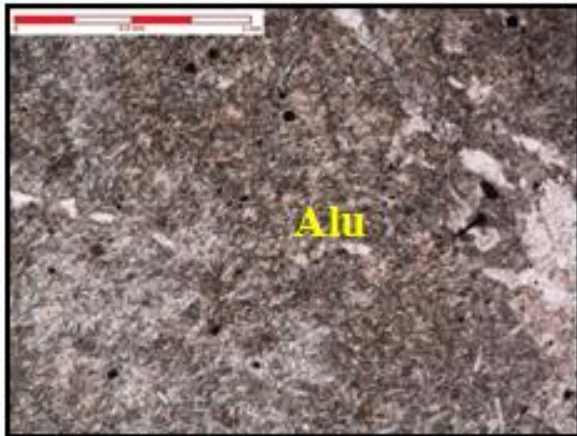
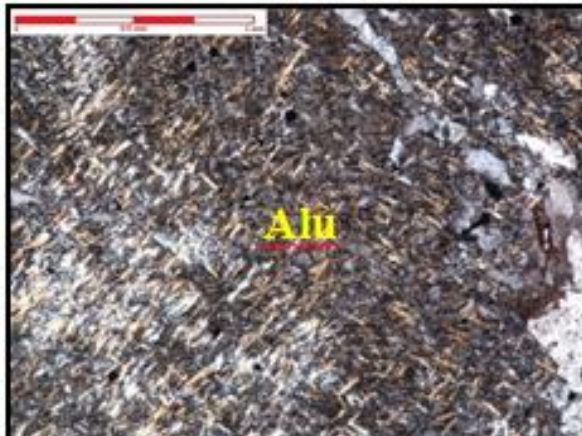
	BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro a claro, relieve alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos del tercer orden pero totalmente enmascarados por los colores del mineral, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso e idiomórficos, alterados a clorita. SERICITA: Cristales individuales no pleocroicos, relieve medio, con birrefringencia de colores amarillo-fucsia-azul del tercer orden, con una dirección de exfoliación, hábito hojoso y subidiomórficos. Se presenta como alteración de los fenocristales y los cristales plagioclasa presentes en la matriz.
--	--

MUESTRA HAM 44-1				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		
				
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Riodacita			
COORDENADAS	X= 1´303,065 ± 8 m	Y= 1´130,059 ± 8 m	Z= 2755 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Plagioclasa		30%	
	Cuarzo		20%	
	Sericita		15%	
	Clorita		15%	
	Mica blanca		10%	
	Óxidos		10%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas tipo Albita, hábitos granulares e idiomórficos, con superficies manchadas. Algunos de los cristales más grandes (5 mm) de este mineral presentan alteración muy fuerte por lo cual sus maclas y otras propiedades ópticas no son identificables, pero el mineral altera a sericita.			
	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia marrón y blancos del primer orden, de hábito granular e idiomórficos principalmente, con superficies limpias, redondeados y muy limpios.			

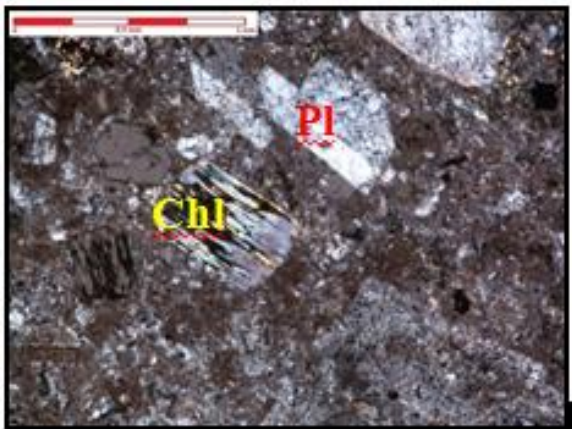
	SERICITA: Cristales individuales incoloros, de relieve bajo-medio, con colores de birrefringencia azules-amarillos del tercer orden, de hábito hojoso y subidiomórficos. Cristales presentes en la matriz de la roca, bien cristalizados y definidos. CLORITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre verde a verde muy pálido, relieve medio, birrefringencia gris azulado anómalo, de hábito hojoso y subidiomórficos. Estos cristales han reemplazado totalmente los cristales de biotita de la muestra. MICA BLANCA: Cristales individuales incoloros, relieve de bajo a alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos de tercer orden, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos, presentes como fenocristales. ÓXIDOS: Minerales de colores café oscuro a negro (opaco), de relieve alto, birrefringencia no observable por el enmascaramiento de dicha propiedad debido al color de estos minerales, sin exfoliación observable, generalmente hábitos granulares y xenomórficos. Estos minerales son el producto de la alteración de la pirita.
--	---

MUESTRA HAM 44-2			
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS	
			
TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granitoide rico en cuarzo		
COORDENADAS	X= 1´ 303,065 ± 8 m	Y= 1´ 130,059 ± 8 m	Z= 2755 m.s.n.m.
TEXTURA	Fanerítica		
ESTRUCTURA	Masiva		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo	50%	
	Plagioclasa	10%	
	Sericita	10%	
	Ortoclasa	10%	
	Caolinita	5%	
	Óxidos	5%	
	Biotita	10%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de hábito granular y xenomórficos, grandes y fracturados.		
	PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas polisintéticas pero generalmente no visibles, hábitos granulares e idiomórficos, con superficies manchadas y alteradas a sericita.		

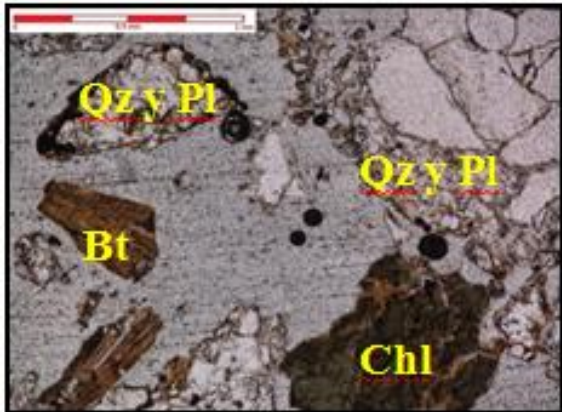
	ORTOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, hábitos granulares y cristales xenomórficos, superficie manchada, alterados a caolinita. BIOTITA: Cristales individuales grandes, pleocroicos con colores entre pardo oscuro y amarillo, relieve medio-alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos del tercer orden pero en ocasiones enmascarado por el color del mineral, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso e idiomórficos. SERICITA Y CAOLINITA: Cristales individuales no pleocroicos, relieve medio, con birrefringencia de colores amarillo-fucsia-azul del tercer orden (sericita) y gris del primer orden (caolinita), con una dirección de exfoliación, de hábito hojoso y xenomórficos. La presencia de estos minerales indica que hay granos de minerales de plagioclasas y feldespatos potásicos no identificables por la alteración de la roca. ÓXIDOS: Minerales de colores café oscuro a negro (opaco), de relieve alto, birrefringencia no observable por el enmascaramiento de dicha propiedad debido al color de estos minerales, sin exfoliación observable, generalmente hábitos granulares y xenomórficos. Estos minerales son el producto de la alteración de la pirita.
--	--

MUESTRA HAM 44-3				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		
				
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Dacita			
COORDENADAS	X= 1°303,065 ± 8 m	Y= 1°130,059 ± 8 m	Z= 2755 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Alunita		40%	
	Sericita		30%	
	Cuarzo		20%	
	Mica blanca		10%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia marrón y blancos de primer orden, de hábito granular e idiomórficos principalmente, con superficie limpia, redondeados y muy limpios. Presenta textura de embahiamiento debido al ambiente hidrotermal donde los fluidos muy ácidos reaccionaron con el cuarzo.			
	SERICITA: Cristales individuales incoloros, de relieve bajo-medio, con colores de birrefringencia azules-amarillos del tercer orden, de hábito hojoso y subidiomórficos. Estos cristales están presentes en la matriz de la roca.			
	ALUNITA: Cristales de hábito acicular, relieve medio, color marrón claro e idiomórficos, presentes en la matriz, bien definidos.			

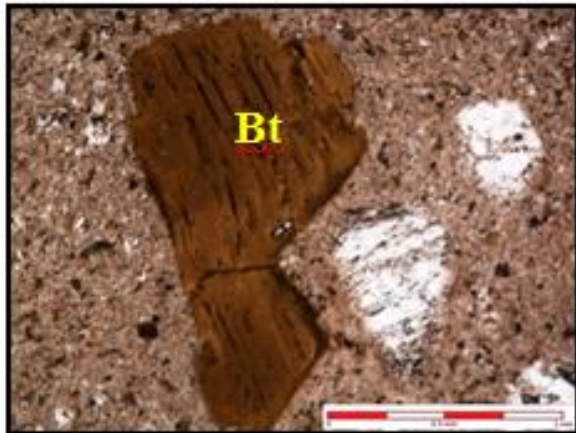
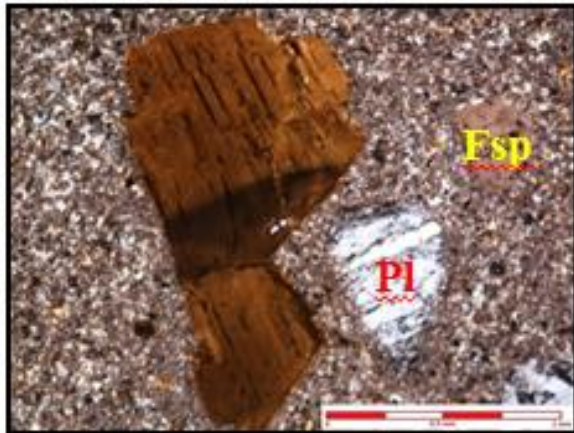
	MICA BLANCA: Cristales individuales incoloros, relieve de bajo a alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos de tercer orden, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos, presentes como fenocristales.
--	--

MUESTRA HAM 45-1				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		
				
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Riodacita			
COORDENADAS	X= 1´303,055 ± 21 m	Y= 1´130,052 ± 21 m	Z= 2776 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Sericita		40%	
	Cuarzo		20%	
	Plagioclasa		15%	
	Ortoclasa		10%	
	Biotita		10%	
	Clorita		5%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de hábito granular e idiomórficos principalmente, con superficie limpia, de gran tamaño y hábitos circulares.			
	ORTOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, macla de Carlsbad, hábitos granulares y cristales xenomórficos, con superficie manchada, alterados a caolinita.			

	PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos de primer orden, sin direcciones de exfoliación, algunos con maclas polisintéticas según la ley de la albita, y otros con maclas tipo carlsbad, hábitos granulares y xenomórficos, de superficie manchada y alterados a sericita en un alto porcentaje. SERICITA: Cristales individuales no pleocroicos, relieve medio, con birrefringencia de colores amarillo-fucsia-azul del tercer orden, con una dirección de exfoliación, de hábito hojoso y xenomórficos. Es producto de la alteración del mineral de plagioclasa presente en la matriz y como fenocristales. BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro y amarillo, relieve medio-alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos de tercer orden, con una sola dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos, alterados a clorita. CLORITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre verde a verde muy pálido, relieve de medio, birrefringencia gris azulado anómalo, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos, producto del reemplazamiento total de los cristales de biotita.
--	---

MUESTRA HAM 46-1			
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS	
			
TIPO DE ROCA	Ígnea		
NOMBRE	Granodiorita		
COORDENADAS	X= 1´302,982 ± 4 m	Y= 1´129,766 ± 4 m	Z= 2705 m.s.n.m.
TEXTURA	Porfirítica		
ESTRUCTURA	Masiva		
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES		
	Cuarzo	20%	
	Plagioclasa	25%	
	Sericita	10%	
	Ortoclasa	20%	
	Caolinita	10%	
	Biotita	10%	
	Clorita	5%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, de hábito granular y xenomórficos, de superficie limpia. Los cristales de tamaño muy pequeño y forma irregular se presentan como aglomeraciones con los cristales pequeños de plagioclasa.		
	PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas polisintéticas según la ley de la albita, hábitos granulares y xenomórficos, con superficies limpias. Se presentan como fenocristales los cuales muestran una alteración sericítica y los cristales pequeños están asociados con el cuarzo como agregado.		

	ORTOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, macla de Carlsbad, hábitos granulares y cristales xenomórficos, con superficie manchada, alterados a caolinita. BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro y amarillo, relieve medio-alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos del tercer orden, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos. Este mineral se presenta como fenocristales que alteran a clorita y están asociados con las aglomeraciones de cuarzo y plagioclasa. CLORITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre verde a verde muy pálido, relieve de medio, birrefringencia gris azulado anómalo, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos. Se presenta como producto de la alteración que ha reemplazado totalmente los cristales de biotita de la muestra.
--	--

MUESTRA GI 27-M2				
NICOLES PARALELOS		NICOLES CRUZADOS		
				
TIPO DE ROCA	Ígnea			
NOMBRE	Riodacita			
COORDENADAS	X= 1´301,363 ± 11 m	Y= 1´133,455 ± 11 m	Z= 3201 m.s.n.m.	
TEXTURA	Porfirítica			
ESTRUCTURA	Masiva			
COMPOSICIÓN	MINERALES PRINCIPALES			
	Plagioclasa		30%	
	Cuarzo		30%	
	Sericita		20%	
	Biotita		10%	
	Ortoclasa		10%	
DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL	PLAGIOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, presentan maclas polisintéticas combinadas y zonación, hábitos granulares e idiomórficos, con superficies manchadas y alterándose a sericita.			
	SERICITA: Cristales individuales no pleocroicos, relieve medio, con birrefringencia de colores amarillo-fucsia-azul del tercer orden, con una dirección de exfoliación, de habito hojoso y subidiomórficos. Es producto de la alteración del mineral de plagioclasa presente en la matriz y como fenocristales.			

	BIOTITA: Cristales individuales pleocroicos con colores entre pardo oscuro y amarillo, relieve medio-alto, con colores de birrefringencia azules-rosados-amarillos del tercer orden, con una dirección de exfoliación, cristales de hábito hojoso y subidiomórficos, alterados a clorita. CUARZO: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, sin direcciones de exfoliación, con colores de birrefringencia grises y blancos de primer orden, de hábito granular y xenomórficos, de superficie limpia. Los cuarzos encontrados en esta muestra son de gran tamaño y hábitos circulares. ORTOCLASA: Cristales individuales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia grises y blancos del primer orden, sin direcciones de exfoliación, macla de Carlsbad, hábitos granulares y cristales xenomórficos, con superficie manchada, alterados a caolinita.
--	---

ANEXO C. DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)



Laboratorio de Difracción de Rayos-X

INF-058-10-5

Bucaramanga, Marzo 29 de 2011

SEÑORES:

ESCUELA DE GEOLOGÍA

Atn: Dr. Luis Carlos Mantilla

Director del proyecto 7429

UIS/Presente

Cordial saludo:

Por medio de la presente estoy haciendo entrega del resultado de los análisis cuantitativos por Difracción de Rayos-X de trece (13) muestras, identificadas como **"HAM-38-1, HAM-38-2, HAM39-1, HAM-39-2, HAM-40-1, HAM-40-2, HAM-41-1, HAM-42-1, HAM-43-1, HAM-44-1, HAM-44-2, HAM-44-3 y HAM-45-1"**.

Atentamente,

JOSÉ ANTONIO HENAO MARTÍNEZ

Director
Laboratorio de Difracción de Rayos-X
PQ 0321

*Universidad Industrial de Santander, Escuela de Química, Laboratorio de Postgrado 111
Edificio Camilo Torres, Bucaramanga, PBX 6344000 Ext. 22 26, Telefax 6347166
Apartado Aéreo N° 678, Email: rayosx@uis.edu.co NIT 890. 201.213-4*

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 SIEMENS modelo D500 bajo las siguientes condiciones:

Voltaje	40(kV)
Corriente	30(mA)
Rendija de Divergencia	0.15mm
Rendijas Soller Primario	2°
Muestreo	0.02° 2theta
Rango de Medición	2-70° 2theta
Radiación	CuK α 1
Monocromador	Grafito
Detector	Centelleo
Tipo de barrido	Continuo
Tiempo de muestreo	1 segundo

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.

*Los resultados se relacionan únicamente con las muestras analizadas.

RESULTADOS

1. HAM-38-1 (C2TS)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-78-1253	Cuarzo	13.9 % (D.E = 0.3)
	(Na _{0.98} Ca _{0.02}) Al Si ₃ O ₈	010-70-3752	Albita	8.8 % (D.E = 0.3)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	010-82-0576	Sericita	11.3 % (D.E = 0.4)
	K (Si _{0.75} Al _{0.25}) ₄ O ₈	010-77-0135	Microclina	21.1 % (D.E = 0.7)
	K (Al Si ₃ O ₈)	010-75-1190	Ortoclase	19.9 % (D.E = 0.6)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-58-2006	Caolinita	9.9 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				84.9 %
Amorfos y otros				15.1 %

2. HAM-38-2 (C2TT)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-87-2096	Cuarzo	56.5 % (D.E = 0.9)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-07-0025	Sericita	13.1 % (D.E = 0.4)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-58-2028	Caolinita	7.6 % (D.E = 0.3)
	K (Al Si ₃ O ₈)	010-76-0825	Ortoclase	21.2 % (D.E = 0.4)
Total Cristalino				98.4 %
Amorfos y otros				1.6 %

3. HAM-39-1 (C2TR)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0795	Cuarzo	7.6 % (D.E = 0.2)
	(Na _{0.75} Ca _{0.25}) Al Si ₃ O ₈	010-76-0926	Albita	29.0 % (D.E = 0.6)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-07-0025	Sericita	12.4 % (D.E = 0.5)
	K (Al, Fe) Si ₂ O ₈	000-08-0048	Ortoclase	6.2 % (D.E = 0.4)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-58-2006	Caolinita	5.3 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				60.5 %
Amorfos y otros				39.5 %

4. HAM-39-2 (C2TQ)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-79-6870	Cuarzo	4.6 % (D.E = 0.1)
	(Na, Ca) (Si, Al) ₄ O ₈	000-20-0548	Albita Cálctica	27.1 % (D.E = 0.4)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	010-82-2450	Sericita	8.9 % (D.E = 0.4)
	K (Al, Fe) Si ₂ O ₈	010-75-1190	Ortoclase	17.5 % (D.E = 0.4)
	Fe ₂ O ₃	010-89-0598	Hematita	1.0 % (D.E = 0.1)
	(Fe, Al) PO ₄ ·3 H ₂ O	000-22-0339	Koninckita	-
	K Fe Mg ₂ (Al Si ₃ O ₁₀) (OH) ₂	010-80-1110	Biotita	2.7 % (D.E = 0.1)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-03-0052	Caolinita	N.C
Total Cristalino				61.8 %
Amorfos y otros				38.2 %

5. HAM-40-1 (C2TN)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0794	Cuarzo	10.8 % (D.E = 0.2)
	(Na _{0.98} Ca _{0.02}) Al Si ₃ O ₈	010-70-3752	Albita	23.9 % (D.E = 0.4)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2034	Sericita	9.1 % (D.E = 0.4)
	K Fe Mg ₂ (Al Si ₃ O ₁₀) (OH) ₂	010-80-1109	Biotita	6.9 % (D.E = 0.2)
	K (Al Si ₃ O ₈)	000-08-0048	Ortoclase	12.4 % (D.E = 0.4)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-01-0527	Caolinita	6.7 % (D.E = 0.2)
Total Cristalino				69.8 %
Amorfos y otros				30.2 %

6. HAM-40-2 (C2TP)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0794	Cuarzo	25.5 % (D.E = 0.3)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2035	Sericita	9.3 % (D.E = 0.3)
	K (Al Si ₃ O ₈)	010-71-0956	Ortoclase	29.9 % (D.E = 0.4)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-58-2028	Caolinita	10.7 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				75.4 %
Amorfos y otros				24.6 %

7. HAM-41-1 (C2TO)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-70-3755	Cuarzo	10.1 % (D.E = 0.2)
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-89-6425	Albita	12.8 % (D.E = 0.4)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2037	Sericita	9.5 % (D.E = 0.4)
	Fe ₂ O ₃	000-03-0800	Hematita	1.5 % (D.E = 0.1)
	K (Al Si ₃ O ₈)	010-76-0825	Ortoclasa	41.7 % (D.E = 0.6)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-58-2004	Caolinita	2.9 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				78.5 %
Amorfos y otros				21.5 %

8. HAM-42-1 (C2TM)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0796	Cuarzo	9.7 % (D.E = 0.3)
	(Na, Ca) Al (Si, Al) ₃ O ₈	000-41-1480	Albita	24.4 % (D.E = 0.8)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2037	Sericita	20.5 % (D.E = 0.8)
	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	000-29-0701	Clinocloro Férrico	4.7 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				59.3 %
Amorfos y otros				40.7 %

9. HAM-43-1 (C2TL)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0794	Cuarzo	11.2 % (D.E = 0.4)
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-78-1995	Albita	22.1 % (D.E = 0.7)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	010-89-6216	Sericita	14.9 % (D.E = 0.7)
	K (Al, Fe) Si ₂ O ₈	000-08-0048	Ortoclasa	10.8 % (D.E = 0.6)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-01-0527	Caolinita	1.5 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				60.5 %
Amorfos y otros				39.5 %

10. HAM-44-1 (C2TK)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-78-1253	Cuarzo	7.3 % (D.E = 0.3)
	(Na _{0.98} Ca _{0.02}) Al Si ₃ O ₈	010-70-3752	Albita	16.8 % (D.E = 0.5)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2037	Sericita	18.0 % (D.E = 0.6)
	K (Si ₃ Al) O ₈	000-25-0618	Sanidina	6.4 % (D.E = 0.4)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	010-75-0938	Caolinita	3.6 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				52.1 %
Amorfos y otros				47.9 %

11. HAM-44-2 (C2TJ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-78-1253	Cuarzo	5.8 % (D.E = 0.2)
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-89-6425	Albita	7.0 % (D.E = 0.5)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	010-70-3754	Sericita	10.4 % (D.E = 0.6)
	(K _{0.94} Na _{0.06}) (Al Si ₃ O ₈)	010-76-0823	Ortoclasa	38.5 % (D.E = 1.0)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-58-2028	Caolinita	1.9 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				63.6 %
Amorfos y otros				36.4 %

12. HAM-44-3 (C2TH)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0794	Cuarzo	21.9 % (D.E = 0.4)
	Si O ₂	010-89-3607	Cristobalita	2.3 % (D.E = 0.1)
	(K, H ₃₀) Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂	000-26-0911	Illita	20.9 % (D.E = 0.6)
	Fe ₂ O ₃	010-89-0596	Hematita	1.8 % (D.E = 0.1)
	K (Al ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂)	010-73-1652	Alunita	34.3 % (D.E = 0.9)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	010-75-1593	Caolinita	0.9 % (D.E = 0.1)
Total Cristalino				82.1 %
Amorfos y otros				17.9 %

13. HAM-45-1 (C2TH)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-87-2096	Cuarzo	14.2 % (D.E = 0.3)
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-78-1995	Albita	32.0 % (D.E = 0.7)
	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	000-29-0701	Clinocloro Férrico	7.1 % (D.E = 0.3)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-07-0025	Sericita	12.1 % (D.E = 0.5)
	K _{0.96} Na _{0.04} Al Si ₃ O ₈	010-83-1895	Microclina	11.7 % (D.E = 0.4)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-58-2004	Caolinita	2.0 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				79.1 %
Amorfos y otros				20.9 %

Nota:

N.C = No Cuantificable (La(s) fase(s) son identificadas pero debido a su baja proporción no es posible refinar sus datos cristalográficos necesarios para su respectiva cuantificación)

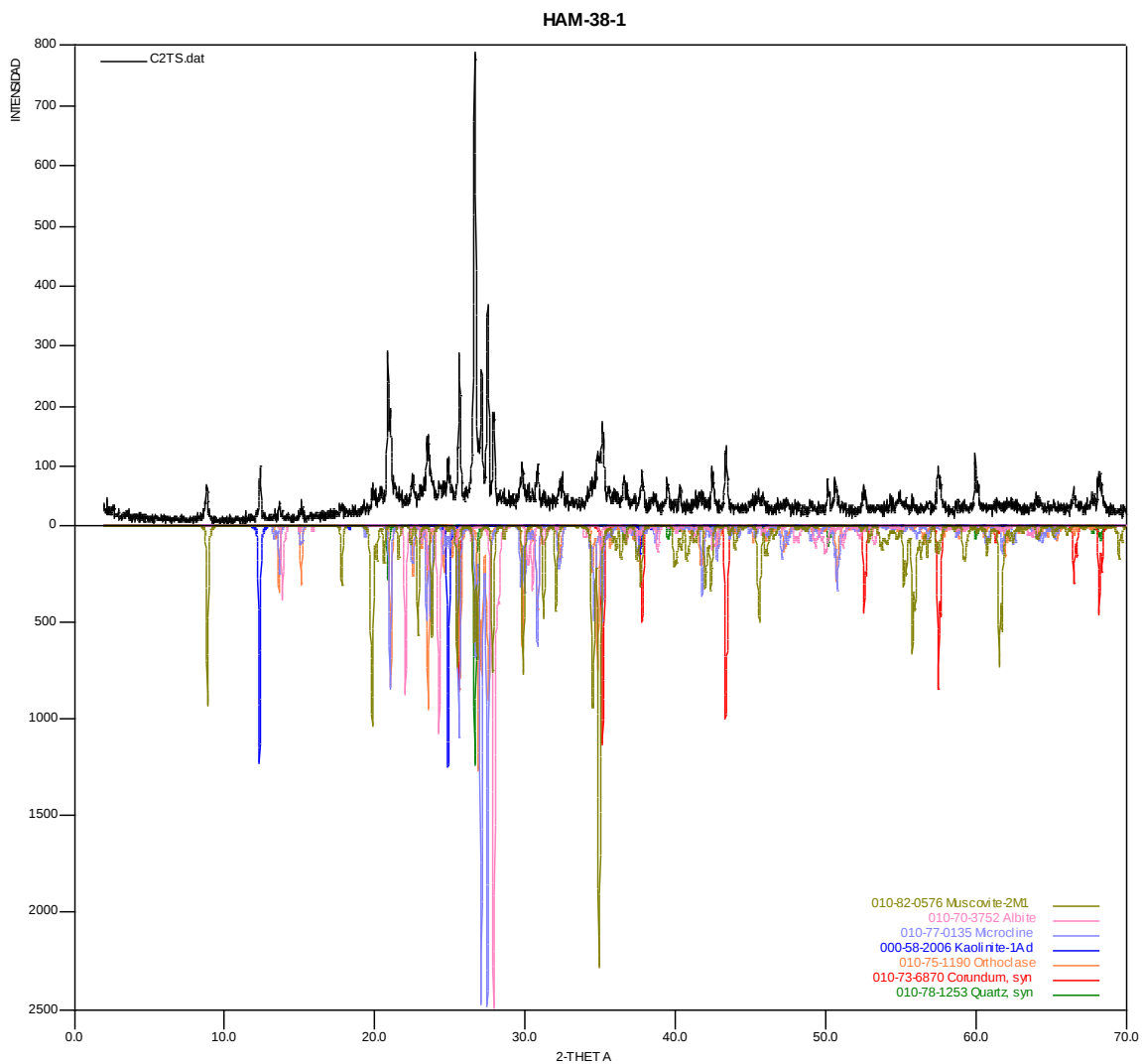
D.E = Desviación estándar

Observaciones:

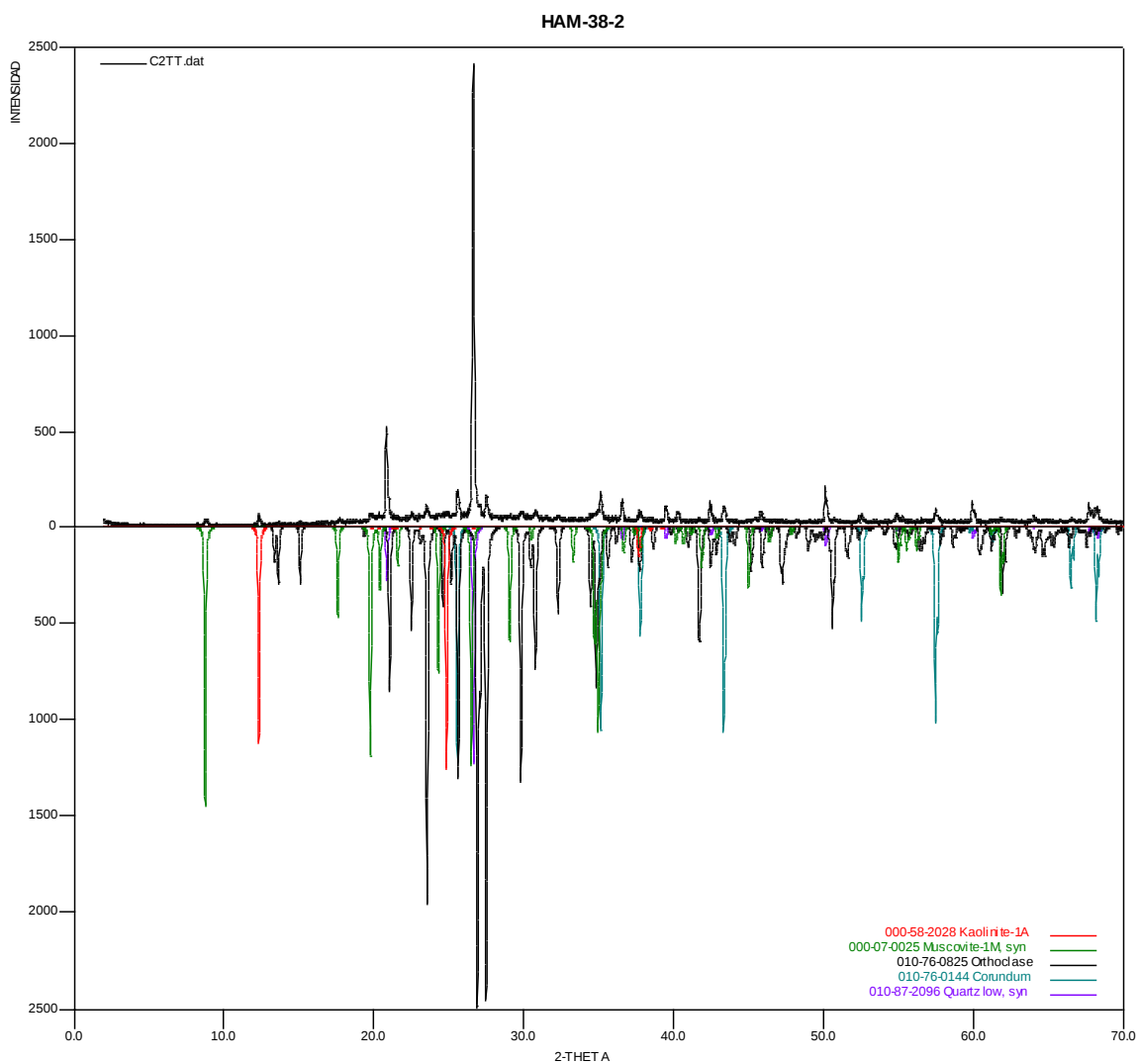
- Se recomienda realizar análisis elemental para corroborar la presencia de las fases reportadas.
- En los perfiles de difracción se observa la fase de *Corundum - Aluminum Oxide* (estándar interno), el cual fue agregado a la muestra en una cantidad conocida para la respectiva cuantificación.
- En la muestra **HAM-39-2**, la fase *Korinckita*, no fue cuantificada ya que no se tienen sus datos cristalográficos reportados en la base de datos para su respectiva cuantificación.

DIFRACTOGRAMAS

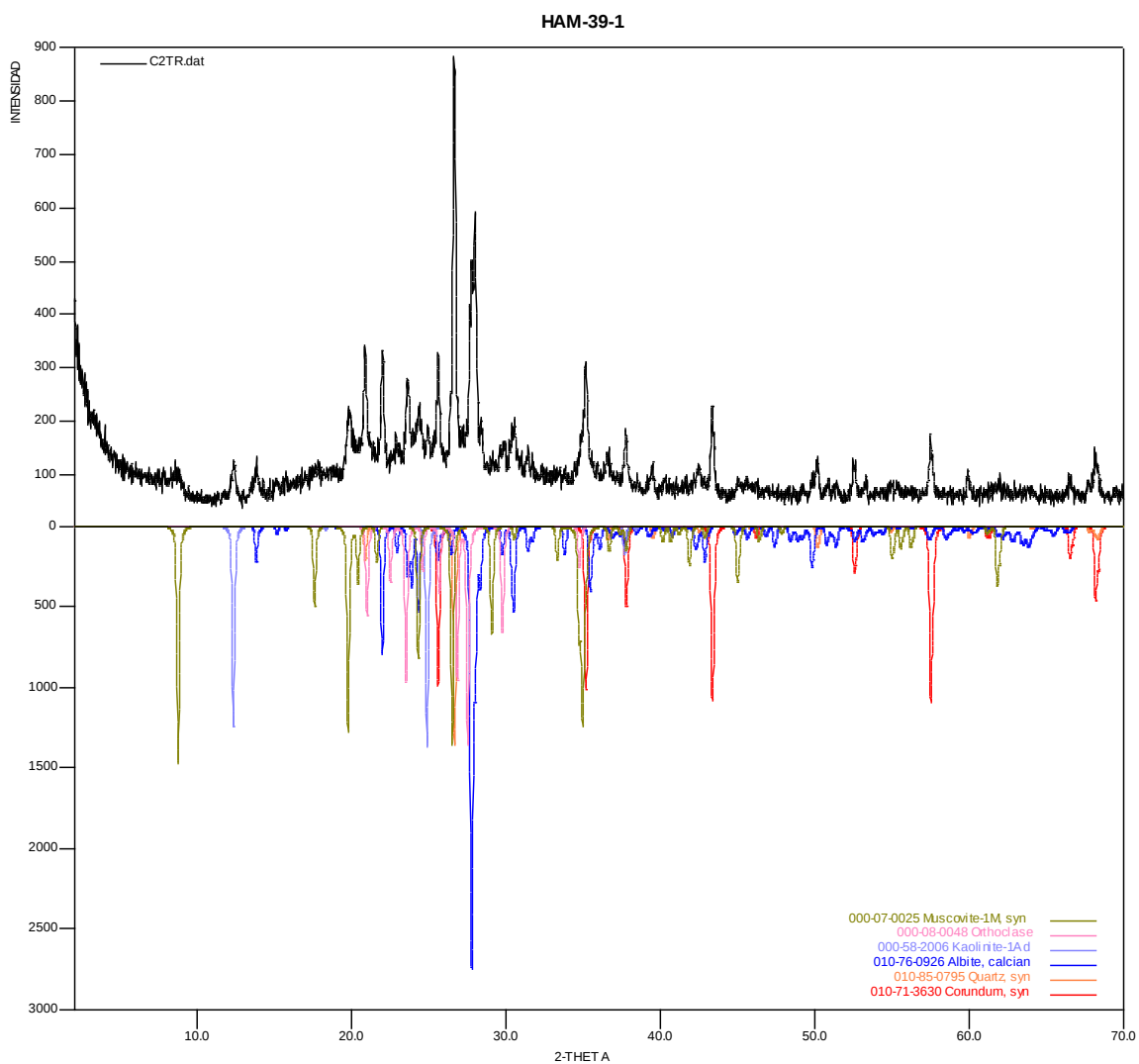
1. HAM-38-1



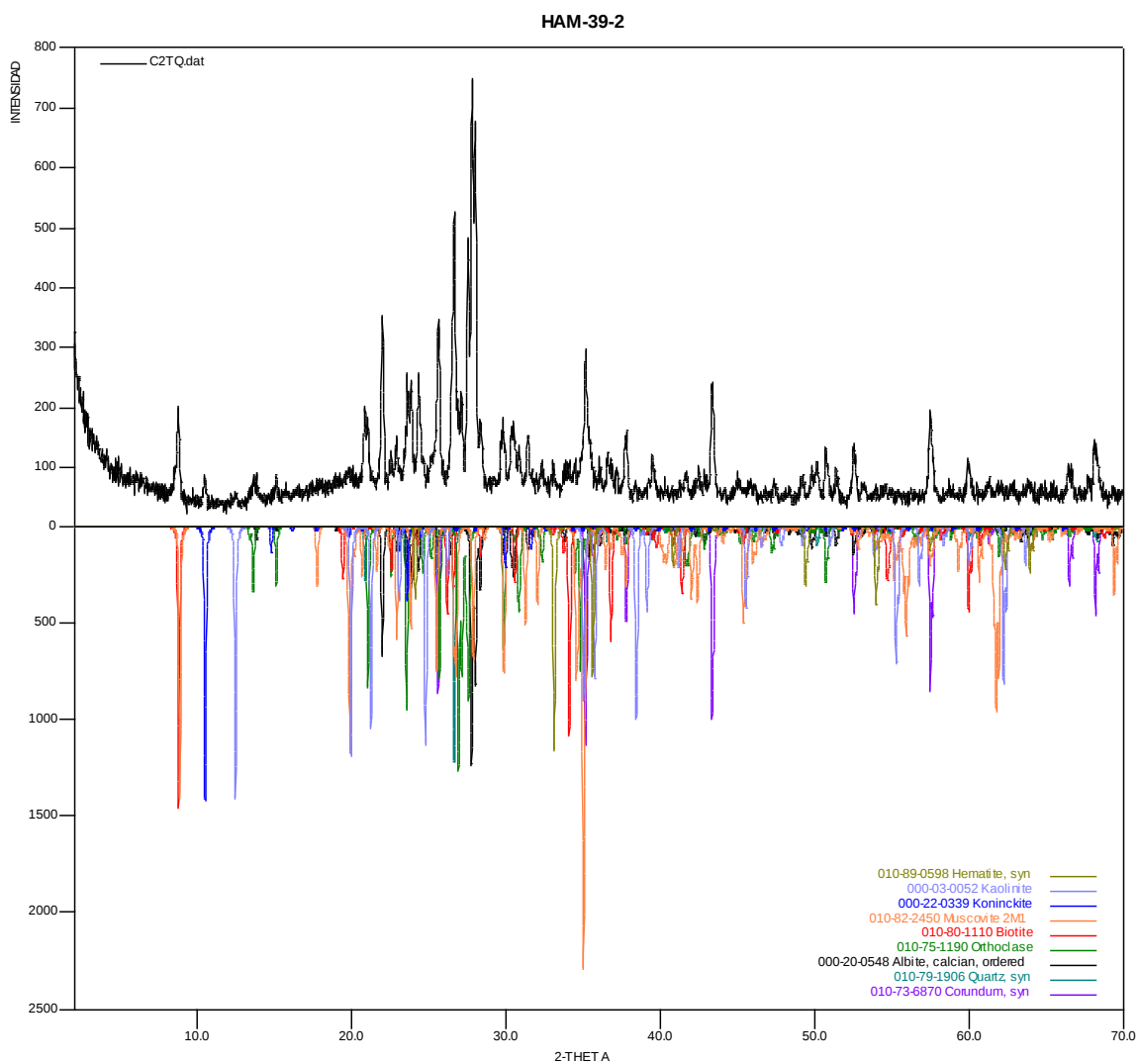
2. HAM 38-2



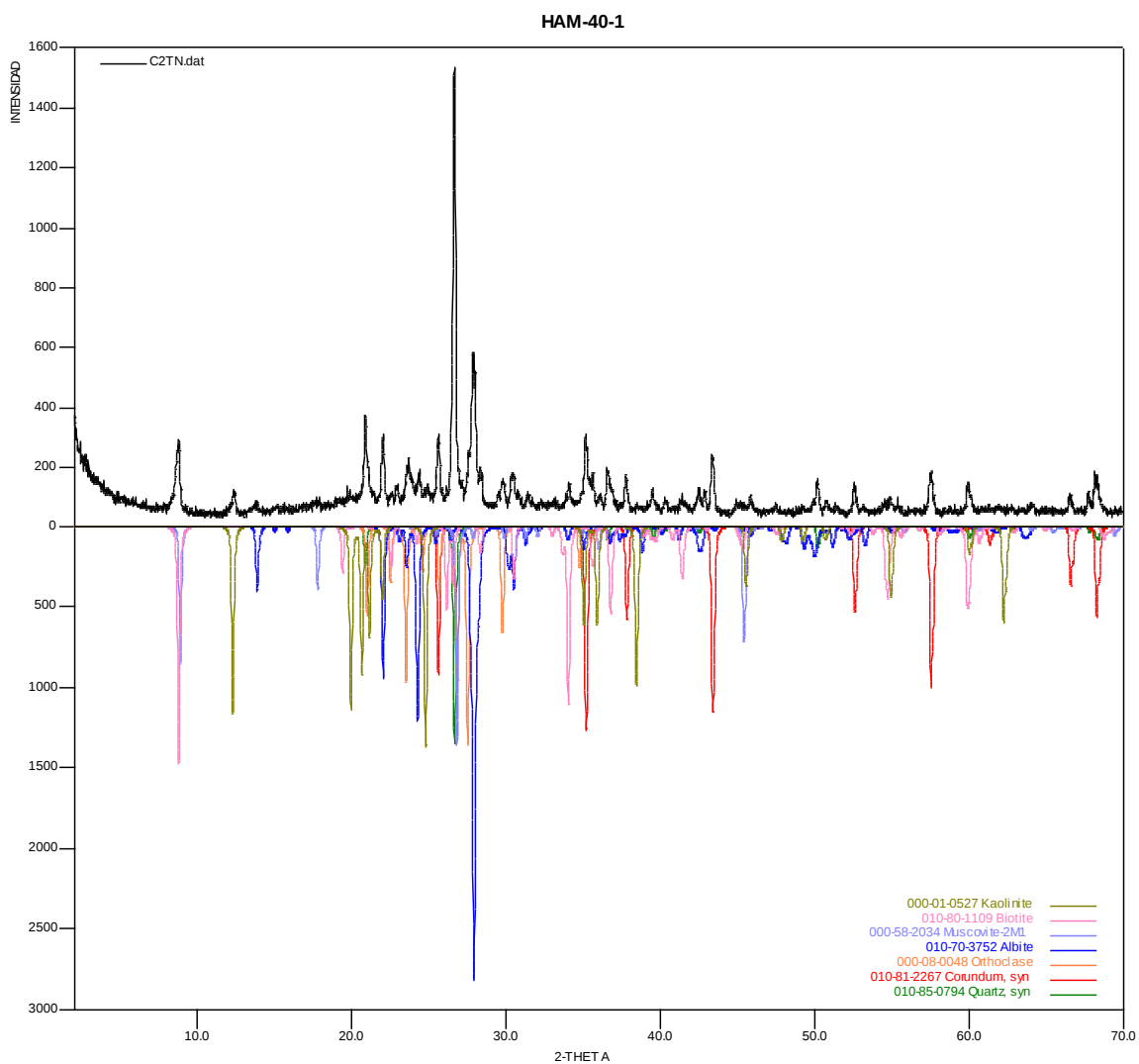
3. HAM 39-1



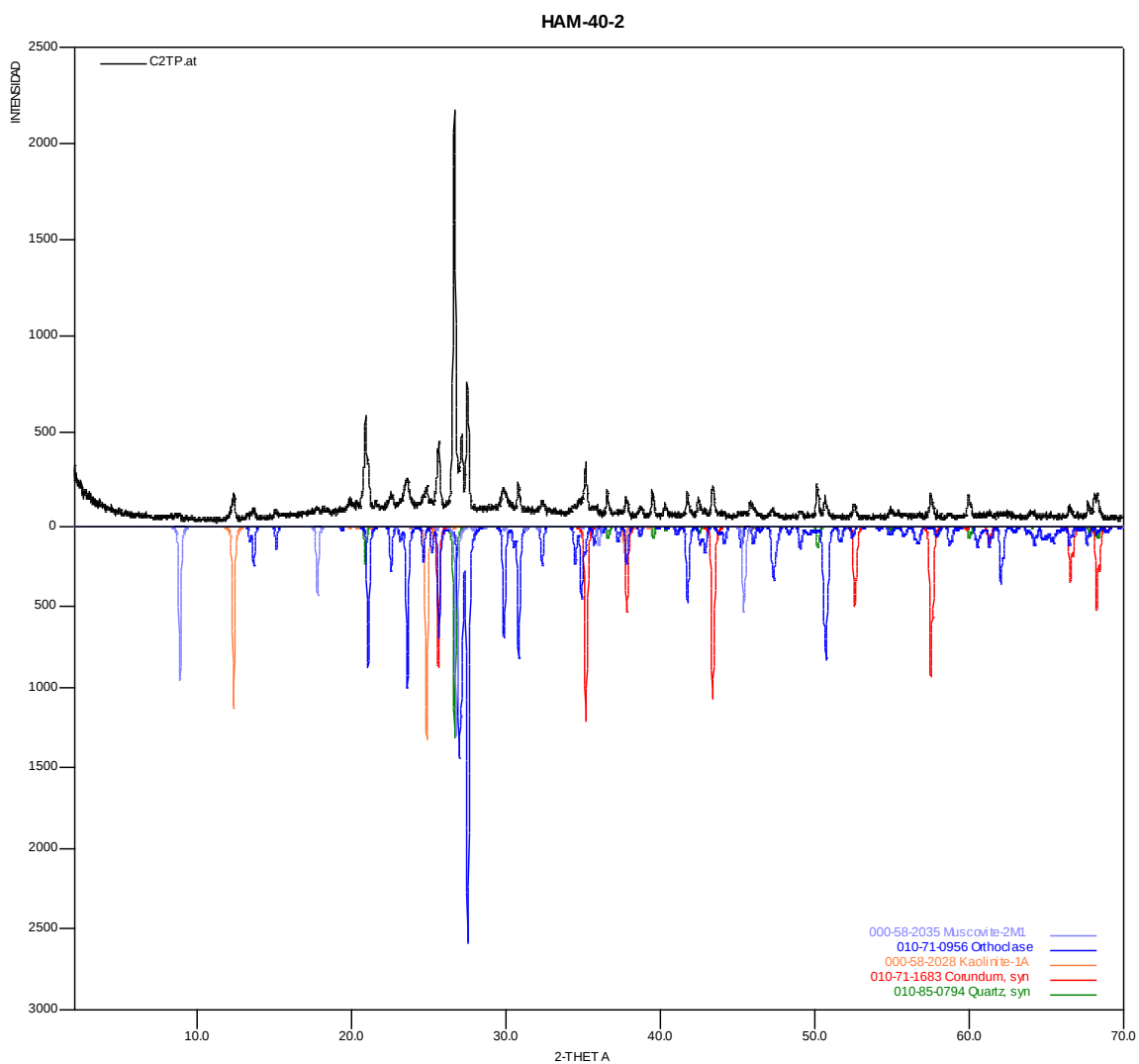
4. HAM 39-2



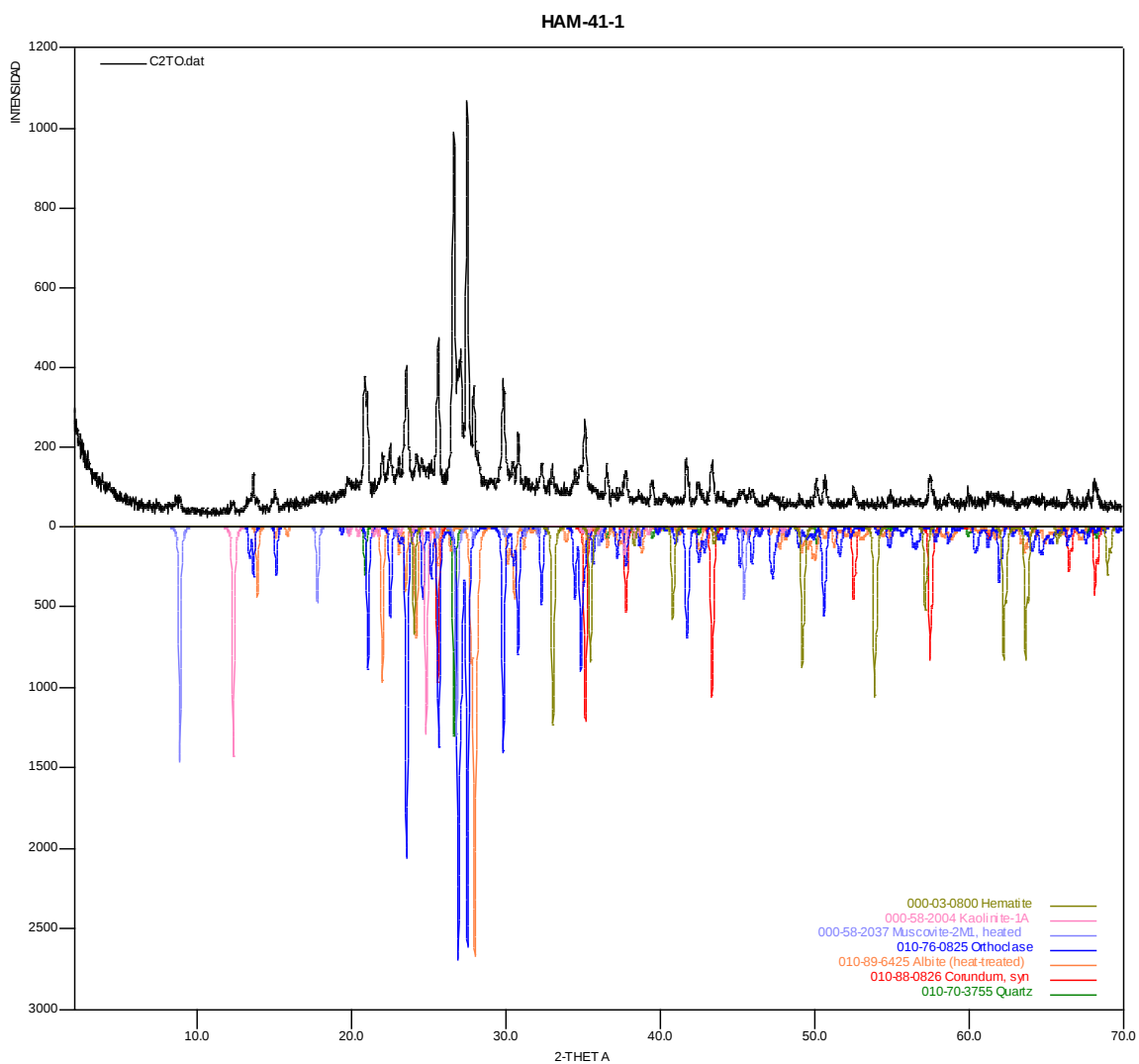
5. HAM 40-1



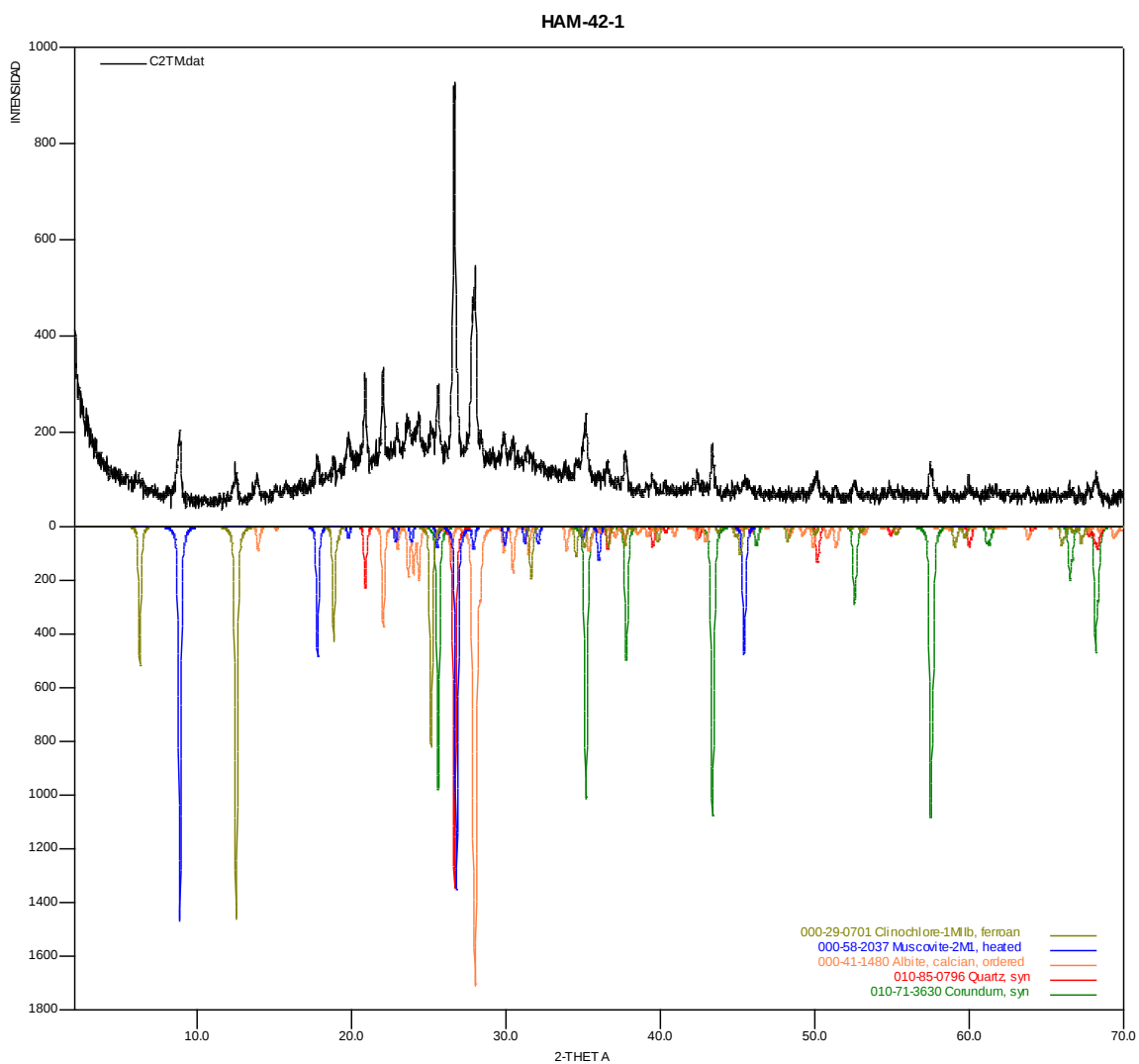
6. HAM 40-2



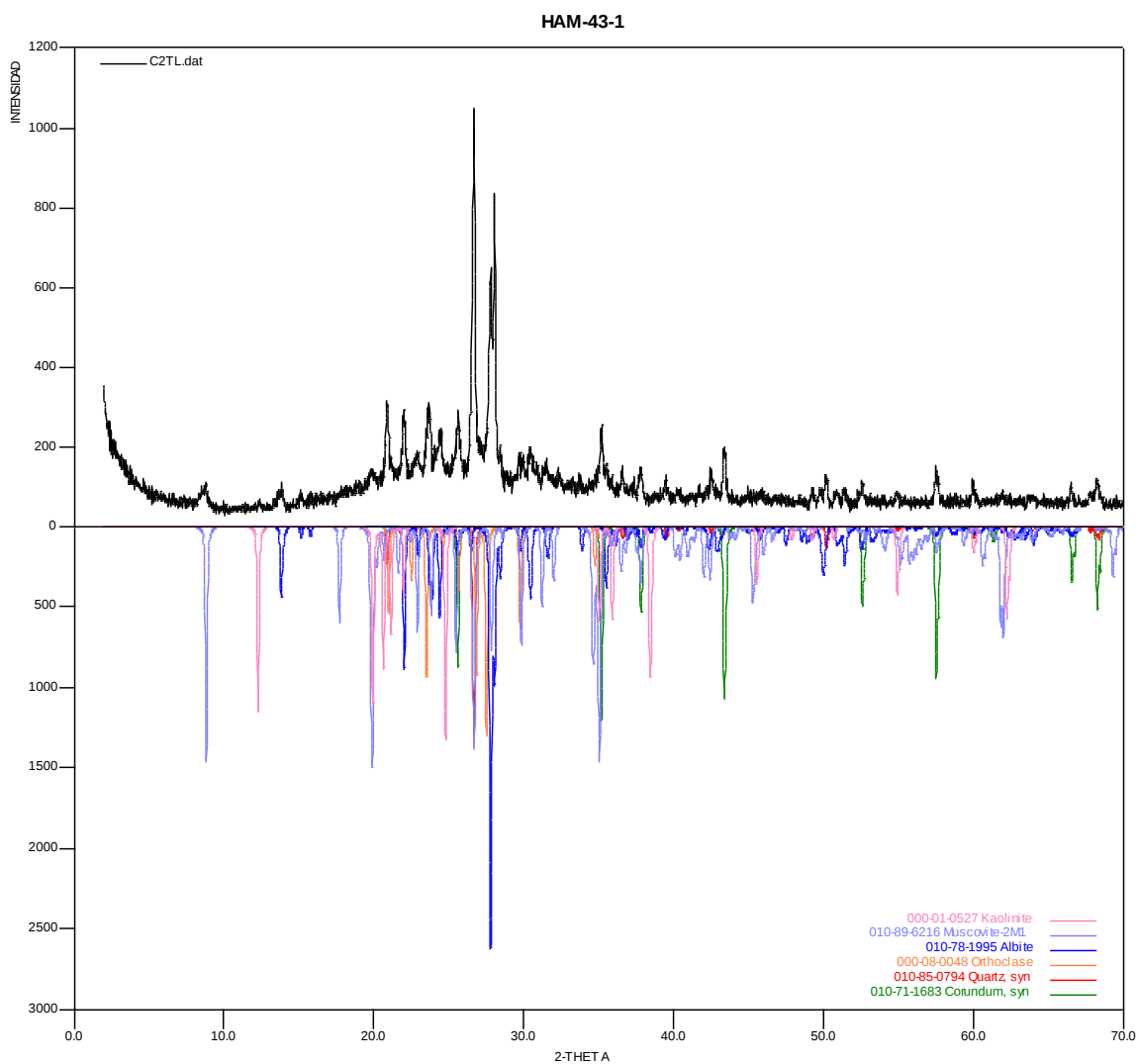
7. HAM 41-1



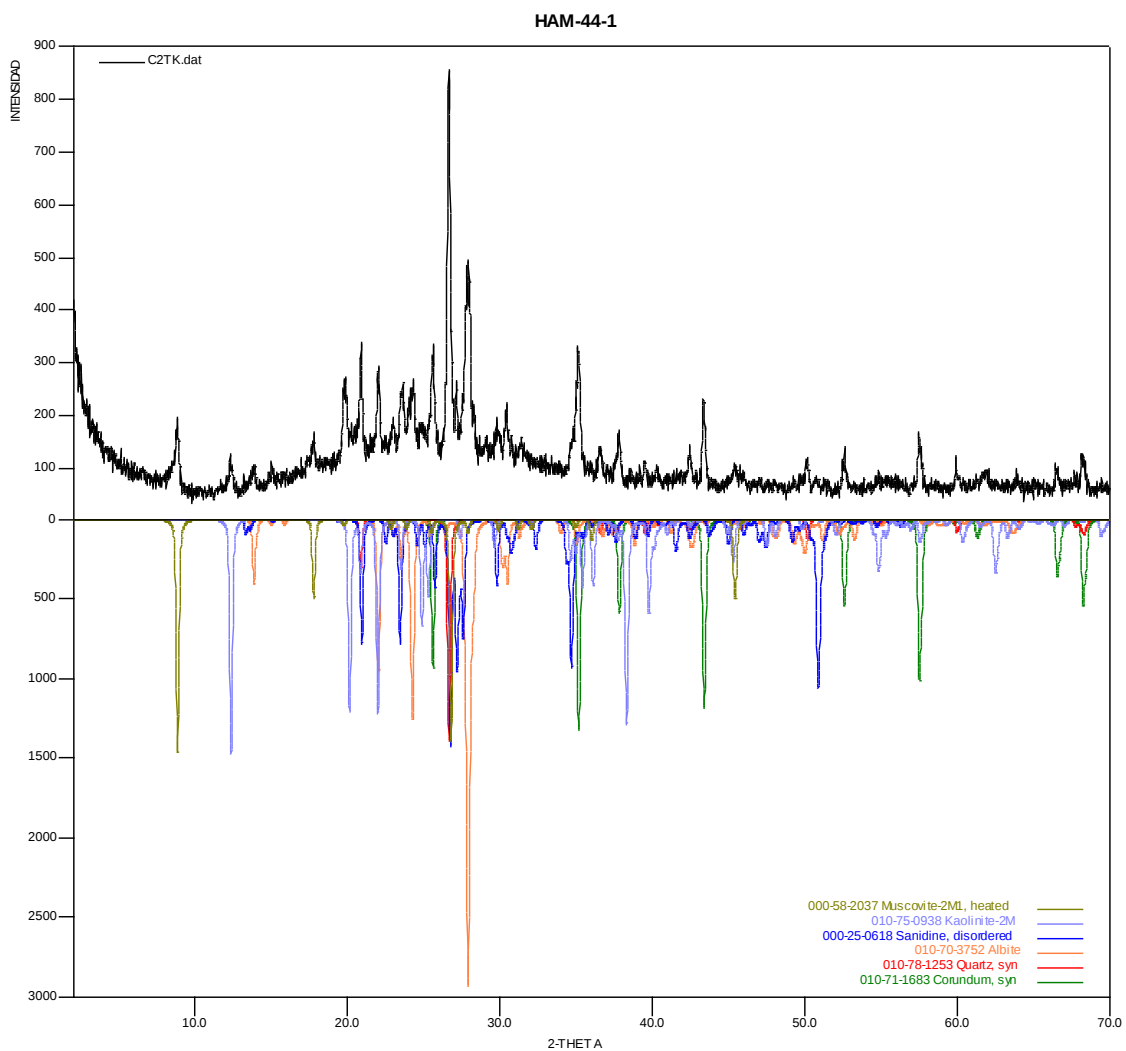
8. HAM 42-1



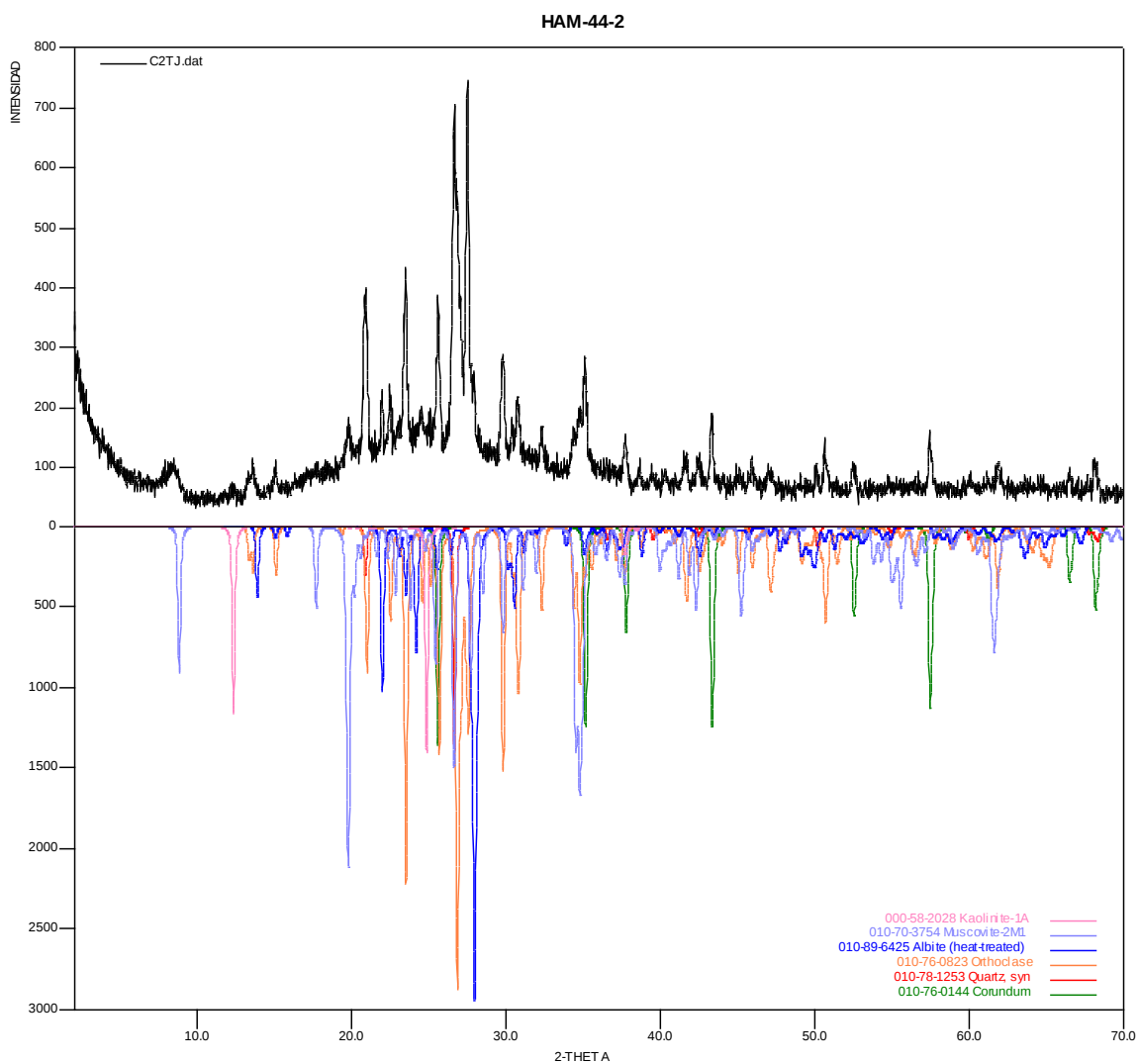
9. HAM 43-1



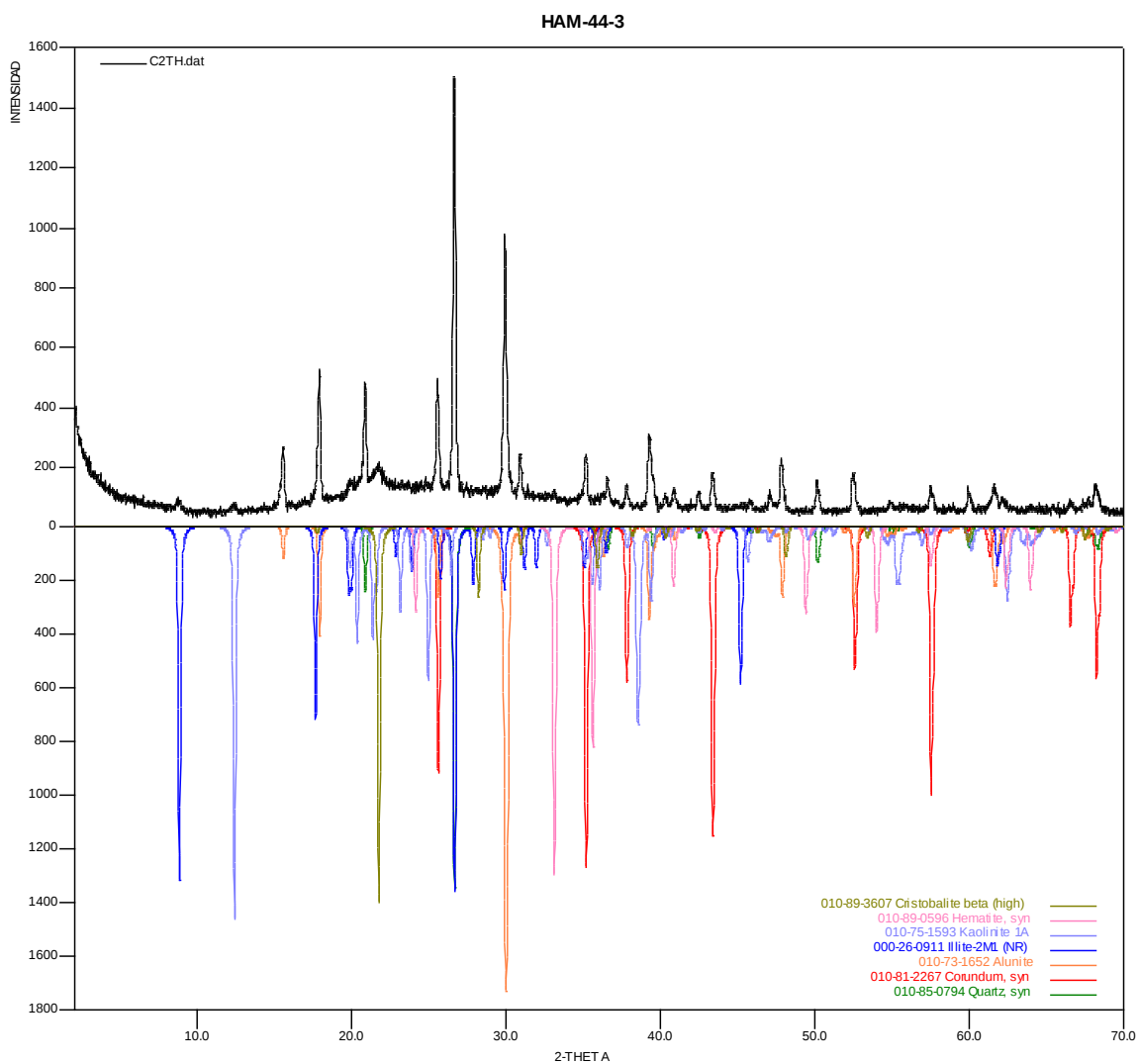
10. HAM 44-1



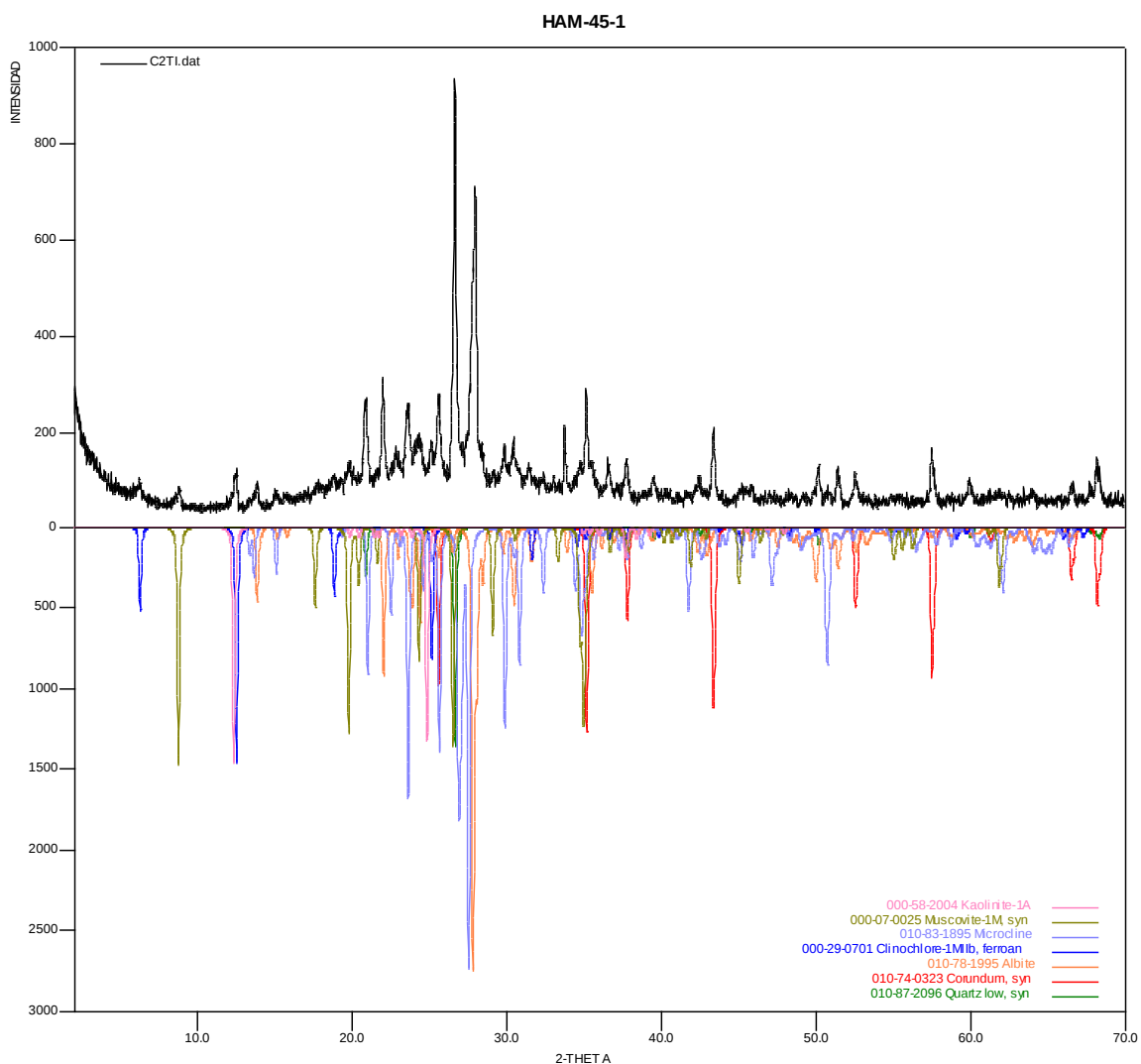
11. HAM 44-2



12. HAM 44-3



13. HAM 45-1



Elaboró:

Qco. José Luis Pinto C.

Profesional Analista

PQ. 2009

Revisó:

Qco. MSc. Jesús Andelfo Pinilla A.

Director Técnico

PQ. 1585

ANEXO D. ANÁLISIS GEOQUÍMICOS

ANALYTICAL PROCEDURES	ELEMENTS	SAMPLES		
		HAM 42-1	HAM 43-1	HAM 44-1
Aqua regia ICPMS	Ag (ppm)	0.01	0.03	0.19
	Al (%)	0.94	0.72	0.49
	As (ppm)	0.2	0.8	17.4
	Au (ppm)	<0.2	<0.2	<0.2
	B (ppm)	<10	<10	<10
	Ba (ppm)	130	150	130
	Be (ppm)	0.20	0.94	0.54
	Bi (ppm)	0.01	0.04	0.01
	Ca (%)	0.41	0.17	0.02
	Cd (ppm)	0.04	0.05	0.13
	Ce (ppm)	21.7	34.7	26.3
	Co (ppm)	2.9	1.4	1.8
	Cr (ppm)	5	6	7
	Cs (ppm)	0.10	0.82	3.15
	Cu (ppm)	8.0	2.9	4.8
	Fe (%)	1.77	1.33	1.07
	Ga (ppm)	3.98	3.16	1.65
	Ge (ppm)	0.06	0.06	0.12
	Hf (ppm)	0.04	0.04	0.02
	Hg (ppm)	<0.01	<0.01	0.02
	In (ppm)	<0.005	0.010	0.013
	K (%)	0.25	0.30	0.48
	La (ppm)	12.4	18.6	14.9
	Li (ppm)	7.6	2.3	0.5
	Mg (%)	0.37	0.06	0.02
	Mn (ppm)	764	613	49
	Mo (ppm)	0.75	2.19	1.73
	Na (%)	0.05	0.05	0.02
	Nb (ppm)	0.15	0.24	<0.05
	Ni (ppm)	3.9	4.4	2.8
	P (ppm)	720	510	120
	Pb (ppm)	11.0	3.7	22.3
	Rb (ppm)	10.7	13.4	27.3

Aqua regia ICPMS	Re (ppm)	<0.001	<0.001	<0.001
	S (%)	<0.01	<0.01	0.54
	Sb (ppm)	0.07	0.08	0.56
	Sc (ppm)	1.2	1.5	1.3
	Se (ppm)	<0.2	<0.2	<0.2
	Sn (ppm)	0.2	0.3	0.2
	Sr (ppm)	35.0	41.0	128.5
	Ta (ppm)	<0.01	<0.01	<0.01
	Te (ppm)	0.01	0.01	0.11
	Th (ppm)	4.7	4.1	1.5
	Ti (%)	0.015	0.009	<0.005
	Tl (ppm)	0.08	0.10	12.40
	U (ppm)	0.45	0.92	1.84
	V (ppm)	23	20	11
	W (ppm)	0.11	0.78	3.87
	Y (ppm)	10.50	8.33	4.69
	Zn (ppm)	49	37	28
	Zr (ppm)	0.9	0.9	<0.5
Fusion ICP-MS	Ba (ppm)	1375	1100	958
	Ce (ppm)	80.5	53.0	45.6
	Co (ppm)	3.8	2.2	3.4
	Cr (ppm)	20	30	30
	Cs (ppm)	0.82	2.20	6.32
	Dy (ppm)	4.11	2.90	1.80
	Er (ppm)	2.30	1.67	1.36
	Eu (ppm)	1.55	0.83	0.63
	Ga (ppm)	23.1	23.0	23.5
	Gd (ppm)	4.17	2.56	1.45
	Hf (ppm)	4.9	2.8	3.8
	Ho (ppm)	0.83	0.52	0.37
	La (ppm)	43.0	29.5	25.8
	Lu (ppm)	0.37	0.25	0.24
	Mo (ppm)	<2	3	2
	Nb (ppm)	13.1	7.1	7.3
	Nd (ppm)	35.9	23.4	19.8

Fusion ICP-MS	Pr (ppm)	9.60	6.28	5.24
	Rb (ppm)	110.0	106.0	307
	Sm (ppm)	6.25	4.01	3.28
	Sn (ppm)	3	3	2
	Sr (ppm)	951	598	318
	Ta (ppm)	0.9	0.9	0.7
	Tb (ppm)	0.68	0.43	0.25
	Th (ppm)	11.55	8.26	4.31
	Tl (ppm)	0.6	<0.5	6.1
	Tm (ppm)	0.35	0.22	0.19
	U (ppm)	2.86	3.09	4.67
	V (ppm)	62	54	90
	W (ppm)	4	7	22
	Y (ppm)	22.5	16.2	12.2
	Yb (ppm)	2.21	1.78	1.45
	Zr (ppm)	177	117	169

ANALYTICAL PROCEDURES	ÓXIDES	SAMPLES		
		HAM 42-1	HAM 43-1	HAM 44-1
Whole rock by XRF-selected analytes	Al ₂ O ₃ (%)	17.65	17.50	17.55
	BaO (%)	0.124	0.121	0.107
	CaO (%)	1.65	1.20	0.08
	Cr ₂ O ₃ (%)	<0.001	<0.001	<0.001
	Fe ₂ O ₃ (%)	3.00	2.25	2.61
	K ₂ O (%)	3.12	3.51	7.72
	MgO (%)	0.99	0.31	0.45
	MnO (%)	0.105	0.094	0.016
	Na ₂ O (%)	3.97	2.90	0.551
	P ₂ O ₅ (%)	0.175	0.136	0.052
	SiO ₂ (%)	64.9	69.7	67.7
	SrO (%)	0.092	0.064	0.035
	TiO ₂ (%)	0.35	0.25	0.52
	LOI (%)	1.63	2.10	3.31
	FeO (%)	1.28	0.52	0.57