

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA MINERALÓGICA DE LA
MINA PIM 9000, UBICADA AL NOROESTE DE
TINACO, ESTADO COJEDES**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela por los Brs. Correa
C., Jesús B. y Quintero L., Erick
G. para optar por el título de
Ingeniero Geólogo.

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN GEOLÓGICA MINERALÓGICA DE LA MINA PIM 9000, UBICADA AL NOROESTE DE TINACO, ESTADO COJEDES

Tutor académico: Prof. Ricardo Alezones

Cotutor académico: Prof. Sebastián Grande

Tutora industrial: Lic. Venezuela Colmenares

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela por los Brs. Correa
C., Jesús B. y Quintero L., Erick
G. para optar por el título de
Ingeniero Geólogo.

Caracas, 2011

Caracas, noviembre de 2011

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por del Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Correa, Jesús B. y Quintero L. Erick G., titulado:

**“EVALUACIÓN GEOLÓGICA MINERALÓGICA DE LA MINA PIM 9000,
UBICADA AL NOROESTE DE TINACO, ESTADO COJEDES”**

Considera que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. Lenín González

Jurado

Prof. Ruthman Hurtado

Jurado

Prof. Ricardo Alezones

Tutor académico

*A mis padres, a mi esposa, a mis hijos Etna,
Sebastián y tú, amad@ hij@ que vienes en
camino, son y serán mi razón de ser.*

Jesús Benjamín Correa Correa

*A mis amados padres y mis
hermanos, que sin condiciones me han
ayudado en todo.*

*A mi amada Leoraisy, que con su
amor me ha empujado a seguir adelante.*

***Y a mí amado Cristo, porque
sin él nada de esto sería realidad.***

Erick Gabriel Quintero Lugo

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios, por darnos el aliento y toda su ayuda para alcanzar esta meta.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela por brindarnos la oportunidad de poder graduarnos de ingenieros; a la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Geología, Minas y Geofísica por habernos permitido estudiar en sus aulas para formarnos y convertirnos en los profesionales que ahora somos.

A Cerámica Carabobo, S.A.C.A, por permitirnos realizar esta investigación bajo su patrocinio; a la Fundación Geos y al Instituto de Ciencias de La Tierra de la facultad de Ciencia U.C.V. por la realización de los análisis de laboratorios sin los cuales esta investigación no hubiese podido haber sido realizada.

A nuestros tutores, el profesor Ricardo Alezones, el profesor Sebastián Grande y la licenciada Venezuela Colmenares, por su guía oportuna para la culminación exitosa de este trabajo de investigación. Gracias por habernos soportado todos estos meses.

Damos un agradecimiento especial al licenciado y profesor Luis Gustavo Quintero por su asesoramiento en materia de estadísticas; una contribución invaluable para el feliz término de la investigación. Tío, te damos gracia por habernos ayudado tan desinteresadamente, espero que te guste el resultado de nuestro trabajo.

Agradecemos al profesor Thierry Poirier por el material bibliográfico sobre la industria cerámica que nos facilitó, nos ayudó a entender mucho sobre el la industria cerámica y de qué manera nuestra investigación podría tener un aporte positivo para la misma.

También agradecemos a la licenciada Carla Zorrilla por su asesoramiento en cuanto al análisis de difracción de rayos X; gracias por ayudarnos a entender la razón de ser de este instrumento para no estar tan perdidos.

A todos los compañeros que tuvimos durante la carrera, nuestros amigos, que siempre estuvieron allí luchando a nuestro lado para lograr un mismo fin.

Jesús Correa

A mi madre Carmen Correa, gracias por estar siempre allí y por creer que podía lograr esta meta; a mi padre Benjamín Correa por estar siempre preguntado ¿cuánto te falta? Ambos nunca juzgaron el largo tiempo invertido para culminar mis estudios.

A mi abuela Flor de María, siempre creyó en mí y en lo que podía lograr a futuro ¡¡¡Sigo construyéndolo Mami!!!! Gracias por haber estado entre nosotros y hacernos personas de bien sin mirar a quien.

A mi bella esposa. Desde que llegaste a mi vida fue cuando realmente di grandes pasos en la vida, uno de ellos ¡este que estoy alcanzando! A mis hijos, Etna, Sebastián y un tercero que viene en camino, ustedes son la razón para seguir adelante sin mirar atrás ¡¡¡LOS AMO!!!

A mi primo Froilán, quien en algún momento de la carrera me enseñó un oficio para sustentar el costo de la vida.

A mis grandes amigos Andrés, Augusto, Rafael ¡Sin lugar a duda ustedes son los hermanos que nunca tuve!

Erick Quintero, sin un compañero de tesis como tú no habría podido con todo esto ¡¡¡Gracias por tu paciencia y por haber estado siempre allí!!!

Erick Quintero

A mis padres, Manuel Idalberto y Egleida Teresa, por su inmenso apoyo durante toda mi vida, su amor incondicional y su abnegación para guiarme a ser un hombre de bien.

A mis hermanos Mairyn Alexandra y Carlos Quintero. Manitos, su amor de hermanos es uno de los componentes más importantes de la maquinaria que sustenta mi existencia, siempre serán parte de mis objetivos porque donde quieran que estén mi corazón estará con ustedes.

A Leoraisy Gabriela Amundaraín Salazar. Mi amor, en estos largos meses con tantos altibajos en mi ánimo nunca dejaste de creer en mí, ni me dejaste bajar los brazos, realmente eres una mujer virtuosa de Dios.

A toda mi familia extendida, porque han estado pendientes de mí y me han dado su apoyo. Los amo a todos y espero poder compartir con todos ustedes siempre, pronto se regocijarán conmigo en mi acto de grado.

A mis hermanos en la fe, en especial los miembros de mi iglesia. Con ustedes he pasado muchas cosas buenas y no tan buenas, pero en todas me han enseñado el poder del amor de Cristo en nuestros corazones y el magnetismo que él ha puesto en nuestros corazones para siempre poner por delante nuestro amor por el otro ante los defectos que podamos tener. Gracias por todas sus oraciones.

A mi amigo William de Mesa Antonia. Me enseñaste a andar y trabajar en el campo abierto. Aunque fue en otro trabajo que me ayudaste esas enseñanzas rindieron sus frutos en la presente tesis. Ruego a Dios porque alcances la vida eterna y tus objetivos.

Correa C., Jesús B.
Quintero L., Erick G.

EVALUACIÓN GEOLÓGICA MINERALÓGICA DE LA MINA PIM 9000, UBICADA AL NOROESTE DE TINACO, ESTADO COJEDES

Tutor Académico: Prof. Ricardo Alezones. Cotutor Académico: Prof. Sebastián Grande. Tutora Industrial: Lic. Venezuela Colmenares. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2011

Palabras Claves: Absorción atómica, Difracción, Espectrometría gamma, Geoestadística, Gneis de La Aguadita.

RESUMEN

El presente trabajo especial de grado forma parte del proyecto de minería “Planificación Operativa de Materia Prima Mineral No Metálica para las industrias del Vidrio, Cerámica y Refractarios”, con el cual se busca contribuir a las investigaciones sobre la disposición del material en la mina PIM 9000, con el fin de optimizar las actividades de extracción de feldespato en cantidad y calidad adecuadas para garantizar el suministro requerido por Cerámicas Carabobo, S.A.C.A.

Debido a las condiciones de meteorización avanzada de las rocas presentes en el yacimiento, se realizó el estudio del mismo por métodos indirectos de caracterización química (FRX-DE y AAS), caracterización mineralógica, (DRX y petrografía), el método de medición de la radiactividad espontánea con espectrómetro gamma portátil, y la integración de los resultados con métodos geoestadísticos.

El sector se caracteriza por una unidad de rocas gnéissicas de composición principalmente plagioclásica-cuarzosa-microclínica (con 26,5%, 20,1% y 15,7%, respectivamente), que se corresponde principalmente con la fase félsica del Gneis de La Aguadita, físicamente muy friable debido al alto grado de meteorización y su consecuente alteración, principalmente a arcillas (33,4%). La presencia de algunos piroxenos –en especial un grano de hiperstena– sugieren que la zona ha sufrido un metamorfismo de muy alto grado (posiblemente facies granulita).

Como resultado de la meteorización, la distribución de los minerales en la roca es heterogénea y caótica, presentando alta variabilidad en la distribución areal, que imposibilita la predicción de la distribución de los materiales. Tal esquema de distribución también impide la elaboración de un mapa coherente de la disposición del material, en el cual se pueda definir áreas por categorías en función de la cantidad del feldespato, quedando como mejor opción para obtener una materia prima más efectiva para la industria cerámica el proceso de separación de los diferentes minerales.

TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiv

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Ubicación.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.2.1. Objetivo general	1
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Justificación	3
1.4. Planteamiento del problema	3
1.5. Antecedentes	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Prospección de feldespatos en la industria cerámica (SACMI, 2004)	8
2.2. Marco Geológico Regional.....	11
2.2.1. Unidades Litodémicas Regionales	13
2.2.1.1. Napas de la Serranía del Litoral	14
2.2.1.2. Napas de la Serranía del Interior	14
2.2.2. Geología Estructural Regional	17

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA	20
3.1. Recopilación de información	20
3.2. Trabajo de campo	21

3.2.1.	Definición del maldado	21
3.2.2.	Medición de radioactividad y muestreo.....	24
3.3.	Trabajo de laboratorio	26
3.3.1.	Selección y preparación de las muestras	27
3.3.2.	Caracterización mineralógica.....	29
3.3.2.1.	Análisis petrográfico.....	29
3.3.2.2.	Difracción de Rayos X (DRX).....	32
3.3.3.	Caracterización geoquímica.....	33
3.3.3.1.	Fluorescencia de rayos X (FRX-DE).....	34
3.3.3.2.	Espectroscopia de absorción atómica (AAS).....	35
3.3.4.	Fundencia.....	36
3.4.	Procesamiento e integración de los resultados	37
3.4.1.	Análisis estadístico	37
3.4.1.1.	Diagramas de Caja.....	37
3.4.1.2.	Histogramas.....	39
3.4.2.	Elaboración de mapas	41
3.4.3.	Esquemas de clasificación y valoración	41
<i>CAPITULO IV</i>		
4.	GEOLOGÍA LOCAL.....	44
4.1.	Unidad de gneises plagioclásico-cuarzoso-feldespáticos	44
4.1.1.	Trabajo de campo	44
4.1.2.	Radiación Gamma natural	45
4.1.3.	Caracterización mineralógica.....	49
4.1.4.	Caracterización geoquímica.....	53
<i>CAPITULO V</i>		
5.	PROCESAMIENTO E INTEGRACIÓN DE RESULTADOS	56
5.1.	Análisis estadístico.....	56
5.1.1.	Diagramas de caja	56

5.1.2. Histogramas de frecuencia.....	62	
5.2. Mapas de datos geoquímicos	66	
5.3. Valoración del yacimiento.....	70	
5.3.1. Fundencia de feldespatos.....	70	
5.3.2. Esquemas de valoración (diagramas triangulares).....	72	
 <i>CAPITULO VI</i>		
CONCLUSIONES	77	
RECOMENDACIONES.....	79	
 BIBLIOGRAFÍA		81
APÉNDICE	87	

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1:	Ubicación del área de estudio	2
Figura N° 2:	Ejemplo: secuencias del ensayo de fundencia para el feldespatos.....	9
Figura N° 3:	Intervalo de reblandecimiento de los fundentes feldespáticos en el microscopio de calefacción.....	10
Figura N° 4:	Napas en el Sistema Montañoso del Caribe	12
Figura N° 5:	Esquema de la relación del eje principal del mallado con respecto al norte y al eje de coordenadas radiales	22
Figura N° 6:	Esquema de la relación del eje secundario del mallado con respecto al norte y al eje de coordenadas radiales	22
Figura N° 7:	Esquema de la ubicación relativa de los puntos del mallado con respecto al origen (A01)	23
Figura N° 8:	Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes	30
Figura N° 9:	Partes del diagrama de cajas	38
Figura N° 10:	Clases de distribuciones de frecuencia a) distribución normal o simétrica. b) sesgado o asimétrico. c) en forma de J. d) bimodal.....	40
Figura N° 11:	Ejemplo de líneas de proporcionalidad y de relación en el esquema triangular de Streckeisen (triángulo APQ).....	43
Figura N° 12:	Mapa de curvas de igual radiación Tc_1	46
Figura N° 13:	Mapa de curvas de igual radiación Tc_2 (cp).....	46
Figura N° 14:	Mapa de curvas de igual radiación K (cps).	47
Figura N° 15:	Mapa de curvas de igual radiación U (cps).	47
Figura N° 16:	Mapa de curvas de igual radiación Th (cps).....	48
Figura N° 17:	Minerales típicos de las muestras analizadas con microscopio petrográfico (muestra D12).....	51
Figura N° 18:	Textura pertítica en la muestra F16 que se desarrolló en forma radial.....	52
Figura N° 19:	Imagen de textura antipertítica en la muestra I13.....	53

Figura N° 20: Diagramas de caja de las Variables radiométricas Tc ₁ y Tc ₂	57
Figura N° 21: Diagramas de caja de las Variables radiométricas K, U y Th	57
Figura N° 22: Diagramas de caja de las variables SiO ₂ y Al ₂ O ₃	58
Figura N° 23: Diagramas de caja de las variables Fe ₂ O ₃ , K ₂ O y Na ₂ O	59
Figura N° 24: Diagramas de caja de las variables CaO, MgO, MnO y TiO ₂	59
Figura N° 25: Histogramas de frecuencias de las variables de radiación espontánea γ	63
Figura N° 26: Histogramas de frecuencias de las variables geoquímicas	64
Figura N° 27: Mapas de contorno de Na ₂ O (en porcentaje)	67
Figura N° 28: Mapas de contenido de microclino (en porcentaje).	67
Figura N° 29: Mapas de contenido de SiO ₂ (en porcentaje).....	68
Figura N° 30: Mapas de contenido de arcillas (en porcentaje).....	68
Figura N° 31: Diagrama de valoración basado en el triángulo APQ de Streckeisen (1965).....	75
Figura N° 32: Esquema de diagrama triangular propuesto para la valoración del yacimiento, según su contenido de feldespatos totales y las dos principales impurezas, cuarzo y arcillas.....	76
Figura N° 33: Imagen satelital de la zona de estudio. Resaltado en el recuadro amarillo está la zona de la mina seleccionada, incluyendo los 152 ptos. de mediciones radiométricas.....	89

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Contenido mineralógico resultante del análisis petrográfico.....	49
Tabla N° 2: Composición mineralógica según DRX	50
Tabla N° 3: Resultados de los análisis geoquímicos.....	54
Tabla N° 4: Estadísticas básicas para la elaboración de los diagramas de caja de las variables de radiación espontánea (rayos γ).....	56
Tabla N° 5: Estadísticas básicas para la elaboración de los diagramas de caja de las variables geoquímicas.....	58
Tabla N° 6: Valores anómalos para las variables radiométricas y geoquímicas	60
Tabla N° 7: Resultado de los ensayos de conos de fusión.....	70
Tabla N° 8: Ubicación en coordenadas UTM de los puntos de muestreo en la Mina PIM 9000	88
Tabla N° 9: Descripciones de muestras de mano.....	90
Tabla N° 10: Valores de radiación γ dado en cps para cada punto del mallado, en cada una de las ventanas de medición de radiación.....	98
Tabla N° 11: Composición química, en porcentaje, dado por FRX – DE.....	102
Tabla N° 12: Composición química, en porcentaje, dado por absorción atómica ...	103

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo especial de grado forma parte del proyecto de minería “Planificación Operativa de Materia Prima Mineral No Metálica para las industrias del Vidrio, Cerámica y Refractarios”, con el cual se busca contribuir con las investigaciones sobre la disposición del material en la mina PIM 9000, que conlleve a un mejor aprovechamiento del el mismo en la industria cerámica.

1.1. Ubicación

El área de estudio está ubicada al noroeste de la población de Tinaco, estado Cojedes, entre las coordenadas geográficas $9^{\circ}43'2,17''\text{N} - 68^{\circ}29'23,15''\text{O}$, $9^{\circ}43'10,59''\text{N} - 68^{\circ}29'16,96''\text{O}$, $9^{\circ}43'6,00''\text{N} - 68^{\circ}29'28,45''\text{O}$ y $9^{\circ}43'14,42''\text{N} - 68^{\circ}29'22,27''\text{O}$, y abarca un área de 6,4 ha (ver Figura N° 1).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar una evaluación geológica mineralógica usando métodos de caracterización química mediante fluorescencia de rayos X y absorción atómica, identificación mineralógica mediante difracción de rayos X y petrografía y radiométrica mediante espectrometría gamma del yacimiento de feldespatos de la mina PIM 9000, con el fin de determinar el nivel de heterogeneidad y la mineralogía del citado yacimiento.

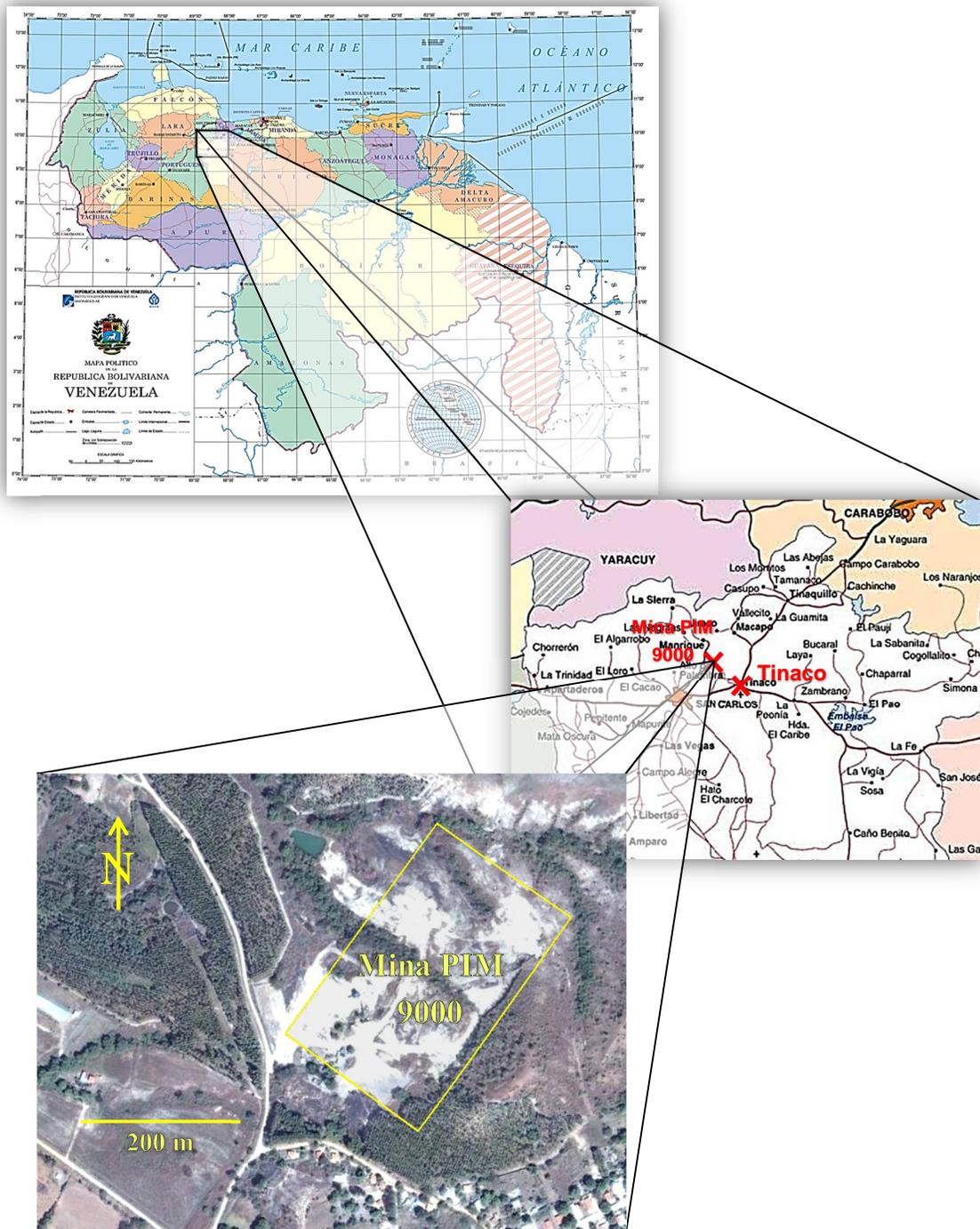


Figura N° 1: Ubicación del área de estudio.

Imágenes: arriba derecha, Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (s.f.), Mapa Político de la República Bolivariana de Venezuela; medio, www.venezuela-online.net/mapa-vial-cojedes.htm [Última consulta: 2011, junio 26]; abajo, Google Earth (2010), imagen aérea de la mina PIM 9000 [Última consulta: 2011, junio 29]

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la radioactividad del yacimiento mediante mediciones de rayos gamma total, potasio, uranio y torio.
- Determinar la composición química de muestras del yacimiento con fluorescencia de rayos X y absorción atómica (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , CaO , MgO , MnO y TiO_2).
- Determinar la composición y la identificación de facies mineralógica de muestras del yacimiento con difracción de rayos X y petrografía.
- Elaborar un esquema visual de valoración para las características del yacimiento en función de los valores de mineralogía.
- Obtener una representación gráfica de la disposición de elementos geoquímicos asociados al material feldespático en la zona de trabajo y definir las áreas por categorías en función de la composición.

1.3. Justificación

La compañía Cerámicas Carabobo, S.A.C.A. requiere de estudios geológicos de la mina PIM 9000 que permitan optimizar las actividades de extracción para poder disponer de feldespato en cantidad y calidad adecuadas para garantizar el suministro requerido por la compañía para sus operaciones de producción presente y futura.

1.4. Planteamiento del problema

Debido a las condiciones de meteorización (intermedia a avanzada) las rocas presentes en el yacimiento están muy deterioradas y son muy friables. Debido a esto la identificación mineralógica es muy difícil (y en algunas ocasiones imposible) en muestras de mano. Por esta razón se ha propuesto el estudio del mismo por métodos indirectos de caracterización química, con fluorescencia de rayos X y absorción

atómica, caracterización mineralógica, con difracción de rayos X y petrografía, y el método de medición de la radiactividad espontánea con espectrómetro gamma portátil. La aplicabilidad y utilidad de la última técnica citada se fundamenta principalmente en la expectativa de que el material presente en la mina contenga una radioactividad característica que ayude en la correlación litológica.

1.5. Antecedentes

A continuación se presentan, en forma resumida y en orden cronológico, aquellos trabajos previos realizados en el contexto del área de estudio, con el fin de que sean observados los cambios conceptuales en lo que respecta a interpretaciones geológicas realizadas.

AGUERREVERE y ZULOAGA (1937) fide ROJAS (1989) realizaron un informe geológico para la posible explotación de yacimientos de amianto crisotílico de la región de Tinaquillo. En este informe los autores describen las rocas asociadas a estos yacimientos, determinando que la mineralización está localizada en un complejo de rocas máficas y ultramáficas que forman un sill. Asimismo, determinan que el amianto está contenido en el pórfido de la peridotita.

RENZ Y SHORT (1960) fide CIEN (2008) introdujeron el nombre de Complejo de El Tinaco para designar una gran variedad de rocas metasedimentarias muy plegadas expuestas entre Tinaquillo, San Carlos y El Pao, Estado Cojedes.

SEIDERS (1965) fide CIEN (2008) correlacionó las rocas del basamento en Miranda central con el gneis de La Aguadita que identificó con las "dioritas hornbléndicas" y los "granitos sódicos" descritos por Smith (1953), confirmando la interpretación de Mackenzie (1966).

OXBURG (1965) fide ROJAS (1989) realizó la cartografía geológica de la parte oriental del Edo. Carabobo, con lo cual determina que la Formación Aragüita se

encuentra fallada contra los gneises hornbléndicos del Complejo de El Tinaco (pre-Cretácico). De igual forma, se concluye que dicho complejo es discordante debajo de zonas de rocas sedimentarias calcáreas recristalizadas, las cuales yacen concordantemente por debajo de la Formación Aragüita en su lado sur y parcialmente se correlacionan con la Formación Tucutunemo, subyacente a ésta, hacia el norte.

MENÉNDEZ (1966) realizó un estudio regional de la parte norcentral del estado Cojedes, donde cartografía geoquímicamente las formaciones aflorantes en el área, determinando que en la región de El Tinaco las rocas más antiguas la conforman parte del Complejo de El Tinaco (pre – Cretácico), infrayacente discordante a una serie de unidades basales pertenecientes a una secuencia cretácico–terciaria metamorfizada. Interpretó el complejo como derivado en gran parte de una secuencia lutítico–grauváquica y reconoció dos unidades metasedimentarias ("Gneis de La Aguadita" y "Esquisto de Tinapú"), intrusionadas por varios tipos de rocas ígneas. Empleó el nombre de Gneis de La Aguadita para designar una intercalación de gneises hornbléndicos, gneises biotíticos, anfibolitas y rocas cuarzo-plagioclásicas, que constituye la parte más antigua del Complejo de El Tinaco.

BECK (1985) fide ROJAS (1989) realizó un análisis de las napas septentrionales del tramo central de la cadena del Caribe, donde postuló que las napas Caucagua – El Tinaco, Loma de Hierro y Villa de Cura representan, respectivamente, fragmentos del margen continental estable Jurásico superior, fragmentos de un dominio oceánico ubicado al norte de aquel margen y fragmentos de arco insular ubicado más al norte o al noroeste con traslado frente al margen venezolano por efectos de fallas transcurrentes dextrales.

MATTSON (1985) rebatió las conclusiones de trabajos anteriores, postulando un emplazamiento en la roca caja de manera sólida y no como un líquido magmático. Determinó la no existencia de una aureola de contacto metamórfica, explicando los cambios mineralógicos de la roca caja, cerca del contacto con la peridotita, como producto del incremento del grado metamórfico regional.

OSTOS (1985) realizó una interpretación estructural de la Peridotita de Tinaquillo y su roca caja, donde determinó que el Complejo de Tinaquillo consiste principalmente de harzburgitas y metagabros, presumiblemente formados los primeros a altas temperaturas (por encima de 1400°C) y a gran profundidad en el manto superior, y dicho complejo fue yuxtapuesto sobre el Complejo de El Tinaco a niveles corticales intermedios con temperaturas de aproximadamente 650°C, debido probablemente a un emplazamiento tectónico orientado hacia el noroeste. Propuso que dicha yuxtaposición ocurrió durante un evento del Cretácico tardío al Terciario relacionado con la colisión de otro arco volcánico con Suramérica.

ROJAS (1989) realizó una interpretación geológica estructural del Complejo de El Tinaco propuso protolitos ígneos plutónicos, procedencia sedimentaria y volcanoclástica para el Gneis de La Aguadita y un protolito sedimentario para el Esquisto de Tinapú, por sus asociaciones minerales y relaciones texturales. También indicó que el metamorfismo de las rocas del Gneis de La Aguadita y del Esquisto de Tinapú corresponden, respectivamente, a la facies de anfibolita epidótica y a la facies de esquistos verdes (zona de la biotita), ambas con relación de P/T de intermedias a bajas. Interpretó el contacto entre estas dos unidades con protolitos y asociaciones minerales diferentes como tectónico, a lo largo de la falla de Tinapú. Finalmente propuso una probable edad Proterozoico tardío para el Gneis de La Aguadita, el cual fue metamorfizado e intrusionado por magmas intermedios y félsicos durante el Paleozoico.

URBANI (1996) durante la realización de trabajos de cartografía geológica llevados a cabo en los parques nacionales Guatopo y El Ávila, utilizó un espectrómetro γ portátil de un canal total, midiendo varias secciones a través de los contactos litológicos a fin de analizar la respuesta del mismo a las diferentes litologías, demostrando la utilidad de esta herramienta para delimitar unidades y distinguir tipos litológicos individuales, cuando contrastan en cuanto a la concentración de K, U y Th, afirmando también su utilidad cuando las condiciones de meteorización y cobertura impide la observación directa de los afloramientos.

CAMPOSANO y MARTÍNEZ (2000) realizaron un estudio geoquímico, mineralógico y radiométrico de dos secciones estratigráficas, correspondientes a las formaciones Barco y Mirador, en las cercanías de la población de San Pedro del Río en el estado Táchira, procesando los datos con procedimiento estadísticos y elaboración de perfiles, permitiéndoles establecer la presencia de “Unidades químico-radiométricas” que, combinadas con la información sedimentológica, muestra que tales unidades representan posibles cambios en los ambientes de depositación.

GÓMEZ (2006) realizó un estudio de la concentración de radiactividad natural, los elementos radiactivos K, U y Th –medida con espectrómetro γ portátil– y su correlación con las concentraciones de carbono orgánico total (COT), inorgánico (CaCO_3) y azofre total (St) en la Formación Querecual, y complementados con datos geoquímicos de la Formación Querecual en la sección tipo. Presentó por primera vez el perfil radiactivo de la Formación Querecual en su localidad tipo y las relaciones que guarda con los resultados geoquímicos.

FERRER y RINCONES (2007) realizaron una caracterización petrológica de los afloramientos de rocas ultramáficas de la zona de Tamanaco de Tinaquillo, estado Cojedes, cuyo resultado fue que la peridotita de Tinaquillo está constituida por rocas ultramáficas como: dunitas, serpentinitas, dunitas serpentinizadas, websteritas, harzburguitas y piroxenitas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

La prospección según la Real Academia Española es la “*exploración del subsuelo basada en el examen de caracteres del terreno y encaminada a descubrir yacimientos minerales, petrolíferos, aguas subterráneas, etc.*” (Real Academia Española, 2001). KREITER, en 1978, dio la siguiente explicación de estos conceptos: “*Se llaman investigaciones mineras al conjunto de operaciones geológicas que tratan de descubrir los yacimientos de minerales útiles de interés industrial*”. En tal sentido, la prospección minera representa una serie de exploraciones y trabajos necesarios, encaminados a determinar el valor industrial un yacimiento dado.

Como principal objetivo de esta investigación se tiene la evaluación de la calidad del feldespato en la mina PIM 9000 para su uso industrial. Por tal motivo en este capítulo se describe la importancia del feldespato para la industria cerámica y el marco geológico regional de la mina.

2.1. Prospección de feldespatos en la industria cerámica (SACMI, 2004)

Los materiales feldespáticos encuentran amplio uso en todos los sectores cerámicos donde se quiere alcanzar un elevado grado de vitrificación de la pieza, en particular, para las baldosas cerámicas, de la fabricación tanto del gres porcelánico como de las piezas de monococción claras de baja porosidad (del 25 al 55%). Los porcentajes utilizados, además de variar con las diferentes composiciones, también dependen del contenido de alcalinos del material feldespático incorporado.

Es importante conocer su naturaleza mineralógica, ya que la temperatura de formación de la fase vítrea y la viscosidad del vidrio formado están íntimamente

correlacionadas con el tipo de feldespato: los feldespatos sódicos (mineralógicamente definidos como albita) presentan una temperatura de fusión más baja, pero también una baja viscosidad en fundido, mientras que los feldespatos potásicos (microclino, ortoclasa) poseen una viscosidad más elevada. Por otra parte, el conocimiento de la naturaleza mineralógica de las materias primas individuales de una pasta ayuda a la hora de diseñar sus características específicas, como la formación de “eutéticos”, es decir, de composiciones particulares con puntos de fusión más bajos.

La selección entre el feldespato potásico y sódico se realiza en función de las exigencias específicas de los diferentes productos, teniendo en cuenta que el potásico es un fundente menos energético que el sódico, aunque permite trabajar con un intervalo de vitrificación más amplio (ver figuras N° 2 y 3)

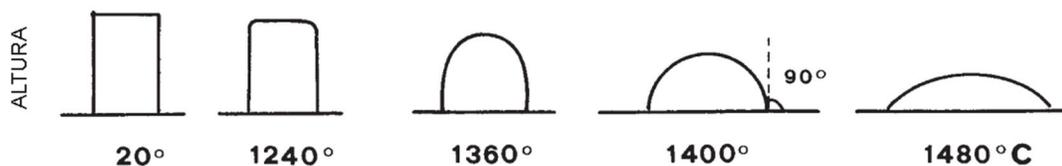


Figura N° 2: Ejemplo: secuencias del ensayo de fundencia para el feldespato (1240°C inicio de reblandecimiento, 1400°C punto de fusión). Tomado de SACMI (2004).

La estructura base del feldespato es un anillo formado por cuatro grupos tetraédricos; en el caso del feldespato potásico y del sódico, hay tres tetraedros de silicio y uno de aluminio, mientras en el feldespato cálcico, los cuatro grupos tetraédricos se deben mitad al silicio y mitad al aluminio. El feldespato potásico puede presentarse en dos formas cristalinas: ortoclasa (monoclínica) y microclino (triclínica). Los cristales se presentan como prismas pseudo-hexagonales muy aplastados, estables a bajas temperaturas.

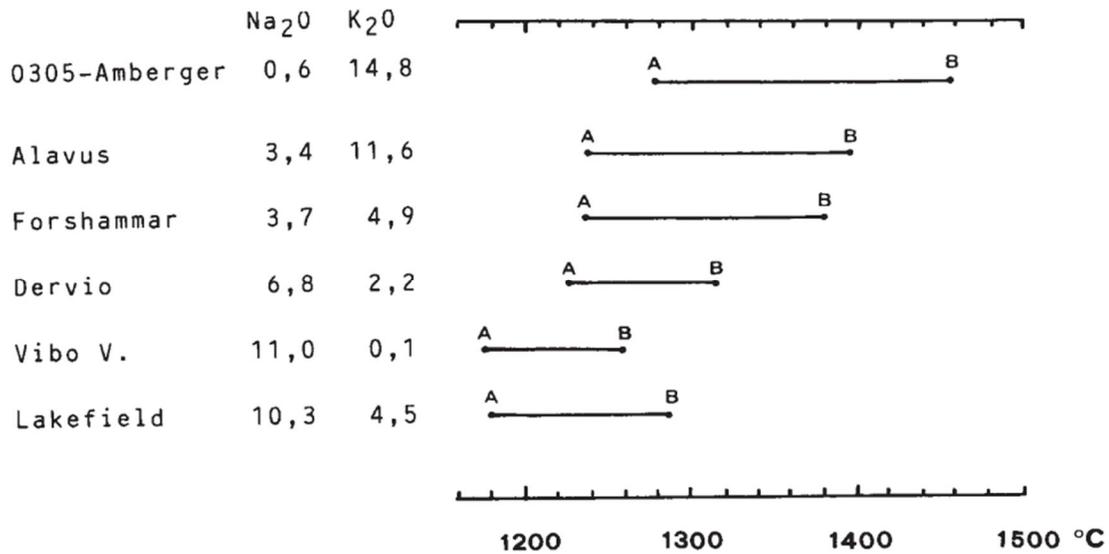


Figura N° 3: Intervalo de reblandecimiento de los fundentes feldespáticos en el microscopio de calefacción (A inicio de reblandecimiento, B punto de fusión). Puede notarse que el 0305-Amberger, con mayor contenido de K₂O tiene un intervalo más amplio, otorgando a la muestra mayor viscosidad, pero también requiere de temperaturas más altas para el inicio del proceso de fusión. Tomado de SACMI (2004).

Los tres feldespatos principales presentan las siguientes formulaciones:

- ortoclasa (o microclino): K (AlSi₃O₈);
- albita: Na (AlSi₃O₈);
- anortita: Ca (Al₂Si₂O₈).

Son frecuentes las soluciones sólidas entre estos tres feldespatos; la ortoclasa contiene a menudo, en solución sólida, importantes porcentajes de albita en particular, a alta temperatura. Por otro lado, la albita y la anortita forman una serie continua de soluciones cristalinas que se mantiene también después del enfriamiento (plagioclasas).

Los yacimientos de feldespatos son principalmente de origen ígneo pero también hay yacimientos parcialmente feldespáticos de origen sedimentario (arenas y areniscas). Los yacimientos plutónicos (es decir de consolidación profunda), las rocas feldespáticas se presentan bajo una forma filoniana y generalmente se asocian al cuarzo y a la moscovita. La génesis de estos filones estaría relacionada con

segregaciones magmáticas de propiedades y relaciones químicas particulares (ricas en alcalinos), o debidas a fusiones y a recristalizaciones que se han desarrollado por consecuencia de fenómenos metamórficos. Por ejemplo, en el caso de las pegmatitas (generalmente asociadas a intrusiones granitoides), el desarrollo de cristales de grandes dimensiones (feldespatos y mica) ha hecho pensar en soluciones de baja viscosidad que han saturado las fracturas de las rocas preexistentes.

Los yacimientos sedimentarios explotados por su elevado contenido de álcalis son las areniscas feldespáticas y las arenas feldespáticas. Ambas son el producto de la disgregación y sucesiva acumulación en un entorno acuoso (deltas fluviales, lagos o zonas marinas próximas a la costa) de rocas madre ácidas (granitos, pegmatitas y metamorfitas feldespáticas). A menudo, en estos yacimientos ya se ha desarrollado, de manera natural, la separación de los feldespatos de los otros minerales (generalmente cuarzo y mica); sin embargo, el transporte aporta elementos “contaminantes”; típicos son los niveles ricos en minerales arcillosos o hidróxidos de hierro y la presencia de “bandas”, donde se han agrupado los minerales pesados.

Por lo que se refiere a la explotación, las rocas feldespáticas presentan generalmente tal grado de compactación que hacen indispensable el uso de explosivos. En los casos de una parcial caolinización, esto se puede limitar al uso solo de pequeñas voladuras en serie (acción de “fragmentación” de la estructura del yacimiento), procediendo luego a la remoción con medios mecánicos; algunos de estos yacimientos pueden explotarse directamente con medios mecánicos.

2.2. Marco Geológico Regional

De acuerdo a los resultados del trabajo más reciente de integración de mapas geológicos y de adaptación de los nombres de unidades litodémicas de la Cordillera de la Costa, realizado por URBANI y RODRÍGUEZ (2004), en términos geográficos, en el centro-norte del país, la Cordillera de la Costa se divide en dos serranías con

orientación este-oeste: la Serranía del Litoral en su mitad septentrional y la Serranía del Interior en la meridional. Ambas se encuentran separadas por una serie de valles intramontanos controlados principalmente por el sistema de fallas de La Victoria.

Según URBANI y RODRÍGUEZ (2004), la morfología de la Cordillera se refleja claramente en la subdivisión en “fajas” indicadas por MENÉNDEZ (1966), (ver Figura N° 4), y modificada por muchos autores posteriores, quienes incluyen otras denominaciones de fajas. Dicho autor, a falta de una cartografía geológica adecuada en ese momento, consideró que la Serranía del Litoral en su totalidad formaba parte de su Faja de la Cordillera de la Costa.



Figura N° 4: Napas en el Sistema Montañoso del Caribe (según MENÉNDEZ, 1966) (Tomado de FERRER y RINCONES, 2007).

Posteriormente STEPHAN *et al.* (1980), STEPHAN (1982) y BECK (1986) reconocen que en la parte costera de esta serranía se encuentran unidades de rocas con metamorfismo de alta P y baja T, por lo cual la subdividen en dos “fajas”: Margarita-Costera y Cordillera de la Costa. URBANI y OSTOS (1989) proponen que la Serranía del Litoral se divide en tres “fajas”, ahora denominadas Costera, Ávila y

Caracas (URBANI 2002); cada una de ellas constituida por rocas características, formadas en espacio y tiempo distintos, con historias geológicas diversas, yuxtapuestas debido a la interacción de las placas del Caribe y Sur América.

2.2.1. Unidades Litodémicas Regionales

URBANI y RODRÍGUEZ (2004), proponen adoptar la conceptualización estructural más formal de napas, propuesta originalmente por BECK (1986) para la región de Aragua, en sustitución del concepto genérico y más bien geográfico de fajas, adaptándolas a la totalidad de la Cordillera de la Costa bajo el siguiente esquema (URBANI, 2005):

- Napas de la Serranía del Litoral
 - Napa Costera
 - Napa Ávila
 - Napa Caracas
- Napas de la Serranía del Interior
 - Napa Caucagua-El Tinaco
 - Napa Loma de Hierro (BECK *op. cit.* incluye a Paracotos en esta Napa)
 - Napa Villa de Cura
- Macizo de El Baúl
- Unidades de Ubicación dudosa

En este trabajo de grado se utiliza la nomenclatura que se ha propuesto en las últimas actualizaciones de las unidades de la Cordillera, que han seguido los lineamientos acordados entre la UCV, FUNVISIS e INGEOMIN-MEM (URBANI, RODRÍGUEZ y VIVAS, 2000, *fide* URBANI y RODRÍGUEZ, 2004).

2.2.1.1. Napas de la Serranía del Litoral

Cubre la parte Septentrional de las Montañas del Caribe, limita al norte con el Mar Caribe y al sur con la zona de fallas de la Victoria. Estas napas están constituidas por rocas de edad Jurásico-Cretácico, que pertenecen a la Napa Caracas (antigua Asociación metasedimentaria Caracas), las cuales descansan sobre un basamento granítico de edad Precámbrico-Paleozoico, el cual está expuesto en los núcleos de grandes pliegues abiertos (OSTOS, 1985).

Las napas de la Cordillera de la Costa, actualmente se divide en Napa Costera, Napa Ávila y Napa Caracas, ocupan la parte septentrional de las Montañas Occidentales del Caribe y dentro de esta se incluye un complejo basal de origen ígneo de edad Paleozoico (HURLEY y HEES, 1972 *fide* FERRER y RINCONES, 2007), la cual fue determinada en base a métodos radiométricos. Sobre este basamento se encuentran rocas metasedimentarias y metaígneas perteneciente al Grupo Caracas de edad Mesozoica determinada por métodos radiométricos y paleontológicos (URBANI, 1982 *fide* FERRER y RINCONES, *op. cit.*).

2.2.1.2. Napas de la Serranía del Interior

- **Napa de Caucagua – El Tinaco**

Este cinturón consiste de una asociación litológica formada por Gneises hornbléndicos y algunas rocas trondhjemíticas descritas como el basamento de este cinturón y denominadas como el Complejo de El Tinaco. La edad ha sido interpretada como Paleozoico basado en su historia deformacional (OSTOS, *op. cit.*). En el área de interés del Complejo de El Tinaco se tienen dos unidades litológicas o litodémicas: El Gneis de La Aguadita y El Esquisto de Tinapú.

Se encuentra limitado al sur por la falla normal de Santa Rosa. Esta napa es irregular y discontinua. En ella aflora el Complejo de El Tinaco por debajo de una secuencia volcánica-sedimentaria del Cretácico Medio y Tardío, con asociaciones mineralógicas indicativo de un metamorfismo de bajo grado además incluye bloques

alóctonos de rocas metamórficas con edades que van desde el Cretácico hasta el Paleoceno (MENÉNDEZ, 1966). La parte superior de la Asociación Caracas está localmente corrida sobre este cinturón (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980; OSTOS, *op. cit.*).

La unidad mayoritaria corresponde al Complejo El Tinaco, donde a su vez está compuesta por el Gneis de la Aguadita y el Esquisto de Tinapú. Además de éstas la Napa Caucagua-El Tinaco comprende también unidades no agrupadas en asociaciones (URBANI, 2005):

- Metaconglomerado de Charallave [Inf.].
- Complejo de Conoropa [Vál.].
 - San Vicente, Gneis Granítico de San Vicente [Inf.].
- Gneis Tonalítico de Curiepe [Vál.].
- Serpentinita de El Chupón [Vál.].
- La Gloria, Trondjemita de La Gloria. [Vál.]. (Incluye los plutones de Tinatepo, Carrizal y Las Carpas).
- Metadiorita de La Guacamaya [Vál.].
- Filita de Las Placitas. [Vál.].
- Filita de Muruguata.
- Volcánicas de Pílancones [Vál.].
- Brecha ígnea de Sabana Larga [Vál.].
- San Antonio, Serpentinita de San Antonio [Inf.].
- Peridotita de Tinaquillo [Val.].
- Filita de Tucutunemo [Val.].
 - Metalava de Los Naranjos [Val.].
- Filita de Urape [Val.].

Las Capas de la Quebrada Onoto (Cretácico Tardío) parecen corresponder a una cobertura sedimentaria de esta napa.

Gneis de La Aguadita

Según CIEN (2008), MENÉNDEZ (1966) describe al Gneis de la Aguadita como la parte más antigua del Complejo El Tinaco, y toma el nombre de la quebrada la Aguadita, donde se encuentran buenos afloramientos de la unidad. Está compuesta por alternancia de litologías máficas y félsicas de 5 a 30 centímetros de espesor, dando a la roca un aspecto bandeado, que raras veces alcanzan el metro de espesor. Las litologías félsicas (rocas cuarzo-plagioclásicas) suelen ser más delgadas que las máficas (gneis hornbléndico-cuarzo-oligoclásico y anfibolitas). Son comunes las transiciones de una litología a la otra, particularmente entre los gneises hornbléndicos y los biotíticos que pasan del uno al otro en la misma “capa”. Los gneises hornbléndicos abundan más que los biotíticos y éstos a su vez más que las anfibolitas. En la parte superior, la unidad contiene capas de esquistos cuarzo-plagioclásico-cloríticos y conglomerados esquistosos con cantos de cuarzo y rocas graníticas.

La Base del Complejo de El Tinaco no está expuesta; BELLIZZIA y RODRÍGUEZ (1976) *vide* FERRER y RINCONES (2007) propusieron que el Gneis de La Aguadita forma parte del basamento Precámbrico.

Esquisto de Tinapú

El esquisto de Tinapú consiste de una secuencia de esquistos cuarzo-albítico-moscovíticos y cloríticos y metaconglomerados esquistosos que forman parte del Complejo del Tinaco, dicho conjunto mineralógico de los esquistos de Tinapú indica un grado metamórfico equivalente al de las subfacies cuarzo-albita-epidoto-biotita de las facies de los esquistos verdes. La edad de este esquisto se presume Pre-Mesozoico. El esquisto de Tinapú suprayace transicionalmente al gneis de La Aguadita, e infrayace con discordancia angular a la Formación Las Placitas MENÉNDEZ (1966) *vide* GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980).

La litología predominante consiste en esquistos cuarzo-albítico-moscovítico, que constituyen el 70% de la unidad, estos son de color gris verdoso y afloran en

capas con espesor de hasta 4 metros, que se intercalan con esquistos cuarzo-albítico-clorítico. MENÉNDEZ (*op. cit.*) *fide* GONZÁLEZ DE JUANA (*op. cit.*), opina que los esquistos con guijarros achatados pasan gradualmente a metaconglomerados esquistosos con guijarros achatados que sobresalen por meteorización diferencial en las superficies expuestas.

Los esquistos cuarzo-albítico-clorítico son rocas de color verde oscuro y forman capas delgadas con espesores entre 10 y 50 centímetros. Los metaconglomerados por su parte, contienen guijarros líticos que alcanzan hasta 10 centímetros de diámetros y están compuestos de queratófiro de cuarzo, granito escaso en feldespato potásico y cuarzo.

MENÉNDEZ (1966) *fide* GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), menciona conjuntos minerales indicativos de la facies del esquistos verde del metamorfismo regional para toda a unidad del Esquistos de Tinapú, este pasa transicionalmente al Gneis de La Aguadita e infrayace con discordancia angular a la Formación las Placitas.

2.2.2. Geología Estructural Regional

La estructura regional de la Napa Caucagua–El Tinaco de la cordillera de La Costa no es clara, debido parcialmente a la complejidad de las estructuras y a la falta de dataciones radiométricas y paleontológicas. Es por ello que es necesario realizar más investigaciones pero algunas características generales pueden ser reconocidas.

Pocos datos radiométricos existen del cinturón de Caucagua–El Tinaco, al sur del cinturón de la cordillera de la Costa (MENÉNDEZ, *op. cit.* *fide* GONZÁLEZ DE JUANA *op. cit.*). Estos escasos datos hacen posible interpretar un evento metamórfico que afectó el basamento durante el Triásico y un posterior levantamiento durante el Cretáceo Temprano.

MENÉNDEZ (*op. cit.*) *fide* GONZÁLEZ DE JUANA (*op. cit.*) menciona que sobre este basamento se encuentra una secuencia volcánica-sedimentaria ligeramente

metamorfizada de edad post- Asociación Caracas, además señala que este cinturón está formado por pliegues abiertos, con buzamiento suave y con la foliación orientada principalmente este- oeste, la estructura en general está dominada por las fallas de corrimiento que tiene la edad de la Asociación Caracas. MENÉNDEZ (*op. cit.*) y MACKENZIE (1966) reconocen una parte de la Asociación Caracas sobrecorrido hacia el sur sobre las secuencias más jóvenes de este cinturón.

Según FERRER y RINCONES (2007), MENÉNDEZ (1966) describe dentro del Gneis de la Aguadita asociaciones mineralógicas indicativas de un metamorfismo de alta P/T en la facies de la Anfibolita Almandínica. También señala que en rocas del Esquisto de Tinapú se presentan asociaciones mineralógicas que corresponden a la subfacies cuarzo-albita-epidota-biotita de la facies de los esquistos verdes. OSTOS (1985) sugiere que el cambio de facies podría representar un gradiente geotérmico o que ambas unidades litológicas fueron metamorfizadas a diferentes niveles estructurales.

OSTOS (*op. cit.*) divide el Complejo de El Tinaco, en las cercanías de la Peridotita de Tinaquillo, en dos grupos de rocas, con historia metamórfica diferente, pero ambas correlacionadas al Gneis de la Aguadita. El primer grupo está compuesto por rocas de Composición gabroide cercanas a la peridotita que evidencian texturalmente dos eventos metamórficos, el primer evento en la facies Granulita y el último en la facies Anfibolita; el otro grupo de rocas está ubicado al sur de los gabros antes mencionados constituidas por Gneis y Anfibolitas y evidencian un evento metamórfico en la facies Anfibolita y correlacionable con el segundo evento de las rocas gabroides.

MACKENZIE (*op. cit.*) reconoce que todas las rocas metamórficas en la parte sur de la napa se encuentran limitadas por una falla inversa de ángulo alto, la cual buza hacia el norte y tiene un rumbo aproximadamente de N75°E. Las rocas al sur de esta falla son sedimentarias intercaladas con basaltos cuya edad ha sido interpretada como Cenomaniense a Paleoceno; este mismo autor interpreta que todas las

estructuras presentes en esta napa se formaron durante el mismo evento orogénico, sugiriendo que el metamorfismo regional que afectó el Complejo de Sebastopol y la intrusión de la Peridotita de Tinaquillo ocurrieron simultáneamente durante el mismo evento orogénico en el Cretáceo Tardío, determinando que las estructuras post-metamórficas fueron consecuencia del mismo campo de esfuerzos.

El contacto norte de la napa Cauagua-El Tinaco es de falla, la cual atraviesa el basamento (El Gneis de La Aguadita) (MACKENZIE, 1966). La Peridotita de Tinaquillo y el complejo El Tinaco se encuentran corridos por esta falla hacia el norte, sobre las filitas negras y los mármoles del Esquisto de Las Mercedes (MACKENZIE 1960, *op. cit.*). Basado en la orientación de los porfiroclastos de enstatita el propone que el emplazamiento fue de noroeste al sureste.

OSBURN (1960) sugiere que el metamorfismo que ocurrió durante el Cretácico fue causado por temperatura y presión de enterramiento más bien que por esfuerzos tectónicos.

OSTOS (1985), la divide en dos provincias tectónicas las cuales presentan características litológicas y estructurales propias, indicando que dichas provincias fueron metamorfizadas en diferentes regímenes y probablemente a diferentes tiempos. Una de estas provincias está constituida por los Complejos de Tinaquillo y del Tinaco, estando la otra provincia constituida por el Esquisto de Las Mercedes.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

El trabajo requerido para la realización de este trabajo de investigación se realizó en cuatro fases:

- Recopilación de información
- Trabajo de campo
- Trabajo de laboratorio
- Integración de resultados

3.1. Recopilación de información

En primera instancia se recabó la información disponible (recopilación bibliográfica, así como de cartografía y material relacionado, tales como imágenes satelitales, etc.) acerca de la zona de estudio, además de información referente a la aplicabilidad de los métodos propuestos –espectrometría γ , fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X y análisis petrográfico– para el desarrollo de la investigación, así como las publicaciones referentes al Gneis de La Aguadita (Complejo de El Tinaco).

La actividad de recopilación continuó durante las semanas posteriores al trabajo de campo, mediante información bibliográfica, búsqueda en internet y asesoramientos con expertos, agregándose información referente la metodología de correlación e integración a través de análisis estadístico, además de información sobre espectroscopia por absorción atómica y conos de fusión, no contemplados en el planteamiento original, pero de gran importancia para la investigación relacionada con la certificación de calidad de la materia prima para la fabricación de baldosas.

3.2. Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó en la mina PIM 9000, ubicada cerca de la población de Tinaco, estado Cojedes, en la cual aflora el Gneis de La Aguadita. Como se señaló previamente, el objetivo primario del estudio es determinar las características geoquímico-mineralógicas y el nivel de heterogeneidad del yacimiento de feldespato de la mina, para lo cual durante el trabajo de campo fue necesario asegurar los siguientes resultados:

- Determinar la emisión de radiación gamma del yacimiento mediante mediciones de rayos gamma total y de potasio, uranio y torio.
- Recolectar la mayor cantidad de muestras de mano cubriendo diferentes áreas del yacimiento, para su posterior análisis en laboratorio.
- Elaborar un mapa que muestre la disposición de los puntos de medición de radioactividad y toma de muestras, donde se visualicen las variaciones de dicha radioactividad.

Para lograr esos objetivos fue realizado un levantamiento en forma de mallado (cuadrícula) en un área de 320 X 200 m (6,4 ha), con distancias de 20 m entre cada punto del mallado (187 puntos en total), sobre la cual se realizó la medición de radiación espontánea, midiéndose los parámetros de radiación total, potasio, uranio y torio, y la recolección de muestras de mano para su posterior estudio en el laboratorio.

3.2.1. Definición del mallado

Para definir el mallado primeramente se realizó una visita de reconocimiento de la mina, en la cual, después de evaluar las características del terreno, se estableció un punto inicial y una dirección primaria y una secundaria –perpendicular a la primera– para el mallado.

El punto de origen, cuyas coordenadas son 19T 555968 1074195, fue nombrado PIM 9000–A01, como dirección primaria se escogió N 36° E y, consecuentemente, como dirección secundaria N 54° O. A partir del punto de origen, y considerando las direcciones primaria y secundaria previamente establecidas, sobre la base de que cada unidad en coordenadas UTM varía cada 1 metro en superficie (en latitudes cercanas al ecuador), se calcularon los demás puntos del mallado. Tomando como referencia un sistema de coordenadas radial se llevaron los ángulos de las dos direcciones a este sistema:

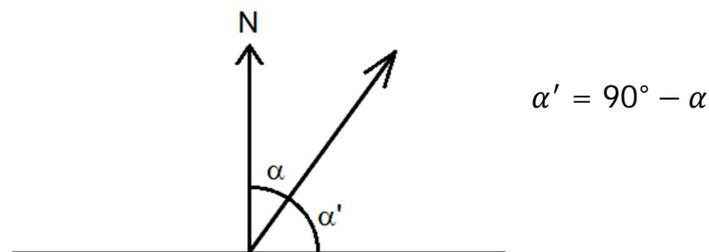


Figura N° 5: Esquema de la relación del eje principal del mallado con respecto al norte y al eje de coordenadas radiales

donde α es el ángulo que la dirección primaria forma con el norte geográfico y α' el ángulo que forma con el eje de coordenadas radiales (ver Figura N° 5) y

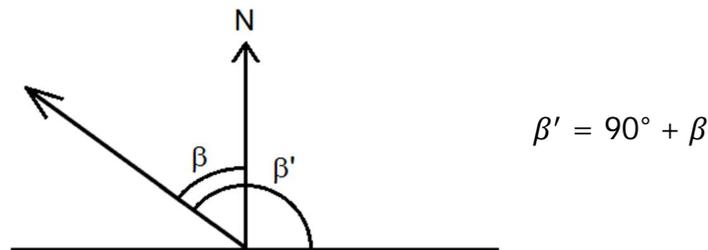


Figura N° 6: Esquema de la relación del eje secundario del mallado con respecto al norte y al eje de coordenadas radiales

donde β es el ángulo que la dirección secundaria forma con el norte geográfico y β' el ángulo que forma con el eje de coordenadas radiales (ver Figura N° 2). Conociendo los ángulos en coordenadas radiales se llevan a su equivalente en coordenadas cartesianas (afines a las coordenadas UTM) sabiendo que

$$\Delta X = r \times \cos \theta \quad \text{y} \quad \Delta Y = r \times \text{sen } \theta$$

donde r es la distancia entre puntos, θ es el ángulo de la dirección (dada) y ΔX y ΔY son las proyecciones de la distancia r en los eje X y Y respectivamente.

Los puntos fueron nombrados con un código alfanumérico donde el número corresponde a la ubicación del punto con respecto al eje principal y la letra a su ubicación con respecto al eje secundario. De esta manera se tiene que un punto ubicado a 40 m (dos veces la distancia entre puntos) de A01 sobre la dirección principal se denomina A03 y uno que se encuentre a 40 m de A01 sobre la dirección secundario se denomina C01 (ver Figura N° 7). Para calcular las coordenadas UTM a cada uno de estos puntos se procedió de la siguiente manera:

Sobre el eje principal: $P_{k,i} = XP_{k,i-1} + \Delta X_1, YP_{k,i-1} + \Delta Y_1$

Sobre el eje secundario: $P_{k,i} = XP_{k-1,i} + \Delta X_2, YP_{k-1,i} + \Delta Y_2$

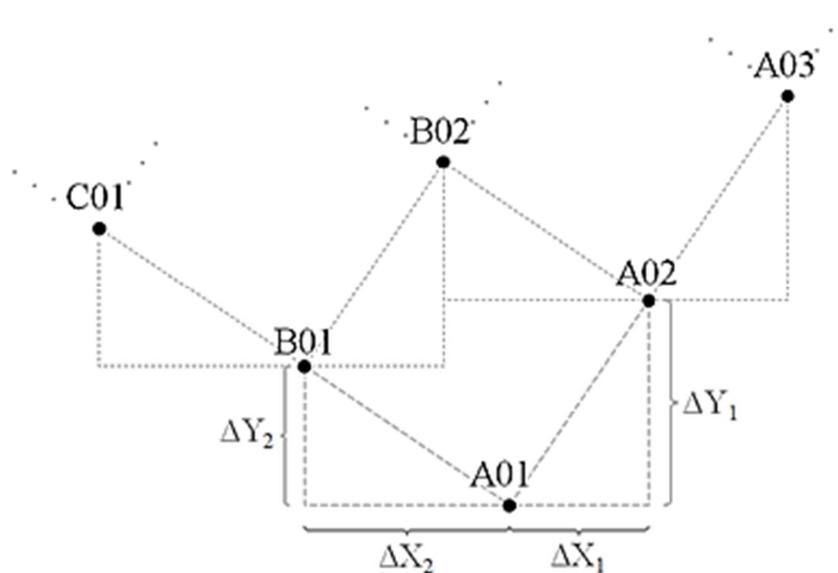


Figura N° 7: Esquema de la ubicación relativa de los puntos del mapeo con respecto al origen (A01)

donde $P_{k,i}$ es el punto, k su valor alfabético e i su valor numérico, $XP_{k,i-1}$ y $XP_{k-1,i}$ la coordenada X (en UTM el valor después del huso) del punto previo en el eje principal y el eje secundario respectivamente, $YP_{k,i-1}$ y $YP_{k-1,i}$ la coordenada Y (en UTM el valor que le sigue al valor de X) del punto previo en el eje principal y el eje secundario respectivamente y ΔX_1 , ΔX_2 , ΔY_1 y ΔY_2 , las proyecciones previamente calculadas, los subíndices 1 y 2 para los ejes principal y secundario respectivamente. Para agilizar el proceso se utilizó la hoja de cálculo de Microsoft Excel (para ver la ubicación UTM de los puntos ver en el apéndice la Tabla N° 8 y la Figura N° 33 para ver su ubicación en la mina).

3.2.2. Medición de radioactividad y muestreo

Los equipos portátiles detectores de radiación natural γ han sido utilizados para delimitar y distinguir tipos litológicos individuales, siendo este método útil cuando las condiciones de meteorización y cobertura impide observar directamente los afloramientos (URBANI, 1996).

La radiactividad es la propiedad que poseen los núcleos de los elementos radiactivos de desintegrarse emitiendo o absorbiendo radiaciones. En otros términos, la radiactividad es una propiedad de los isótopos inestables, que se mantienen en un estado excitado en sus capas electrónicas o nucleares, por lo cual deben perder energía para alcanzar su estado fundamental. Dicha energía la pierden por la emisión de radiación, causada por el intercambio espontáneo entre elementos. Esto se produce, en varios pasos sucesivos, bien sea variando la energía de sus electrones (emitiendo rayos X), de sus nucleones (rayos γ) o variando el isótopo (al emitir desde el núcleo electrones, positrones, neutrones, protones o partículas más pesadas) (GÓMEZ, 2006).

Hablando específicamente de elementos radiactivos, éstos son aquellos que se desintegran en el transcurso del tiempo convirtiéndose en otros elementos, independientemente de las condiciones externas. La desintegración de los elementos

radiactivos naturales va acompañada de la emisión de radiación que puede ser de tres tipos: alfa, beta y gamma. Estos tres tipos de radiación poseen la propiedad de atravesar la materia. En condiciones normales la radiación alfa es capaz de penetrar en el aire desde 2,5 hasta 8,5 cm; las partículas beta de 10 a 13 m y los cuantos gamma penetran en el orden de los cientos de metros. La absorción total de las partículas alfa puede lograrse con una hoja de papel, de las partículas beta con una lámina de aluminio de 0,5 cm de espesor, y los cuantos gamma con una placa de aluminio de 50 a 60 cm de espesor. Solamente los rayos gamma tienen suficiente penetración para ser usados de manera práctica en el registro de la radioactividad natural de las rocas. Esta radiación está constituida por ondas electromagnéticas de mayor frecuencia y menor longitud de onda que los rayos X y no altera la carga nuclear (GÓMEZ, 2006).

Todas las rocas contienen de manera natural algún tipo de material radioactivo. No existen reglas fijas respecto a la cantidad de radioactividad para los diferentes tipos de roca; sin embargo, puede relacionarse la respuesta radioactiva de las rocas según su contenido de minerales ricos en los elementos radioactivos. Algunos espectros específicos -potasio, uranio o torio- pueden usarse para caracterizar las rocas que contenga minerales ricos en estos elementos; por ejemplo, las rocas ricas en micas y feldespato potásico tendrán una respuesta mayor al espectro del potasio (GÓMEZ, *op. cit.*).

Debido a estas propiedades de la radiación γ , su fácil medición en campo y las condiciones de meteorización avanzada en que se encuentra la litología de la zona de estudio (que entorpecen el trabajo de descripción de la roca) se escogió como método de caracterización la espectrometría de rayos gamma. La ubicación de los puntos, previamente establecidos, se realizó con el uso de un GPS eTrex Legend, fabricado por Garmin. Los espectros de rayo gamma fueron medidos usando un Espectrómetro diferencial GRS-500, fabricado por Scintrex Limited, Canadá. Este espectrómetro tiene un total de 5 canales:

- Tc₁ (cuenta total encima de 0,08 MeV),
- Tc₂ (cuenta total encima de 0,40 MeV) ,
- K (todas las energías gamma entre 1,35 y 1,59 MeV),
- U (todas las energías gamma entre 1,65 y 1,87 MeV) y
- Th (todas las energías gamma entre 2,45 y 2,79 MeV). (NYE COUNTY, 2000)

Las ventanas de energía seleccionadas fueron Tc₁, Tc₂, K, U y Th, mediciones dadas en cuentas por segundo (cps). Estas variedades de energía de rayo gamma acomodan todos los isótopos de radio que ocurren naturalmente, como uranio-238 (²³⁸U), torio-232 (²³²Th) y potasio-40 (⁴⁰K). El procedimiento para la toma de medidas consiste en ubicar el detector sobre la roca en los puntos seleccionados, con un tiempo de registro de 40 segundos por cada medición (NYE COUNTY, *op. cit.*).

Al mismo tiempo de realizar las mediciones de radiactividad, se efectuó la recolección de las muestras, teniendo en cuenta que la mayoría no estaban en condiciones para realizar una buena descripción geológica de campo, sino que serían útiles para estudios posteriores de laboratorio. Se realizaron las descripciones de los aspectos geológicos resaltantes en los puntos de muestreo, incluyendo –dónde fue posible distinguirlos– características litológicas y niveles de meteorización.

3.3. Trabajo de laboratorio

La calidad de las materias primas cerámicas dependen del tipo y de la proporción de los varios minerales que los componen, por lo que la identificación de estos minerales es de una importancia fundamental. La solución de este problema se dificulta por el hecho que las materias primas cerámicas raramente se componen de minerales puros y bien cristalizados; por el contrario, generalmente se halla con bastantes minerales presentes en cantidades apreciables y con muchos otros constituyentes en cantidades menores. En este caso, puede resultar muy difícil la

identificación de las fases principales, especialmente si son parecidas. (SACMI, 2004)

Los métodos de análisis utilizados para el estudio de estas materias primas deben ser capaces de reconocer los minerales que pueden presentar una composición que no sea constante, que se encuentran a menudo mezclados entre sí, a veces con granos de pequeñísimas dimensiones. Ya que la identificación de un mineral depende de sus características fundamentales que deben ser siempre necesariamente las mismas, independientemente de la posición y del entorno que lo rodea, se deben emplear métodos analíticos que utilicen propiedades de igual naturaleza de las clases individuales de minerales (SACMI *op. cit.*).

3.3.1. Selección y preparación de las muestras

Un buen análisis del tipo que sea requiere en primer lugar una buena selección de las muestras que permita que una cantidad modesta de material, necesaria para los análisis, represente la totalidad de la población (SACMI, *op. cit.*). La aplicación de la inferencia estadística en la investigación permite llegar a conclusiones con respecto a toda una población cuando es imposible o poco práctico observar todo el conjunto de observaciones que constituyen la población. Por tanto, se depende de un subconjunto de observaciones de la población que ayuden a hacer inferencias con respecto a la población misma (WALPOLE, MYERS Y MYERS, 1999).

El número de observaciones en la población se define como el tamaño de la población- Una muestra en estadística es un subconjunto de una población. Si las inferencias a partir de la muestra para la población han de ser válidas se debe obtener muestras que sean representativas de la población. Escoger los miembros más convenientes de la población puede conducir a inferencias erróneas con respecto a la población, por lo tanto, cualquier procedimiento de muestreo que produzca inferencias que sobreestimen o subestimen en forma consistente alguna característica de la población se dice que está sesgado. Para eliminar cualquier posibilidad de sesgo

en el procedimiento de muestreo, *es deseable elegir* una muestra aleatoria en el sentido de que las observaciones se realicen de forma independiente y al azar. El propósito principal al seleccionar muestras aleatorias es obtener información acerca de los parámetros desconocidos de la población (WALPOLE *et al.*, 1999).

La aproximación normal para la muestra por lo general será buena si el tamaño de la muestra es mayor o igual a 30 parámetros ($n \geq 30$) sin importar la forma de la población. Si $n < 30$, la aproximación es buena sólo si la población no es muy diferente de una distribución normal (WALPOLE *et al.*, *op. cit.*).

La población total para la presente investigación es el conjunto de 152 puntos de mediciones de radiación espontánea, sin embargo, sólo en 78 se pudo tomar muestras litológicas. De estas 78 muestras, teniendo en cuenta la importancia de la aleatoriedad, se escogieron al azar 30, para ser estudiadas con los distintos ensayos. Sólo en el caso de 12 muestras se estimó su resistencia al proceso de elaboración de secciones finas para ser tomadas en cuenta, por la necesidad de muestras para análisis petrográficos. Sin embargo, la variabilidad composicional que se presentan de una muestra a otra, y la aleatoriedad de su posición espacial en la mina, demuestra que ninguna de sus características cristalográficas o químicas influyen en la resistencia de las mismas (situación que no siempre es cierta), las cuales son el objetivo principal de los análisis de laboratorio, concluyendo que el conjunto escogido constituyen una muestra aleatoria, representativa de la población. No se tomó en cuenta su ubicación al momento de la selección, sin embargo el procedimiento demostró ser efectivo al verificarse que las muestras escogidas cubrían ampliamente la zona estudiada.

Para la preparación de las muestras para los análisis químicos y de difracción de rayos X, todas las muestras fueron sometidas al proceso de pulverizado, que consistió primeramente en un pulverizado parcial con un equipo automático y posteriormente en mortero, para garantizar que las partículas tuvieran el tamaño necesario para los análisis (tamiz 200). La fracción necesaria para cada análisis es de aproximadamente 100 gr.

3.3.2. Caracterización mineralógica

Este tipo de investigación permite establecer la presencia de fases cristalinas individuales en una muestra, remontando así, a su composición en minerales, cuya valoración es de importancia fundamental para la definición de las características tecnológicas de la materia prima misma para la industria cerámica (SACMI, 2004). La caracterización se basó en dos técnicas: el análisis petrográfico y la difracción de rayos X (DRX)

3.3.2.1. Análisis petrográfico

Una forma preliminar de obtener información mineralógica es por la observación, en primer lugar, a simple vista en campo y luego por microscopía, sobre una muestra petrográfica (sección fina), con luz reflejada, polarizada y transmitida. Combinando con las citadas observaciones otras propiedades ópticas, como el índice de refracción con las citadas observaciones, es posible, con la necesaria preparación científica específica, obtener una buena discriminación y reconocimiento de los minerales (SACMI, *op. cit.*).

En el proceso de reconocimiento primero se identifican los minerales presentes en cada sección, y se cuantifican según el área (en porcentaje) que cubren los mismos en la sección; se consideran esenciales cuando están presentes en más del 3%, por debajo de este valor se consideran minerales accesorios (FERRER y RINCONES, 2007). Para la estimación visual del porcentaje en volumen de los minerales observados en el microscopio se utilizó el esquema mostrado en la Figura N° 8.

Además de los minerales presentes, se reconocen las siguientes características en las muestras petrográficas:

- Fábrica
- Texturas
- Grado de metamorfismo

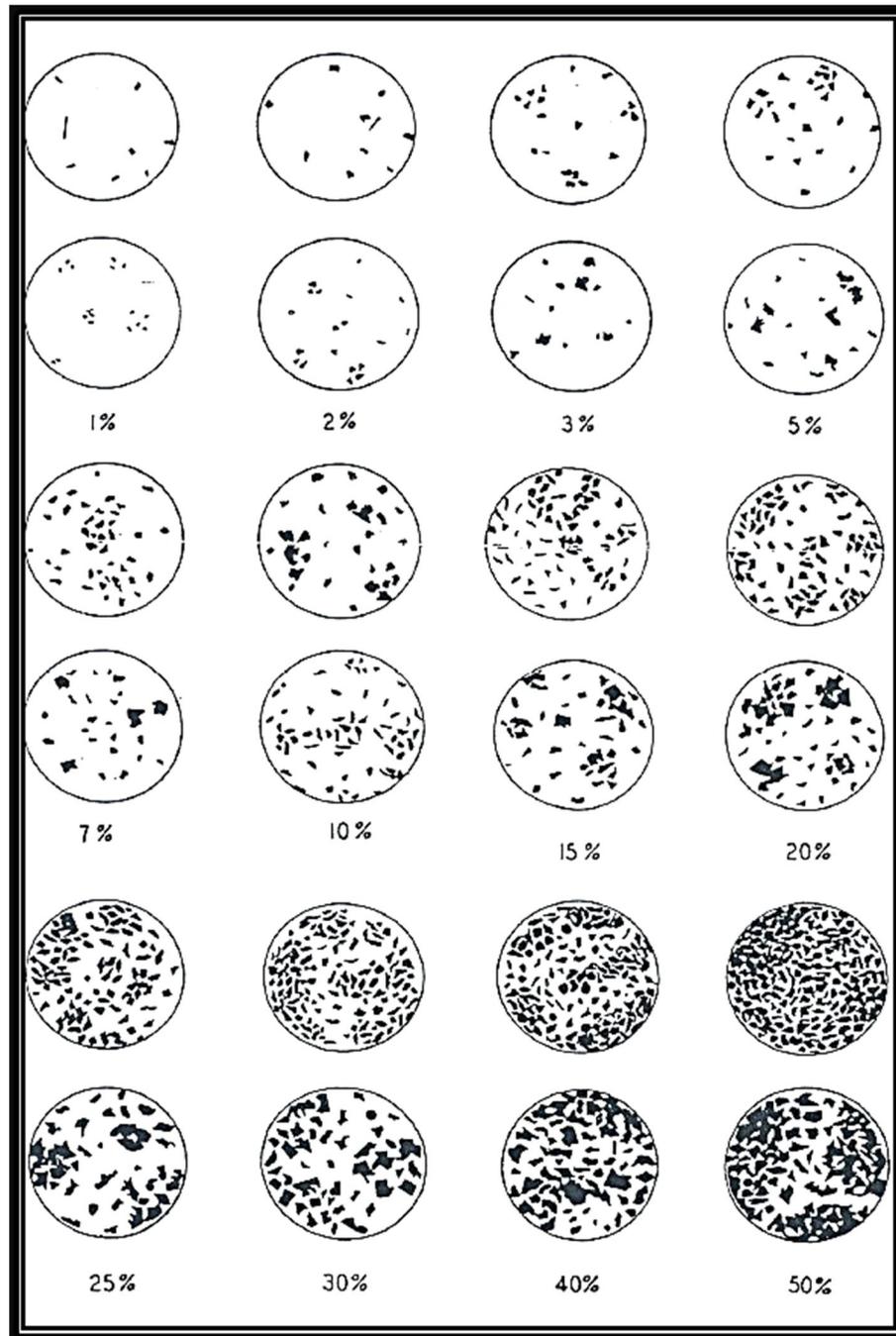


Figura N° 8: Carta comparativa para la estimación visual de porcentajes. Preparado por Richard D. Terry y Jorge V. Chilingar, Allen Hancock Foundation, Los Ángeles, Cali. Tomado de Jour. Sed. Petrol. Vol. 25, N°.3, pp. 229-234, (1955) *fide* FERRER y RINCONES (2007).

Fabrica: Es la relación entre las formas de los granos. Cuando la relación del tamaño de los granos que conforman la roca es semejante entre sí se denomina “equigranular”, esta propiedad es típica en rocas ígneas plutónicas, pero no es exclusiva de ella. Si los granos presentan tamaño aproximadamente iguales y a su vez muestran un buen desarrollo de sus caras cristalinas, la fábrica se denomina “equigranular idiomórfica” y por el contrario los granos muestran caras cristalinas poco desarrolladas, la fábrica se denomina “equigranular hipidiomórfica”. Cuando la relación de tamaños es diferente en los granos de una muestra se llama “inequigranular. Si en la muestra se observa una degradación en el tamaño de grano, nos encontraremos en presencia de una fábrica “Inequigranular seriada”. Si la variación del tamaño de grano en la muestra presente en forma aleatoria, la fábrica de la roca se denomina “Inequigranular porfirítica” (HENRICH, 1972).

Textura: Es el conjunto de características de los granos minerales que forman una roca referentes al desarrollo, relaciones espaciales intergranulares y de características morfológicas (tamaño y forma). Las denominaciones texturales y los criterios utilizados varían según el tipo de roca considerada (RACEFN, 2010).

Facies metamórfica: es el conjunto de características de las rocas de una unidad geológica, que reflejan las condiciones de presión y temperatura en las que fueron formadas (RACEFN, *op. cit.*). Existen muchas facies metamórficas, para efectos de esta investigación se hará énfasis en tres de ellas.

- Facies de esquistos verdes: Facies metamórfica definida por la desaparición de todas las zeolitas y de Prehnita, Pumpellita y lawsonita (minerales índices de facies de muy bajo y bajo grado metamórfico). Se caracteriza por la presencia de minerales de color verde: clorita, epidoto, actinolita. Debido al amplio campo de presiones que abarca esta facies, este ha sido dividido en zonas: zona de clorita, zona de andalucita, zona de biotita, zona de almandino. Sus condiciones de presión y temperatura son

de menos de 8 Kbar y de entre 250 y 450°C (ESKOLA, 1921 *fide* WINKLER, 1978).

- Facies anfibolita: Facies metamórfica caracterizada por la presencia de hornblenda acompañada por biotita, almandino, muscovita y plagioclasa oligoclasa (fracción molar de anortita mayor de 0,17), con o sin granate, cummingtonita y/o clinopiroxeno diopsídico. Sus condiciones de presión y temperatura son de menos de 15 Kbar y de entre 500 y 700°C. A presiones menores de 5 Kb aparece cordierita en lugar de almandino (facies de anfibolita Cordierítica). A temperaturas muy elevadas se descompone la muscovita y se puede pasar a la facies de la Granulita ((ESKOLA, *op. cit. fide* WINKLER, *op. cit.*).

3.3.2.2. Difracción de Rayos X (DRX)

Esta técnica puede considerarse actualmente la principal para la resolución del análisis mineralógico, realizable sobre cristales individuales o, más habitualmente, sobre los polvos originados de la pulverización de los mismos (SACMI, 2004).

Para todas las sustancias cristalinas se encuentran disponibles índices o bases de datos, de cuya gestión y actualización se encarga una organización internacional, que permiten reconocer las especies cristalinas en las muestras naturales y sintéticas y, recientemente, se encuentran en fase de refinamiento programas informáticos que permiten una gestión modal de los datos difractométricos, llegando a proporcionar valoraciones cuantitativas sobre la presencia de los minerales individuales (SACMI, *op. cit.*).

Naturalmente, operando sobre los polvos, es esencial que la muestra sea muy representativa del conjunto, y que no presente en absoluto orientaciones preferenciales, situación ampliamente factible debido al desarrollo de cristales de forma bidireccional. Por este motivo, la fase de preparación y elaboración de la muestra asume una importancia primordial. La molienda debe ser lo más eficaz

posible, especialmente si es arcillosa, para favorecer la mejor homogeneización de todas las fases presentes y la orientación casual de todas las caras cristalinas presentes (SACMI, 2004).

El análisis se realizó en el Instituto de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias – UCV, con un equipo de difracción de rayos X, modelo D8 Advances, fabricado por Bruker.

3.3.3. Caracterización geoquímica

En la industria cerámica se suele considerar interesante la determinación del tipo y proporción de cada elemento en una muestra, pero a menudo estos análisis tienen poco sentido por sí mismos. A pesar de eso, el análisis elemental, realizado de forma adecuada, debe considerarse una ciencia exacta, mientras que muchas otras técnicas analíticas y de determinación de las propiedades tecnológicas están sujetas a errores e incertidumbres; además, la combinación de datos estructurales con los datos compositivos permite la realización de una identificación semicuantitativa de los minerales presentes (SACMI, *op. cit.*).

Para los materiales cerámicos de la pasta, en concreto, se suelen indicar 8 óxidos principales: sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), dióxido de titanio (TiO_2), óxido férrico (Fe_2O_3), óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO), óxido de sodio (Na_2O) y óxido de potasio (K_2O). Los óxidos volátiles a 1000°C (dióxido u óxido de carbono, CO_2 y CO , óxidos de azufre como SO_3 y SO_2 , junto con el agua) normalmente se indican como “pérdida por calcinación”. Raramente un análisis preciso podrá cerrarse al 100% con estos componentes, ya que se encuentran siempre presentes otros elementos en cantidades más o menos elevadas, pero siempre cuantificables (SACMI, *op. cit.*).

Como se mencionó anteriormente, este tipo de análisis no indica las formas de combinación de los diferentes elementos, y esto puede llevar a errores de valoración,

por ejemplo, la evaluación del óxido de calcio procedente de un feldespato en vez de una caliza. Por lo tanto, antes de iniciar un análisis químico es necesario ser muy cuidadoso en la selección y preparación de las muestras (SACMI, *op. cit.*)

Los principales métodos analíticos instrumentales utilizables para el análisis químico cuantitativo de los materiales cerámicos se basan en la interacción de la muestra con una radiación electromagnética –de tipo emisor fluorescente, de absorción o de emisión (SACMI, *op. cit.*). Para la presente investigación se utilizaron los siguientes:

3.3.3.1. Fluorescencia de rayos X (FRX-DE)

Es una técnica de medición indirecta donde los minerales finamente dispersos, se bombardean con una radiación X de alta frecuencia y baja longitud de onda, la cual contiene la energía suficiente para inducir una emisión fluorescente, debida a la excitación de los electrones internos de las órbitas de los elementos presentes, de manera que esto emiten una radiación fluorescente, compuesta por fotones discretos de rayos X, con niveles de energía característicos y una intensidad directamente proporcional a su concentración en la muestra (SACMI, *op. cit.*). Dicha radiación es identificada y separada de acuerdo a su longitud de onda mediante detectores de dispersión de energía, por lo cual esta técnica posibilita la determinación de los elementos mayoritarios y elementos traza de las rocas, identificando un amplio rango de elementos con número atómico mayor que el sodio ($Z = 11$) y detectando concentraciones hasta partes por millón (ROLLINSON, 1993 *fide* NOGUERA y YÉPEZ, 2000). Con este método resulta fácil cuantificar los elementos de peso atómico medio-alto. La cuantificación de los elementos químicos presentes se hace mediante la comparación de la intensidad de su radiación con estándares de composición similar. Los límites de detección varían según la matriz (BERTIN, 1975 *fide* NOGUERA y YÉPEZ, 2000).

Para este análisis se utilizó el equipo de espectrometría de FRX-DE Minipal PW4025, marca Phillips, en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería – UCV. Es capaz de detectar y cuantificar elementos químicos, desde Na hasta U, en muestras que pueden presentarse en cualquier forma física: sólida, líquida o pulverizada (CAMPOSANO y MARTÍNEZ, 2000). Sin embargo, en el caso del Na sólo puede detectarse en proporciones superiores al 20% (D. Mendi, entrevista personal, junio 01, 2011). Este instrumento cuenta además con un software en ambiente Windows (Minipal Software 1.0), por medio del cual es posible realizar las aplicaciones necesarias para cada análisis (GONZÁLEZ y SÁNCHEZ, 2001).

3.3.3.2. Espectroscopia de absorción atómica (AAS)

Esta técnica aprovecha la absorción de energía debida a la presencia de especies químicas en forma atómica, introducidas en la trayectoria de una o más radiaciones monocromas, generadas por las lámparas diseñadas al efecto. En la práctica se inyecta la solución a analizar al interior de una llama cuya temperatura, geometría y composición permiten asegurar la presencia de elementos en forma atómica, –y no iónica–, y su máxima interacción con la radiación incidente. Con estas técnicas es posible obtener óptimos resultados analíticos para cualquier elemento metálico, hasta resoluciones muy bajas, del orden, en función del elemento, de fracciones de partes por millón, en función del elemento (SACMI, 2004). En condiciones normales, el error relativo asociado con el análisis de absorción con llama es del orden del 1 al 2%. Cuando se toman precauciones especiales, esta cifra se puede reducir a unas pocas décimas por cien (SKOOG, HOLLER y NIEMAN, 2001).

Una desventaja de los métodos espectroscópicos de llama es que la muestra se debe introducir en la fuente de excitación disuelta, por lo general en agua. Sin embargo, muchos materiales de interés, tales como suelos, tejidos animales, plantas, derivados del petróleo y minerales, no son directamente solubles en los disolventes habituales, y con frecuencia requieren un tratamiento previo laborioso para obtener una disolución de la muestra, adecuada para la atomización, elevando los costos de

este análisis. De hecho, las etapas de descomposición y disolución a menudo consumen más tiempo y pueden introducir más errores que la propia medida espectroscópica (SKOOG *et al.*, 2001.).

Dada la mayor capacidad de resolución en comparación con la FRX, y teniendo en cuenta que los minerales de mayor interés para esta investigación son la plagioclasa sódica y el feldespatos potásico, se utilizó esta técnica para la medición del Na y del K. El análisis se realizó en el Instituto de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias – UCV, con un equipo de espectroscopia de absorción atómica, modelo *AAAnalyst 200*, fabricado por Perkin Elmer.

3.3.4. Fundencia

Los feldespatos hacen parte del grupo de materias primas que actúan como desgrasantes de la composición reduciendo la plasticidad, facilitando la desfloculación, mejoran el empaquetamiento, aumentan el tamaño de poro y, de acuerdo a la cantidad de álcalis, determinan la facilidad de fusión y reacción con otros componentes (RÍOS, 2009).

Para determinar la fusibilidad de un feldespatos se emplea el método del cono de fusión que consiste en la conformación de probetas de forma cónica y cocidas a alta temperatura. Del resultado obtenido se observa la altura, tamaño de la base, rugosidad, color y fusión (RÍOS, *op. cit.*).

A los feldespatos no se les realiza caracterización físico cerámica ya que se usan como desgrasantes, no tienen buena plasticidad y por ende mala compactación. De igual forma tampoco aporta resistencia mecánica (RÍOS, *op. cit.*).

Este ensayo, fue realizado en los laboratorios de Cerámica Carabobo C.A. El ensayo se hace a una temperatura de 1220°C y como resultado se obtienen tres parámetros: color del cono (después de cocido), contracción y diámetro. Tiene como fin estudiar la calidad de la materia prima para la elaboración de baldosas cerámicas.

Para efectos del presente trabajo de investigación, su utilidad radica en la posibilidad de comparar visualmente las características de algunas muestras, con el fin de evaluar cualitativamente la homogeneidad (o heterogeneidad) de las muestras tomadas de la mina.

3.4. Procesamiento e integración de los resultados

El uno de los propósitos principales del presente trabajo de investigación, como se señaló anteriormente, es la caracterización de la mina para evaluar su nivel de heterogeneidad. Los dos últimos objetivos específicos está orientados para cumplir con este propósito, y consisten básicamente en:

- a) elaborar de un esquema de valoración para las características del yacimiento en función de los valores de mineralogía previamente determinados, y
- b) elaborar mapas que muestren la disposición de los Elementos asociados a los minerales principales en la zona de estudio, que ayuden a visualizar la homogeneidad o heterogeneidad de la distribución de los mismos.

Los datos del levantamiento de campo y de los análisis de laboratorio, por si solos, no son suficientes para la graficación de mapas confiables. Sin embargo existe una cantidad considerable de información cuantitativa y cualitativa cuyo análisis conjunto puede ayudar a cubrir este objetivo.

3.4.1. Análisis estadístico

3.4.1.1. Diagramas de Caja

Este tipo de gráfico constituye una de las diversas técnicas disponibles, que permiten estudiar la distribución de un conjunto de números, observaciones o medidas. Más específicamente a partir de este diagrama es posible conocer el centro de los valores, valores extremos, valores anómalos y en general la distribución de los datos respecto a la media. (WALPOLE, MAYERS y MAYERS, 1999)

Gráficamente los diagramas de caja se representan generalmente con un rectángulo, con distintas líneas y puntos (ver Figura N° 9). El ancho del rectángulo es arbitrario, mientras que el alto corresponde al rango intercuartil, por lo que constituye el 50 % de los datos; el tope y el fondo del mismo representan los percentiles 75 y 25 respectivamente. Por otro lado, la línea situada en el medio del rectángulo es la mediana (percentil 50), mientras que los valores superior e inferior representados en forma de T (o bigotes) constituyen los límites normales, igual al percentil 75 más 1,5 veces el rango intercuartil e igual al percentil 25 menos 1,5 veces el rango intercuartil, respectivamente. Aquellos valores que se encuentran por encima del valor superior o por debajo del inferior se denominan valores anómalos y se

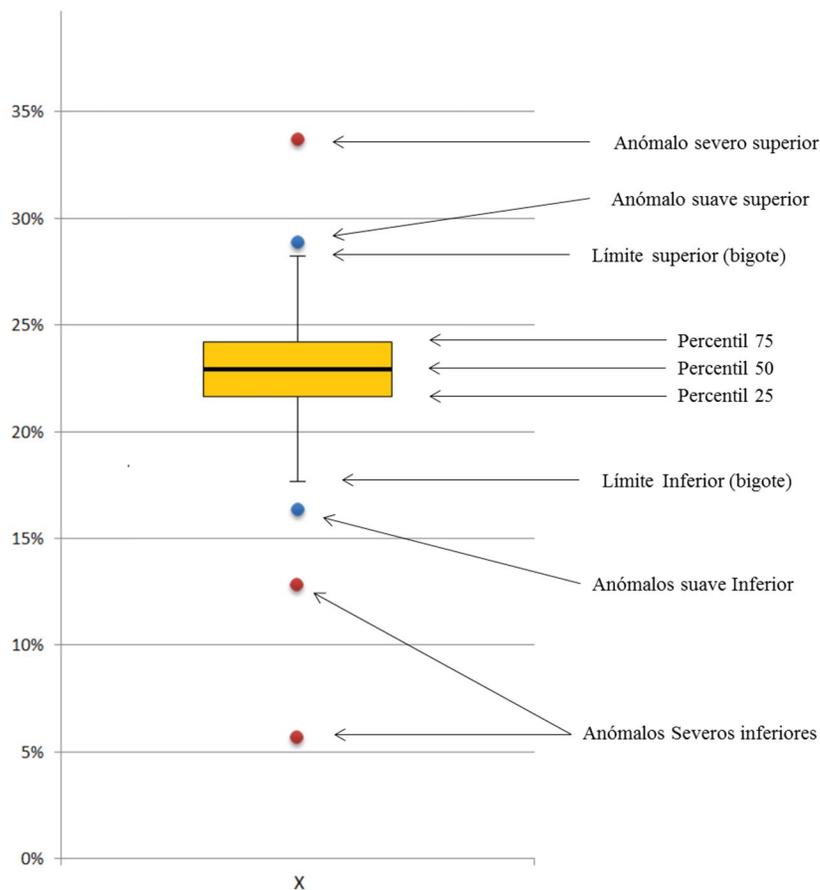


Figura N° 9: Partes del diagrama de cajas.

representan como un punto, estos se consideran “anómalos suaves” si su valor está entre estos límites y tres veces el rango intercuartil a partir de los percentiles 75 y 25, o “anómalos severos” si van más allá de tres veces el rango intercuartil (CHACÍN, 2003). Su utilidad radica en la facilidad de ver valores anómalos que puedan perturbar el procesamiento de los datos, no permitiendo obtener una buena interpretación.

3.4.1.2. Histogramas

Es un tipo particular de gráfico de barras que representa a todo un conjunto de datos, referidos a una sola variable. Se utilizan para mostrar la distribución de los datos a lo largo de una línea de números reales. Resultan sumamente útiles al momento de estudiar un conjunto amplio de observaciones que no pueden ser analizados a simple vista. En este método se dividen las observaciones en intervalos de datos y se contabiliza el número de observaciones que entran en cada intervalo. El eje vertical de este gráfico representa la frecuencia o cantidad (ya sea en porcentaje o número de muestras) correspondiente a cada intervalo de datos, estos últimos representados en el eje horizontal (JOHNSON, 1988 *fide* CAMPOSANO y MARTÍNEZ, 2000).

En la Figura N° 10 se ilustran varios ejemplos de las formas en que pueden comportarse los histogramas de frecuencia. Pueden tener una forma de *distribución normal o simétrica*, donde los lados tienen una distribución idéntica respecto a una línea eje, *sesgado o asimétrico*, en el que una extremidad o cola está más extendida que la otra, *en forma de J*, donde no existe extremidad o cola en el lado de la clase con la frecuencia mayor y *bimodal*, en el que las dos clases con mayor frecuencia están separadas por una o más clases. Estos últimos suelen indicar la presencia de dos poblaciones.

Para la construcción de un histograma hay que tener en cuenta dos parámetros, a saber: el número de clases y el tamaño de dichas clases. Existen varias reglas para

determinar el número de clases, como la regla de Sturges, la de Scott y la de Diaconis, pero ninguna de ellas es exacta. La más fácil de usar es la regla de Sturges, porque sólo considera el tamaño de la muestra, a diferencia de las otras. El número de clases viene dado por la siguiente expresión:

$$c = 1 + \log_2 n$$

donde c es el número de clases y n el tamaño de la muestra (cantidad de datos). El inconveniente de esta regla se presenta cuando el tamaño de la muestra es muy grande ($n > 200$), pero en muestras de tamaño moderado el resultado es similar a las reglas alternativas. Para calcular el tamaño aproximado de las clases basta con dividir el rango de los datos entre el número de clases, sin embargo hay que tener en cuenta las alteraciones por datos anómalos en la muestra. (HYNDMAN, 1995).

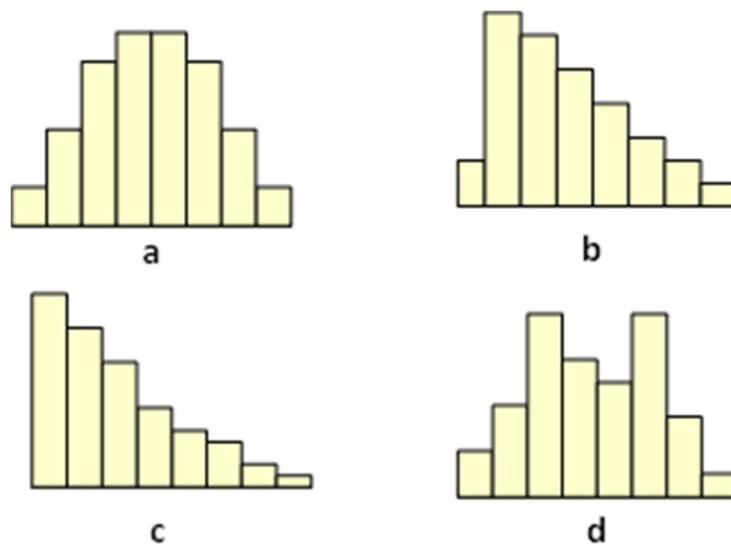


Figura N° 10: Clases de distribuciones de frecuencia **a)** distribución normal o simétrica. **b)** sesgado o asimétrico. **c)** en forma de J. **d)** bimodal. Tomado de CAMPOSANO y MARTÍNEZ (2003).

Las poblaciones que tienen características idénticas se caracterizan por funciones de distribución idénticas. Los histogramas y curvas de frecuencias tienen

relación con la función de distribución, por lo tanto, tal como la función de distribución, pueden ser utilizados como criterios objetivos para evaluar la homogeneidad o heterogeneidad de las poblaciones (BEUS y GRIGORIAN, 1977).

3.4.2. Elaboración de mapas

Para la elaboración de los mapas –con el programa Surfer 8.0– fueron usados, los datos radiométricos (152 muestras) y los geoquímicos (30 muestras) obteniendo varios mapas de contorno producto de la interpolación de los datos de cada punto, que si bien no son los más adecuados para representar datos geoquímicos, dan una visión general de las variaciones de composición. Queda del lector tener en cuenta que las variaciones entre cada punto puede variar con respecto a la representada, tanto más en la medida que los puntos de encuentren más distantes.

3.4.3. Esquemas de clasificación y valoración

Cualquier esquema que se utilice para la clasificación y valoración de la composición mineral de la mina no corresponde a una escala absoluta sino que es relativa a los parámetros que definen la calidad del material para quienes quieren utilizarlo, es decir, se requiere una definición operacional de dicha calidad.

Como se señaló en el Capítulo II. La selección entre el feldespato potásico y sódico se realiza en función de las exigencias específicas de los diferentes productos. En el caso de Cerámicas Carabobo, se requiere un feldespato menos alcalino, es decir, con mayor contenido de plagioclasa sódica que de feldespato potásico (un mayor contenido de plagioclasa cálcica también es inconveniente porque eleva mucho el punto de fusión).

Además de la composición del feldespato también es importante definir los parámetros de impurezas presentes en el yacimiento, como pueden ser el cuarzo, las micas, las arcillas, entre otros. En este sentido, la valoración del yacimiento estará

dada por la posibilidad de separación del mineral de interés (mena) del resto de los minerales (ganga), y del costo que esta separación implique.

Los esquemas utilizados para la clasificación y valoración del material presente en el yacimiento están basados en diagramas ternarios, muy utilizados en el ámbito de la geología para clasificaciones petrológicas, como herramienta para lograr mayor precisión y objetividad en la determinación de ciertos grupos de rocas (JUNG y BROUSSE, 1959 *fide* CASTAÑO, 1994). Son la representación gráfica de las posibles relaciones o combinaciones entre tres elementos (o combinaciones de elementos). Indican la distribución de tres variables o componentes diferentes y consisten en la unión de tres diagramas binarios. Cada uno de los lados, considerados individualmente, constituye un diagrama binario (CASTAÑO, *op. cit.*).

Los diagramas ternarios permiten trabajar con dos tipos de condiciones entre las variables (ver Figura N° 11):

- condiciones de proporción: se representan en el diagrama con líneas formadas por los puntos que configuran los lugares geométricos en los que el porcentaje de una variable se mantiene constante. Se denominan “líneas de proporcionalidad”.
- condiciones de relación: se representan con las líneas formadas por puntos que configuran los lugares geométricos en los que la proporción entre dos variables es siempre constante. Estas líneas las denominaremos «líneas de relación» (CASTAÑO, *op. cit.*).

El diagrama ternario para la clasificación de rocas ígneas de Streckeisen, mejor conocido como triángulo APQ, utiliza estos dos tipos de condiciones; las líneas horizontales corresponden a líneas de proporcionalidad para el cuarzo, a 20 y 60%, las otras líneas corresponden a líneas de relación entre feldespato alcalino y plagioclasa.

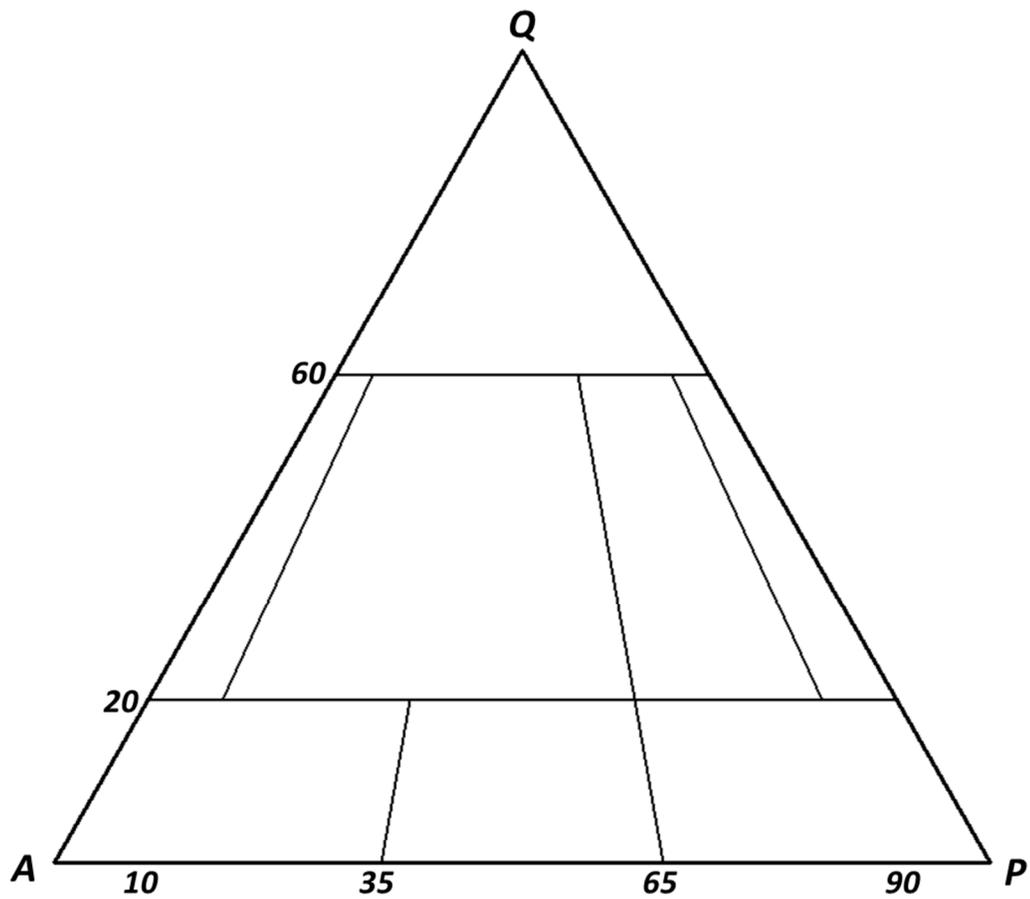


Figura N° 11: Ejemplo de líneas de proporcionalidad y de relación en el esquema triangular de Streckeisen (triángulo APQ).

CAPITULO IV

4. GEOLOGÍA LOCAL

De acuerdo con la correlación del área de la mina PIM 9000 con el marco geológico regional se concluye que la misma se encuentra en la unidad litodémica Gneis de La Aguadita, perteneciente a la napa Caucagua–El Tinaco.

La zona de estudio se trata de una mina a cielo abierto donde se extrae mayormente feldespato –en teoría sódico– para ser utilizado como materia prima para la industria cerámica. El gneis aflora en varios sectores de la mina, aunque predomina en el frente de explotación. Dado el carácter de explotación a cielo abierto de la mina, el material está expuesto a los agentes atmosféricos (agua, sol, viento), resultando en meteorización de intermedia a avanzada (algunos difractogramas reportan presencia de caolinita), donde la roca se presenta como saprolito, prácticamente en toda su extensión.

4.1. Unidad de gneises plagioclásico-cuarzoso-feldespáticos

4.1.1. Trabajo de campo

En la gran mayoría de las muestras de mano, se observa una roca con cierta orientación de los minerales, aunque no se aprecia el bandeo característico del Gneis de La Aguadita por el deterioro de los minerales máficos, tal vez lixiviados y/o alterados a material arcilloso y micáceo de color amarillento. El color predominante en el afloramiento es crema y en pocas ocasiones naranja, presentando bandas rojizas, la cual puede ser el resultado de la oxidación de minerales máficos, o de sus productos de alteración (Ver Tabla N° 9 en el apéndice).

4.1.2. Radiación Gamma natural

El estudio de espectrometría γ fue realizado en 152 puntos de una matriz de 187 puntos en superficie de la mina (por razones de acceso, en algunos puntos fue imposible hacer la medición).

Antes de discutir los resultados obtenidos, es importante señalar que los valores de radiación γ por sí solos no sirven para caracterizar la roca, y que tampoco hay una relación directa entre las cuentas por segundo y la cantidad de isótopos (es decir, un valor mayor de cps del isótopo Th versus el isótopo U no implica que la cantidad Th radiactivo sea mayor que la de U, puesto que sus niveles de radiación son diferentes).

Los gráficos presentados a continuación son el resultado de la interpolación de los valores de radiación gamma medidos en la mina. La tabla completa de las mediciones se presenta en el apéndice (Tabla N° 10).

En la Figura N° 12 puede verse que hay cierta alineación preferencial N-S de los valores, y que los valores más altos se encuentran hacia el lado este de la mina. Asimismo, al observar la distribución de las otras mediciones (figuras N° 13, 14, 15 y 16) puede verse que tienen aproximadamente esta misma disposición N-S y con valores más altos hacia el este.

La radiación total 1 (Tc_1) presenta valores que van desde 1026 (punto J03) hasta las 1585 cps (punto J13). Para la radiación total 2 (Tc_2) los valores van desde 412 cps (punto B08) hasta 692,5 cps (punto J13). Los valores de K, U y Th se encuentran entre 23,5 cps (punto F05) y 48 cps (punto F01), 19,5 cps (punto I11) y 41,5 cps (puntos C10 y J12) y 21,5 cps (punto D16) y 50,5 cps (puntos B05 y B06) respectivamente.

Aunque los mapas tienen formas que varían un poco el uno del otro, existe una tendencia de los valores de ser mayores hacia el este, con algunos puntos

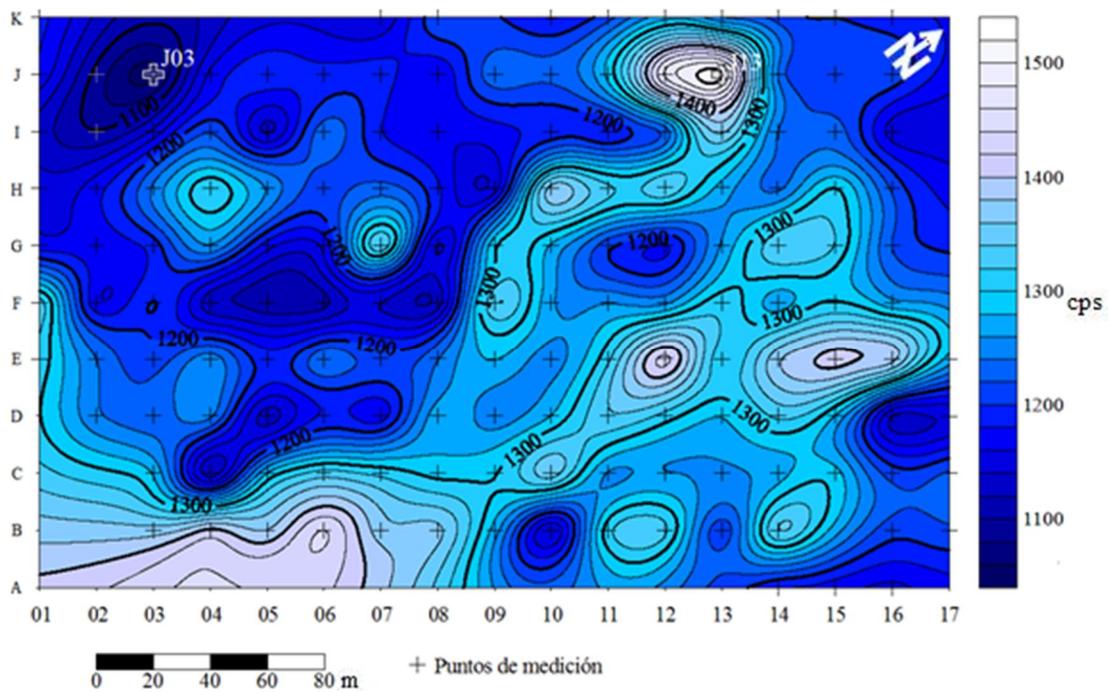


Figura N° 12: Mapa de curvas de igual radiación T_{c1} (cps).

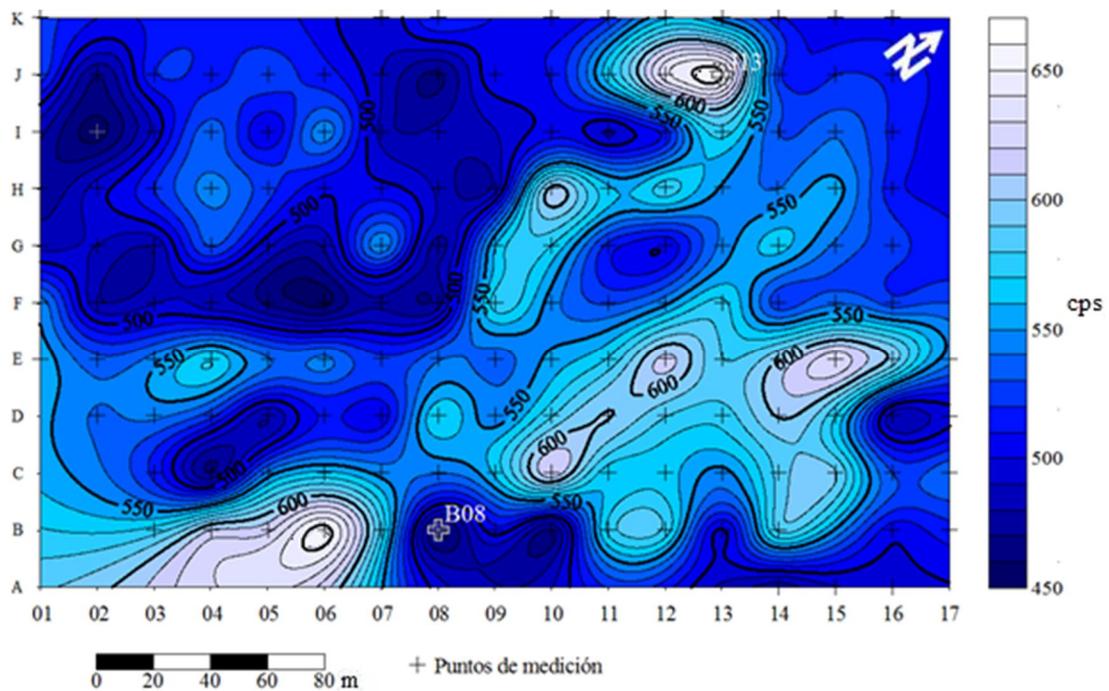


Figura N° 13: Mapa de curvas de igual radiación T_{c2} (cps).

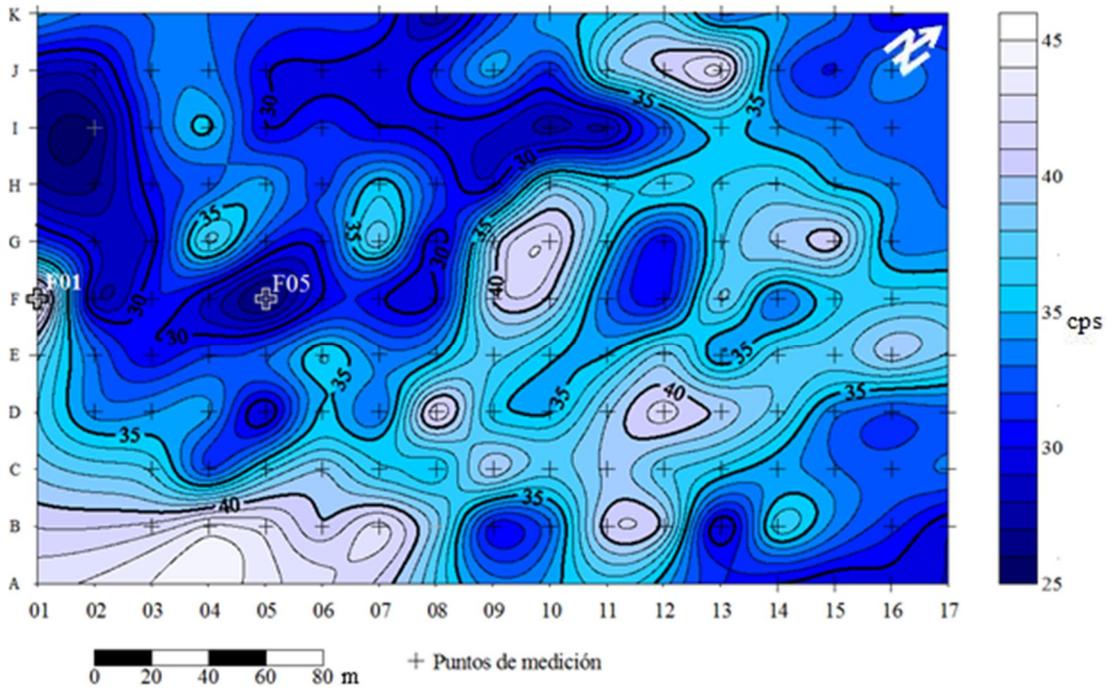


Figura N° 14: Mapa de curvas de igual radiación K (cps).

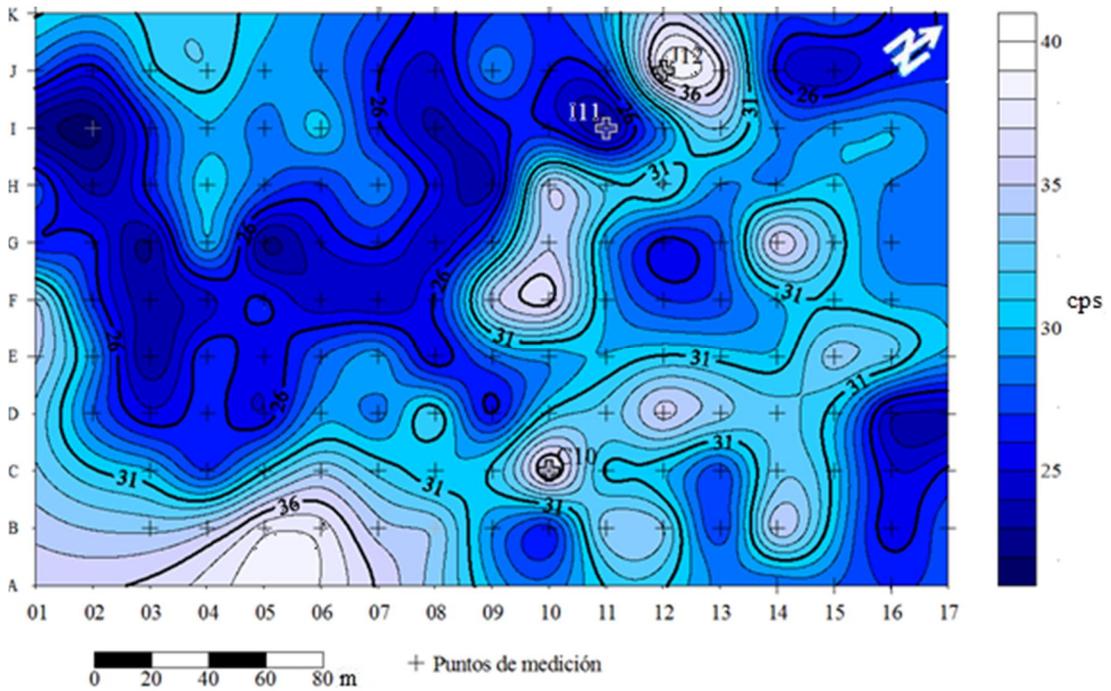


Figura N° 15: Mapa de curvas de igual radiación U (cps).

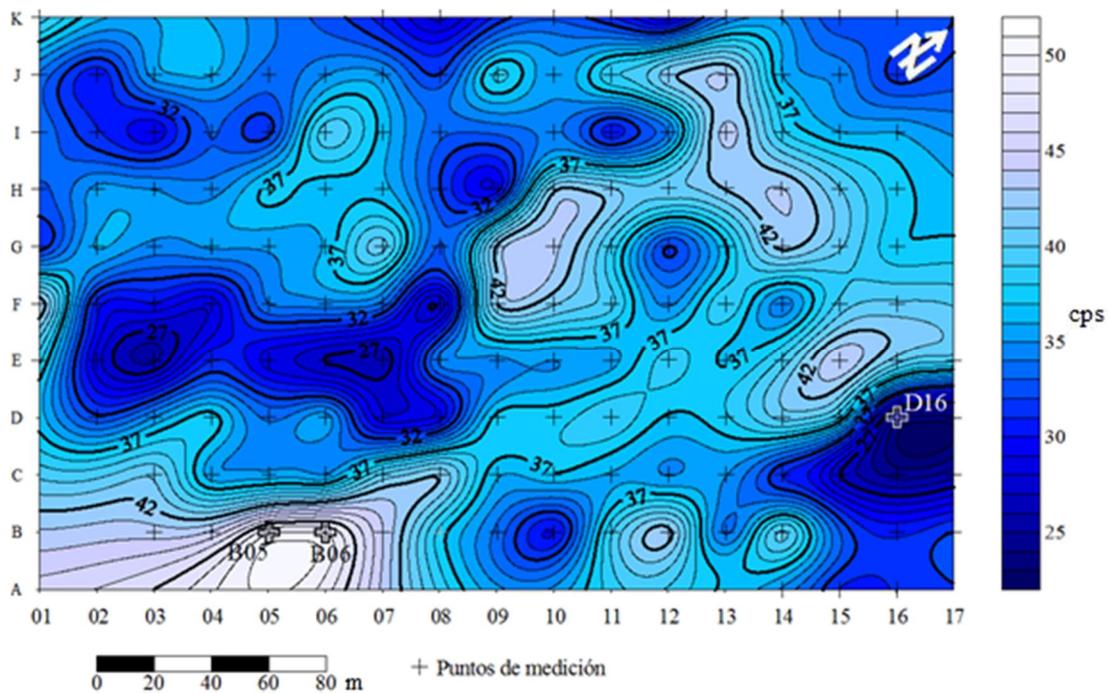


Figura N° 16: Mapa de curvas de igual radiación Th (cps).

característicos, como el D16, que muestra valores muy bajos en comparación con su entorno. Los mapas de radiación total (Tc_1 y Tc_2) tienen una correspondencia casi exacta entre ellos, no así los otros mapas, sobre todo el de Th, el cual tiene una distribución de los valores muy distinta a todos los demás.

Los valores de Tc_1 , en comparación con los de Tc_2 , en promedio son 57,18% mayores, es decir, más de la mitad de las cuentas por segundo de la radiación total corresponden a elementos cuyo nivel de energía se encuentran entre 0,08 MeV y 0,4 MeV. Por ejemplo, en el punto H04 se obtuvo una medición de Tc_1 de 1347 cps, notablemente por encima del promedio, mientras que el valor de Tc_2 (551,5 cps) es cercano al promedio. La diferencia de estos dos valores es de 795,5 cps, las cuales vienen de elementos con un nivel de energía menor a 0,4 MeV, no relacionados con el K, U y Th radiactivos, y por lo tanto no relacionados con minerales que contengan estos elementos, sin embargo, las 551,5 cps restantes si lo están, pero esto podría indicar que la composición de la roca en este punto tienen un menor contenido de

minerales relacionados con estos elementos. Es importante señalar que las cps no son directamente proporcionales a la cantidad, por lo que no se pueden usar para predecir la cantidad de un elemento o mineral relacionado, pero si puede relacionarse con cantidades conocidas de composición de la roca para poder predecir dichas cantidades en rocas similares, procedimiento planteado en el siguiente capítulo.

4.1.3. Caracterización mineralógica

De la caracterización mineralógica (realizada con análisis petrográfico y difracción de rayos X) se obtuvo que los minerales con mayor presencia en las muestras son plagioclasa albita (y en ocasiones oligoclasa), cuarzo y feldespato potásico cristalizado como microclino (ver Figura N° 17). En promedio, el más abundante de estos 3 minerales es la plagioclasa, pero la relación varía considerablemente de una muestra a otra, teniendo en ocasiones cuarzo o microclino como principal mineral mayoritario. Los resultados detallados se presentan en las tablas N° 1 y 2. (Los análisis petrográficos por muestra se encuentran en el apéndice).

Tabla N° 1: Contenido mineralógico resultante del análisis petrográfico.

Muestra	Plagioclasa %	Cuarzo %	Microclino %	Arcilla %	Clorita %	Biotita %	Moscovita %	Apatito %	Leucoxeno %	Goethita %
B14	45	40	10	5	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	
C17	40	25	20	15	Tz	Tz	Tz		Tz	
D11	50	30	10	9	1	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
D12	40	25	25	5	3	2	Tz	Tz		
E10	40	30	20	7	3	Tz	Tz	Tz	Tz	
E12	35	20	35	5	5	Tz	Tz	Tz		
F10	50	25	10	15	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
F16	20	30	40	10	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
G12	50	20	15	10	5	Tz	Tz			
I11	60	Tz	5	35	Tz		Tz		Tz	Tz
I13	45	25	15	5	10	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz
J13	45	30	5	20	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz	Tz

Tabla N° 2: Composición mineralógica según DRX. (Difractogramas ver apéndice)

Muestra	Albita	Cuarzo	Microclino	Moscovita	Montmorillonita	Caolinita	Illita
B06	Si	Si	Si				Si
B14	Si	Si	Si	Si			
C04	Si	Si					
C08	Si	Si	Si				
C11	Si	Si	Si				
C14	Si	Si	Si				
C17	Si	Si	Si			Si	
D06	Si	Si	Si	Si			
D09	Si	Si	Si	Si			
D11	Si	Si	Si	Si			
D12	Si	Si	Si		Si		
D16	Si	Si	Si	Si		Si	
E07	Si	Si	Si	Si			
E10	Si	Si	Si				
E12	Si	Si	Si	Si			
F05	Si	Si	Si				
F08	Si	Si	Si	Si			
F10	Si	Si	Si	Si			
F14	Si	Si	Si			Si	
F16	Si	Si	Si	Si			
G07	Si	Si	Si	Si			
G12	Si	Si	Si	Si	Si		
H06	Si	Si	Si	Si			
H10	Si	Si	Si	Si	Si		
H12	Si	Si	Si	Si			
I11	Si				Si		
I13	Si	Si	Si	Si			Si
J10	Si	Si					
J13	Si	Si	Si	Si	Si		
K12	Si	Si	Si	Si			

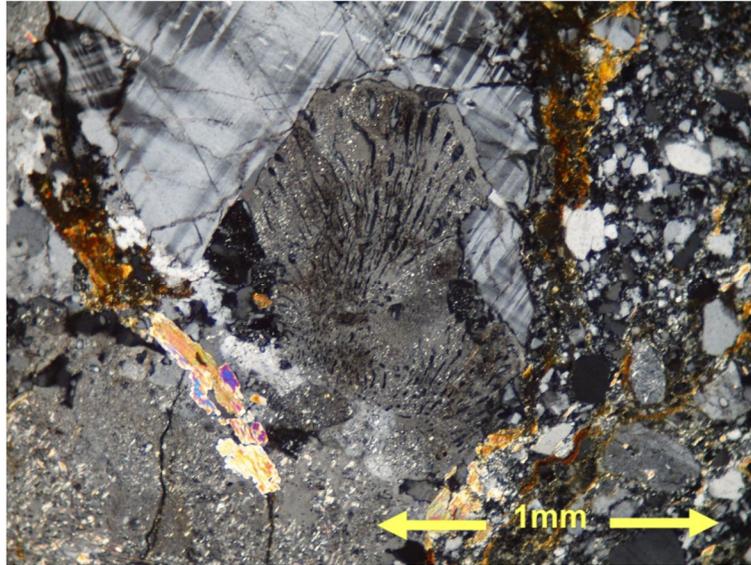


Figura N° 17: Minerales típicos de las muestras analizadas con microscopio petrográfico (muestra D12). Pude observarse plagioclasa (con textura antipertítica) microclino y cuarzo, con una matriz arcillosa y algunos minerales micáceos. Foto tomada con microscopio petrográfico con el objetivo de 10x.

De los resultados mostrados en la Tabla N° 2 resalta la muestra I11, cuyo análisis de difracción sólo arrojó 2 minerales, albita y montmorillonita. La ausencia de cuarzo es muy resaltante, ya que dicho mineral reacciona a este tipo de ensayo aun cuando esté presente en proporciones mínimas. Cabe señalar, sin embargo, que este resultado concuerda con el de análisis petrográfico (Tabla N° 1), en el cual sólo se encontró cuarzo en cantidades traza en la misma muestra, de lo cual puede inferirse que tal vez la muestra fue tomada de un posible lente rico en plagioclasa.

Por otro lado, la comparación de las tablas N° 1 y 2 evidencia una discrepancia importante en lo referente al contenido de micas y arcillas:

- Según el estudio de DRX (Tabla N° 2) la moscovita tiene presencia importante en varias muestras, sin embargo en las secciones finas de las mismas muestras no se pudo ver tal abundancia (Tabla N° 1).
- Los resultados de DRX no reflejan la abundancia de arcillas que se observa en las secciones finas.

La ausencia de valores significativos de arcillas en los resultados de DRX puede deberse a que en el análisis de DRX cada mineral tiene su respuesta particular a los rayos X, y mientras más tipos arcillas estén presentes crece la dificultad de distinguir una arcilla en particular, porque la abundancia de cada una no parecerá relevante. También cabe la posibilidad de confundir las arcillas con las micas porque los primeros picos de estos dos grupos de minerales se encuentran muy cercanos entre sí, y el operador, a falta de referencia previa sobre la abundancia relativa de cada mineral en el área de estudio, haya optado por atribuir mayor porcentaje a las micas sobre las arcillas. Como vía de evitar tales confusiones a futuro, se haría necesario tener la referencia de los resultados del análisis petrográfico previamente a la asignación de los picos a uno u otro de los minerales muy cercanos.

En las secciones finas se observa que las muestras son inequigranulares, donde los minerales más abundantes (plagioclasa, cuarzo y microclino), normalmente buen tamaño, están embebidos en una matriz principalmente arcillosa, con presencia de micas y clorita, además de otros minerales menos comunes (apatito, leucoxeno, goethita). Se puede observar con frecuencia la textura peritítica, pero también puede encontrarse la antiperitítica, (ver figura N° 18 y 19).

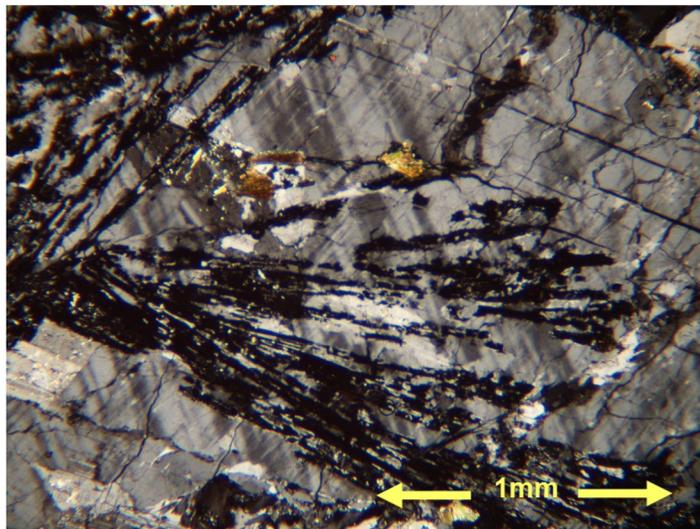


Figura N° 18: Textura peritítica en la muestra F16 que se desarrolló en forma radial. Foto tomada con microscopio petrográfico con el objetivo de 10x.

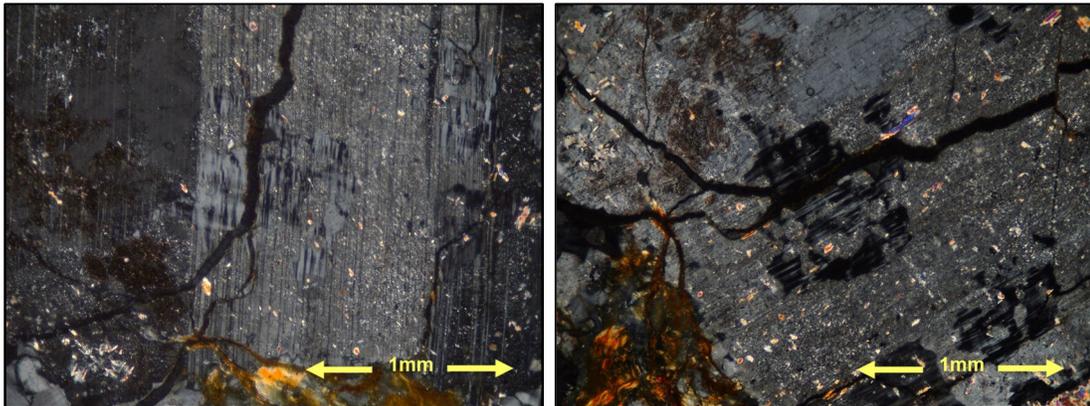


Figura N° 19: Imagen de textura antipertítica en la muestra I13. Foto tomada con microscopio petrográfico con el objetivo de 10x.

La paragénesis mineralógica de las secciones, en forma general, sugieren facies metamórfica de esquistos verdes, aunque muchos cristales de biotita exhiben texturas reliquias que sugieren que son el producto de la alteración y otros minerales, posiblemente hornblenda, propia de la facies anfíbolita, que ya ha sido reportada para esta unidad (ROJAS, 1989).

4.1.4. Caracterización geoquímica

Para la caracterización geoquímica se utilizaron los métodos de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (FRX) y espectroscopia por absorción atómica (AAS). Como se mencionó en el Capítulo III, los contenidos de Na_2O ($Z = 11$) y K_2O ($Z = 19$) se midieron por el método de absorción atómica, más costoso (pues su costo es por elemento estudiado) pero más preciso, dado que dos de los principales minerales en las muestras de este estudio son plagioclasas sódicas y microclino.

En la Tabla N° 3 se presentan los resultados obtenidos de la combinación de ambos ensayos de caracterización geoquímica (para ver las tablas de los resultados por FRX y AAS ver el apéndice, tablas N° 11 y 12). En la última línea se presentan los promedios de las 30 muestras para cada uno de los elementos medidos (dados en

Tabla N° 3: Resultados de los análisis geoquímicos.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	Total
B06	63,432	26,074	3,979	2,697	2,732	0,550	0,127	0,035	0,209	99,835
B14	63,688	22,205	2,723	2,856	2,404	0,648	0,140	0,033	0,069	94,767
C04	82,017	8,700	4,160	0,244	2,160	0,319	0,173	0,049	<0,001	97,805
C08	62,994	22,464	2,194	2,735	2,911	1,314	0,151	0,047	0,107	94,917
C11	61,498	22,752	2,059	1,954	4,032	1,173	0,172	0,039	0,068	93,748
C14	68,609	21,868	2,061	3,089	2,157	0,925	0,123	0,039	0,113	98,985
C17	64,662	22,088	2,236	2,323	3,315	0,449	0,135	0,023	0,062	95,292
D06	64,454	20,210	2,215	2,611	2,754	0,948	0,137	0,032	0,121	93,481
D09	63,420	21,491	2,786	2,639	3,229	0,567	0,136	0,032	0,112	94,413
D11	65,434	20,580	2,366	3,109	3,115	0,579	0,220	0,047	0,073	95,523
D12	64,051	20,610	1,950	3,273	3,691	0,437	0,139	0,028	0,054	94,234
D16	60,068	28,464	3,292	2,254	2,029	0,590	0,150	0,024	0,182	97,054
E07	69,385	22,537	2,559	2,489	2,250	0,471	0,169	0,061	0,116	100,04
E10	63,031	20,562	3,033	3,035	1,559	0,601	0,213	0,042	0,171	92,246
E12	67,229	21,834	2,164	4,169	3,124	0,919	0,159	0,027	0,082	99,707
F05	69,467	14,742	2,446	4,810	3,002	0,376	0,055	0,021	0,153	95,073
F08	68,015	23,016	1,755	3,932	1,970	0,436	0,126	0,020	0,045	99,313
F10	62,353	21,121	2,733	4,347	2,150	0,525	0,116	0,063	0,159	93,567
F14	58,930	27,428	2,374	2,527	3,314	0,503	0,113	0,031	0,129	95,349
F16	70,272	20,653	2,366	3,350	1,625	0,630	0,133	0,029	0,132	99,189
G07	72,227	15,745	1,826	2,720	1,926	0,815	0,112	0,017	0,063	95,452
G12	73,223	12,359	1,550	2,233	2,629	0,367	0,091	0,032	<0,001	92,484
H06	66,058	21,618	2,811	2,123	1,661	1,273	0,146	0,039	0,225	95,953
H10	68,446	20,680	3,155	3,117	3,569	0,549	0,190	0,027	0,161	99,894
H12	67,558	21,141	2,470	2,734	1,793	0,702	0,167	0,031	0,176	96,771
I11	62,300	22,400	3,140	0,466	7,220	0,535	0,065	0,034	0,111	96,271
I13	67,129	24,464	2,270	3,590	2,060	0,917	0,130	0,029	0,134	100,72
J10	66,997	20,043	2,159	2,402	3,153	0,581	0,087	0,027	0,077	95,527
J13	67,896	21,062	3,707	2,513	3,957	0,799	0,184	0,044	0,176	100,34
K12	60,440	22,703	1,996	3,931	1,995	0,521	0,102	0,026	0,103	91,818
Prom.	66,176	21,054	2,551	2,809	2,783	0,667	0,139	0,034	0,113	97,673

óxidos). En función a la abundancia de cada óxido pueden dividirse en 3 grupos donde los más abundantes son el SiO_2 y el Al_2O_3 que entre ambos abarcan más del 85% del contenido químico de las muestras. Luego estarían el Fe_2O_3 , el K_2O y el Na_2O , cuyos promedios se encuentran entre 2 y 4 % cada uno. Finalmente, con un contenido menor al 1%, CaO , MgO , MnO y TiO_2 .

CAPITULO V

5. PROCESAMIENTO E INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis estadístico

5.1.1. Diagramas de caja

Para analizar los resultados de las diferentes variables mediciones de radiación espontánea (rayos γ) y análisis químicos, fueron realizados los diagramas de caja, en los cuales pueden identificarse gráficamente los valores anómalos suaves y anómalos severos de parámetros en cada variable. Es importante identificar estos parámetros porque los mismos son los que evidencian de manera más clara la heterogeneidad de la zona de estudio. En la Tabla N° 4 se presenta las estadísticas básicas para la elaboración de los diagramas de caja de las variables de mediciones de radiación espontánea γ , y en la figuras N° 20 y 21 los diagramas de caja correspondientes.

Tabla N° 4: Estadísticas básicas para la elaboración de los diagramas de caja de las variables de radiación espontánea (rayos γ). Los límites A son los valores que separan los valores normales de los anómalos y los límites B son los valores que separan los anómalos suaves de los severos.

	Tc₁	Tc₂	K	U	Th
1 ^{er} Cuartil	1169,9	492,1	30,0	25,5	31,4
2 ^{do} Cuartil	1235,3	530,3	34,0	28,5	35,5
3 ^{er} Cuartil	1298,9	564,8	37,6	31,5	40,0
Límite Sup. (A)	1492,4	673,7	49,1	40,5	52,9
Límite Inf. (A)	976,4	383,2	18,6	16,5	18,4
Límite Sup. (B)	1685,875	782,625	60,500	49,500	65,875
Límite Inf. (B)	782,875	274,250	7,125	7,500	5,500

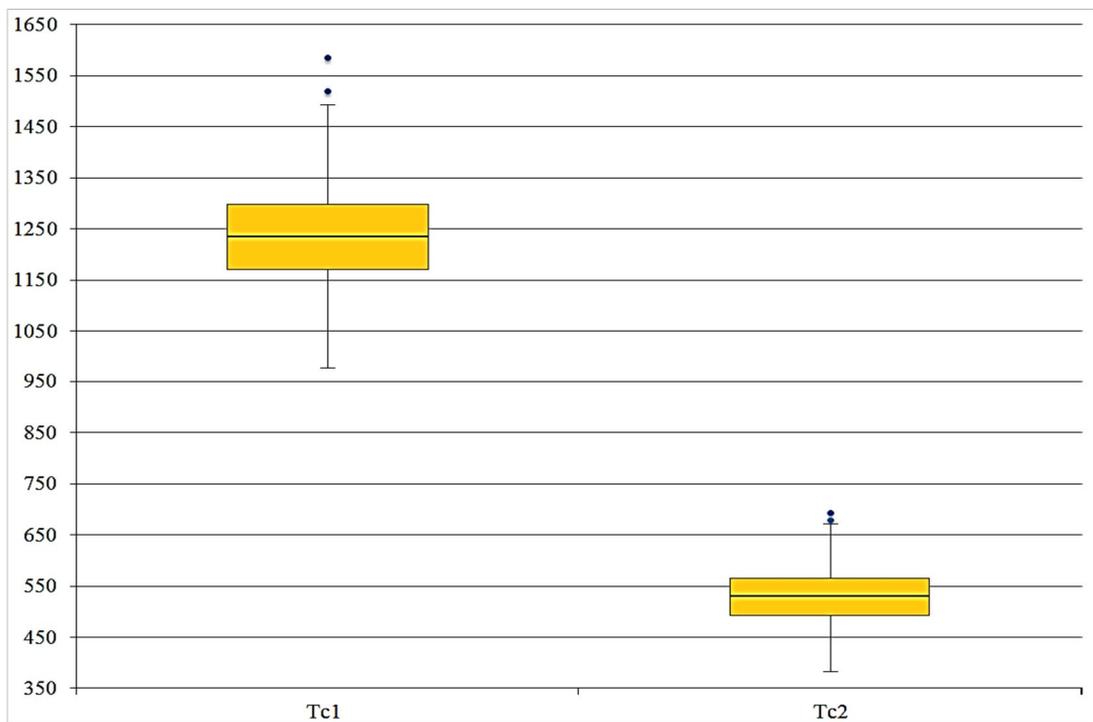


Figura N° 20: Diagramas de caja de las Variables radiométricas Tc_1 y Tc_2 . Eje Y cps.

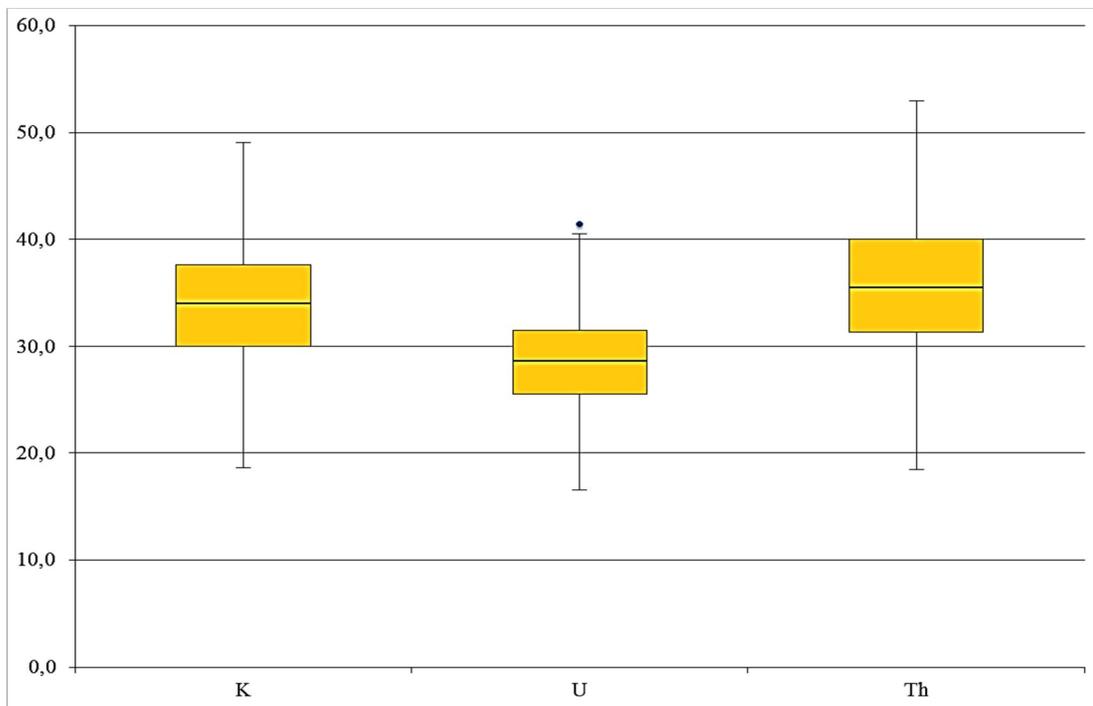


Figura N° 21: Diagramas de caja de las Variables radiométricas K, U y Th. Eje Y cps.

En la Tabla N° 5 y las figuras N° 22, 23 y 24, presentadas a continuación, se muestran las estadísticas básicas para la elaboración de los diagramas de caja de las variables geoquímicas y sus diagramas de caja correspondientes, respectivamente.

Tabla N° 5: Estadísticas básicas para la elaboración de los diagramas de caja de las variables geoquímicas. Los límites A son los valores que separan los valores normales de los anómalos y los límites B son los valores que separan los anómalos suaves de los severos.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	MnO	TiO ₂
1 ^{er} Cuartil	63,128	20,587	2,160	2,424	2,037	0,507	0,118	0,027	0,070
2 ^{do} Cuartil	65,746	21,555	2,370	2,727	2,680	0,580	0,137	0,032	0,112
3 ^{er} Cuartil	68,338	22,519	2,804	3,234	3,210	0,811	0,165	0,039	0,158
Límite Sup. (A)	76,154	25,415	3,770	4,450	4,971	1,266	0,236	0,057	0,288
Límite Inf. (A)	55,312	17,691	1,194	1,209	0,276	0,052	0,047	0,009	-0,061
Límite Sup. (B)	83,970	28,312	4,736	5,665	6,731	1,722	0,307	0,075	0,419
Límite Inf. (B)	47,497	14,794	0,228	-0,007	-1,484	-0,403	-0,024	-0,008	-0,191

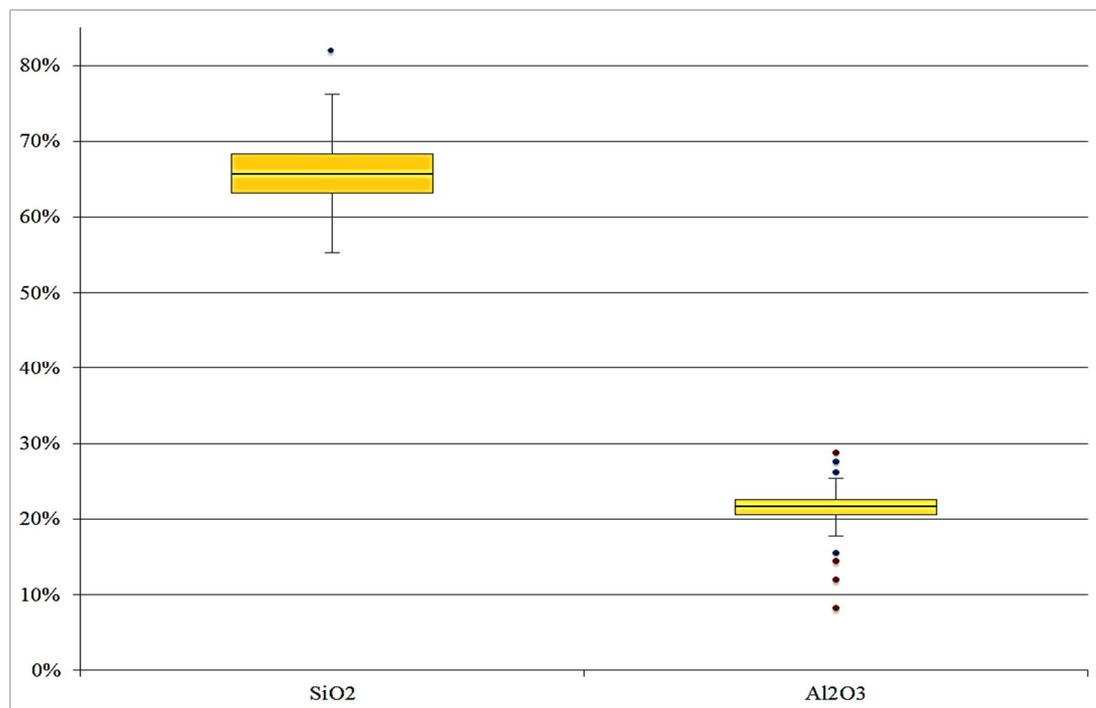


Figura N° 22: Diagramas de caja de las variables SiO₂ y Al₂O₃.

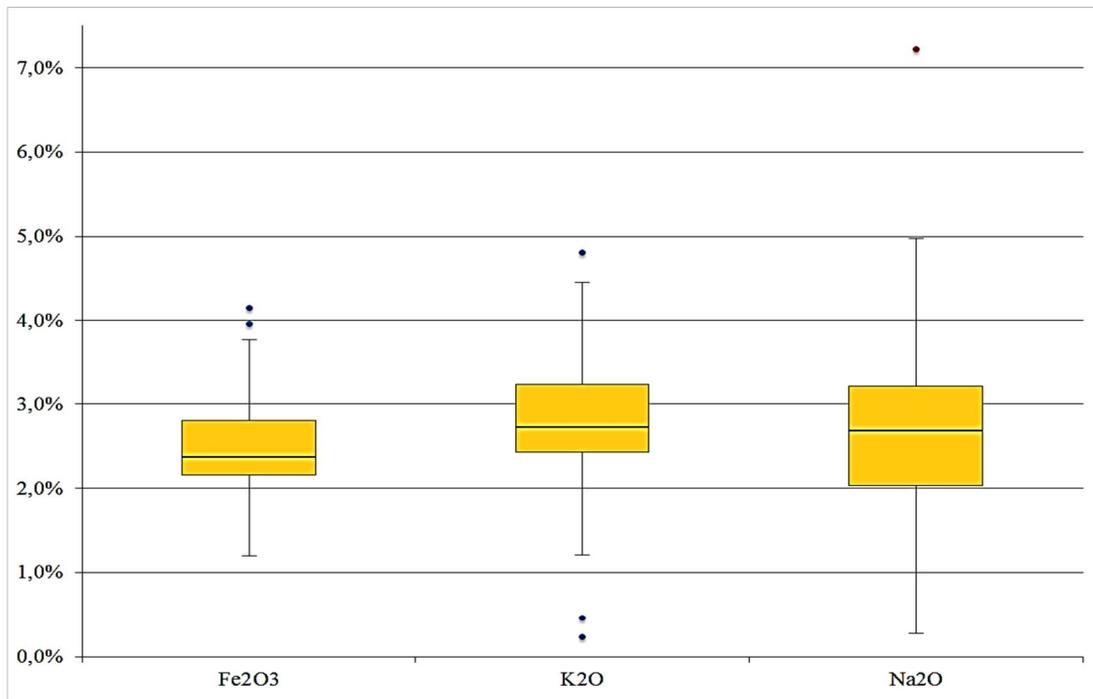


Figura N° 23: Diagramas de caja de las variables Fe₂O₃, K₂O y Na₂O.

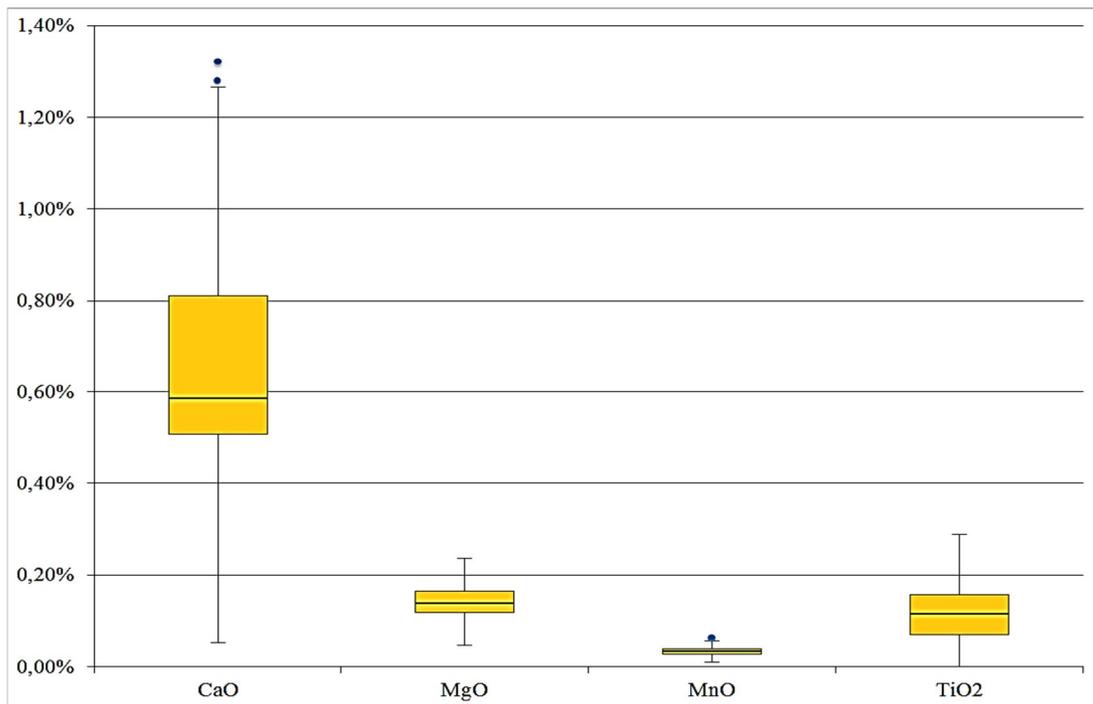


Figura N° 24: Diagramas de caja de las variables CaO, MgO, MnO y TiO₂.

De las variables de mediciones de radiación espontánea γ resaltan dos puntos, J12 y J13, ambos con parámetros anómalos en 2 diferentes variables, en Tc_1 y U para la primera y en Tc_1 y Tc_2 para la segunda. Cabe destacar, sin embargo, que todos los valores anómalos son suaves superiores. En la Tabla N° 6 se muestran los valores anómalos suaves y severos para cada variable, identificando las muestras a las cuales pertenecen.

Tabla N° 6: Valores anómalos para las variables radiométricas y geoquímicas.

Variable	Anómalos suaves (%)	Anómalos severos (%)
Tc₁	1520,0 (J12) 1585,0 (J13)	
Tc₂	679,0 (B06) 692,5 (J13)	
K		
U	41,5 (C10) 41,5 (J12)	
Th		
SiO₂	82,017 (C04)	
Al₂O₃	27,428 (F14) 26,074 (B06) 15,745 (G07)	28,464 (D16) 14,742 (F05) 12,359 (G12) 8,740 (C04)
Fe₂O₃	4,155 (C04) 3,979 (B06)	
K₂O	4,810 (F05) 0,466 (I11) 0,246 (C04)	
Na₂O		7,22 (I11)
CaO	1,314 (C08) 1,273 (H06)	
MgO		
MnO	0,063 (F10) 0,061 (E07)	
TiO₂		

En las variables geoquímicas, el más notorio de los parámetros anómalos es el anómalo severo de la variable Na_2O , medido en la muestra I11, cuyo valor sobresale notoriamente sobre su diagrama correspondiente, donde el resto de los parámetros se encuentran dentro de la caja. Cabe señalar que según el análisis mineralógico esta muestra tiene la particularidad no fue detectado cuarzo en el análisis de DRX y que según el análisis petrográfico sólo se pudo observar este mismo mineral en fracciones trazas. También es escaso el microclino que, junto a la albita y el cuarzo son los minerales más abundantes en la zona de estudio, pero no en esta muestra en particular. El resultado anómalo de Na_2O concuerda con estos datos ya que está asociado a la plagioclasa directamente. Además, la misma muestra presenta valor anómalo para la variable K_2O –relacionada con la cantidad de microclino– siendo uno de los dos valores más bajos de dicha variable, así como un valor en la variable SiO_2 (62,300%) –relacionada con la cantidad de cuarzo– por debajo del primer cuartil, aunque se encuentra en los bigotes. Puesto que es la única muestra con estas características puede inferirse que se trata de una zona enriquecida en plagioclasa sódica, tal vez una lenticulación, pero tampoco puede descartarse la posibilidad de que existan más zonas similares.

Otra muestra con valores anómalos particulares es la C04, con 4 parámetros anómalos, en SiO_2 , Fe_2O_3 y K_2O con valores anómalos suaves y en Al_2O_3 con valor anómalo severo inferior, el valor más bajo registrado para dicha variable. También el valor de Na_2O (2,160%) bajo, sólo un poco por encima del primer cuartil. El contenido irregular de sílice, en combinación con los bajos contenidos de K_2O , Na_2O (ambos asociados a 2 minerales abundantes en la zona) y Al_2O_3 , llevan a inferir que posiblemente dichos valores estén relacionados con una veta de cuarzo.

Por otro lado, la variable que muestra más con valores extremos es Al_2O_3 , la cual tiene 3 valores anómalos suaves y 4 valores anómalos severos, casi una cuarta parte de los datos (el 23,33% de los parámetros) son anómalos según el análisis de diagramas de caja. Es importante resaltar que las muestras con valores anómalos de Al_2O_3 tienen valores inversamente proporcionales de cuarzo, donde la más resaltante

es la C04, que fue citada anteriormente. Una muestra en particular, con poca cantidad de Al_2O_3 tiene además la mayor cantidad de K_2O , que puede estar relacionado a un enriquecimiento en microclino.

5.1.2. Histogramas de frecuencia

Para visualizar la forma de las poblaciones se presentan los histogramas y curvas de frecuencia (una curva formada uniendo los puntos centrales de cada barra del histograma) de cada variable.

Para definir el número de barras de los histogramas se usó la regla de Sturges (ver Capítulo III). Para las variables de radiación espontánea γ (152 datos) se tiene que $c = 8,25$ lo que implica 8 barras para cada histograma, y para las variables geoquímicas (de 25 a 30 datos) $5,52 \leq c \leq 5,91$, por lo cual se usa 6 barras para todas las variables geoquímicas, sin importar el número de datos. La diferencia del número de datos se debe a los valores anómalos, que en algunos casos fueron eliminados con el propósito de ver el comportamiento de las variables en el espacio considerado “normal” dentro de cada población (en los diagramas de caja, el que se encuentra entre los límites de los bigotes), pero para cada variable no puede olvidarse la presencia de estos valores, en especial para Al_2O_3 .

La Figura N° 25 presenta los histogramas de las variables de radiación espontánea γ y la Figura N° 26 los histogramas de las variables geoquímicas. Los histogramas de las variables de radiación espontánea γ , en línea general, presentan una distribución unimodal en las barras, muy centrada. De forma particular, Tc_1 y Tc_2 tienen una correspondencia casi perfecta. Las variables K y Th son las que se alejan más de la distribución normal. K presenta una distribución más plana que las demás y con cierta asimetría hacia la izquierda. En cuanto a la variable Th, el grupo central es muy sobresaliente formando con los otros grupos una forma escalonada, además presenta una pequeña cola hacia la derecha. La variable U se corresponde más con las variables de radiación γ total,

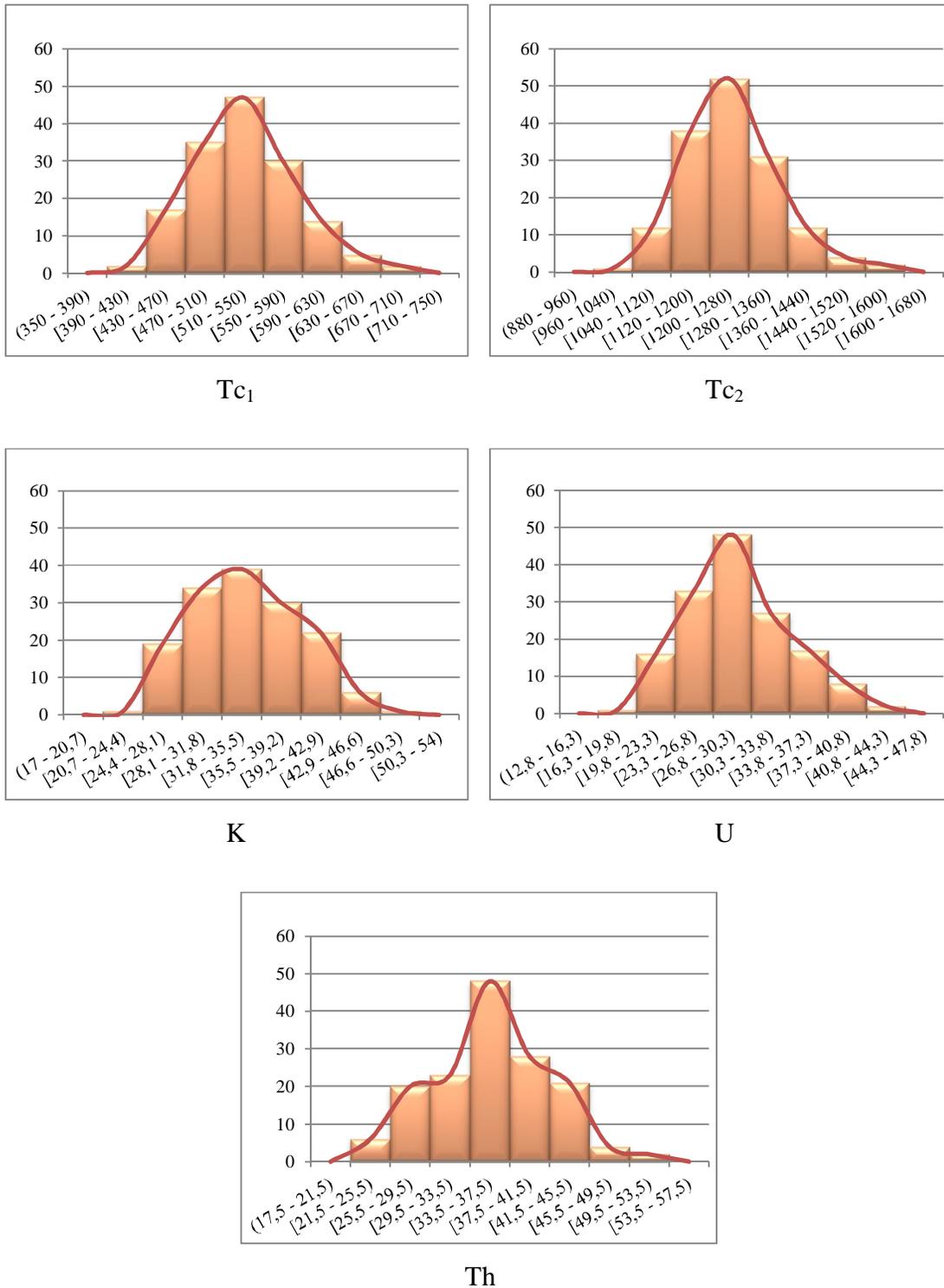


Figura N° 25: Histogramas de frecuencias de las variables de radiación espontánea γ . Intervalos en cps vs. número de observaciones.

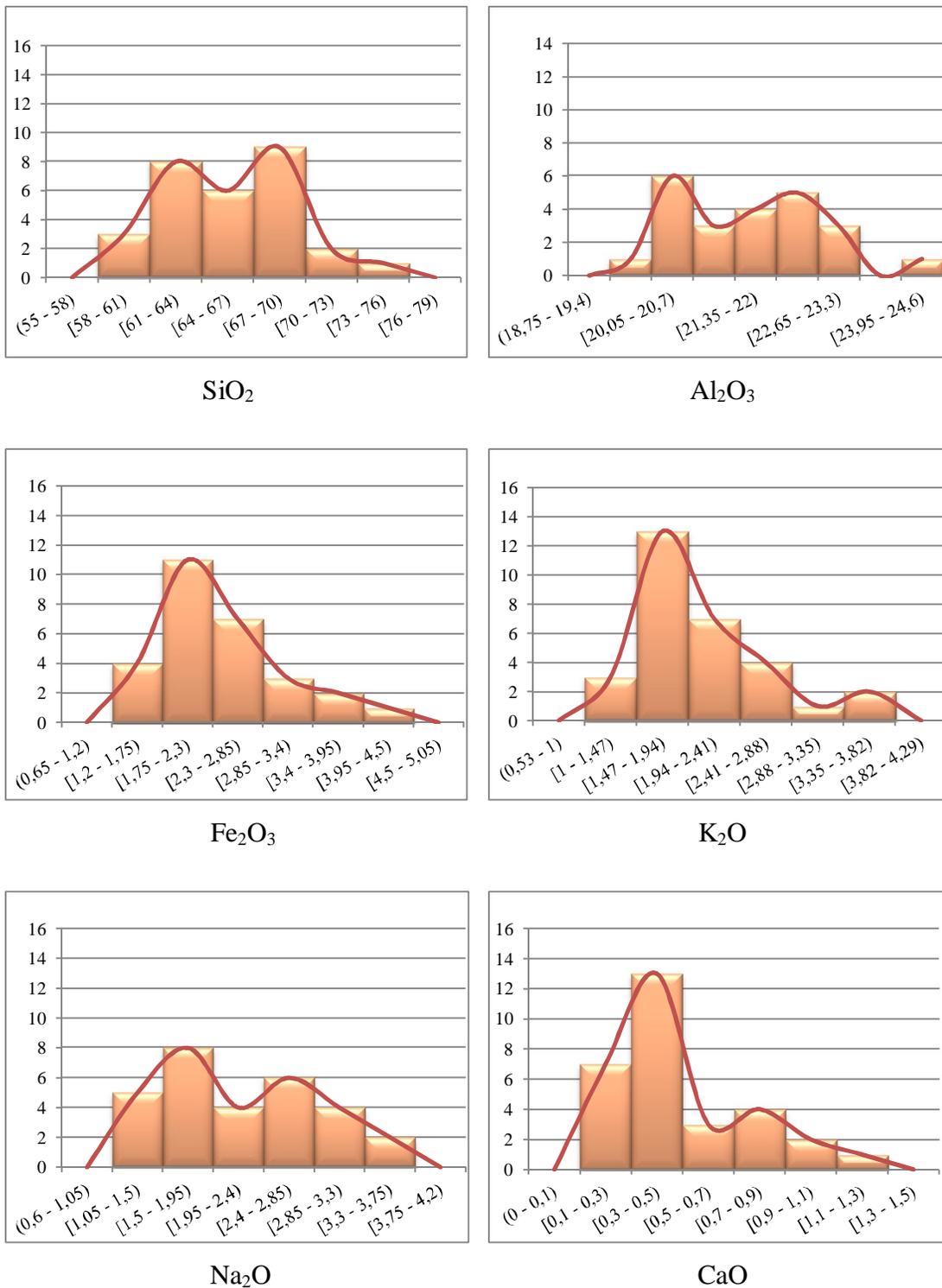


Figura N° 26: Histogramas de frecuencias de las variables geoquímicas. Intervalos en porcentaje vs. número de observaciones.

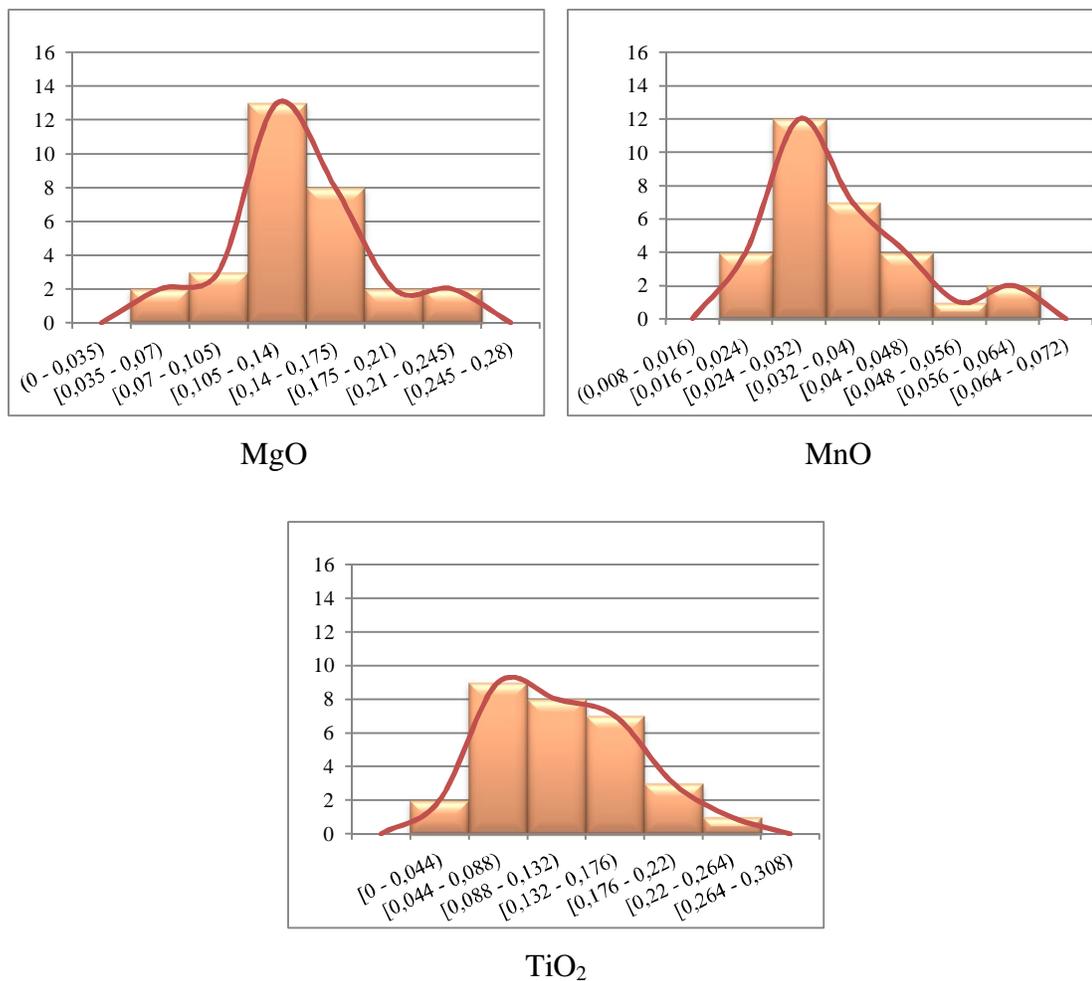


Figura N° 26 (Continuación).

Por concepto, los valores de las variables K, U y Th tienen mucha más influencia en Tc_2 que en Tc_1 . Sin embargo, la correspondencia entre Tc_2 que en Tc_1 , indica que la influencia de K, U y Th es importante en Tc_1 .

En cuanto a las variables geoquímicas, resalta la tendencia de varias variables a tener una distribución bimodal, más claramente marcada en SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O y CaO , y con menos presencia en K_2O y MnO . Este tipo de tendencia en los histogramas suele indicar múltiples fuentes, o múltiples litologías. Ninguna de las variables presenta una tendencia central (curtosis) pronunciada. De estas cualidades

de los histogramas de frecuencia se puede inferir que la heterogeneidad del yacimiento es bastante pronunciada.

A pesar de que las muestras parecen ser muy similares en su composición geoquímica, los histogramas muestran que hay dos tendencias. En particular, la bimodalidad de Na_2O y K_2O son de gran importancia ya que estas variables están directamente relacionadas al feldespato, sódico y potásico respectivamente (principales minerales de interés), por lo tanto parece que no hay una tendencia promedio en el contenido de feldespatos.

5.2. Mapas de datos geoquímicos

Los mapas mostrados a continuación (figuras N° 27, 28, 29 y 30) corresponden a la distribución de los óxidos más importantes, es decir, Na_2O , K_2O , SiO_2 y Al_2O_3 , elementos asociados a la albita, microclino, cuarzo y arcillas respectivamente (estos dos últimos relacionados con todos los demás minerales pero más específicamente con los aquí nombrados), que son los minerales más abundantes según la caracterización mineralógica. En cada imagen el mapa es el resultado de la interpolación de los datos de composición geoquímica de las 30 muestras analizadas. Es importante saber que los mapas de contorno no son la mejor representación de datos geoquímicos tan alejados, pero debido al alto costo que representa hacer todos los análisis requeridos (además de la cantidad de muestras sobre la cual sería necesario hacerlos), es la mejor representación posible para tener una idea de la distribución de estos elementos.

La empresa Cerámica Carabobo, prefiere un feldespato más rico en sodio que en potasio, buscando en el caso del potasio, de ser posible, en proporciones bajas en relación con el sodio. Por esta razón la escala de colores escogida para el mapa de Na_2O es inversa a los de los otros mapas.

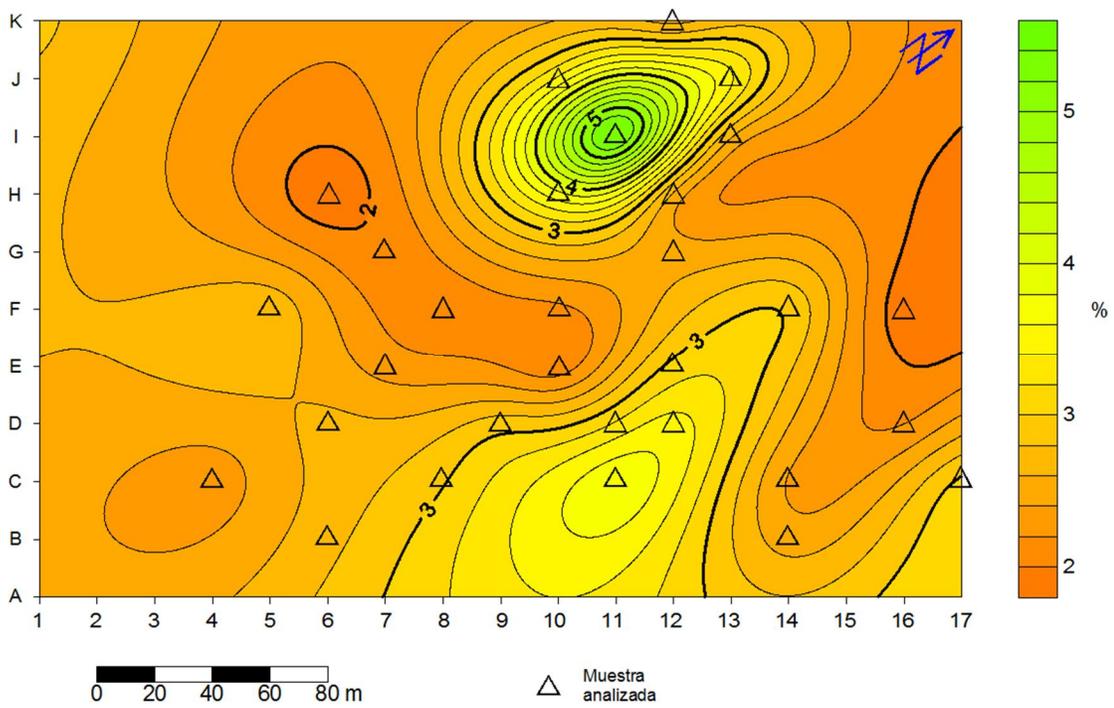


Figura N° 27: Mapas de contorno de Na₂O (en porcentaje).

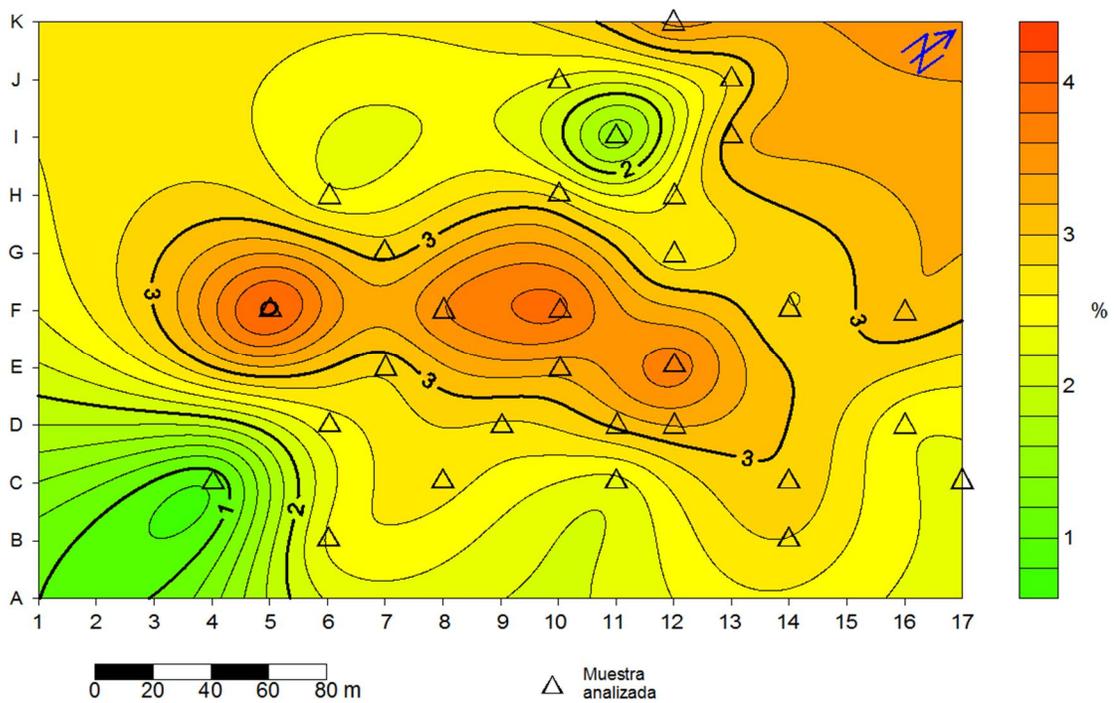


Figura N° 28: Mapas de contenido de microclino (en porcentaje).

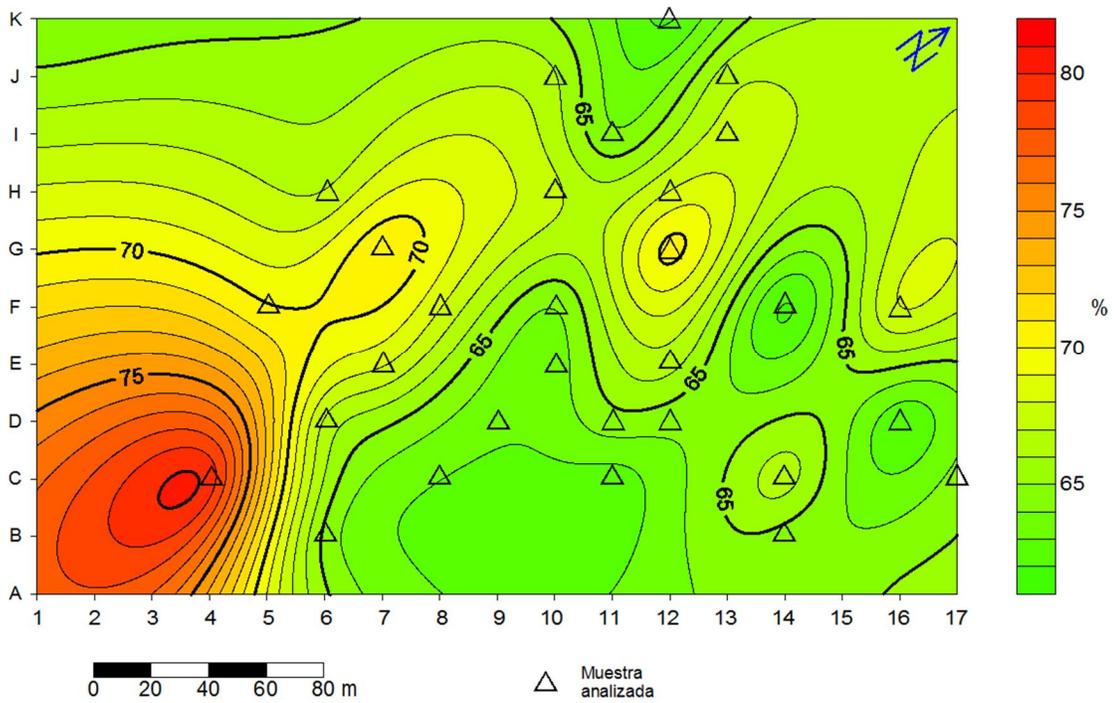


Figura N° 29: Mapas de contenido de SiO_2 (en porcentaje).

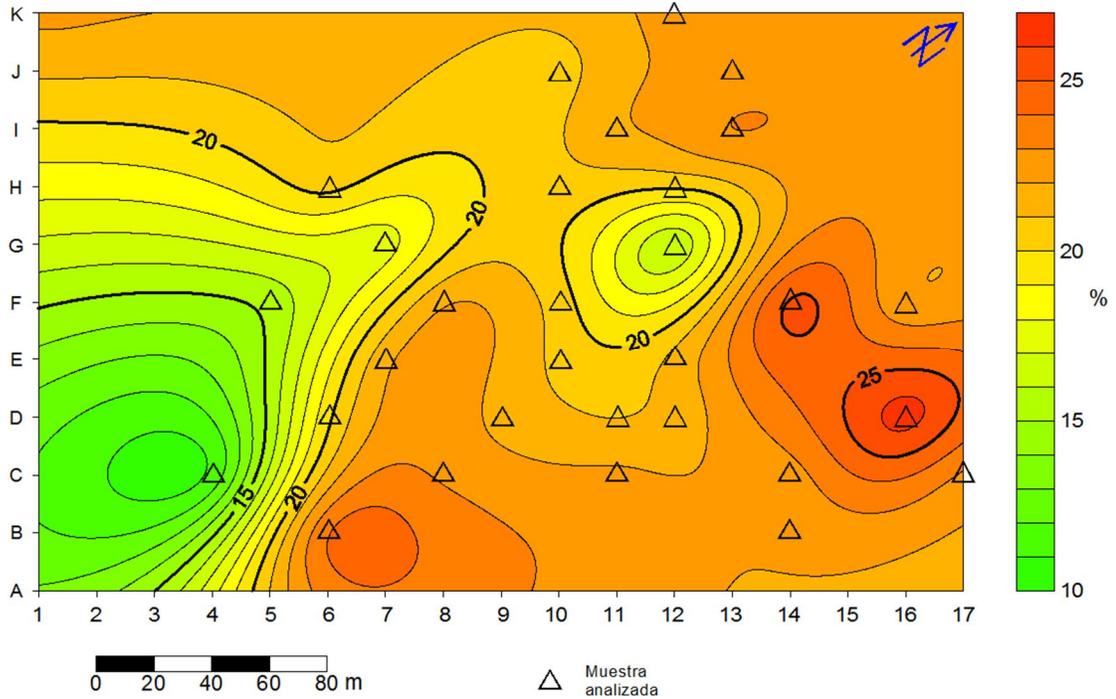


Figura N° 30: Mapas de contenido de arcillas (en porcentaje).

En el mapa de Na_2O (Figura N° 27) puede observarse (sin contar el punto anómalo I11) una distribución más o menos regular, pero en concentraciones muy bajas. El punto I11, por su mayor cantidad de Na_2O , sobresale dentro del mapa. Por otro lado, los puntos H06 y C11 también tienen una influencia importante en la homogeneidad siendo los puntos más bajos y altos respectivamente (sin contar a I11).

En cuanto al mapa de K_2O (Figura N° 28) es notorio que es más irregular (más heterogéneo) teniendo hacia la zona central un sector con valores más altos que los de sus adyacencias.

Para SiO_2 (Figura N° 28) es relevante el punto C04, una muestra que, como se mencionó anteriormente, tiene varios valores anómalos. Además de este punto este mapa parece más o menos irregular, con algunos puntos resaltantes como G07 y G12, por un alto contenido relativo, así como F14 y K12 por su bajo contenido relativo. Es importante resaltar el efecto de no tener valores de medición hacia el SO de este punto, haciendo que la zona de alto contenido de SiO_2 parezca de gran tamaño, a pesar de que, muy seguramente, sea más pequeña.

Como era de esperarse, el mapa de Al_2O_3 (Figura N° 30), presenta una distribución muy irregular, con una zona de aparente bajo contenido hacia el S-SO, una de bajo contenido al centro del mapa, y una zona de muy alto contenido hacia el NE. Estas zonas corresponden, obviamente, con los valores anómalos que anteriormente se identificaron en los diagramas de caja.

La falta de correspondencia de estos mapas y la marcada irregularidad de los mismos, dificultan la posibilidad de definir zonas por el contenido geoquímico, y que no hay relaciones notables entre los diferentes componentes de las rocas, pero es importante porque permite ver que existe una heterogeneidad importante entre los diferentes puntos que es necesaria conocer al momento de considerar su explotación. Tampoco hay patrones claros sino que presentan una distribución caótica, la cual acentúa esta heterogeneidad.

5.3. Valoración del yacimiento

Para la evaluación de la calidad del yacimiento, no es suficiente con conocer las cantidades del mineral de interés. En el caso de la industria cerámica, conocer las cualidades de los minerales feldespáticos como fundente –a través de los ensayos de conos de fusión– es fundamental. Además, es necesario investigar sobre, esquemas de separación de otros minerales presentes que pueden ser buenos o malos para el negocio, pero que –en cualquiera de los casos– deben separarse de los minerales principales para su tratamiento y disposición.

5.3.1. Fundencia de feldespatos

El análisis de conos de fusión fue realizado en cinco muestras escogidas de forma deliberada, 4 de ellas tomando en cuenta su contenido de SiO_2 (C17, E12, F14, G12) y la última por su inusual contenido de Na_2O (I11). Los resultados se presentan en la siguiente Tabla N° 7.

Tabla N° 7: Resultado de los ensayos de conos de fusión.

Muestra	C17	E12	F14	G12	I11
Contracción	12,1%	36,46%	3,17%	29,2%	66,5%
Diámetro	36,6 mm	43,7 mm	36,3 mm	45,6 mm	61,4 mm
Color	Rojo	Marrón rojizo	Rojo	Marrón rojizo	Marrón oscuro
					

Los conos de las muestras C17 y F14 presentan poca fundencia a 1220°C (de hecho, la muestra F14 casi no muestra fundencia), mientras que los conos de las muestras E12 y G12 muestran una fundencia moderada. El “colapso” (de un cono a

un disco que asemeja la forma de una galleta) de la muestra I11 indica pérdida de componentes volátiles, principalmente aguas intersticiales e oxidrilos de constitución del retículo cristalino de las arcillas (SACMI, 2004). Es importante resaltar que la relación plagioclasa –feldespato K no parece influir en la respuesta de las muestras al ensayo ya que la E12 es una de las muestras con mayor cantidad de microclino, el cual, como se indicó en el Capítulo II, debería elevar los puntos de reblandecimiento y de fusión. Las muestras C17 y F14 por otro lado, tienen una relación similar plagioclasa– feldespato K pero el contenido de cuarzo de la C17 es significativamente mayor. Es posible que la diferente respuesta al ensayo de conos de fusión se deba a las relaciones eutécticas de los diferentes minerales que constituyen cada muestra, afectando así la fundencia del material de forma significativa, y pudiendo variar con la misma frecuencia que varía la mineralogía presente.

Por la cantidad de muestras seleccionadas para este ensayo, no se puede correlacionar la forma de los conos con el resto de las muestras, sin embargo es un estudio cualitativo que muestra claramente la heterogeneidad del material de la mina, donde se puede encontrar material con poca fundencia hasta material que colapsa.

Aunque sólo se elaboraron 5 conos de fusión, los resultados fueron muy reveladores en cuanto a la heterogeneidad de las muestras y evidencian que los los azeotrópicos (o punto mínimo de fusión), eutécticos o peritécticos que pudieran formarse por las diferentes relaciones minerales (Prof. Sebastián Grande, entrevista personal, septiembre 6, 2011), influyen en gran manera en el comportamiento del material como fundente. Por este motivo, es importante señalar que la posible separación de los feldespatos disminuiría tal comportamiento *errático* del material como fundente. De otro modo, aunque se conozca las relaciones de los feldespatos, la heterogeneidad del resto de los componentes influirá, de manera impredecible, sobre la calidad de la materia prima.

5.3.2. Esquemas de valoración (diagramas triangulares)

La separación del mineral mena de otros minerales es importante para un mejor aprovechamiento del yacimiento, pero dicha separación no es igual para todos los minerales.

Para los yacimientos sedimentarios (arena y areniscas feldespáticas), el tratamiento más habitual consiste en un lavado (que separa las partículas finas predominantemente arcillosas), seguido del secado en un horno rotativo (SACMI, 2004). Este mismo principio podría aplicarse en minas de alto grado de meteorización y de rocas muy friables (como la mina PIM 9000) para la separación de las arcillas y otros minerales minoritarios como las micas. Sin embargo, la separación del cuarzo requeriría mayor atención; el uso de la técnica de flotación (muy difundido en Estados Unidos), permite proceder a la separación del cuarzo del feldespato, empleando varios tipos de reactivos químicos y creando espumas especiales que separan, en suspensión, uno de los dos minerales (SACMI, 2004).

En cuanto a los feldespatos, son frecuentes las soluciones sólidas entre los tres tipos de feldespatos (potásico, sódico y cálcico), lo que dificulta su separación, haciéndola, tal vez, casi imposible, y por lo tanto muy costosa.

Basado en estas posibilidades, para definir las mejores opciones para el mejoramiento de la calidad del feldespato se han elaborado dos diagramas ternarios que permiten una evaluación rápida de la calidad del material de la mina y el costo relativo que acarrearía los procesos de separación.

El primero de estos diagramas (al igual que el triángulo para la facies granulita) está basado en el triángulo APQ de STRECKEISEN (1965). Sin importar la génesis de la roca, las mismas paragénesis han sido utilizadas para clasificar rocas ígneas y metamórficas. Del mismo modo puede utilizarse estas paragénesis para conocer la utilidad de cierto grupo de rocas para la industria cerámica. En particular,

en Cerámica Carabobo, S.A.C.A., se tiene preferencia por el feldespato sódico (plagioclasa tipo albita) por sus cualidades como fundente.

El triángulo APQ (Figura N° 31) propuesto para la valoración del material rocoso para la industria cerámica (con preferencia de feldespato sódico), se presenta con colores (con el esquema conocido tipo semáforo, modificado con el agregado cuarto color: naranja) para una fácil identificación. Teniendo en cuenta que la diferencia más importante entre los feldespatos alcalinos (feldespato potásico y plagioclasa sódica o albita) y las plagioclasas cálcicas radica en que el punto de fusión de estas últimas es mayor, se le asigna el color verde al extremo A con poco cuarzo, y anaranjado al extremo P con poco cuarzo. A medida que aumenta el contenido de cuarzo aumenta los costos de separación, por lo tanto, siguiendo la tendencia de aumento de costo, los colores varían de verde a amarillo, de amarillo a anaranjado y de anaranjado a rojo. Tanto en el triángulo APQ para rocas ígneas como en el de rocas metamórficas, el triángulo interno superior (cuarzo mayor al 60%) no tiene clasificación; las muestras que coinciden en dicho triángulo corresponden a vetas, por lo tanto no se pueden tener como una clasificación de roca sino que son anomalías (como es el caso de la muestra C04). La correspondencia de los recuadros con los triángulos APQ conocidos, facilitaría la valoración de un yacimiento si este ya ha sido clasificado por alguno de estos triángulos.

El segundo diagrama propuesto (Figura N° 32) está enfocado en la separación de los feldespatos de las dos principales impurezas, cuarzo y arcillas. Usando también el esquema de colores de semáforo, se clasifican con respecto a su facilidad de separación. Los colores van de claro a oscuro con respecto a la relación cuarzo-arcillas, por cuanto es menos costosa la separación de las arcillas (y el resto de minerales finos) que la del cuarzo. Los diferentes recuadros se han establecido arbitrariamente tomando en cuenta primeramente líneas de proporción de feldespatos (líneas horizontales) ya que la cantidad de feldespatos con respecto a los otros dos componentes determina cuan provechoso será el proceso de limpieza. Las líneas de relación cuarzo-arcillas son (en esta primera propuesta de clasificación) una ayuda

visual que ilustra la diferencia entre una composición más arcillosa (de separación menos costosa) y una más cuarzosa (más costosa).

En cuanto a la relación con las dos principales impurezas la materia prima parece bastante homogénea, siempre con algunas pocas alteraciones. Esta regularidad puede facilitar el cálculo del costo del enriquecimiento del contenido de feldespatos. Sin embargo, la heterogeneidad entre el contenido de plagioclasa y feldespato es muy marcada e impredecible, impidiendo la definición de zonas por calidad del feldespato. Además, aunque la separación de los feldespatos de las impurezas se pudiera lograr con relativa facilidad, no se puede predecir con certeza cual sería el comportamiento del material resultante como fundente (ver Figura N° 2).

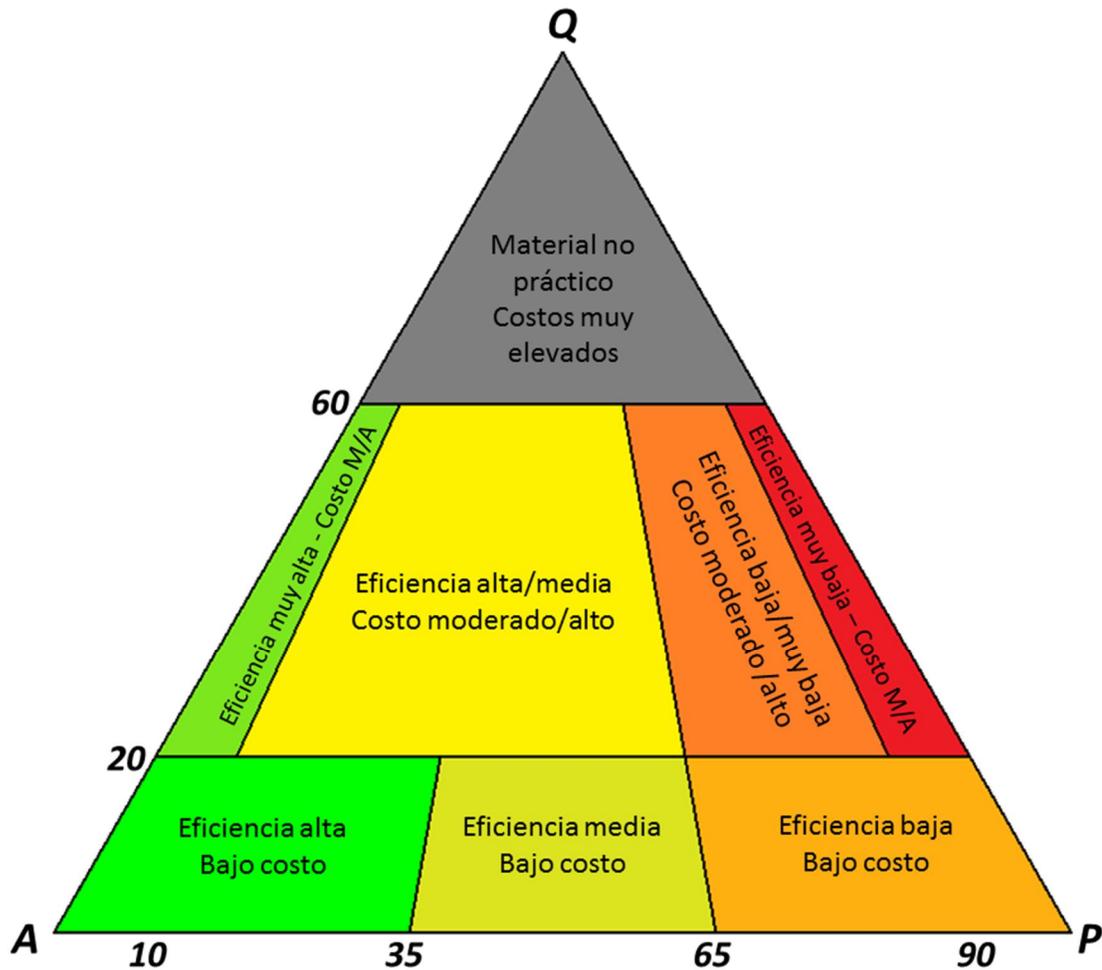


Figura N° 31: Diagrama de valoración basado en el triángulo APQ de Streckeisen (1965). La valoración de cada bloque viene dada por dos variables, la eficiencia del material por su relación feldespato alcalino-plagioclasa, y el costo de separación del cuarzo.

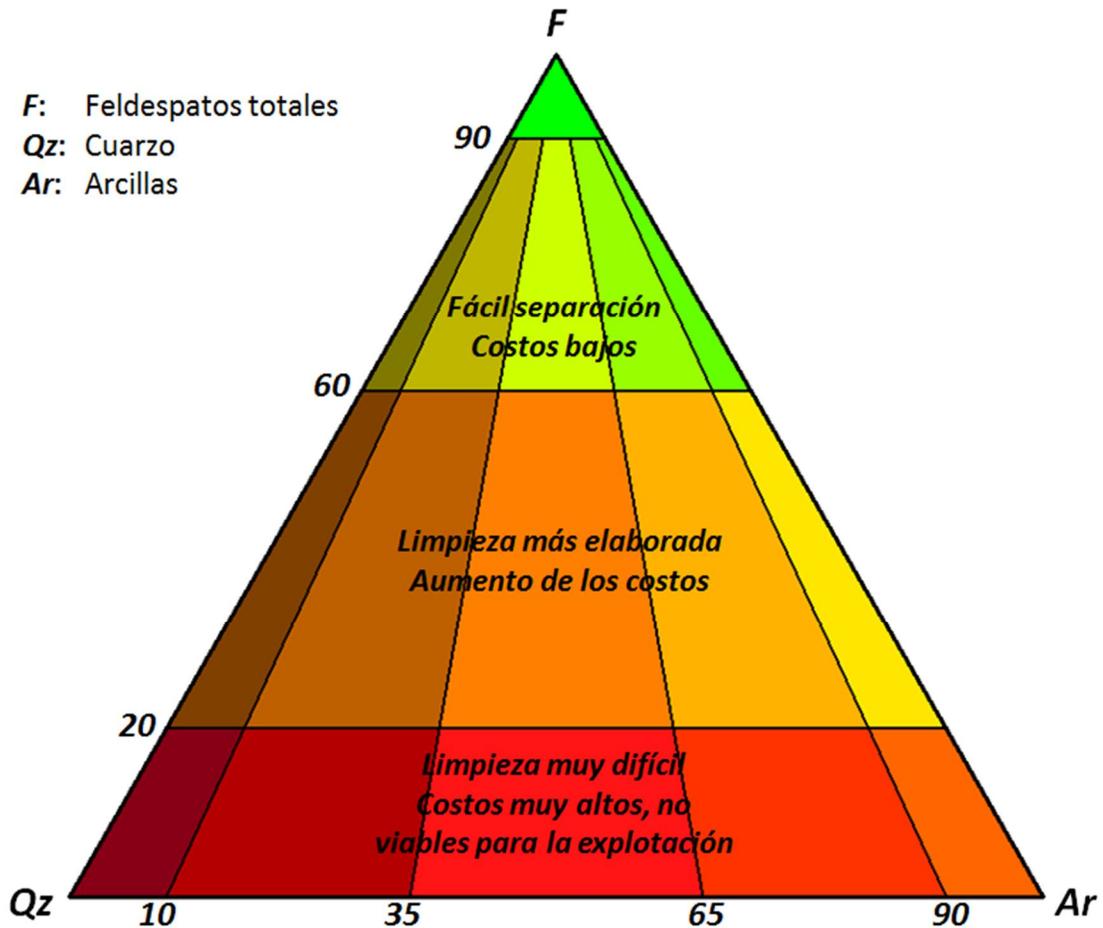


Figura N° 32: Esquema de diagrama triangular propuesto para la valoración del yacimiento, según su contenido de feldespatos totales y las dos principales impurezas, cuarzo y arcillas. La variación de color con respecto a las líneas de relación cuarzo–arcillas tiene como propósito ilustrar el aumento de costo de separación, teniendo en cuenta que la separación de las arcillas (por lavado) es relativamente más fácil que la del cuarzo (por flotación).

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

El sector de la mina PIM 9000, se caracteriza por una unidad de rocas gnéissicas de composición principalmente plagioclásica-cuarzosa-microclínica (con 26,5%, 20,1% y 15,7%, respectivamente), que se corresponde principalmente con la fase félsica de Gneis de La Aguadita, físicamente muy friable debido al alto grado de meteorización y su consecuente alteración, principalmente a arcillas (33,4%).

Las mediciones de radioactividad del yacimiento indican que hay cierta alineación preferencial N-S de los valores, y que los valores más altos se encuentran hacia el lado este de la mina, con algunos puntos característicos que muestra valores muy bajos en comparación con su entorno. Los mapas de radiación total (Tc_1 y Tc_2) tienen una correspondencia casi exacta entre ellos, no así los otros mapas, sobre todo el de Th, el cual tiene una distribución de los valores muy distinta a todos los demás.

De la caracterización mineralógica (realizada con análisis petrográfico y difracción de rayos X) se obtuvo que los minerales con mayor presencia en las muestras son plagioclasa albita, cuarzo y feldespato potásico cristalizado como microclino. En promedio, el más abundante de estos 3 minerales es la plagioclasa, pero la relación varía considerablemente de una muestra a otra, teniendo en ocasiones al cuarzo o al microclino como principal mineral mayoritario.

Los resultados de la caracterización geoquímica, dados en función a la abundancia de óxidos, indican la existencia de tres grupos, de los cuales los más abundantes son el SiO_2 y el Al_2O_3 que entre ambos abarcan más del 85% del contenido químico de las muestras. Luego estarían el Fe_2O_3 , el K_2O y Na_2O , cuyos promedios se encuentran entre 2 y 4 % cada uno. Y, finalmente, con un contenido menor al 1%, CaO , MgO , MnO y TiO_2 . Como variables, presentan valores anómalos

de importancia, principalmente en dos muestras, C04 e I11, las cuales resaltan principalmente por su influencia en la composición de los minerales de interés.

Como resultado de la meteorización, la distribución de los minerales en la roca es heterogénea y caótica (también apoyada en la heterogeneidad geoquímica), presentando alta variabilidad en la distribución areal, que imposibilita la predicción de la distribución de los materiales. Tal esquema de distribución también impide la elaboración de un mapa coherente de la disposición de los elementos geoquímicos asociados al material feldespático en el cual se pueda definir las áreas por categorías en función de la composición del material, quedando como mejor opción para obtener una materia prima más efectiva para la industria cerámica el proceso de separación de los diferentes minerales.

RECOMENDACIONES

Análisis geoquímico:

La relación entre análisis mineralógico y análisis químico debe estar en sintonía total, con apoyo mutuo de resultados. En esencia, es recomendable realizar primeramente el análisis geoquímico y con sus resultados escoger de forma más eficiente las muestras a las cuales hacerle análisis mineralógico de DRX (el cual es más costoso y no es tan necesario realizarlo sobre todas las muestras) pero a su vez es necesario el análisis mineralógico para la interpretación de los valores geoquímicos. Así mismo, dichos análisis deben ser validados continuamente con el uso de análisis estequiométrico. Aprendimos de la manera “dura” la importancia de los aspectos aquí citados: los resultados (data “dura”) de análisis altamente tecnificados no siempre son tan “duros”... siempre hay que validarlos con el análisis de **todas** las variables involucradas.

Análisis estadístico:

En cuanto al número de muestras a escoger, 30 muestras es lo que se recomienda en la bibliografía consultada para asegurar que la muestra sea representativa. Sin embargo, no hay seguridad de que los parámetros medidos en dichas muestras queden todos dentro de la “normalidad de la población, como en el caso de esta investigación, donde en muchas variables se encontraban varios valores anómalos. Por tal razón se recomienda tomar entre 35 y 40 muestras para análisis de laboratorio, para poder asegurar la cuota necesaria para que dentro de las poblaciones regulares quede una muestra representativa, aun cuando existan valores anómalos.

Desarrollo de tesis de grado en investigación minera:

Entre las lecciones aprendidas de las cuales se puede extraer información valiosa para acelerar el paso de eventuales continuaciones de este tipo de investigación, debemos señalar que es importante investigar desde el comienzo del trabajo las especificidades de la industria que utiliza el recurso minero en evaluación. A partir del momento en que comenzamos a utilizar el SACMI –compendio de características, técnicas y procesos en la industria cerámica– fue cuando realmente pudimos establecer la línea de investigación y presentación de resultados requerida para un trabajo como éste, del cual no teníamos referencia previa. De la combinación de lo aprendido del texto citado y el conocimiento geológico pudimos, entre otras cosas, establecer unos esquemas de valoración, que eran requeridos por la empresa financiadora.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFONZO-HERNANDEZ, I. (2008). Facies Metamórficas. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.extremos.org.ve/Facies-Metamorficas.html>. [Última consulta: 2011, agosto 23].
- AGUERREVERE, S. y ZULOAGA, G (1937). Observaciones geológicas ne la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. y *Min.*, Caracas, 2(2-4): 3-22.
- BECK, C. (1985) Las napas de Aragua – Cadena Caribe Central y la historia mesozoica del margen sur del Caribe a lo largo del meridiano de Caracas. Geodynamique Des Caribes, Symposium. Paris. 5581.
- BECK, C. (1986). Géologie de la chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela). Société Géologique du Nord, Villeneuve d’Ascq, Francia, Publication 14, 462 pp.
- BERTIN, E. (1975). Principles and practise of x-ray spectrometric analysis. 2da. Ed. Plenum Press, New York-London, 1079 p.
- BELLIZZIA, G. y RODRÍGUEZ, G. (1976). Geología del Estado Yaracuy. Congreso Venezolano IV, Caracas, Noviembre 1969, Memoria, Boletín de Geología, Publicación Especial 5, VI. 3317-3417.
- BEUS, A. y GRIGORIAN, S. (1977). Geochemical Exploration Methods For Mineral Deposits. Applied Publishing LTD. Wilmette, Illinois, E.U.A. 287 p.
- CAMPOSANO, L. y MARTÍNEZ, N. (2000). Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas de las formaciones Barco y Mirador, San Pedro del Río, Edo. Táchira. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- CASTAÑO, S. (1994). Mecánica de los diagramas ternarios: Aplicación en el diagrama de clasificación de las rocas ígneas de Streckeisen. Enseñanzas de las Ciencias. 12 (3), 406-411. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21381/93337> [Última consulta: 2011, julio 12].
- CHACÍN, C. (2003). Caracterización química y Radiométrica de muestras de canal correspondientes a cuatro pozos del campo petrolífero La Concepción, Estado Zulia. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 254 p.
- CIEN – Comisión Interfiliales de Estratigrafía y Nomenclatura (2008). Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela. INTEVEP-PDVSA. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm> [Última consulta: 2011, junio 29].
- DAVIS, J. (1973). Statistics and Data Analysis in Geology. Ed. John Wiley & Sons. 543 p.
- DE WAARD, D. (1965). J. Petrol. 6: 165-191.
- ESKOLA, P (1921). Norsk.Geol. Tidsskr. 6:143-194.
- FERRER, M. y RINCONES, D. (2007). Caracterización Petrológica de los afloramientos de rocas ultramáficas de la zona de Tamanaco y sus Alrededores, Tinaquillo Estado Cojedes. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 143 p.
- GÓMEZ, M. (2006). Caracterización geoquímica y radioactiva de la Formación Querecual, Localidad Tipo. Trabajo de grado de maestría. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. Inédito. 133 p.

- GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE DE AROZENA, J. y PICARD, X. (1980). Geología De Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ediciones FONVINES. Caracas, Venezuela. 1031 p.
- HURLEY, P. y HESS, H. (1972). Basamento Gneisico, Cordillera de la Costa, Venezuela. Circular Soc. Venezolana. Geol. 54:18.
- HYNDMAN, R. (1995). The problem with Sturges' rule for constructing histograms. [Documento en línea]. 2 p. Disponible: robjhyndman.com/papers/sturges.pdf [Última consulta: 2011, junio 29].
- JUNG, J. y BROUSSE, R. 1959. Classification module des Roches Eruptives. (Masson & Cie: París).
- KREITER, M. (1978). Investigación y Prospección Geológica. [Fragmento del documento en línea] Editorial Paraninfo. Madrid, España. Disponible: <http://www.iuteb.edu.ve/carreras/geominas/contenidos/prop/p1.html> [Última consulta: 2011, mayo 29].
- MACKENZIE, D. (1966). Geología de la región norte-central de Cojedes. Boletín de Geología, Caracas, 8 (15). 3-72
- Mattson, P. (1985). Ultramafic and gabbroic rocks of Venezuela as possible ophiolites. Tinaquillo Peridotite complex. Cong. Geol. Vllano. S.V.G. IV: 2514-2525.
- MENÉNDEZ, A. (1966). Tectónica de la parte central de las Montañas Occidentales del Caribe. Bol. Geol. Caracas, 8(15). 116-139.
- NOGUERA, M. y YÉPEZ. S. (2002). Caracterización química de secciones estratigráficas formaciones Naricual y Querecual. Estado Anzoátegui y Monagas. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 281 p.
- Nye County (2000). Differential Spectrometry (K, U,Th) for core, cuttings and other samples [Documento en línea]. Documento inédito. 4 p. Disponible:

- www.nyecounty.com/RID_data/rid7385_TPs_pdf/TP-8.9%20Rev%200.pdf
[Última consulta: 2011, mayo 29].
- OSTOS, M. (1985). Interpretación estructural de la Peridotita de Tinaquillo y su roca caja, edo. Cojedes. Trabajo de Asenso. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 129 p.
- OXBURGH, E. (1960). Geología de la región oriental del Estado Carabobo, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 6(11): 113-208.
- RACEFEN – Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (2010). Glosario de Geología. Universidad de Granada. España. [Documento en línea]. Disponible: http://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm [Última consulta: 2011, junio 23].
- Real Academia Española (2001). Diccionario de la lengua española, 22^a edición. Disponible: <http://buscon.rae.es/draeI/> [Última consulta: 2011, junio 23].
- RENZ, O. Y SHORT, K. (1960). Estratigrafía de la región comprendida entre El Pao y Acarigua, Estados Cojedes y Portuguesa. III Cong. Geol. Venez., Caracas, 1959, Mem., 1: 277-315.
- RÍOS, C. (2009). Uso de materias primas colombianas para el desarrollo de baldosas cerámicas con alto grado de gresificación. Trabajo de grado de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 103 p.
- ROJAS, A. (1989). Geología del Cinturón tectónico Caucagua-El Tinaco, al sur de la peridotita de Tinaquillo, Estado Cojedes. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 146 p.
- ROLLINSON, H. (1993). Using geochemical data, evaluation, presentation, interpretation. Ed. Longman Scientific & Technical, New York, 352 p.
- SEIDERS, V. (1965). Geología de Miranda central, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 6(12): 289-416.

- SACMI; Asociación Española de Técnicos Cerámicos (2004). Tecnología cerámica aplicada, Tomo 1. Tracucción de italiano a español por Arnold van Gelder. Obra editada con la colaboración de IMPIVA, Deputació de Castelló y BANCAJA fundación Caja Castellón. 444 p.
- STEPHAN, J., BECK C., BELLIZZIA, A. y BLANCHET, R. (1980). La chaîne Caraïbe du Pacifique à l'Atlantique. XXVIe. Congr. Geol. Int., París, c-5: 38-59.
- STEPHAN J. (1982). Evolution géodynamique du domaine Caräibe : Andes et chaine Caräibe sur la transversale de Barquisimeto (Vénézuéla). Universite de Pierre et Marie Curie (Paris VI), Paris, Francia, tesis doctoral. 512 p.
- STRECKEISEN, A (1965). Die Klassifikation der Eruptivgesteine. Geologische undschau, volume 55, issue 2: 478-491.
- SKOOG, D., HOLLER, F. y NIEMAN, T. (2001). Análisis instrumental, Quinta Edición. Ed. McGraw-Hill. Madrid, España. 1028 p.
- URBANI, F. (1982). Comentarios sobre algunas edades de las rocas de la Parte Central de la Cordillera de la Costa. Geos (27): 77-84.
- URBANI, F. y OSTOS, M. (1989). El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela. Geos, UCV, Caracas, (29):205-217.
- URBANI, F. (1996). El escintilómetro en la cartografía geológica: ejemplos de los Parques Nacionales Guatopo y El Ávila. Bol. S.V.G. 21(1): 37-44.
- URBANI, F. (2000). Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Geos, UCV, Caracas, 33: 1-170.
- URBANI, F., RODRÍGUEZ J. y VIVAS V. (2000). Geología del estado Vargas. 1. Nomenclatura actualizada de las unidades ígneo-metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa. II Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, Resúmenes, p. 621-622.

- URBANI, F. (2002). El Río Miguelena de Camurí Grande, estado Vargas: Una ventana a la geología de la Cordillera de la Costa. Guía de excursión. Ediciones de la Sociedad Venezolana Geólogos, Guía de Excursiones Geológicas, No. 02-1, 62 pp.
- URBANI, F. y RODRÍGUEZ, J. (2004). Atlas geológico de la Cordillera de La Costa Venezuela. Ediciones Fundación Geos, UCV. Caracas, Venezuela. 146 p.
- URBANI, F. (2005). Síntesis de la nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la cordillera de La Costa, Venezuela. IMME, vol. 43, no. 2, p. 1-10. ISSN 0376-723X. [Documento en línea]. Disponible: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0376-723X2005000200001&script=sci_arttext [Última consulta: 2011, septiembre 28].
- WALPOLE, R. MYERS, R. y MYERS, S. (1999). Probabilidad y estadística para ingenieros, Sexta edición. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. 739 p.
- WINKLER, H. (1978). Petrogénesis de Rocas Metamórficas. H.Blume Ediciones. Madrid, España. 346 p.

APÉNDICE

Tabla N° 8: Ubicación en coordenadas UTM de los puntos de muestreo en la Mina PIM 9000

Coordenada de inicio			r	Direcciones del mallado			θ	ΔX	ΔY	
19T	555968	1074195	20,00 m	36°	N	36°	E	54	11,76 m	16,18 m
				306°	N	54°	W	144	-16,18 m	11,76 m



	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K	
1	555968	1074195	555952	1074207	555936	1074219	555919	1074230	555903	1074242	555887	1074254	555871	1074266	555855	1074277	555839	1074289	555822	1074301	555806	1074313
2	555980	1074211	555964	1074223	555947	1074235	555931	1074246	555915	1074258	555899	1074270	555883	1074282	555866	1074293	555850	1074305	555834	1074317	555818	1074329
3	555992	1074227	555975	1074239	555959	1074251	555943	1074263	555927	1074274	555911	1074286	555894	1074298	555878	1074310	555862	1074321	555846	1074333	555830	1074345
4	556003	1074244	555987	1074255	555971	1074267	555955	1074279	555939	1074291	555922	1074302	555906	1074314	555890	1074326	555874	1074338	555858	1074349	555841	1074361
5	556015	1074260	555999	1074271	555983	1074283	555966	1074295	555950	1074307	555934	1074318	555918	1074330	555902	1074342	555886	1074354	555869	1074366	555853	1074377
6	556027	1074276	556011	1074288	555994	1074299	555978	1074311	555962	1074323	555946	1074335	555930	1074346	555914	1074358	555897	1074370	555881	1074382	555865	1074393
7	556039	1074292	556022	1074304	556006	1074316	555990	1074327	555974	1074339	555958	1074351	555941	1074363	555925	1074374	555909	1074386	555893	1074398	555877	1074410
8	556050	1074308	556034	1074320	556018	1074332	556002	1074344	555986	1074355	555969	1074367	555953	1074379	555937	1074391	555921	1074402	555905	1074414	555888	1074426
9	556062	1074324	556046	1074336	556030	1074348	556014	1074360	555997	1074371	555981	1074383	555965	1074395	555949	1074407	555933	1074418	555916	1074430	555900	1074442
10	556074	1074341	556058	1074352	556041	1074364	556025	1074376	556009	1074388	555993	1074399	555977	1074411	555961	1074423	555944	1074435	555928	1074446	555912	1074458
11	556086	1074357	556069	1074369	556053	1074380	556037	1074392	556021	1074404	556005	1074416	555988	1074427	555972	1074439	555956	1074451	555940	1074463	555924	1074474
12	556097	1074373	556081	1074385	556065	1074396	556049	1074408	556033	1074420	556016	1074432	556000	1074444	555984	1074455	555968	1074467	555952	1074479	555936	1074491
13	556109	1074389	556093	1074401	556077	1074413	556061	1074424	556044	1074436	556028	1074448	556012	1074460	555996	1074471	555980	1074483	555963	1074495	555947	1074507
14	556121	1074405	556105	1074417	556088	1074429	556072	1074441	556056	1074452	556040	1074464	556024	1074476	556008	1074488	555991	1074499	555975	1074511	555959	1074523
15	556133	1074422	556116	1074433	556100	1074445	556084	1074457	556068	1074469	556052	1074480	556035	1074492	556019	1074504	556003	1074516	555987	1074527	555971	1074539
16	556144	1074438	556128	1074449	556112	1074461	556096	1074473	556080	1074485	556063	1074496	556047	1074508	556031	1074520	556015	1074532	555999	1074544	555983	1074555
17	556156	1074454	556140	1074466	556124	1074477	556108	1074489	556091	1074501	556075	1074513	556059	1074524	556043	1074536	556027	1074548	556010	1074560	555994	1074571

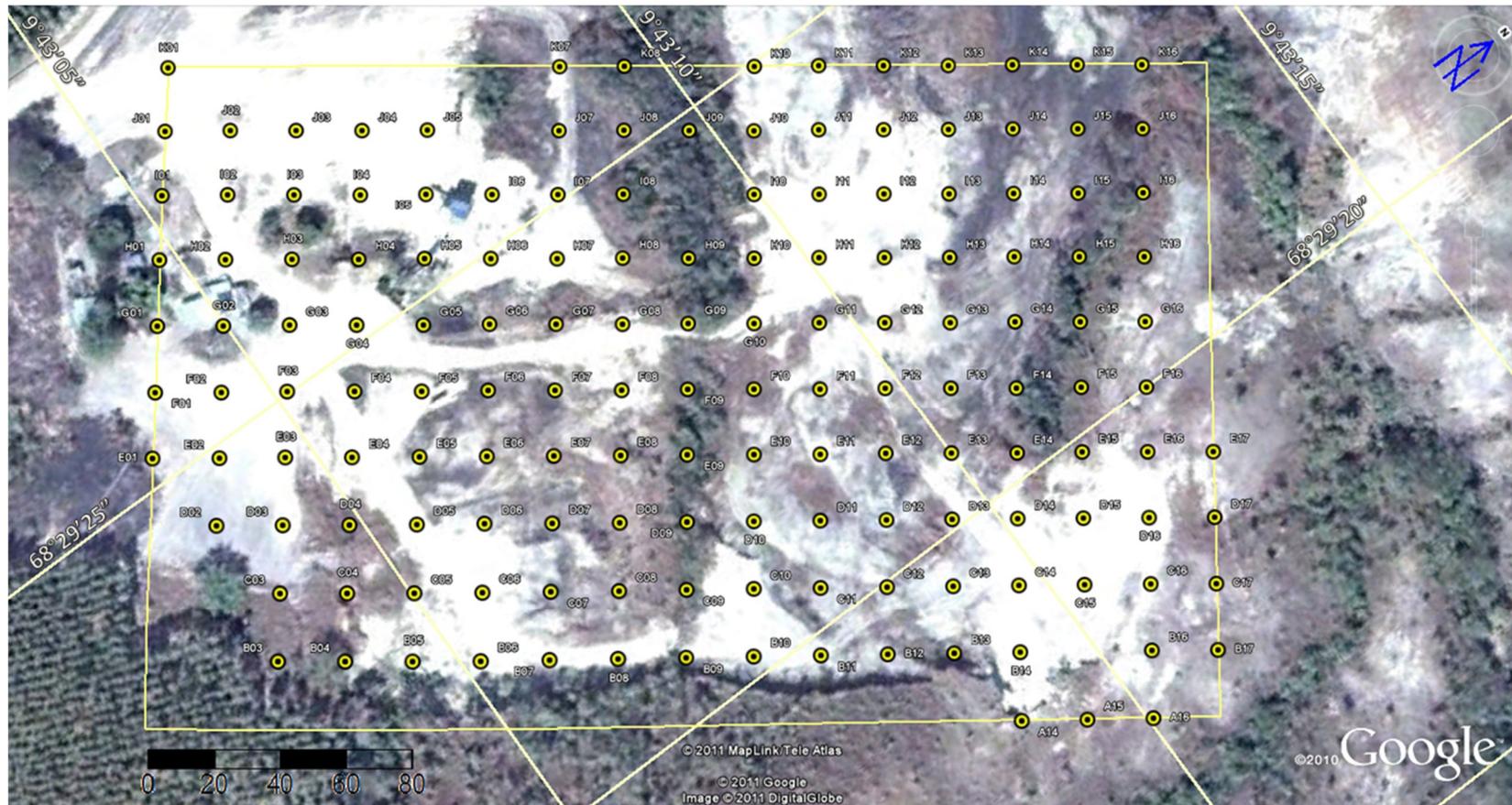


Figura N° 33: Imagen satelital de la zona de estudio. Resaltado en el recuadro amarillo está la zona de la mina seleccionada, incluyendo los 152 puntos de mediciones radiométricas (30 de ellos analizados con los ensayos de laboratorio). Imagen tomada el 27/01/2009, publicadas por GoogleTM.

Tabla N° 9: Descripciones de muestras de mano

Muestra	Conservación	Mineralogía	Color	Descripción
A14	Muestras medianas	Plagioclasa, cuarzo	Marrón rojizo claro	Muy meteorizada, muy friable
B04	Muestras grandes	Plagioclasa, Cuarzo, mica	Beige con manchas negras y anaranjadas	Muy meteorizada, friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
B06	Muestras pequeñas	Cuarzo, plagioclasa, mica	Beige con manchas negras	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
B07	Muestras grandes	Cuarzo, Plagioclasa, mica	Abigarrado (negro-marrón-blanco)	Muy meteorizado, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
B08	Muestras pequeñas a grava	Plagioclasa, Cuarzo	Marrón muy rojizo	Muy meteorizado, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
B11	Medianas y grava	Cuarzo, Plagioclasa, Minerales oscuros	Beige con manchas negras	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
B12	Muestras grandes	Plagioclasa, cuarzo	Abigarrado (negro-marrón-blanco)	Muy meteorizada, muy friable
B14	Muestras grandes	Cuarzo, Plagioclasa, Mica,	Marrón oscuro con manchas rojas	Muy meteorizada, friable, presenta alto contenido de minerales de hierro oxidados
B16	Muestras medianas	Cuarzo, plagioclasa	Beige	Muy meteorizada, muy friable

Muestra	Conservación	Mineralogía	Color	Descripción
B17	Muestras medianas y pequeñas	Plagioclasa, Cuarzo,	Marrón claro con manchas negras	Muy meteorizado, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
C04	Grava y arena	Cuarzo, Plagioclasa	Marrón	Muestra meteorizada, poco friable
C05	Muestra medianas y pequeñas, llega a grava	Cuarzo, Plagioclasa	Marrón, Crema, Gris Claro	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
C06	Grava gruesa y arena	Cuarzo, Plagioclasa, Mica	Abigarrado (Gris, Marrón, crema)	La muestra se presenta como grava y arena, donde los colores oscuros predominan
C07	Muestras pequeñas	Cuarzo, Plagioclasa, Mica	Abigarrado (Gris, Marrón, crema)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
C08	Muestras Grandes y medianas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Abigarrado (Gris, Marrón, crema)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
C09	Muestras medianas y pequeñas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Abigarrado (Gris, Marrón, crema)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
C10	Muestra grande	Plagioclasa, cuarzo	Abigarrado (crema, gris claro, naranja)	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
C11	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo. Mica, Plagioclasa	Abigarrado (gris, marrón, naranja, crema)	Muy meteorizada, muy friable alto contenido de minerales de hierro muy oxidados
C12	Muestras medianas	Cuarzo, plagioclasa, mica	Abigarrado (marrón, naranja, crema)	Muy meteorizada, friable, presenta alto contenido de minerales de hierro oxidados

Muestra	Conservación	Mineralogía	Color	Descripción
C13	Muestras medianas y pequeñas	No se puede definir	Abigarrado (Negro, marrón oscuro, crema)	Muy meteorizada, muy friable alto contenido de minerales de hierro muy oxidados
C14	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo, Plagioclasa	Rojizo, crema	Muy oxidada, muy friable, muy meteorizada
C15	Muestras medianas y pequeñas	Plagioclasa, cuarzo, mica	Rojizo, crema	Muy oxidada, muy friable, muy meteorizada
C17	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo, Plagioclasa	Crema, gris claro, marrón claro	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
D05	Muestras medianas	Cuarzo, Mica, Plagioclasa	Abigarrado (Rojizo, Crema)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidado
D06	Muestras pequeñas	Cuarzo, mica, plagioclasa	Abigarrado (rojizo, crema)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidado
D07	Muestras medianas y pequeñas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Abigarrado (Marrón, Naranja, crema)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidado
D08	Muestras medianas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica, Minerales Oscuros	Abigarrado (Marrón Oscuro, crema, gris)	Muy meteorizado, friable, alto contenido de minerales de hierro que presentan oxidación
D09	Muestras medianas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Marrón rojizo claro	Las muestras tienen un tamaño adecuado, puede hacerse sección fina
D10	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo, Plagioclasa, Goethita	Abigarrado (Crema, Marrón)	Muestra muy meteorizada, las fracturas se presentan rellenas por minerales oxidados (goethita)

Muestra	Conservación	Mineralogía	Color	Descripción
D11	Muestras medianas	Cuarzo, Mica, Minerales oscuros	Gris Claro, Marrón, Crema	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
D12	Muestras medianas y pequeñas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Crema, Marrón claro,	Muy meteorizada, friable, presenta alto contenido de minerales de hierro oxidados
D13	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo, Mica, Plagioclasa	Gris oscuro, marrón, naranja	Muy meteorizada, muy friable
D15	Muestras Medianas y pequeñas	Cuarzo, Plagioclasa, Mica	Abigarrado (Negro, Marrón oscuro, crema, naranja)	Muy meteorizada, friable, presenta alto contenido minerales de hierro oxidados
D16	Muestras medianas	Cuarzo, Plagioclasa	Beige	Muy Meteorizada, muy friable, la plagioclasa se presenta caso totalmente alterada
D17	Arena	No se puede definir	Gris	Arena de color gris claro
E04	Muestra grande	Cuarzo, plagioclasa, mica	Abigarrado (gris claro, crema, naranja)	Muy meteorizada, contiene minerales de hierro que presentan oxidación
E06	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo, Plagioclasa, Mica	Abigarrado (gris claro, crema, naranja)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
E07	Muestras grandes, medianas	Cuarzo, plagioclasa, micas, minerales oscuros	Abigarrado (gris, marrón, crema, negro)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
E09	Muestras grandes, medianas	Cuarzo, mica, plagioclasa	Marrón, crema, gris claro	Muy meteorizada, extremadamente friable, alto contenido de minerales de hierro

Muestra	Conservación	Mineralogía	Color	Descripción
E10	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo, Mica, Minerales oscuros	Gris claro, crema, marrón	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
E12	Muestra grande	Cuarzo, mica, plagioclasa	Abigarrado (marrón oscuro, marrón claro)	Muestra meteorizada, con alto contenido de minerales de hierro muy oxidados.
E16	Muestras medianas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Crema, Marrón, Gris claro	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
E17	Arena	No se puede definir	Grisáceo	Muestra pulveriza con presencia de materia orgánica
F03	Muestra grande	Cuarzo, plagioclasa	Crema, marrón claro,	Muy meteorizada, con alto contenido de hierro
F05	Muestras pequeñas	Cuarzo, plagioclasa, mica	Abigarrado (marrón oscuro, Marrón Claro, naranja, crema)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
F06	Muestra pequeña	No se puede definir	Abigarrado (Rojo, Crema, Marrón, Negro)	Muy meteorizada y friable; se deshace con facilidad. Presenta oxidación muy marcada
F07	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo, Mica, Plagioclasa	Abigarrado (Marrón Oscuro, crema, gris)	Muy meteorizada y friable; se deshace con facilidad
F08	Muestra pequeña	No se puede definir	Color Crema	Muy meteorizada y extremadamente friable, se deshace al tacto.
F10	Muestras medianas y pequeñas	No se puede definir	Abigarrado (Marrón y crema)	Muy meteorizada y friable; se deshace con facilidad. Tiene mucho óxido.

Muestra	Conservación	Mineralogía	Color	Descripción
F11	Muestras medianas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Abigarrado (Marrón y crema)	Muy Meteorizada, muy friable, se deshace con facilidad, presenta minerales de hierro oxidados
F14	Grava	Cuarzo, Plagioclasa	Gris Claro, Marrón Claro	Grava de grano grueso
F15	Muestras pequeñas, grava	Cuarzo, Plagioclasa, Minerales oscuros	Abigarrado (negro, gris, marrón, crema)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
F16	Muestra grande	No se puede definir	Marrón claro, crema, gris claro y más oscuro hacia el tope	Forma parte del perfil superior del suelo, se presenta lixiviada hacia el tope con una capa oscura de aproximadamente 1 cm.
G07	Grava y arena	Plagioclasa, Cuarzo	Marrón claro, crema, gris claro	Se presenta como grava de grano fino a arena
G08	Grava y arena	Plagioclasa, Cuarzo	Beige	Se presenta como grava de grano fino a arena
G11	Muestras medianas y pequeñas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Abigarrado (gris , rojo y crema)	Muestra muy meteorizado y friable
G12	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo, mica, plagioclasa	Abigarrado (marrón, crema, gris)	Muestra muy meteorizada, extremadamente friable. La muestra se presenta muy fracturada
G13	Muestras grandes	Cuarzo, Plagioclasa, Mica	Abigarrado (gris, naranja, crema)	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados

Muestra	Conservación	Mineralogía	Color	Descripción
G14	Muestras pequeñas	Cuarzo, mica, plagioclasa	Abigarrado oscuro (rojo-negro-marrón)	Muy meteorizada, muy friable, alto contenido de minerales de hierro oxidados
G16	Muestras medianas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Abigarrado (naranja, crema)	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
H06	Muestras Pequeñas y arena gruesa	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Abigarrado (Rojo con manchas)	Muy meteorizada, muy friable, presenta contenido de minerales de hierro oxidados
H10	Muestra grande	Plagioclasa, Cuarzo	Beige, Naranja	Muy meteorizada, muy friable
H12	Muestra grande	Plagioclasa, cuarzo, mica	Abigarrado (naranja, marrón, crema, gris)	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
H13	Muestras medianas y pequeñas	Cuarzo , Biotita con alto contenido de hierro	Abigarrado (Marrón, Rojo, Crema, gris)	Muy meteorizada y friable; se deshace con facilidad. Presenta oxidación muy marcada,
H14	Grava y arena	No se puede definir	Marrón	Muestra Pulverizada
H16	Muestras grandes y medianas	Plagioclasa	Abigarrado (Crema, Marrón Oscuro)	Muy meteorizada, muy friable
I10	Arena y grava	No se puede definir	Beige con tonalidad anaranjada	Muy meteorizada, muy friable
I11	Muestras grandes y medianas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Crema, gris claro, marrón claro	Muy meteorizada, muy friable

Muestra	Conservación	Mineralogía	Color	Descripción
I13	Muestras medianas	Cuarzo, plagioclasa, mica	Gris oscuro, marrón	Muy meteorizada, muy friable
J10	Grava gruesa y arena	Cuarzo,	Marrón claro	La muestra se presenta como arena
J11	Grava y arena	No se puede definir	Beige	Muestra Pulverizada
J12	Muestras grandes	Cuarzo, mica, plagioclasa	Blanco, gris, rojo	Muy meteorizada y friable. Presencia minerales de hierro con óxidos
J13	Muestra grande	Cuarzo, mica, plagioclasa	Marrón claro con manchas rojas y negras	Muy meteorizada, poco friable, minerales de hierro con óxido
J14	Arena y grava	No se puede definir	Beige	Muy meteorizada, muy friable
J15	Muestras medianas	Plagioclasa, Cuarzo, Mica	Marrón Grisáceo	Muy Meteorizada, Muy Friable, contiene minerales de hierro oxidados
J16	Grava y arena	No se puede definir	Marrón claro	Muy meteorizada, muy friable
K11	Muestras grandes	Cuarzo, Plagioclasa , Mica	Abigarrado (negro, marrón, rojo)	Muy meteorizada, friable, presenta minerales de hierro oxidados
K12	Muestras medianas	Cuarzo, Plagioclasa , Mica, Minerales oscuros	Marrón	Muy meteorizada, muy friable.

Tabla N° 10: Valores de radiación γ dado en *cps* para cada punto del mallado, en cada una de las ventanas de medición de radiación. Los valores aquí representados son el resultado del promedio de 2 mediciones para cada valor.

Punto	Tc ₁	Tc ₂	K	U	Th
A14	1164,5	459,0	29,5	27,0	34,5
A15	1164,0	489,5	28,5	28,0	30,0
A16	1149,0	496,5	30,0	27,0	31,0
B04	1442,5	629,0	44,5	35,0	44,0
B05	1358,0	609,5	43,0	38,5	50,5
B06	1469,5	679,0	39,0	38,0	50,5
B07	1352,0	588,5	44,0	34,0	44,0
B08	1387,0	421,0	39,5	35,0	36,5
B09	1277,5	523,5	28,0	28,5	34,0
B10	1065,5	426,5	31,5	23,0	27,0
B11	1353,0	595,0	42,0	35,5	40,0
B12	1357,5	598,0	42,0	35,0	45,5
B13	1156,5	464,5	25,0	25,0	30,5
B14	1397,5	613,0	39,5	38,0	44,5
B16	1200,5	492,5	31,5	24,0	31,0
B17	1224,0	517,0	28,5	28,5	33,0
C03	1301,5	517,0	37,5	31,0	42,0
C04	1044,5	437,5	29,5	25,0	33,5
C05	1313,0	555,0	37,0	31,0	34,5
C06	1341,5	563,0	40,0	34,5	32,5
C07	1318,5	541,5	35,5	31,5	41,5
C08	1284,5	543,5	33,0	29,0	44,5
C09	1292,5	563,0	42,5	31,5	35,0
C10	1406,0	652,0	37,5	41,5	38,0
C11	1229,5	546,0	39,5	28,5	35,5
C12	1252,5	565,5	36,0	29,5	33,5
C13	1256,0	538,0	36,0	25,0	35,5
C14	1257,0	584,5	34,0	33,0	29,0
C15	1307,0	608,0	33,0	31,0	25,5
C16	1208,0	528,0	32,5	25,0	24,5
C17	1240,0	552,0	34,0	27,0	25,5
D02	1236,0	534,5	33,0	27,5	31,5
D03	1214,5	545,5	34,0	24,5	35,5
D04	1285,0	529,5	36,0	27,5	39,5
D05	1087,0	458,0	26,0	23,5	33,5
D06	1180,0	513,5	36,5	30,0	39,0
D07	1128,5	481,0	30,5	27,0	26,5

Punto	Tc₁	Tc₂	K	U	Th
D08	1297,0	592,0	45,5	35,0	26,5
D09	1231,5	529,0	34,0	23,0	39,0
D10	1269,5	577,0	34,0	31,5	37,5
D11	1348,0	607,0	39,0	32,5	40,0
D12	1306,5	576,0	42,5	37,5	36,5
D13	1268,5	570,0	40,5	34,5	38,0
D14	1333,5	606,5	38,0	32,5	41,5
D15	1273,5	565,5	32,5	30,5	40,5
D16	1082,0	451,0	31,0	22,0	21,5
D17	1129,0	490,0	32,0	22,5	22,0
E01	1317,0	561,5	38,0	34,5	39,0
E02	1244,0	533,0	33,5	30,5	27,5
E03	1196,5	547,5	29,5	21,5	24,0
E04	1285,0	590,0	32,5	28,5	32,0
E05	1183,5	549,5	33,5	24,5	27,0
E06	1277,5	563,5	38,0	28,5	25,5
E07	1225,0	525,5	33,5	31,5	24,5
E08	1243,5	547,0	34,0	23,0	37,5
E09	1289,0	524,0	37,5	28,0	33,5
E10	1236,0	556,0	35,0	28,0	34,0
E11	1305,5	565,5	34,5	29,5	34,5
E12	1487,0	632,5	40,0	31,0	39,5
E13	1270,5	571,5	31,5	30,5	36,0
E14	1402,0	606,5	38,5	29,5	39,0
E15	1428,5	648,0	37,5	35,0	45,5
E16	1437,5	617,5	41,0	34,0	41,0
E17	1280,5	548,5	38,5	30,5	41,5
F01	1376,0	561,5	48,0	36,0	46,5
F02	1121,5	467,0	25,0	26,0	28,0
F03	1227,0	489,5	32,0	23,5	31,0
F04	1095,0	471,0	28,0	23,5	26,5
F05	1098,5	459,0	23,5	27,5	35,5
F06	1089,0	437,5	30,0	23,5	35,0
F07	1125,5	475,5	29,5	23,0	35,5
F08	1075,5	449,0	28,0	26,0	22,0
F09	1393,5	600,5	41,5	37,0	45,0
F10	1247,5	538,5	40,5	38,5	41,0
F11	1274,0	527,0	32,5	29,5	41,0
F12	1235,0	544,5	28,5	27,0	33,5
F13	1329,5	586,0	41,0	27,0	41,0
F14	1234,5	501,0	30,5	29,0	31,5

Punto	Tc ₁	Tc ₂	K	U	Th
F15	1298,0	534,5	35,5	30,0	39,5
F16	1245,5	510,0	36,5	29,0	40,0
G01	1149,0	477,5	31,0	24,0	28,5
G02	1167,5	494,0	29,0	27,5	37,5
G03	1169,5	467,0	28,0	20,5	34,5
G04	1287,0	550,0	40,5	33,0	36,0
G05	1160,0	490,0	31,5	20,0	35,0
G06	1137,0	471,0	29,5	25,5	35,0
G07	1437,5	588,0	41,5	27,0	43,5
G08	1075,5	450,0	26,0	23,0	31,0
G09	1338,0	576,5	41,0	27,0	45,0
G10	1258,5	569,5	42,5	35,5	43,0
G11	1183,0	503,0	36,0	28,0	38,5
G12	1141,0	483,5	28,0	24,0	29,0
G13	1265,5	544,0	37,5	26,5	36,0
G14	1362,0	576,5	39,5	39,5	44,0
G15	1334,5	536,0	43,0	32,0	40,5
G16	1204,5	529,0	32,5	28,0	36,5
H01	1148,5	469,5	27,0	29,5	32,5
H02	1178,0	503,5	26,5	23,0	36,5
H03	1252,0	523,5	31,0	27,0	35,5
H04	1347,0	551,5	31,5	31,5	34,0
H05	1270,5	525,5	35,5	28,5	38,5
H06	1202,0	495,5	30,5	26,0	35,5
H07	1228,0	503,0	37,0	30,0	36,5
H08	1192,5	491,0	32,0	26,5	32,0
H09	1094,5	455,5	27,5	21,0	25,5
H10	1443,5	645,5	40,0	38,5	44,5
H11	1338,0	563,0	36,0	32,5	42,5
H12	1381,0	600,5	38,0	35,0	42,0
H13	1265,5	546,0	36,0	28,0	42,5
H14	1207,0	533,0	37,5	27,5	44,0
H15	1329,0	564,5	34,0	30,0	40,0
H16	1214,0	507,0	34,0	28,5	37,5
I01	1126,0	484,0	26,5	21,0	34,5
I02	1093,0	444,0	25,0	20,5	31,0
I03	1138,0	485,0	32,5	26,0	27,0
I04	1236,0	549,0	37,0	30,0	34,0
I05	1078,0	475,0	28,5	27,5	29,0
I06	1262,5	572,5	32,0	32,0	42,0
I07	1170,0	476,0	29,5	25,5	36,5

Punto	Tc₁	Tc₂	K	U	Th
I08	1158,5	485,5	29,0	23,0	33,0
I10	1173,0	501,0	26,5	25,5	34,5
I11	1136,5	462,0	25,5	19,5	27,0
I12	1156,5	480,5	31,0	26,5	31,0
I13	1397,0	585,0	35,0	34,0	45,5
I14	1218,0	519,5	34,0	29,0	37,0
I15	1241,0	545,5	33,5	30,5	35,5
I16	1123,5	515,0	32,0	31,0	36,5
J01	1186,5	540,0	28,0	29,0	33,5
J02	1090,5	452,0	28,0	24,5	28,5
J03	1026,0	534,5	34,0	31,5	37,0
J04	1180,0	511,5	33,5	32,5	37,0
J05	1204,0	531,0	29,5	29,0	33,0
J07	1197,5	490,5	29,0	26,0	36,0
J08	1140,5	451,5	31,5	24,0	30,5
J09	1257,0	519,0	36,5	30,5	41,0
J10	1227,0	506,0	29,5	26,0	34,0
J11	1288,5	577,5	40,0	26,0	41,0
J12	1520,0	660,0	41,0	41,5	44,0
J13	1585,0	692,5	45,5	38,5	45,0
J14	1189,5	499,0	31,5	23,5	34,5
J15	1212,5	524,5	30,0	22,5	35,5
J16	1228,0	518,0	35,0	25,5	30,5
K01	1191,0	524,5	35,0	31,5	40,5
K07	1124,5	482,5	32,5	28,0	30,5
K08	1235,5	534,0	25,5	25,0	26,5
K10	1166,5	497,0	35,0	26,5	33,0
K11	1204,5	512,0	35,0	29,0	31,0
K12	1268,5	559,0	38,0	35,5	25,5
K13	1206,0	533,5	30,5	31,5	34,0
K14	1204,5	507,5	34,5	27,0	35,5
K15	1205,5	504,5	34,0	29,5	31,5
K16	1190,0	505,0	29,0	25,5	33,5

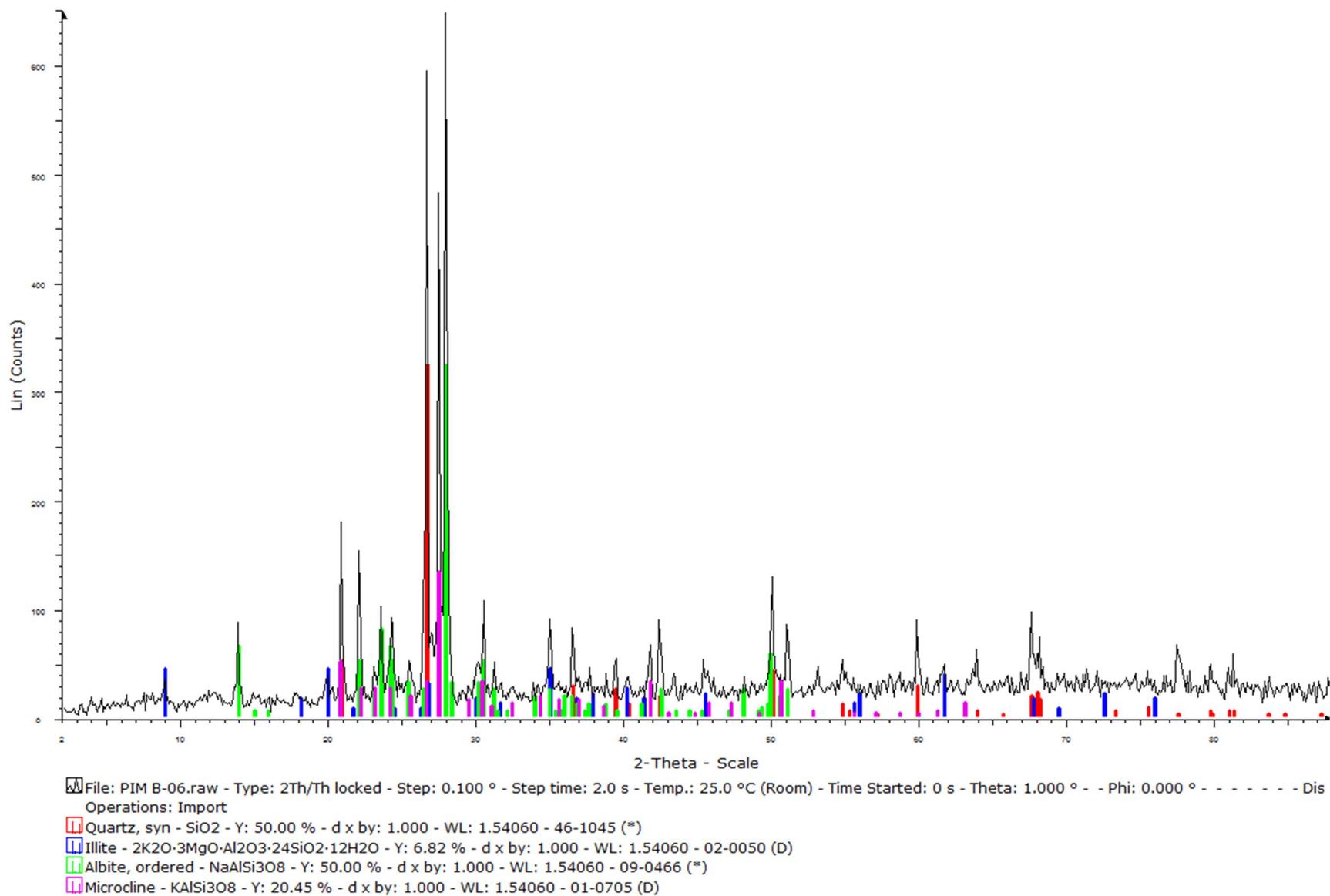
Tabla N° 11: Composición química, en porcentaje, dado por FRX – DE.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂
B06	63,432	26,074	3,979	0,550	0,127	0,035	0,209
B14	63,688	22,205	2,723	0,648	0,140	0,033	0,069
C04	82,017	8,700	4,160	0,319	0,173	0,049	<0,001
C08	62,994	22,464	2,194	1,314	0,151	0,047	0,107
C11	61,498	22,752	2,059	1,173	0,172	0,039	0,068
C14	68,609	21,868	2,061	0,925	0,123	0,039	0,113
C17	64,662	22,088	2,236	0,449	0,135	0,023	0,062
D06	64,454	20,210	2,215	0,948	0,137	0,032	0,121
D09	63,420	21,491	2,786	0,567	0,136	0,032	0,112
D11	65,434	20,580	2,366	0,579	0,220	0,047	0,073
D12	64,051	20,610	1,950	0,437	0,139	0,028	0,054
D16	60,068	28,464	3,292	0,590	0,150	0,024	0,182
E07	69,385	22,537	2,559	0,471	0,169	0,061	0,116
E10	63,031	20,562	3,033	0,601	0,213	0,042	0,171
E12	67,229	21,834	2,164	0,919	0,159	0,027	0,082
F05	69,467	14,742	2,446	0,376	0,055	0,021	0,153
F08	68,015	23,016	1,755	0,436	0,126	0,020	0,045
F10	62,353	21,121	2,733	0,525	0,116	0,063	0,159
F14	58,930	27,428	2,374	0,503	0,113	0,031	0,129
F16	70,272	20,653	2,366	0,630	0,133	0,029	0,132
G07	72,227	15,745	1,826	0,815	0,112	0,017	0,063
G12	73,223	12,359	1,550	0,367	0,091	0,032	<0,001
H06	66,058	21,618	2,811	1,273	0,146	0,039	0,225
H10	68,446	20,680	3,155	0,549	0,190	0,027	0,161
H12	67,558	21,141	2,470	0,702	0,167	0,031	0,176
I11	62,300	22,400	3,140	0,535	0,065	0,034	0,111
I13	67,129	24,464	2,270	0,917	0,130	0,029	0,134
J10	66,997	20,043	2,159	0,581	0,087	0,027	0,077
J13	67,896	21,062	3,707	0,799	0,184	0,044	0,176
K12	60,440	22,703	1,996	0,521	0,102	0,026	0,103

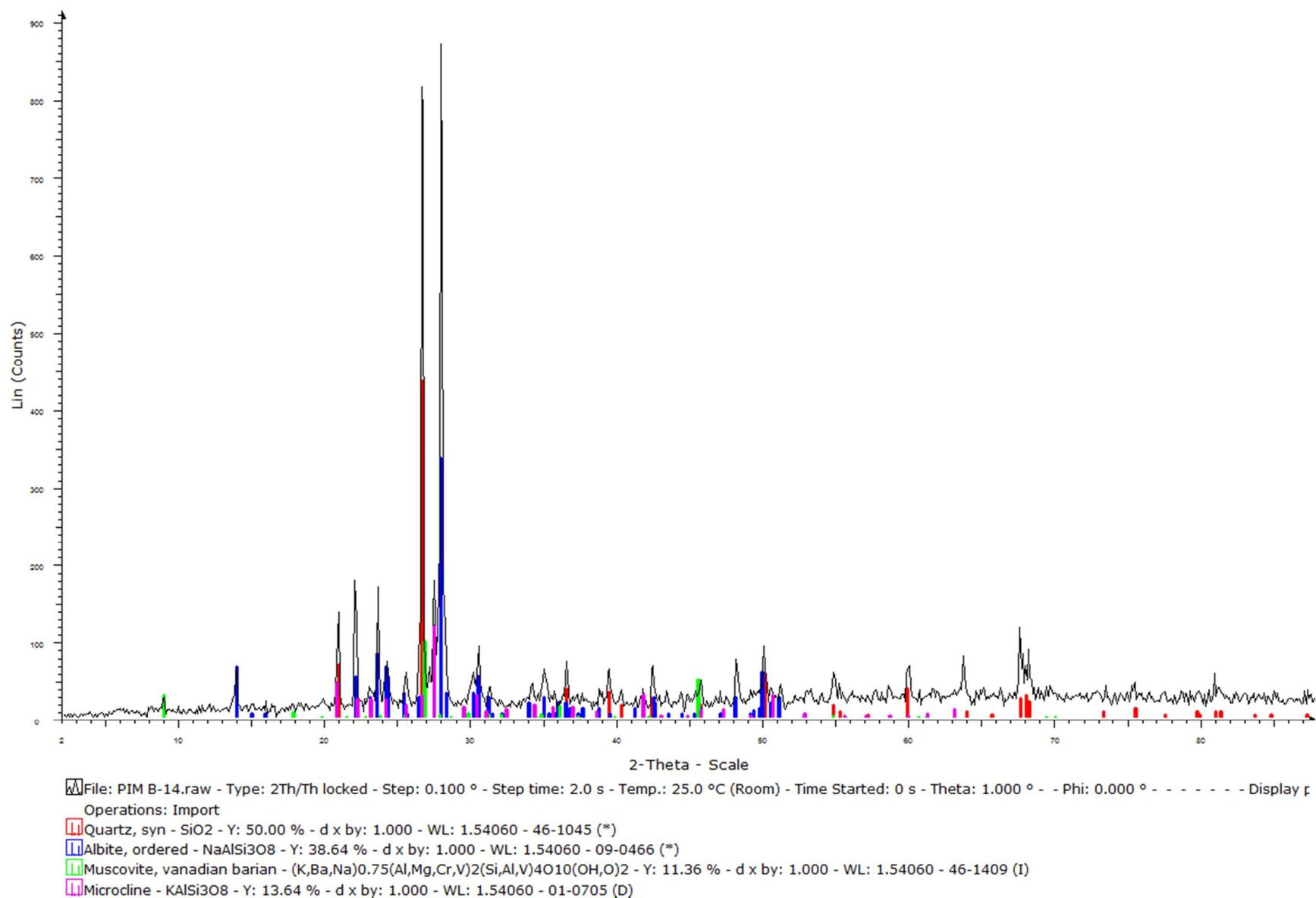
Tabla N° 12: Composición química, en porcentaje, dado por absorción atómica.

Muestra	K₂O	Na₂O
B06	2,697	2,732
B14	2,856	2,404
C04	0,244	2,160
C08	2,735	2,911
C11	1,954	4,032
C14	3,089	2,157
C17	2,323	3,315
D06	2,611	2,754
D09	2,639	3,229
D11	3,109	3,115
D12	3,273	3,691
D16	2,254	2,029
E07	2,489	2,250
E10	3,035	1,559
E12	4,169	3,124
F05	4,810	3,002
F08	3,932	1,970
F10	4,347	2,150
F14	2,527	3,314
F16	3,350	1,625
G07	2,720	1,926
G12	2,233	2,629
H06	2,123	1,661
H10	3,117	3,569
H12	2,734	1,793
I11	0,466	7,220
I13	3,590	2,060
J10	2,402	3,153
J13	2,513	3,957
K12	3,931	1,995

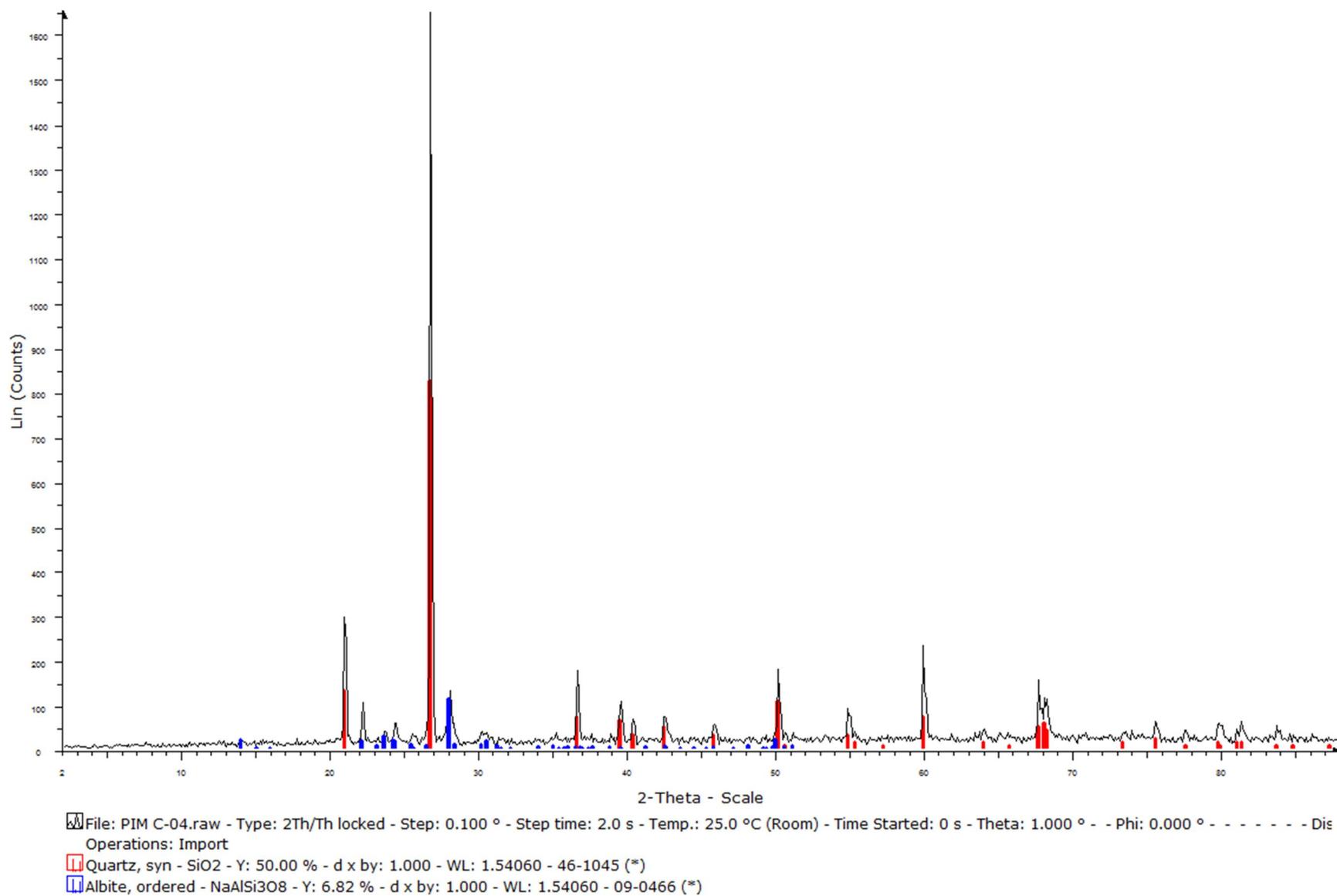
DIFRACTOGRAMAS DE LAS 30 MUESTRAS ANALIZADAS



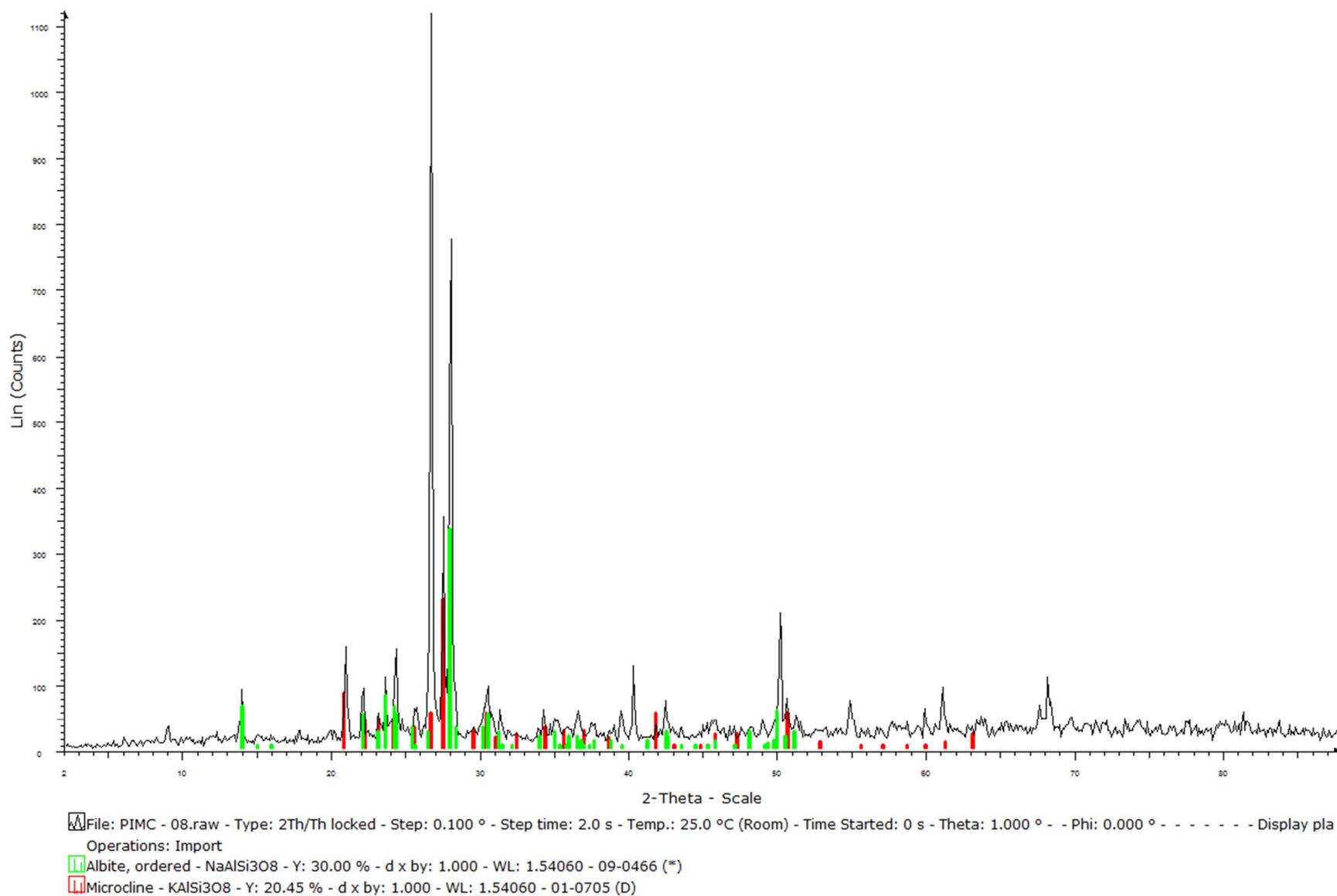
Difractograma de la muestra B06



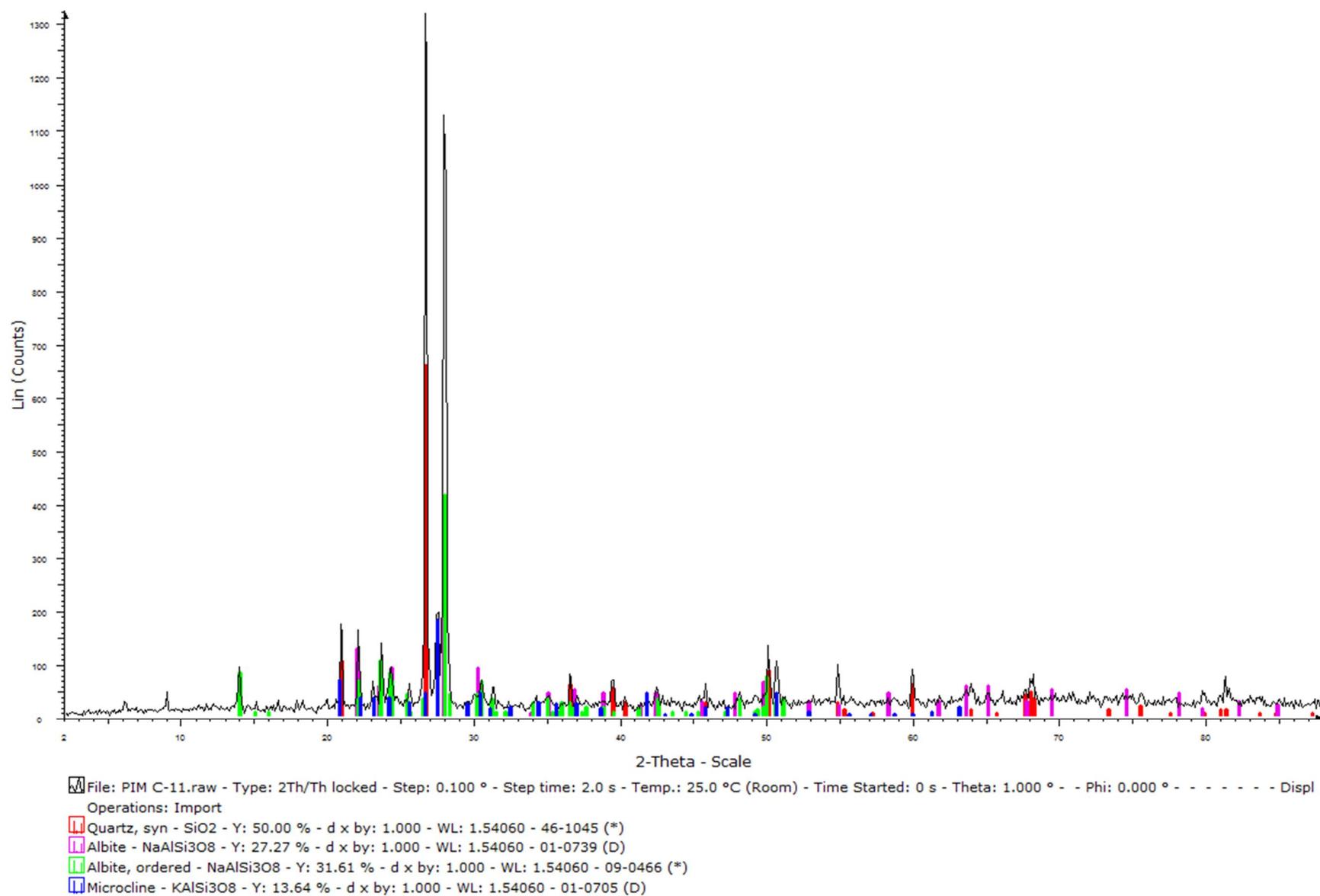
Difractograma de la muestra B14



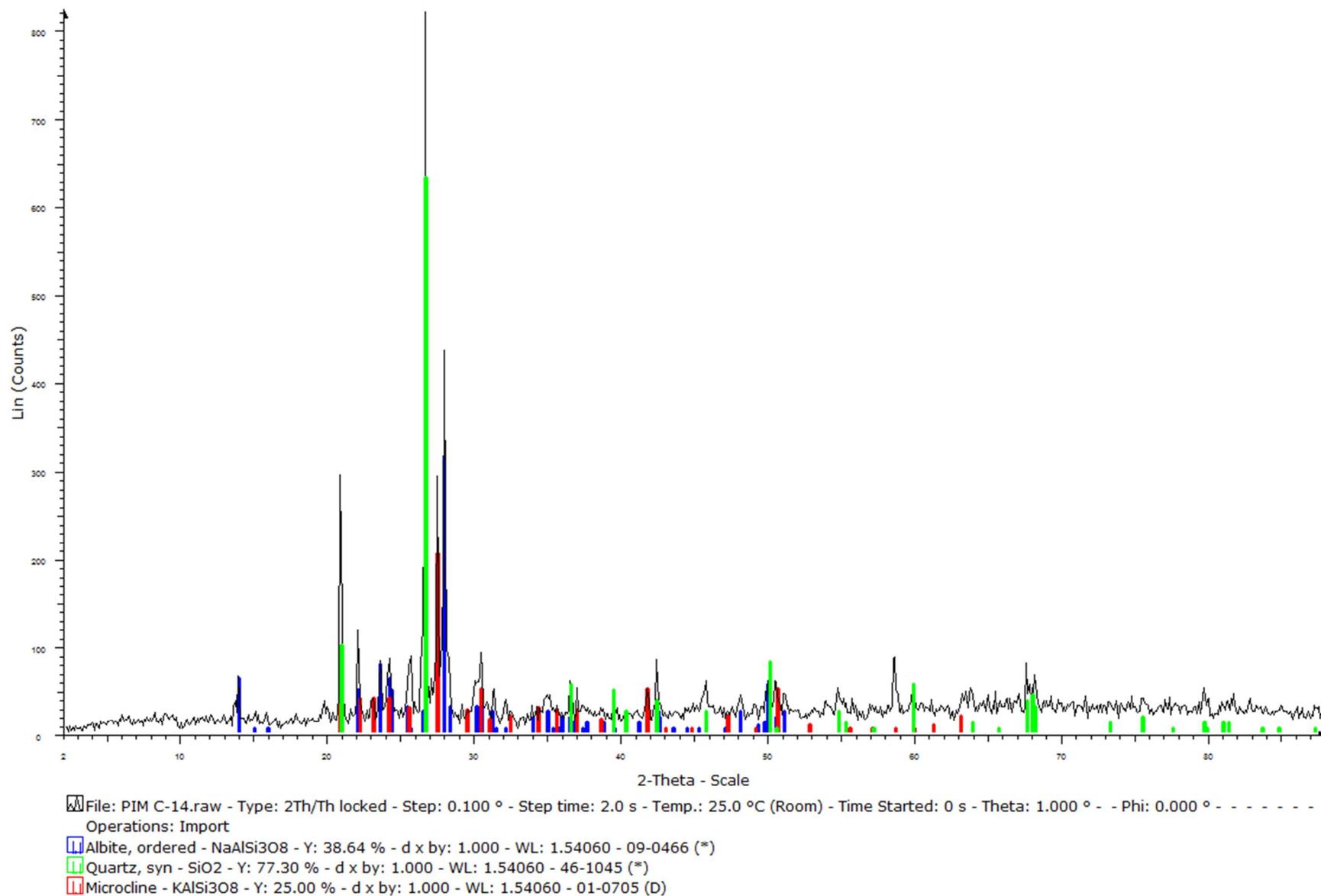
Difractograma de la muestra C04



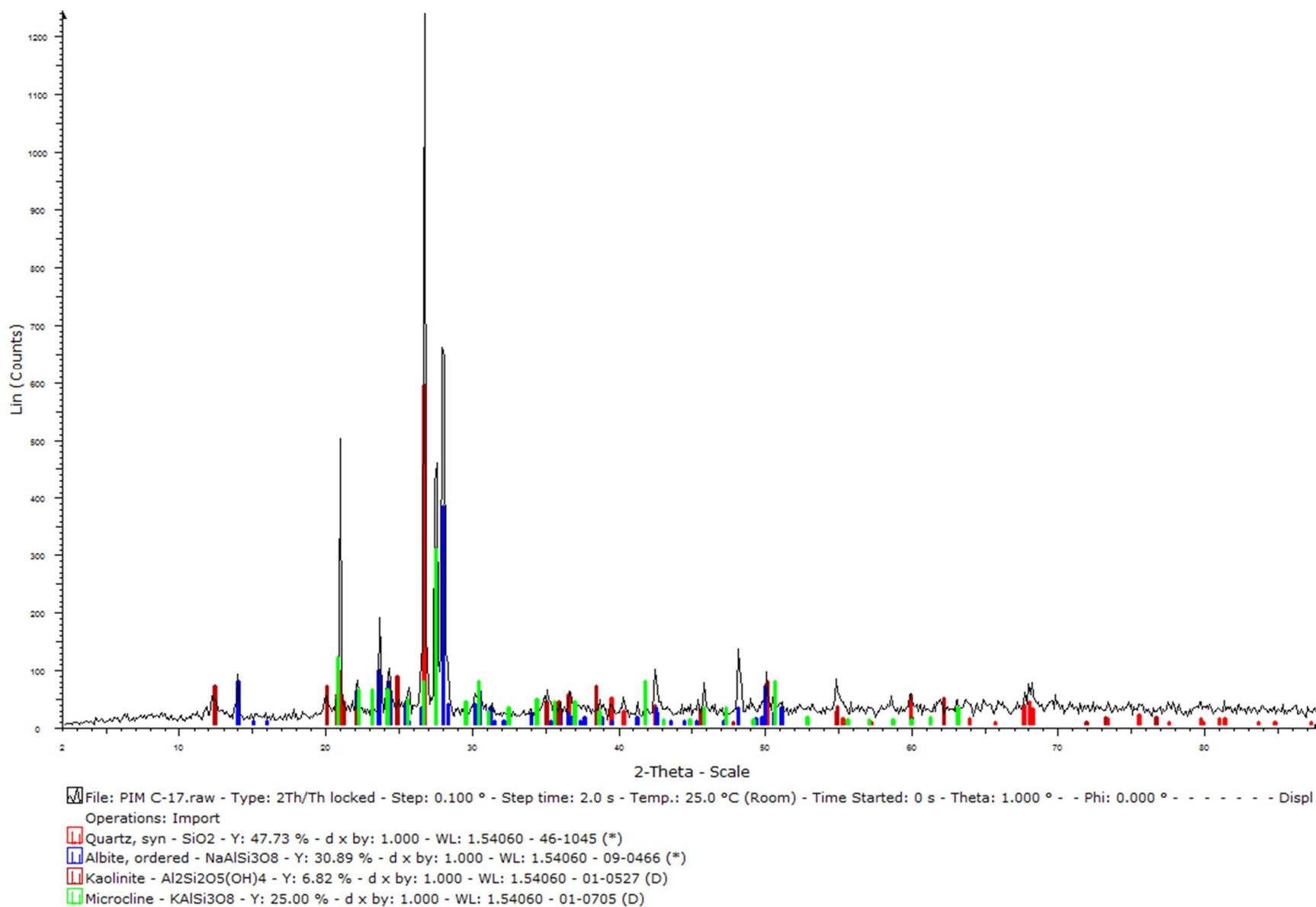
Difractograma de la muestra C08



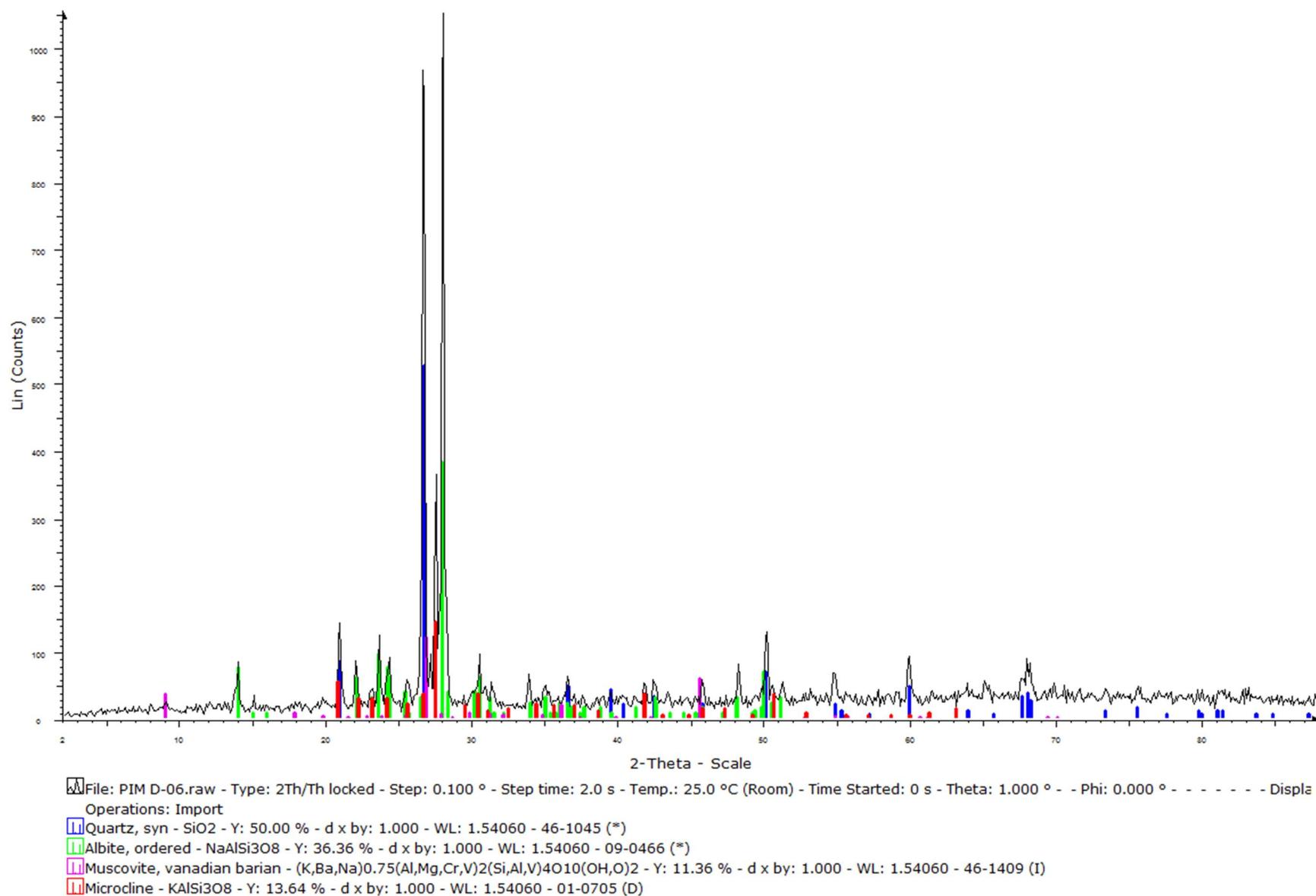
Difractograma de la muestra C11



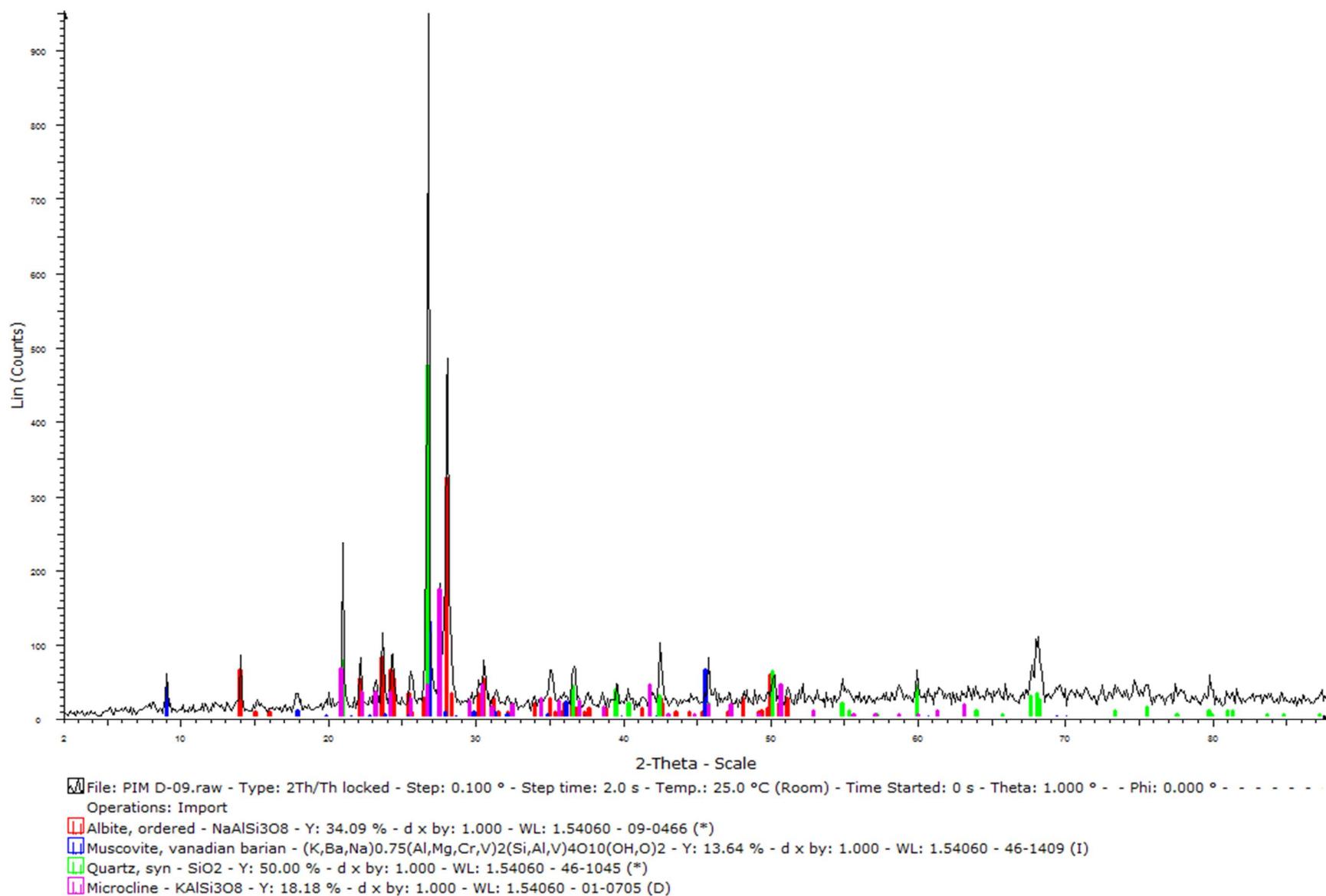
Difractograma de la muestra C14



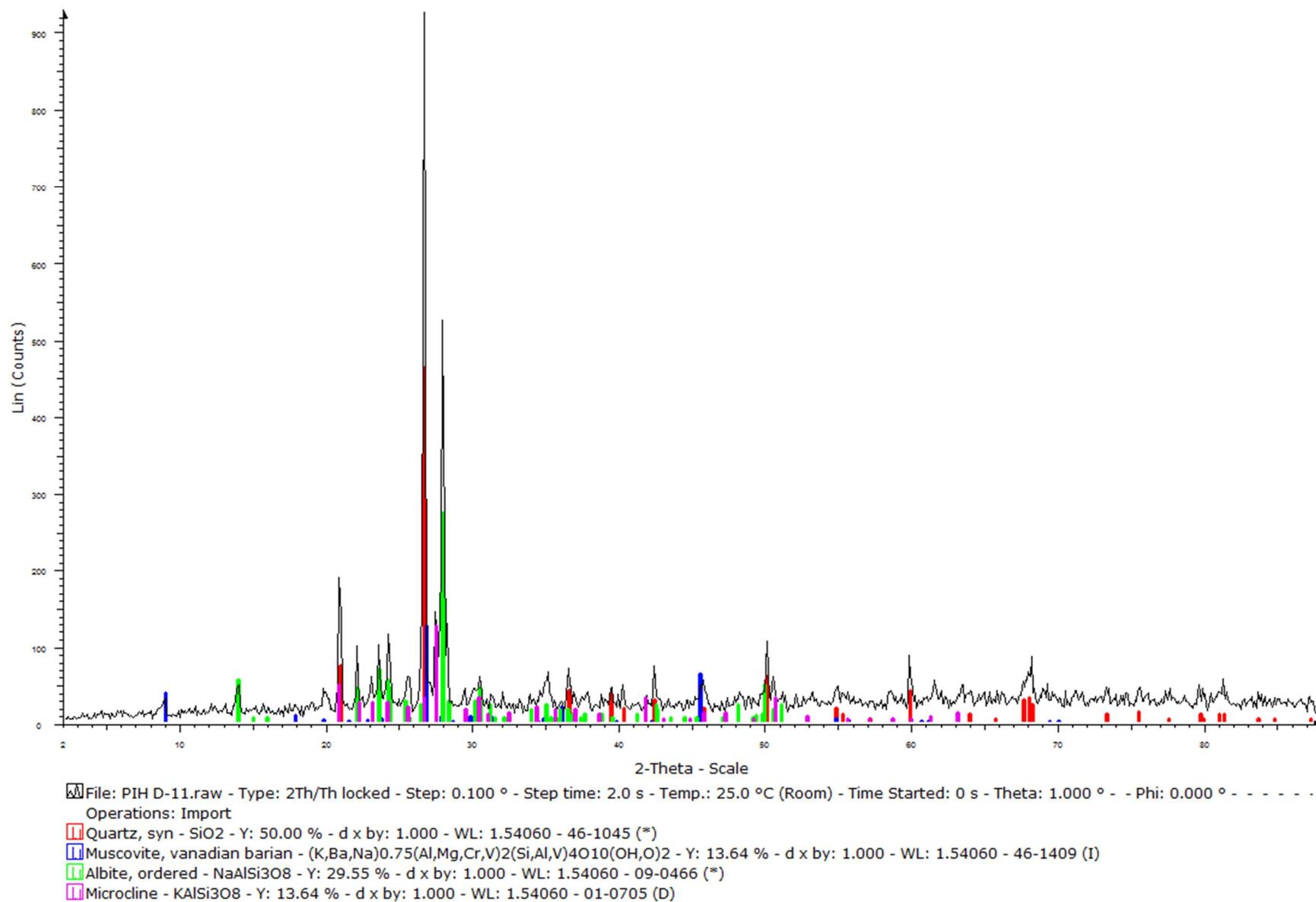
Difractograma de la muestra C17



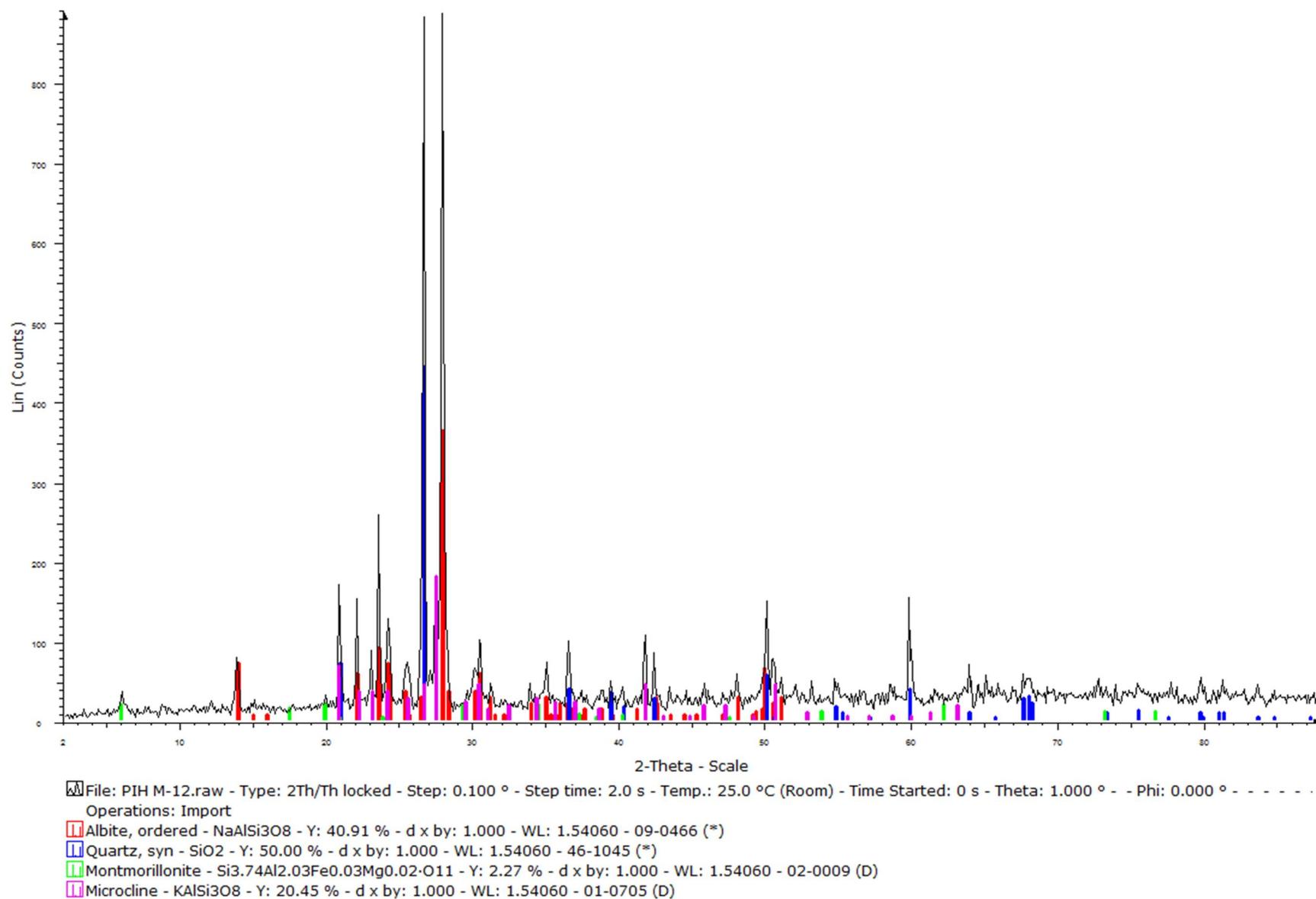
Difractograma de la muestra D06



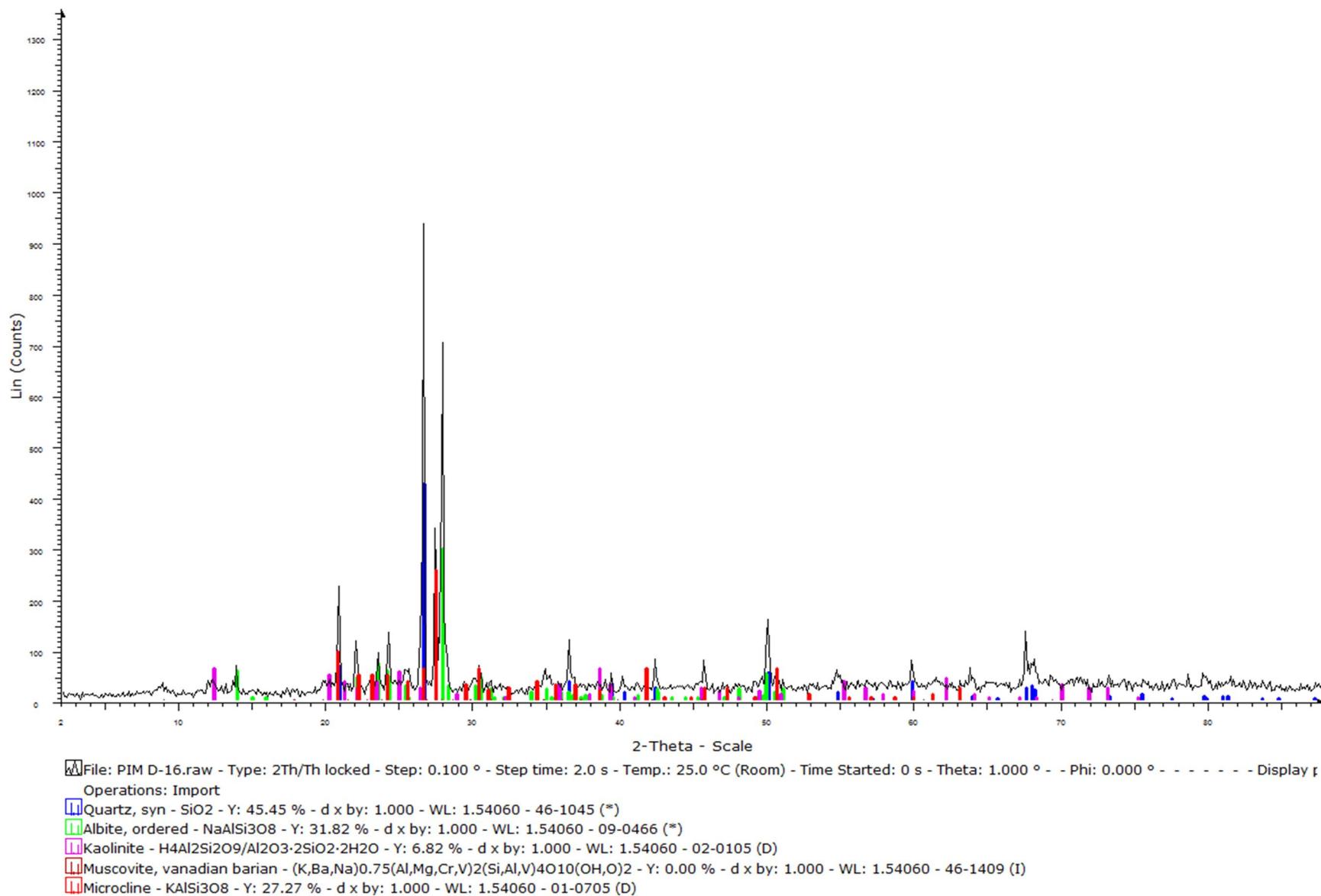
Difractograma de la muestra D09



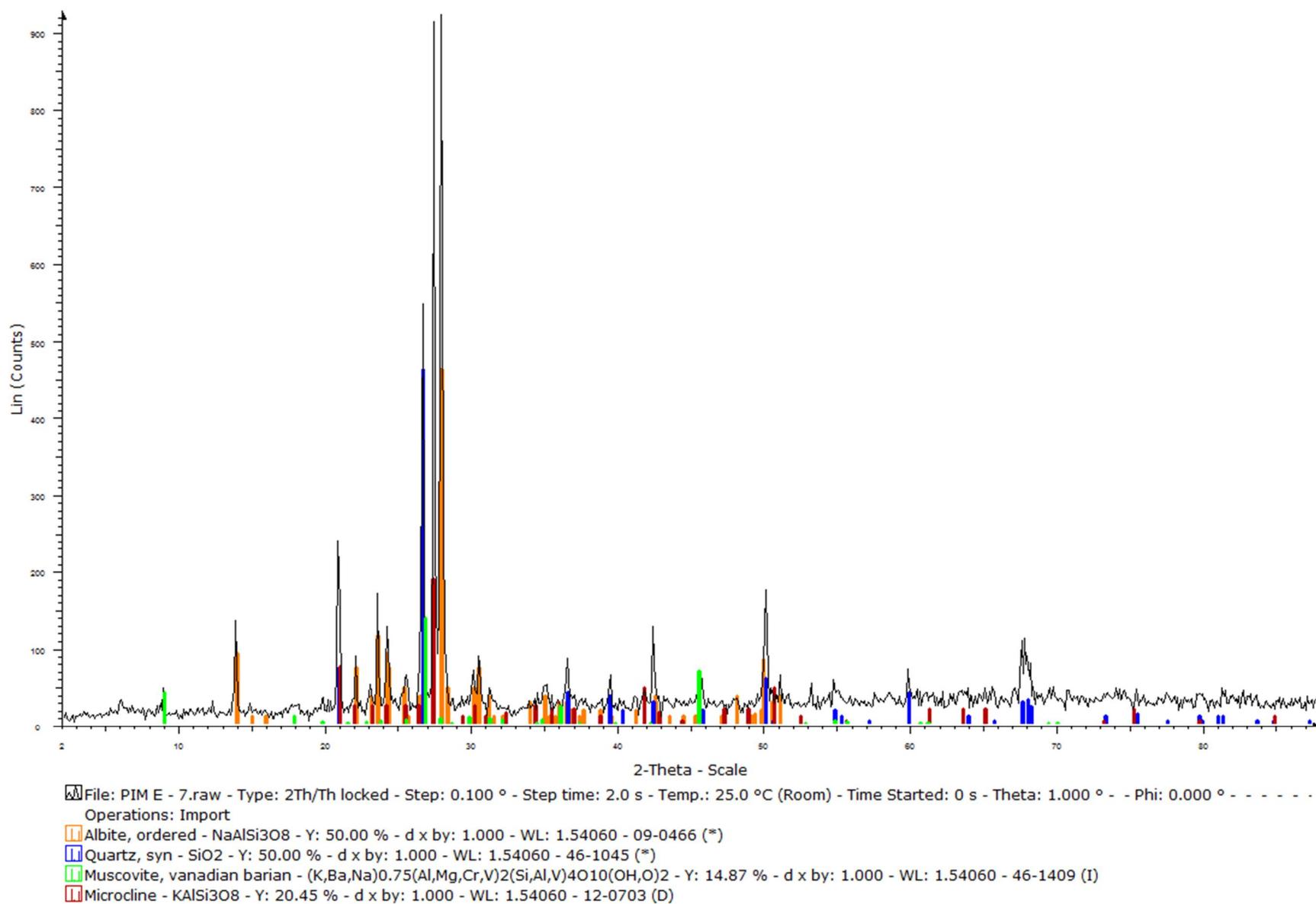
Difractograma de la muestra D11



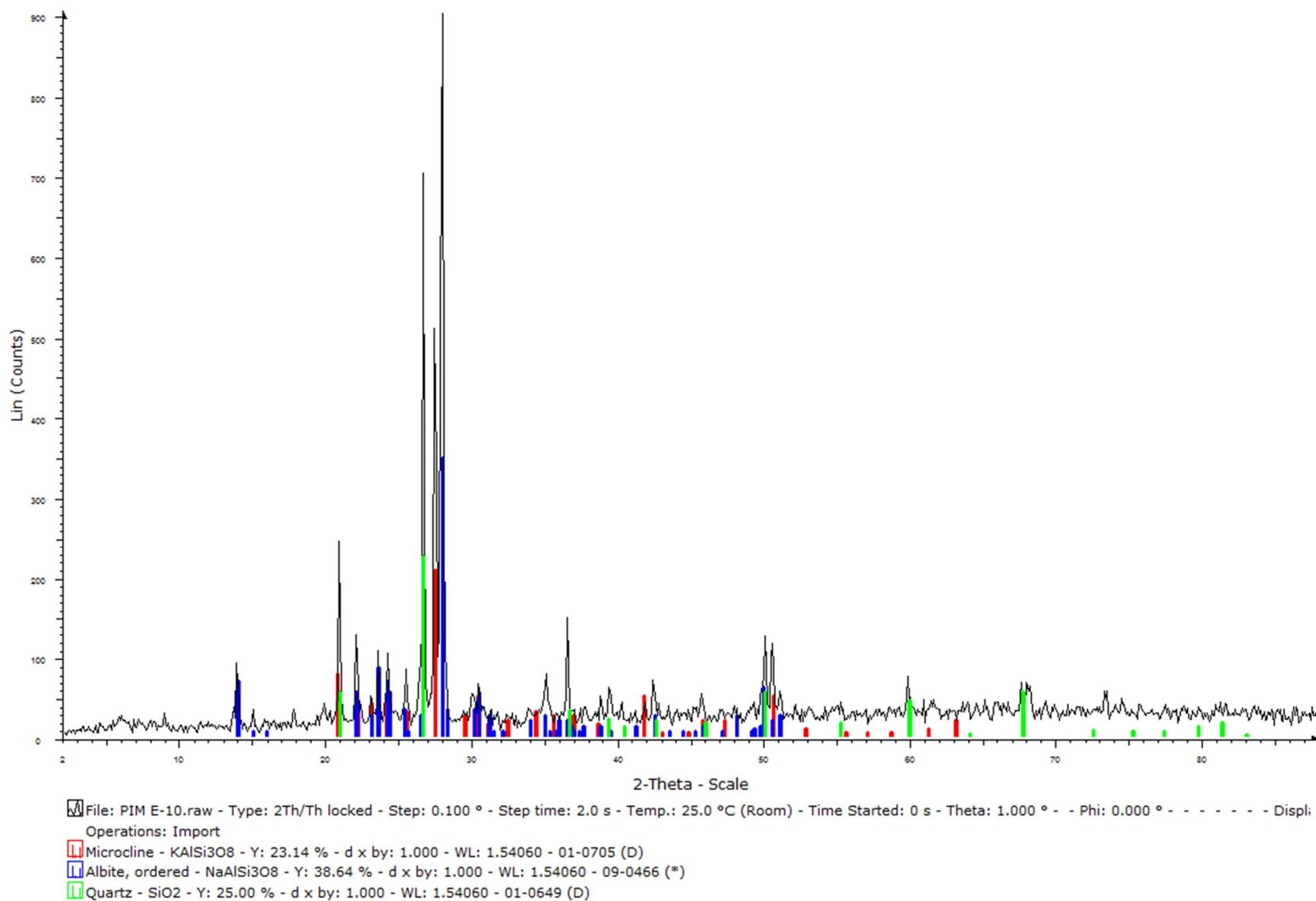
Difractograma de la muestra D12



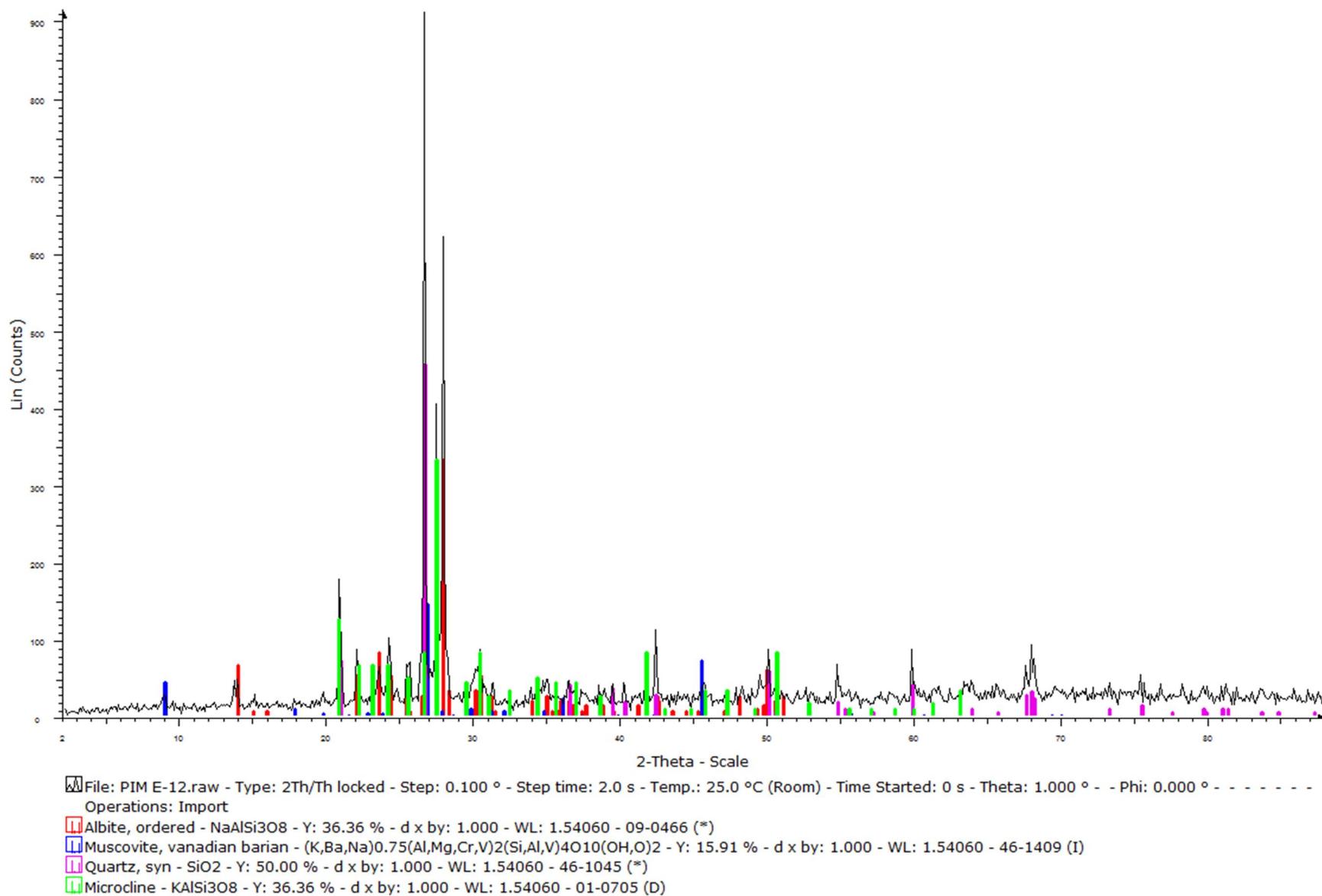
Difractograma de la muestra D16



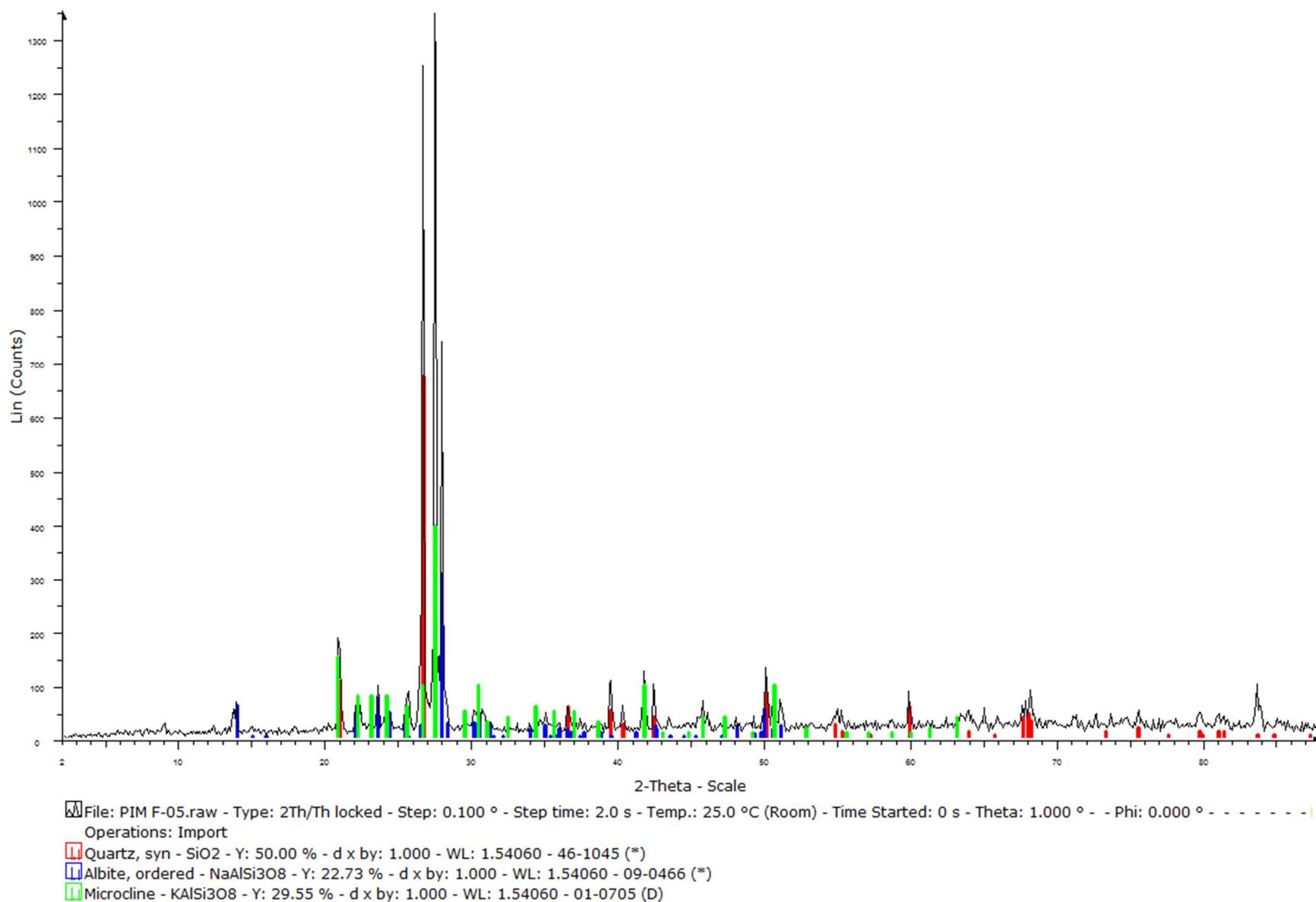
Difractograma de la muestra E07



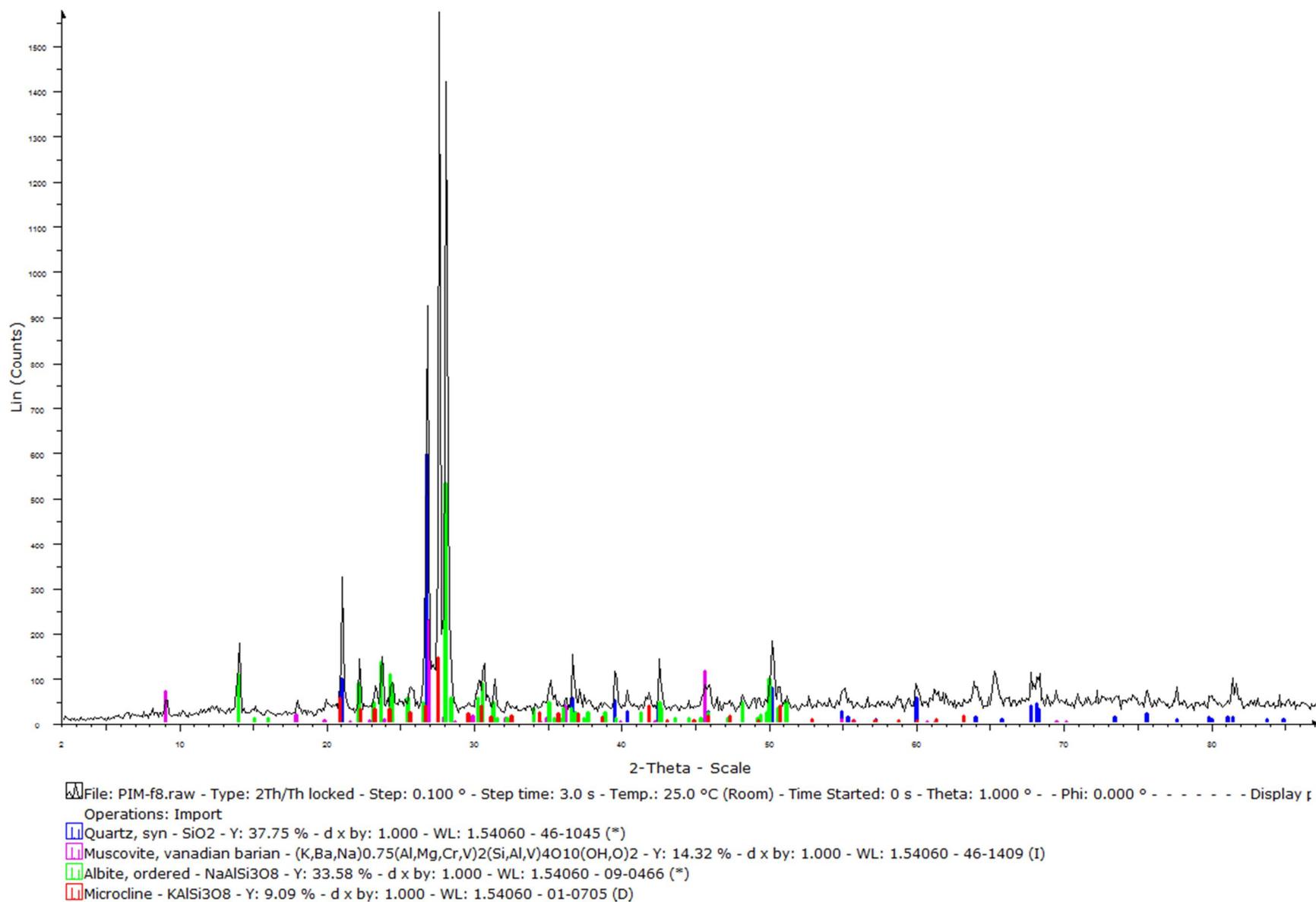
Difractograma de la muestra E10



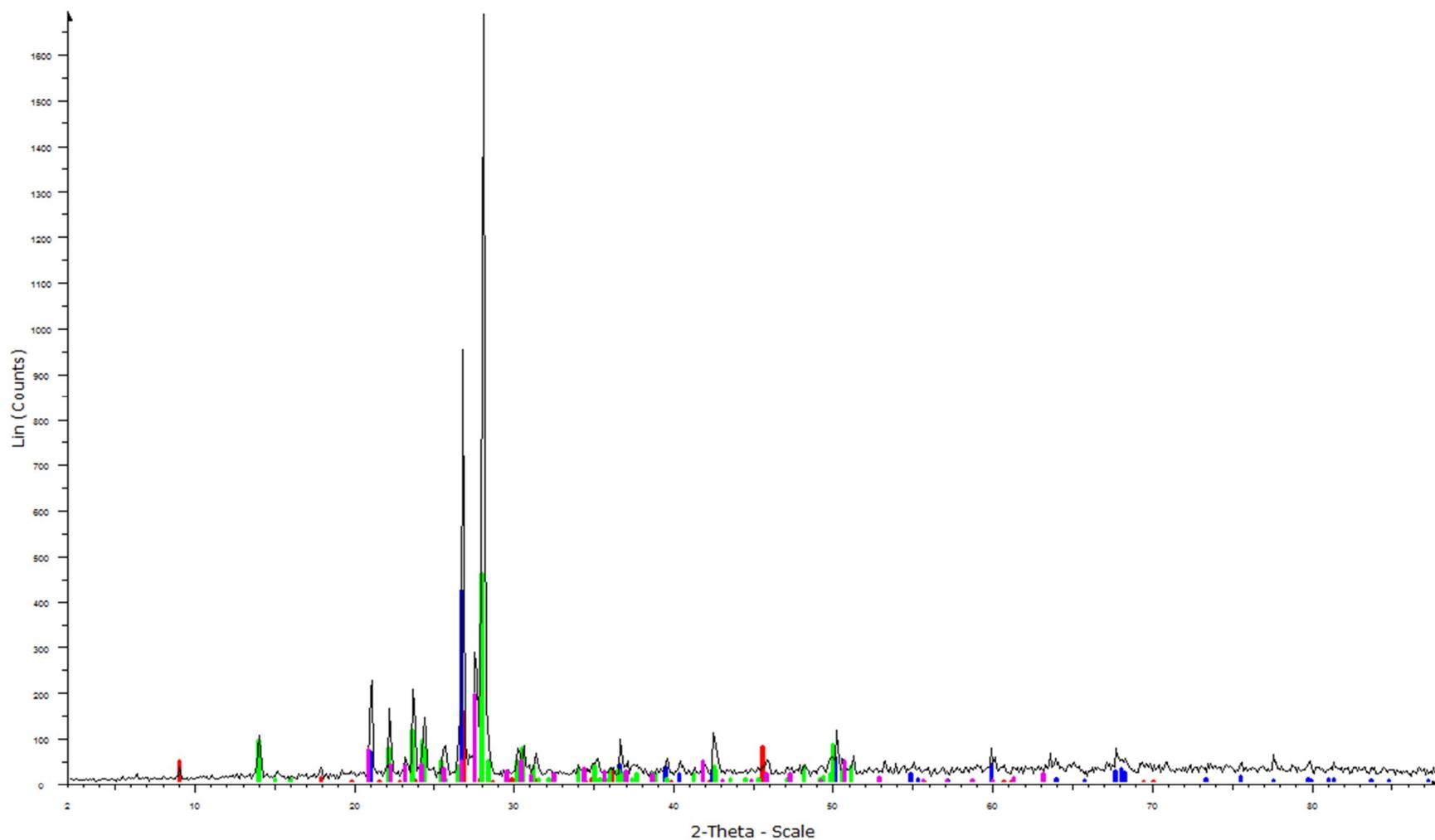
Difractograma de la muestra E12



Difractograma de la muestra F05



Difractograma de la muestra F08

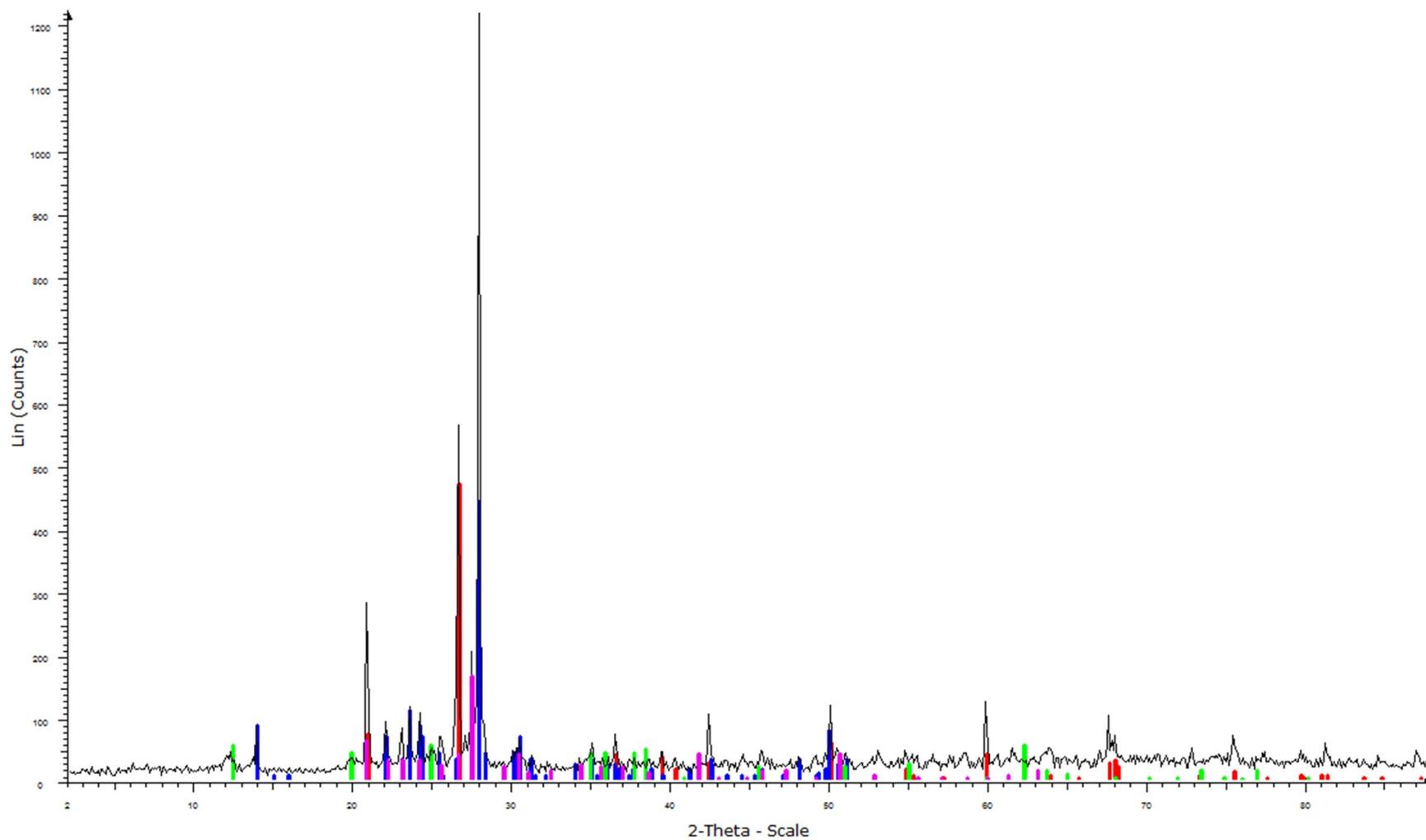


File: PIM F-10.raw - Type: 2Th/Th locked - Step: 0.100 ° - Step time: 2.0 s - Temp.: 25.0 °C (Room) - Time Started: 0 s - Theta: 1.000 ° - - Phi: 0.000 ° - - - - -

Operations: Import

- Muscovite, vanadian barian - $(K,Ba,Na)_{0.75}(Al,Mg,Cr,V)_2(Si,Al,V)_4O_{10}(OH,O)_2$ - Y: 9.09 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 46-1409 (I)
- Quartz, syn - SiO_2 - Y: 25.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 46-1045 (*)
- Albite, ordered - $NaAlSi_3O_8$ - Y: 27.27 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 09-0466 (*)
- Microcline - $KAlSi_3O_8$ - Y: 11.36 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 01-0705 (D)

Difractograma de la muestra F10

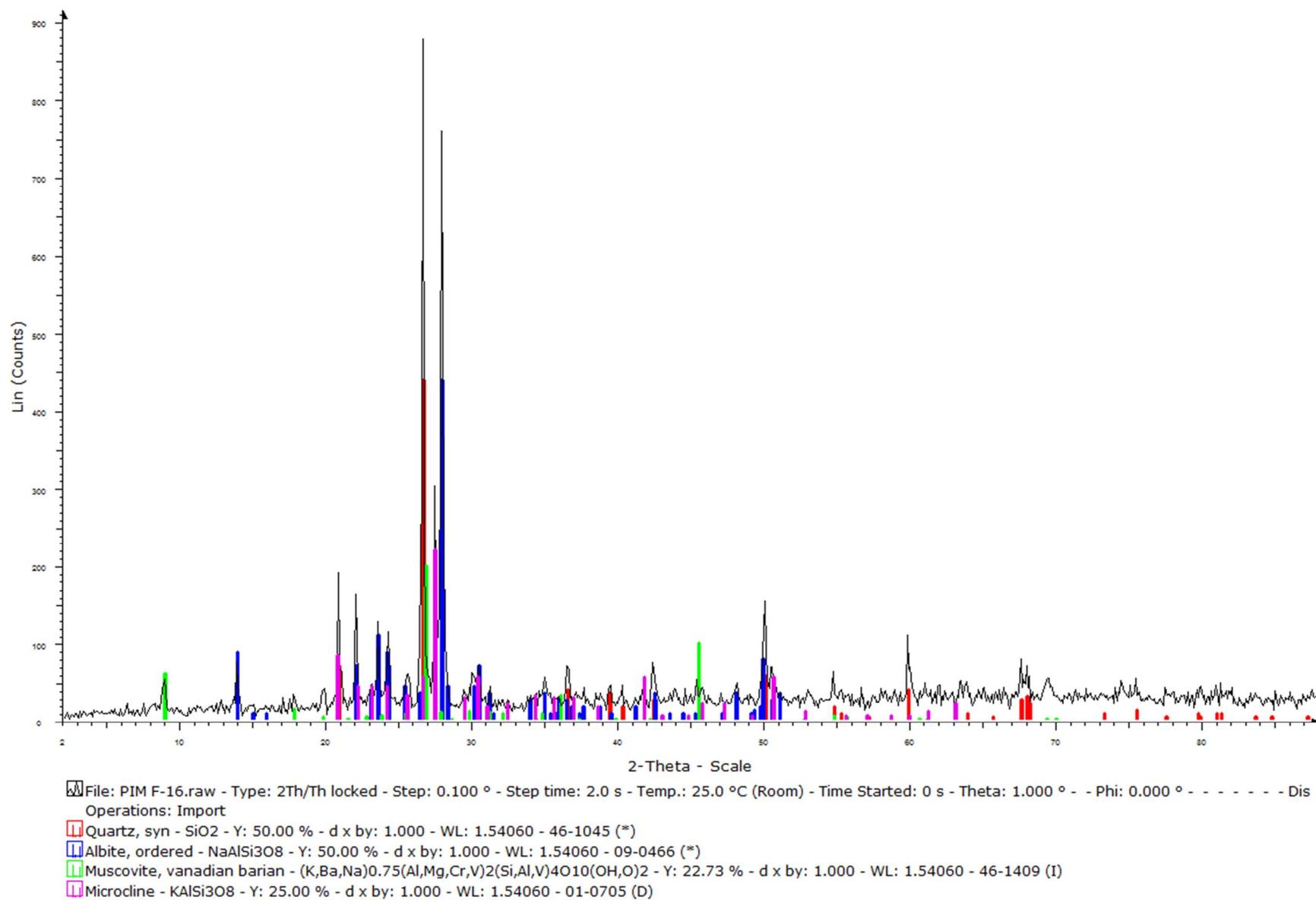


File: PIM F-14.raw - Type: 2Th/Th locked - Step: 0.100 ° - Step time: 2.0 s - Temp.: 25.0 °C (Room) - Time Started: 0 s - Theta: 1.000 ° - Phi: 0.000 ° - - - - -

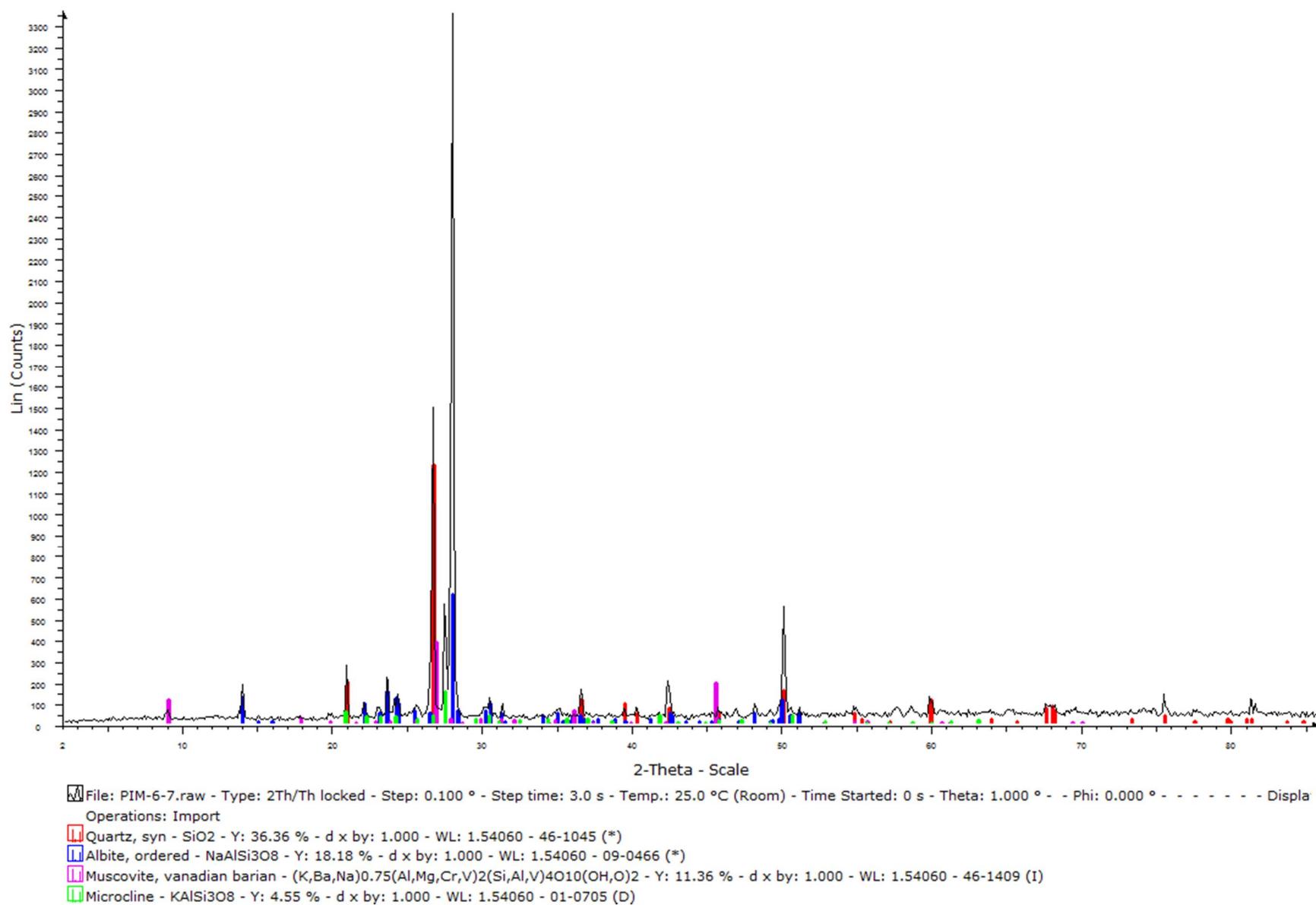
Operations: Import

- Quartz, syn - SiO₂ - Y: 38.64 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 46-1045 (*)
- Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 36.36 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 09-0466 (*)
- Kaolinite 1Md - Al₂Si₂O₅(OH)₄ - Y: 4.55 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 06-0221 (D)
- Microcline - KAlSi₃O₈ - Y: 13.64 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 01-0705 (D)

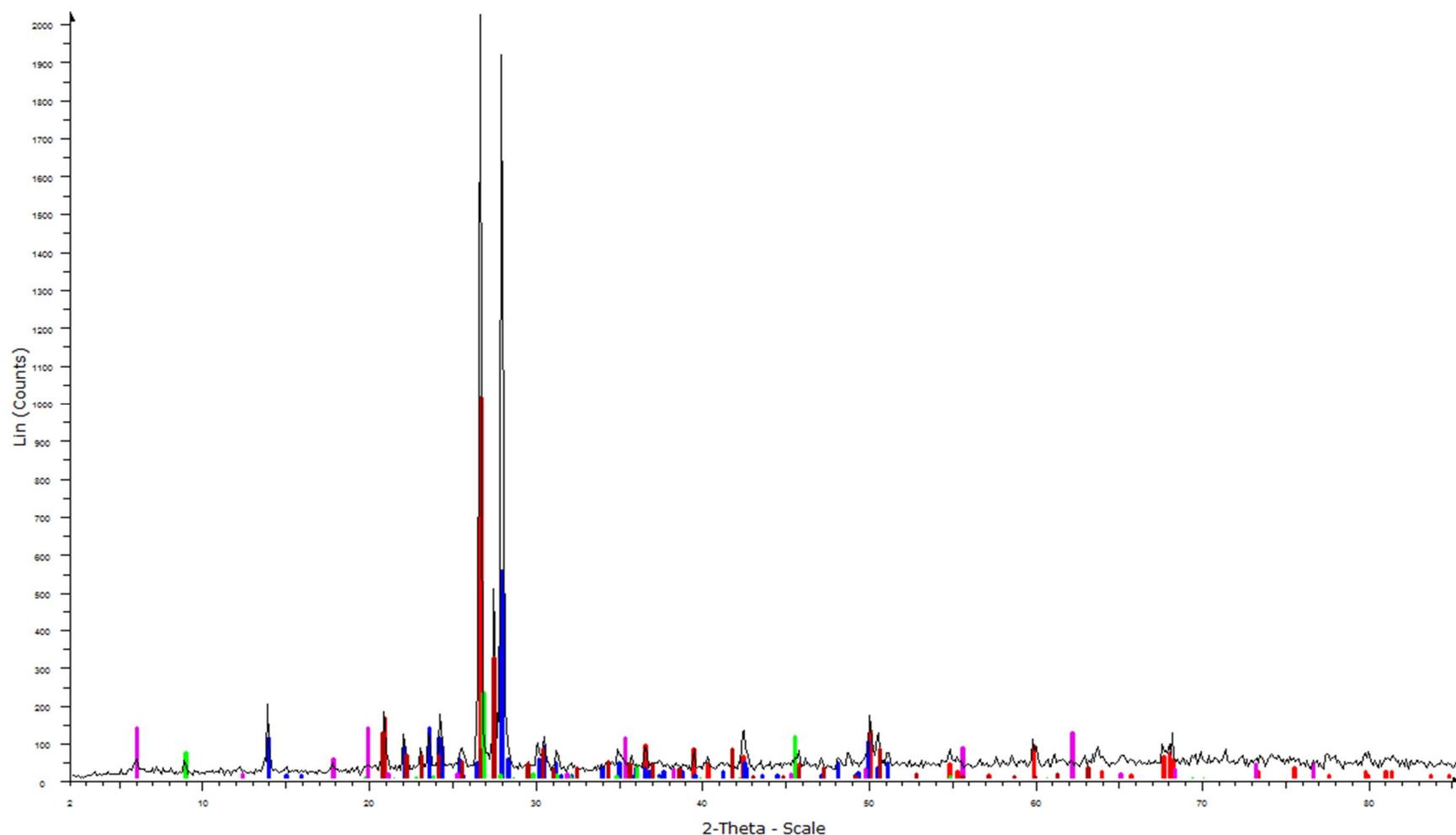
Difractograma de la muestra F14



Difractograma de la muestra F16



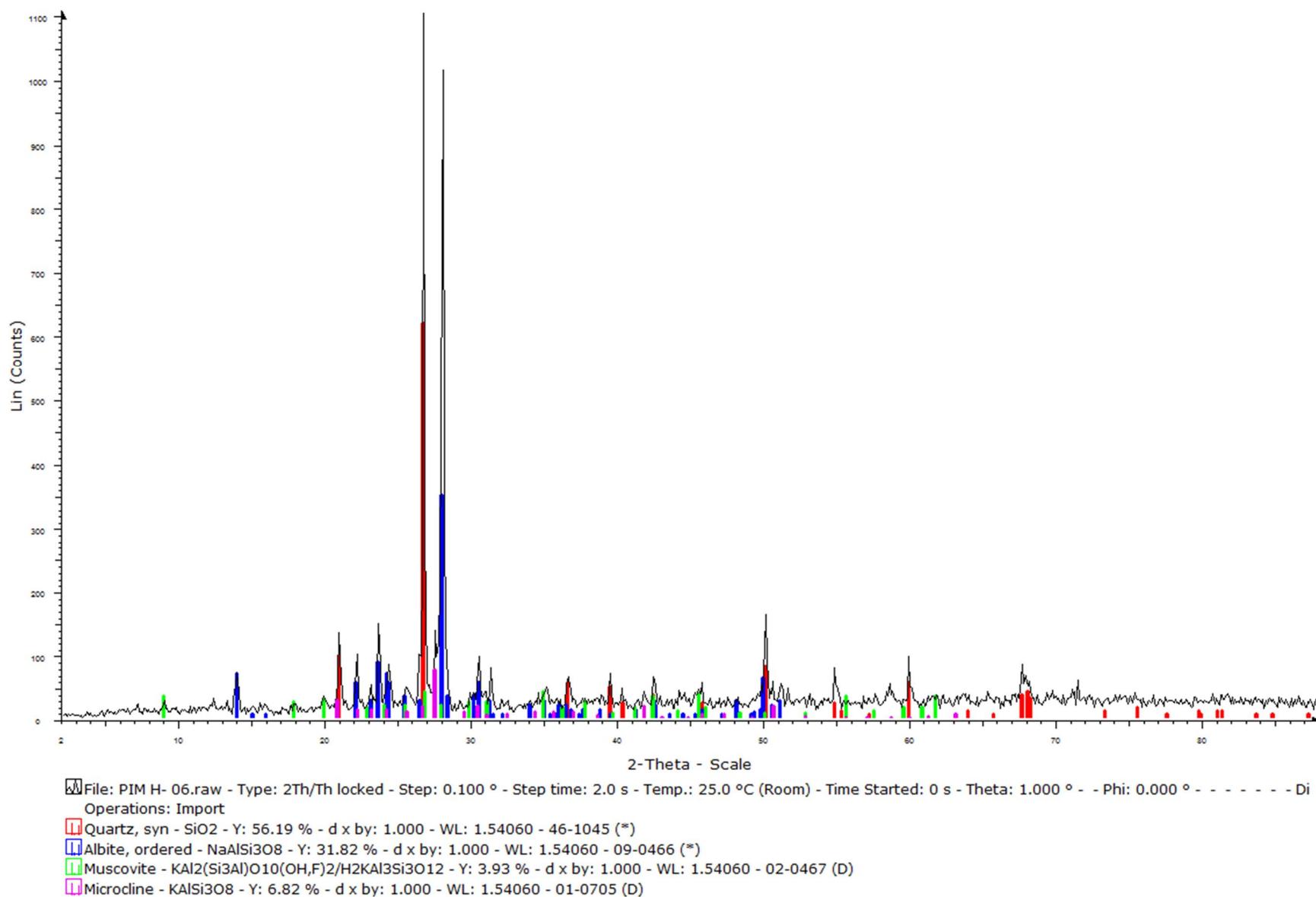
Difractograma de la muestra G07



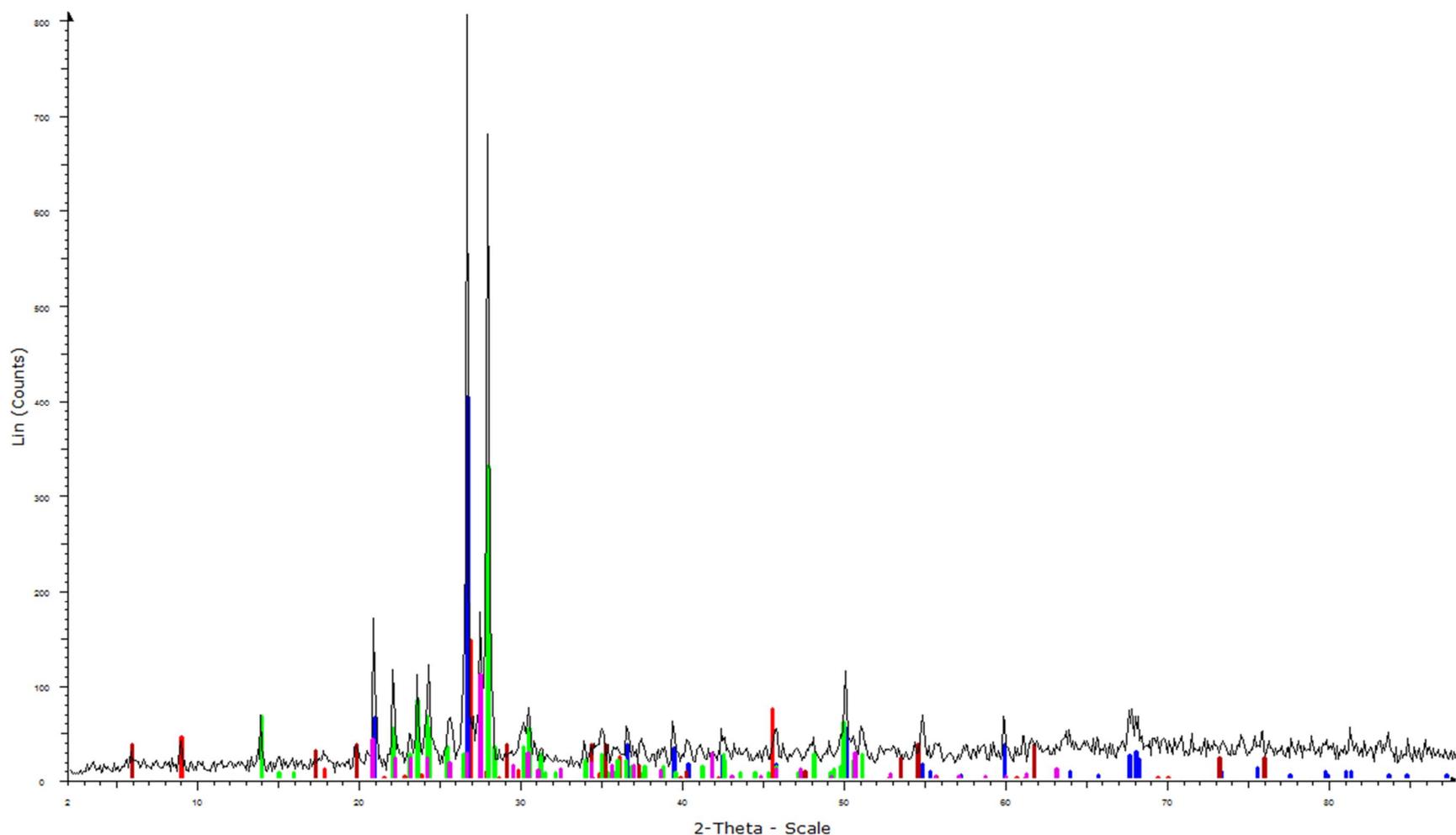
File: PIM-6-12.raw - Type: 2Th/Th locked - Step: 0.100 ° - Step time: 3.0 s - Temp.: 25.0 °C (Room) - Time Started: 0 s - Theta: 1.000 ° - - Phi: 0.000 ° - - - - -
Operations: Import

- Quartz, syn - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 46-1045 (*)
- Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 27.27 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 09-0466 (*)
- Muscovite, vanadian barian - (K,Ba,Na)_{0.75}(Al,Mg,Cr,V)₂(Si,Al,V)₄O₁₀(OH,O)₂ - Y: 11.36 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 46-1409 (I)
- Montmorillonite - MgO·Al₂O₃·5SiO₂·xH₂O - Y: 6.82 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 03-0014 (D)
- Microcline - KAlSi₃O₈ - Y: 15.91 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 01-0705 (D)

Difractograma de la muestra G12



Difractograma de la muestra H06



File: PIM H-10.raw - Type: 2Th/Th locked - Step: 0.100 ° - Step time: 2.0 s - Temp.: 25.0 °C (Room) - Time Started: 0 s - Theta: 1.000 ° - Phi: 0.000 ° - - - - - Dis
Operations: Import

Muscovite, vanadian barian - $(K,Ba,Na)_{0.75}(Al,Mg,Cr,V)_2(Si,Al,V)_4O_{10}(OH,O)_2$ - Y: 18.18 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 46-1409 (I)

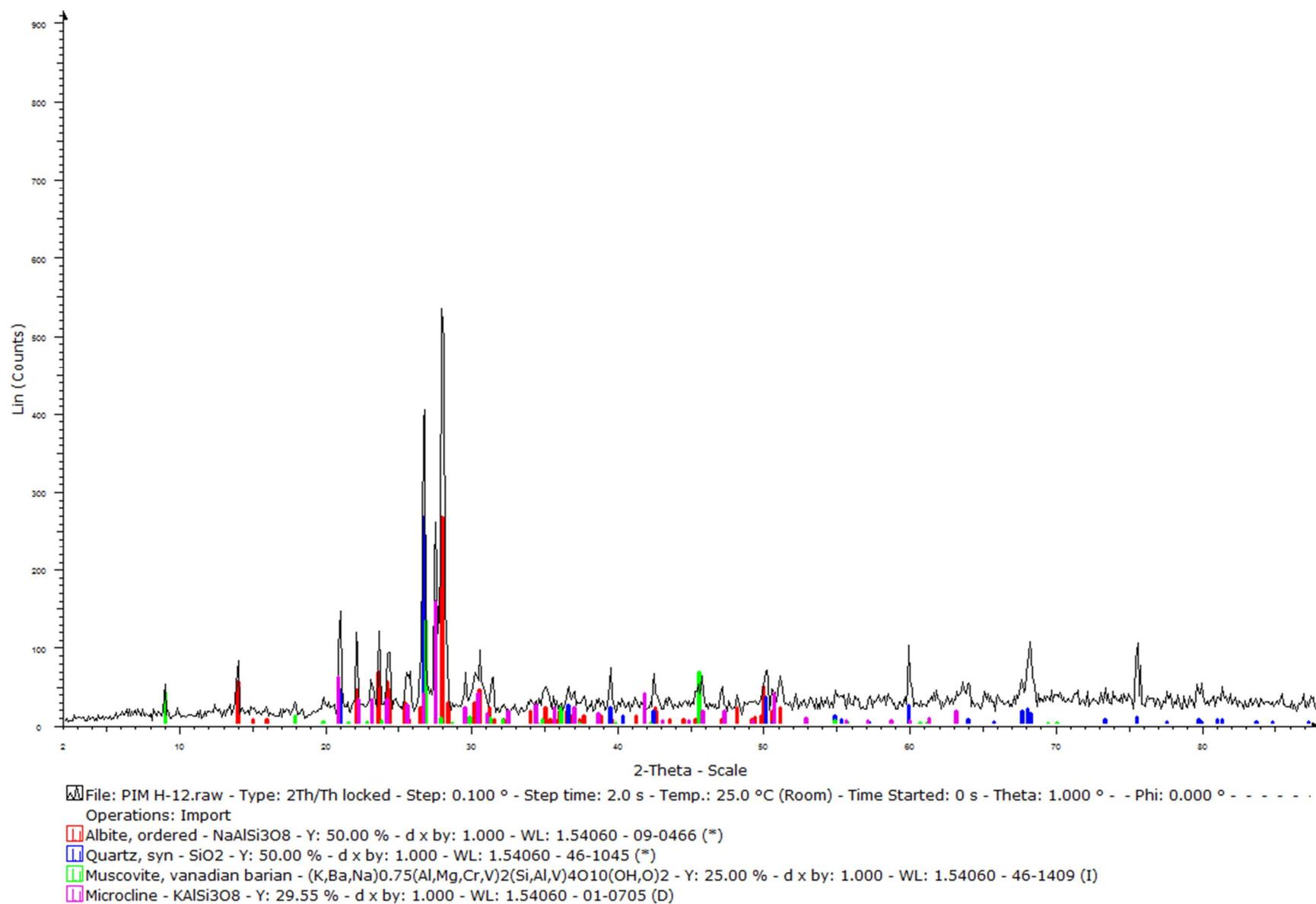
Quartz, syn - SiO_2 - Y: 50.00 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 46-1045 (*)

Albite, ordered - $NaAlSi_3O_8$ - Y: 40.91 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 09-0466 (*)

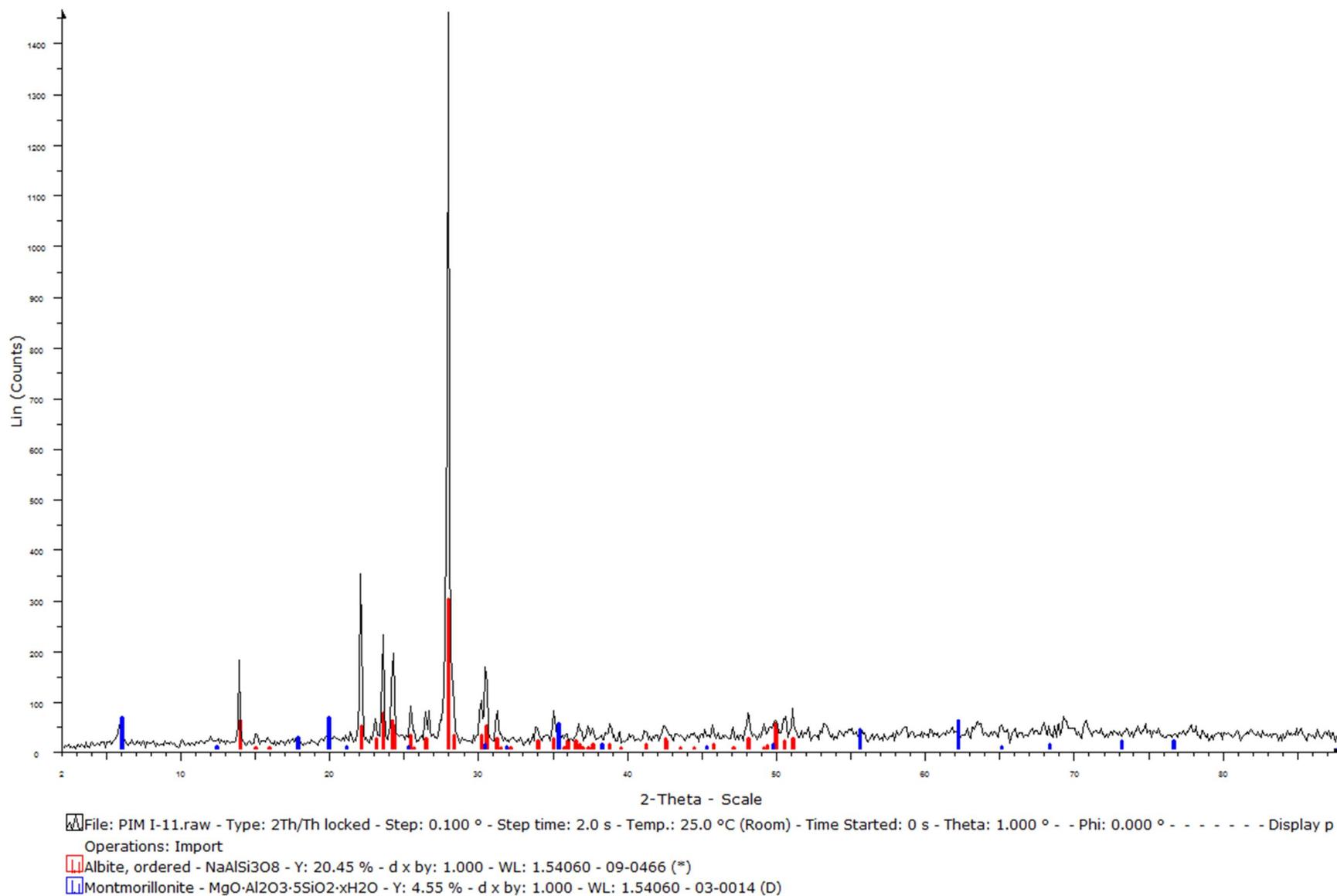
Montmorillonite - $Si_3.74Al_2.03Fe_{0.03}Mg_{0.20}O_{11}$ - Y: 4.55 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 03-0009 (D)

Microcline - $KAlSi_3O_8$ - Y: 13.64 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 01-0705 (D)

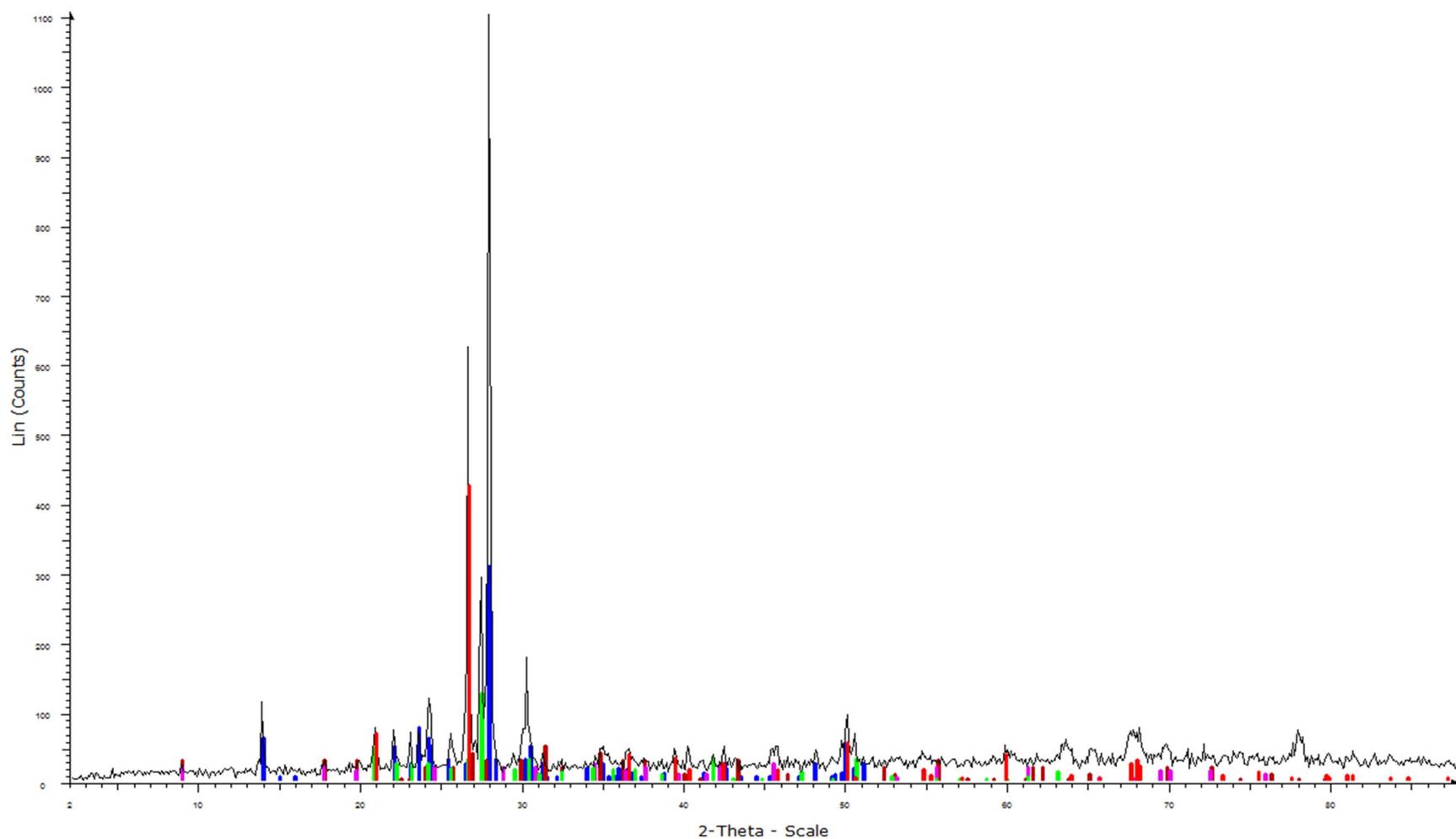
Difractograma de la muestra H10



Difractograma de la muestra H12



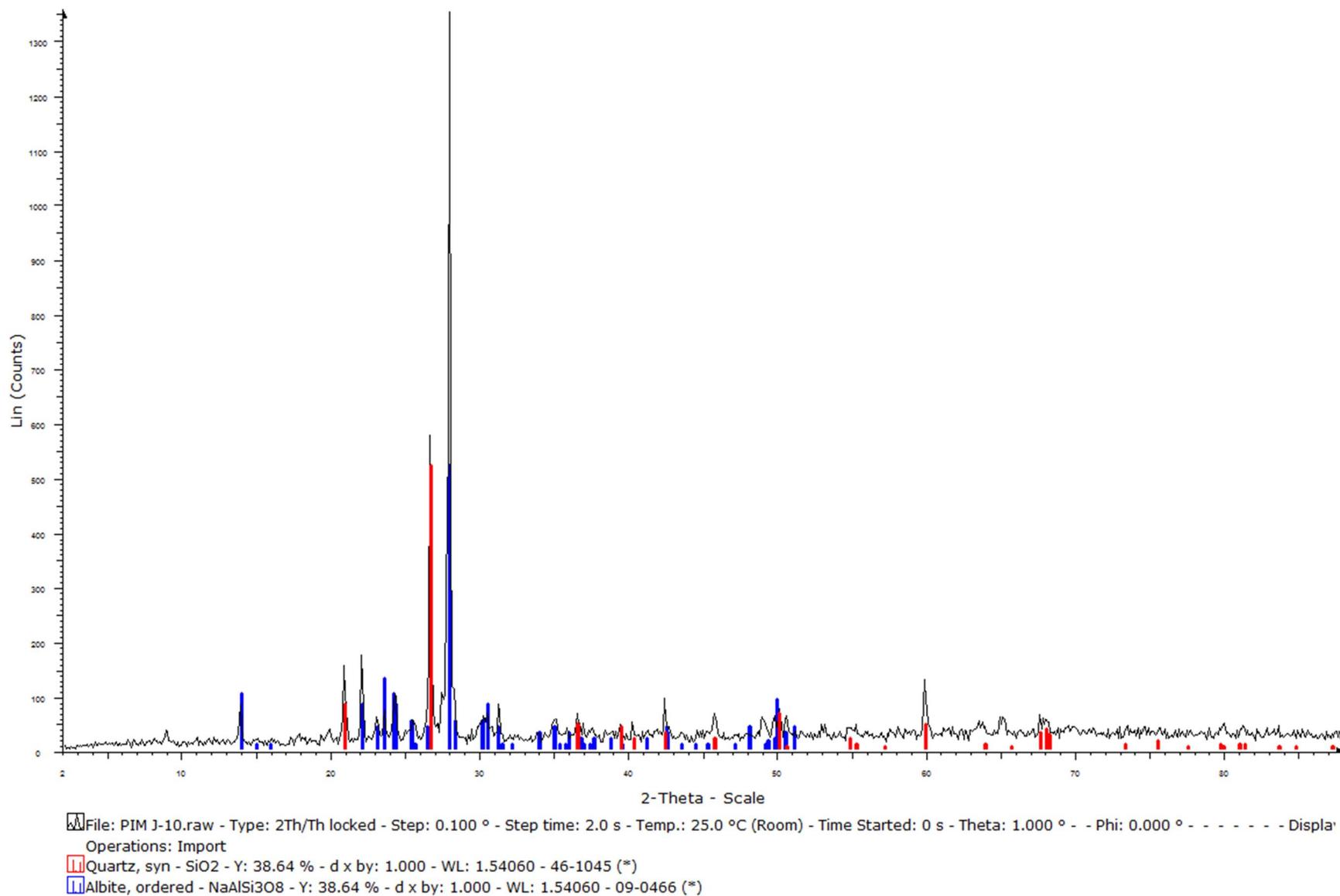
Difractograma de la muestra I11



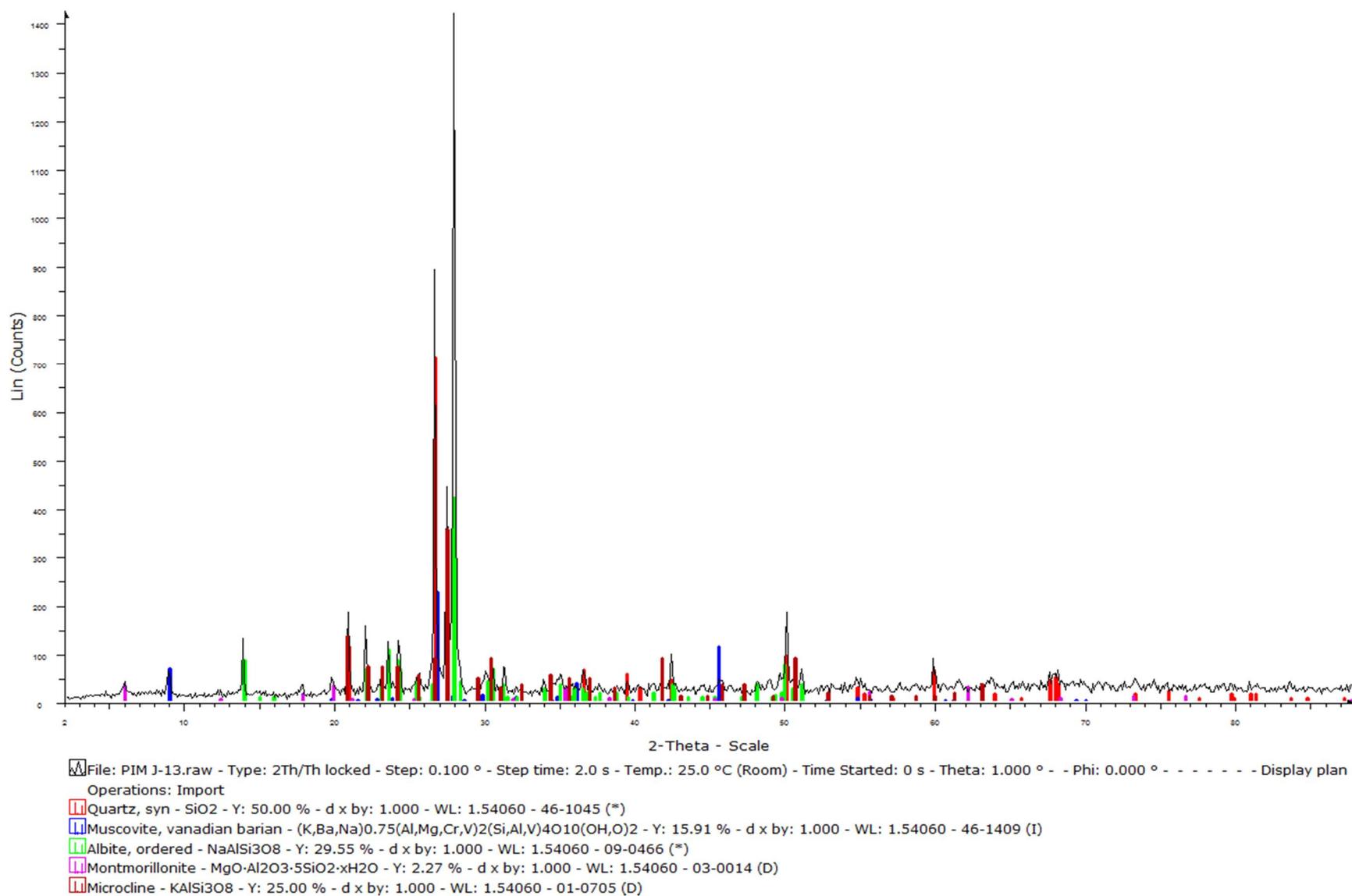
File: PIM I-13.raw - Type: 2Th/Th locked - Step: 0.100 ° - Step time: 2.0 s - Temp.: 25.0 °C (Room) - Time Started: 0 s - Theta: 1.000 ° - - Phi: 0.000 ° - - - - - Display plan
Operations: Import

- Quartz, syn - SiO₂ - Y: 38.64 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 46-1045 (*)
- Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 28.10 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 09-0466 (*)
- Muscovite, lithian, 2M1 - K(Li,Al)₂(Si₃AlO₁₀)(OH)₂ - Y: 4.55 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 10-0482 (D)
- Illite, 1M - KAl₂(Si₃AlO₁₀)(OH)₂ - Y: 2.27 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 02-0462 (D)
- Microcline - KAlSi₃O₈ - Y: 11.36 % - d x by: 1.000 - WL: 1.54060 - 01-0705 (D)

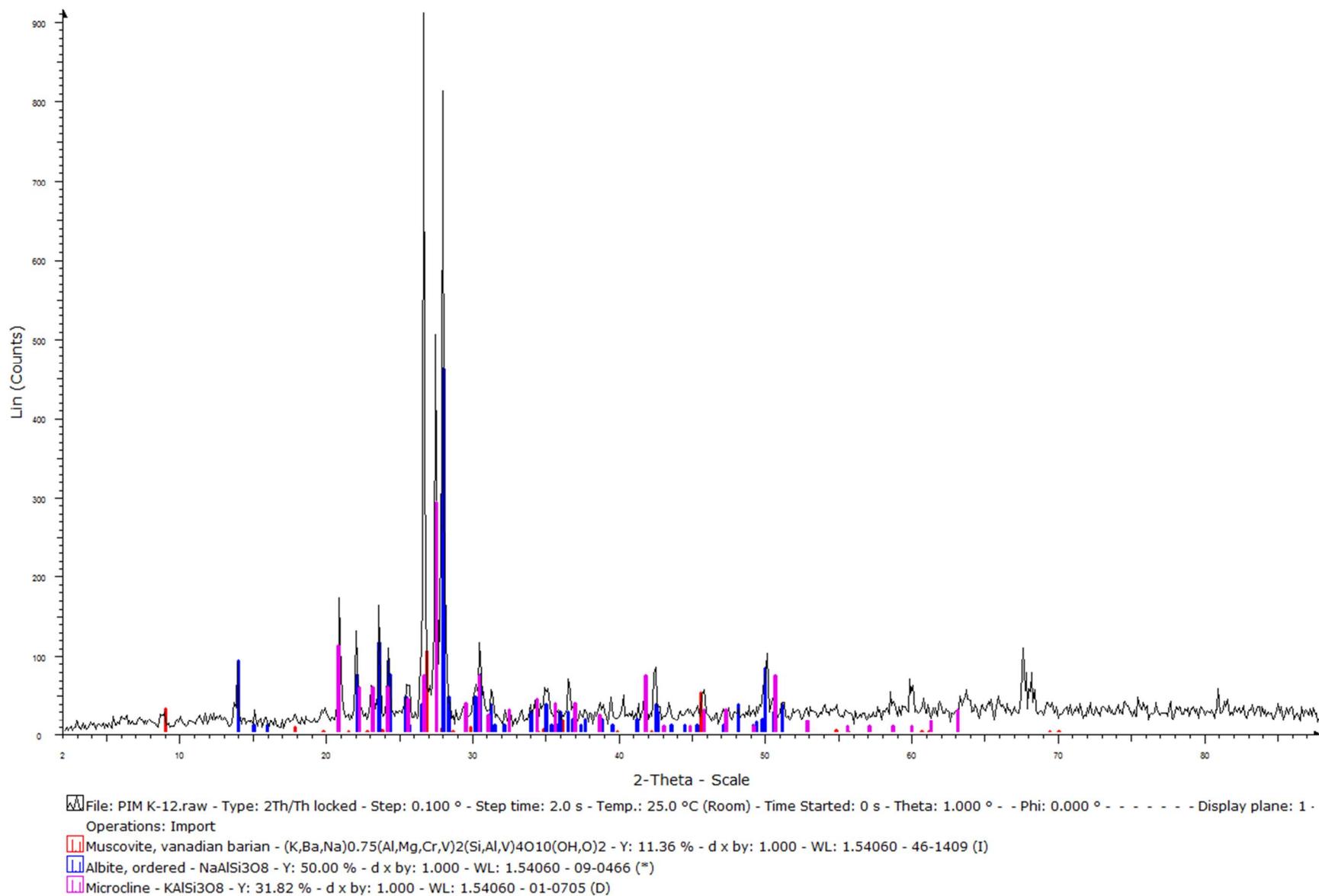
Difractograma de la muestra I13



Difractograma de la muestra J10



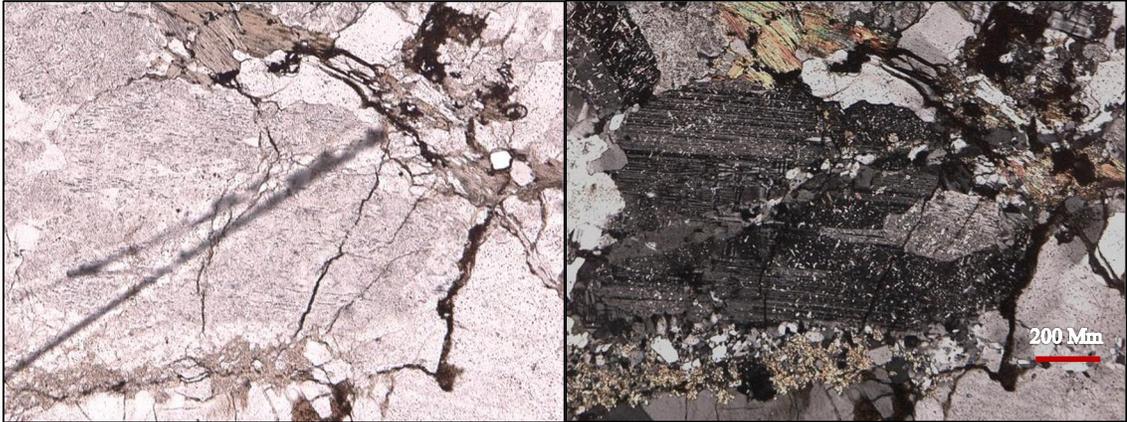
Difractograma de la muestra J13



Difractograma de la muestra K12

DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS

Muestra B14



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: xenoblástica (anhedral)

Texturas: granoblástica, reliquia.

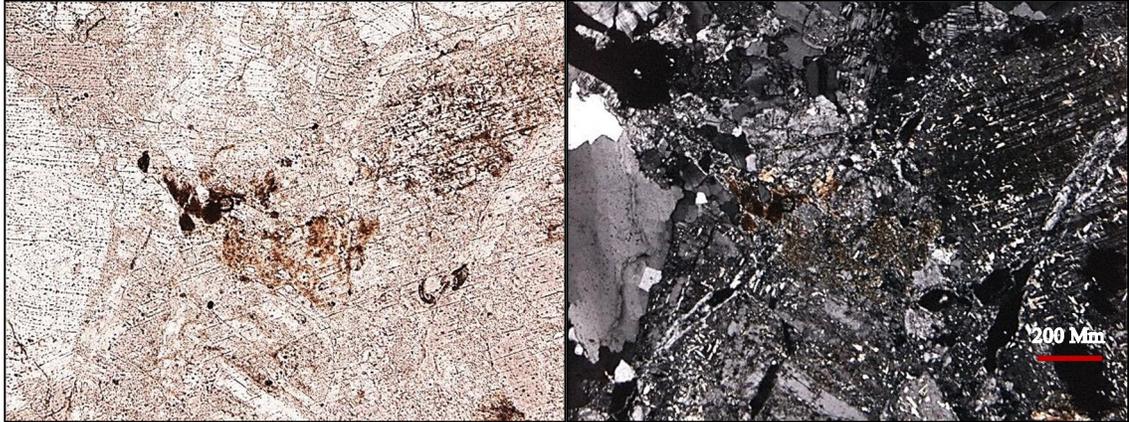
Composición Mineralógica: 45% plagioclasa, 40% cuarzo, 10% microclino, 5% arcillas y minerales accesorios como clorita, biotita, moscovita, apatito y leucoxeno.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-cuarzoso-microclínico.

Descripción General: Esta muestra pertenece al perfil superior del suelo. En muestra de mano tiene un color marrón oscuro y presenta manchas de óxido y mucha arcilla. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa y cuarzo, y algunos cristales grandes de biotita pero muy escasos. Estos últimos no tienen el hábito común de las micas sino que se presentan con una textura reliquia producto de alteración, posiblemente de hornblenda. La discrepancia entre la cantidad de arcilla visible en muestra de mano y la calculada a partir de los datos químicos, y la cantidad reportada en sección fina, se debe muy probablemente al proceso de preparación de las muestras para la elaboración de la sección fina, tanto para esta muestra como para el resto de las 11 muestras de análisis petrográfico.

Muestra C17



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: xenoblástica (anhedral)

Texturas: zonada, pertítica.

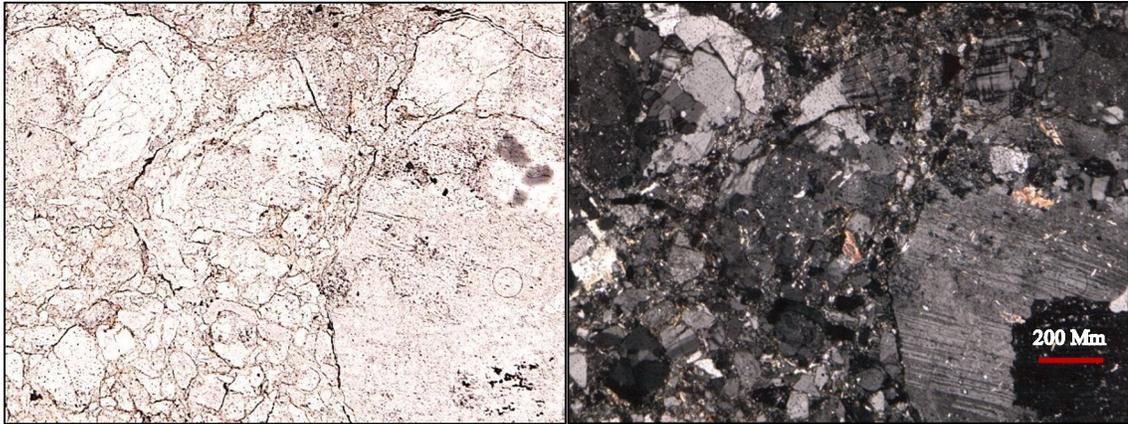
Composición Mineralógica: 40% plagioclasa, 25% cuarzo, 20% microclino, 15% arcillas y minerales accesorios como biotita, moscovita, leucóxeno y goethita.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-cuarzoso-microclínico.

Descripción General: Esta muestra pertenece al perfil superior del suelo. En muestra de mano es más clara que B14, con colores crema y marrón claro, con manchas de óxido. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa, cuarzo, y algunos de microclino.

Muestra D11



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral).

Texturas: cataclástica.

Composición Mineralógica: 50% plagioclasa, 30% cuarzo, 10% microclino, 9% arcillas, 1% clorita y minerales accesorios como biotita, moscovita, apatito, leucoxeno y goethita.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-cuarzoso-microclínico.

Descripción General: En muestra de mano tiene un color gris claro con algunas manchas marrones y crema, con muchas manchas oscuras y grietas rellenas de material arcilloso amarillento. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa y cuarzo. La textura cataclástica que se ve en sección fina sugiere la presencia de fallas que no pudieron ser identificadas en campo, muy posiblemente por el grado de alteración del sector, o asociadas al efecto de fallas cercanas a la zona. Además de tener textura cataclástica presenta grietas visibles, en sección fina rellenas de bálamo, pero que posiblemente estaban rellenas de arcillas que se perdieron en el proceso de elaboración de la sección fina.

Muestra D12



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral).

Texturas: cataclástica, pertítica.

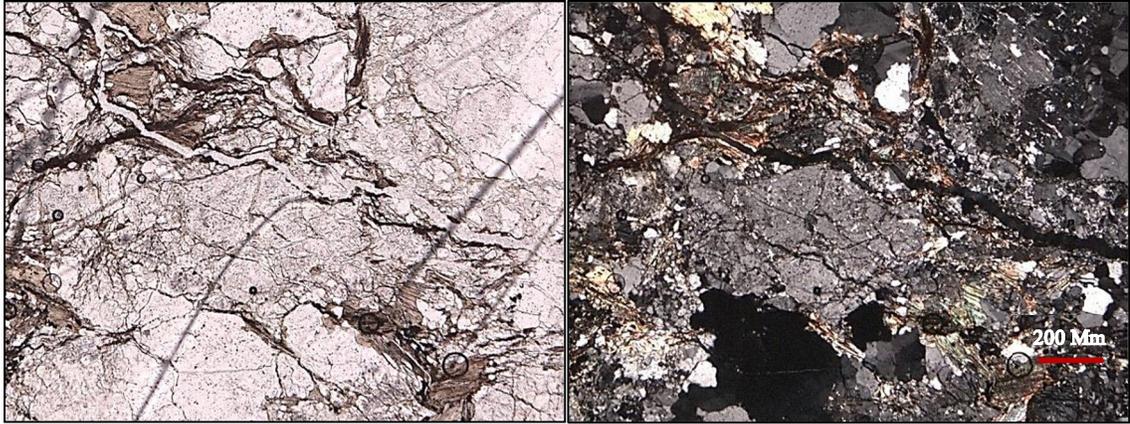
Composición Mineralógica: 44% plagioclasa, 25% cuarzo, 25% microclino, 3% clorita, 2% biotita, 5% arcillas y minerales accesorios como moscovita, apatito.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-cuarzoso-microclínico-biotítico.

Descripción General: En muestra de mano tiene tonalidades crema y marrón claro y oscuro y presenta un alto contenido de minerales oxidados, también con grietas visibles, rellenas con arcillas. El tamaño de los granos de grueso a medio y las micas son bien visibles. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa, cuarzo y microclino, con mucha presencia de textura pertítica. Al igual que B14 tiene algunos cristales grandes de biotita con una textura reliquia producto de alteración, posiblemente de hornblenda.

Muestra E10



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral).

Texturas: Cataclástica.

Composición Mineralógica: 40% plagioclasa, 30% cuarzo, 20% microclino, 7% arcillas, 3% clorita y minerales accesorios como biotita, moscovita, apatito y leucoxeno.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-cuarzoso-microclínico.

Descripción General: En muestra de mano tiene un color gris claro, con manchas marrones y crema, con manchas de óxido y grietas rellenas de arcillas de color amarillento. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa cuarzo y microclino. La biotita (además de parecer producto de la alteración de hornblenda) pare estar alterando a estilomelana.

Muestra E 12



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral).

Texturas: Cataclástica, pertítica, antipertítica.

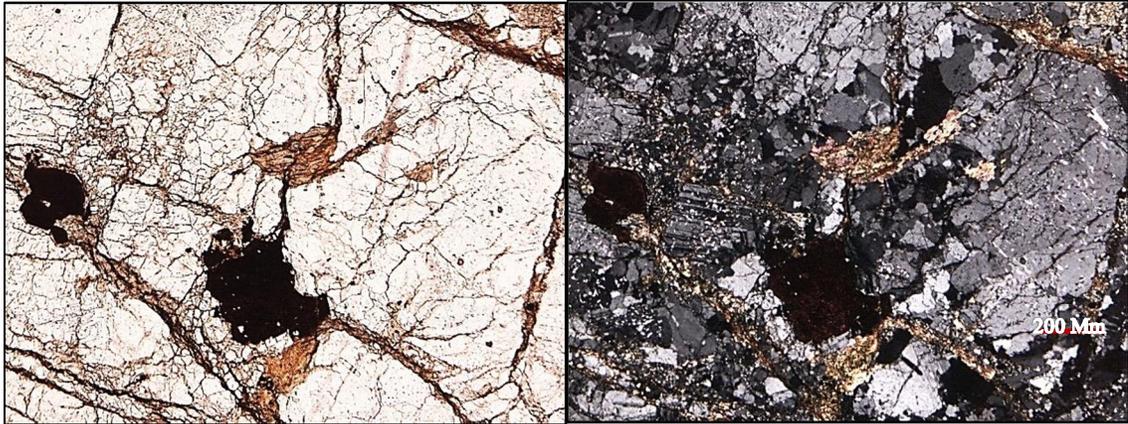
Composición Mineralógica: 35% plagioclasa, 35% microclino, 30% cuarzo, 5% clorita, 5% arcillas y minerales accesorios como biotita, moscovita, apatito y leucoxeno.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-microclínico-cuarzoso-biotítico.

Descripción General: En muestra de mano tiene un color abigarrado, marrón oscuro y claro, con un bandeamiento insipiente, perdido posiblemente por el alto grado de alteración. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa, microclino, cuarzo, y algunos cristales grandes de biotita alterados a estilomelana y más o menos alineados. La presencia de textura antipertítica sugiere que la roca ha sufrido metamorfismo de mayor grado, a pesar de las asociaciones minerales que indican facies de Esquistos verdes.

Muestra F10



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral)

Texturas: Cataclástica, antipertítica.

Composición Mineralógica: 50% plagioclasa, 25% cuarzo, 10% microclino, 15% arcillas y minerales accesorios como clorita, biotita, moscovita, apatito, leucoxeno y goethita.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-cuarzoso-microclínico.

Descripción General: En muestra de mano tiene un color abigarrado, marrón y crema. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa, cuarzo, microclino y algunos cristales grandes de goethita. En cuanto a la antipertita, como en el caso de E12, la presencia misma sugiere que la roca ha sufrido metamorfismo de mayor grado.

Muestra F16



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral).

Texturas: Pertítica.

Composición Mineralógica: 40% microclino, 30% cuarzo, 20% plagioclasa y minerales accesorios como arcillas, clorita, biotita, moscovita, apatito, leucoxeno y goethita.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis microclínico-cuarzoso-plagioclásico.

Descripción General: forma parte del perfil superior del suelo. En muestra de mano tiene un color marrón claro, crema y gris claro, haciéndose más oscura hacia el tope (posiblemente por lixiviación y lateritización de la capa superior). En sección fina presenta porfidoblastos de microclino, cuarzo y plagioclasa rodeados por una matriz de pequeños cristales de minerales accesorios y arcillas. Presenta algunas grietas.

Muestra G12



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral)

Texturas: Zonada, Gráfica.

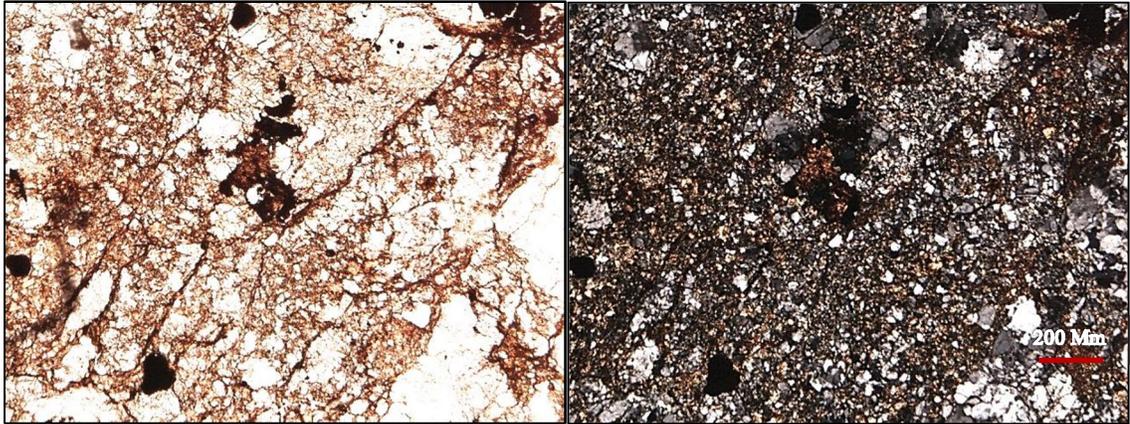
Composición Mineralógica: 50% plagioclasa, 20% cuarzo, 15% microclino, 5% clorita, 10% arcillas y minerales accesorios como biotita y moscovita.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-microclínico-cuarzoso-biotítico.

Descripción General: En muestra de mano tiene un color abigarrado, marrón, gris y crema, muy fracturada. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa, cuarzo, microclino y algunos cristales grandes de biotita. La plagioclasa se encuentra zonada, mientras que el cuarzo es notablemente polisintético.

Muestra I11



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral)

Texturas: Cataclástica.

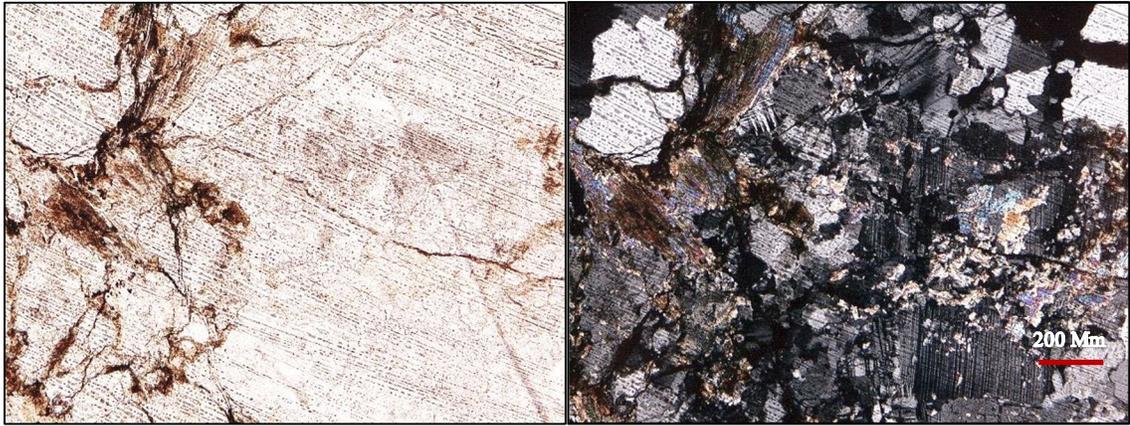
Composición Mineralógica: 60% plagioclasa, 5% microclino, 35% arcillas y minerales accesorios como cuarzo, moscovita, leucoxeno y goethita.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-microclínico.

Descripción General: En muestra de mano tiene colores crema gris claro y marrón claro y con mucho material arcilloso color ocre. En sección fina se ve extremadamente alterada y es particularmente carente de cuarzo, hallándose éste en proporciones traza. Los porfidoblastos de plagioclasa se encuentran embebidos en una matriz arcillosa, siendo estos los componentes principales de la muestra, con baja presencia de microclino. La carencia de cuarzo (presente en todas las demás muestras) sugiere que esta muestra pudo haber sido tomada de un lente rico en plagioclasa.

Muestra I13



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral)

Texturas: Pertítica, antipertítica, zonada.

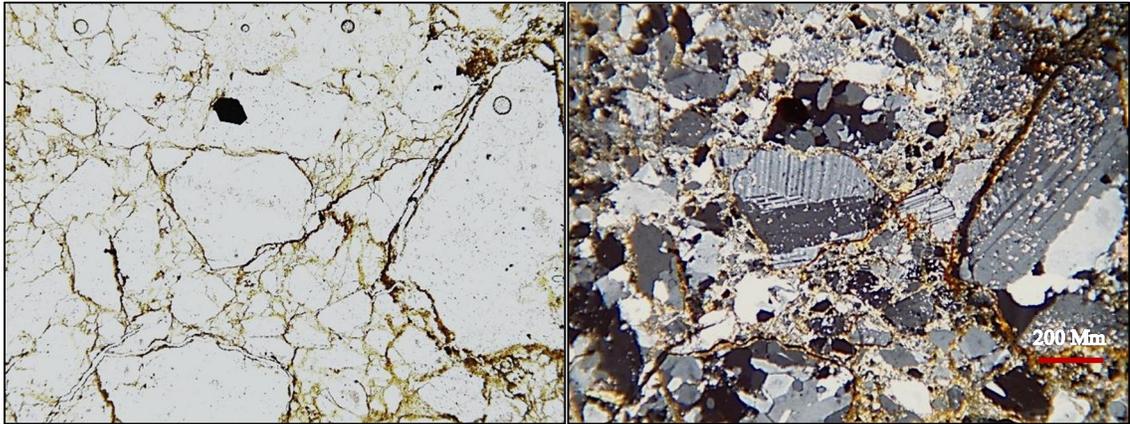
Composición Mineralógica: 45% plagioclasa, 25% cuarzo, 15% microclino, 10% clorita, 5% arcillas y minerales accesorios como biotita, moscovita, apatito, leucoxeno y goethita.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-cuarzoso-microclínico-biotítico.

Descripción General: En muestra de mano presenta una tonalidad más oscura, con color gris oscuro, marrón y manchas de óxido. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa, cuarzo, microclino. La biotita de esta muestra altera claramente a clorita pennina.

Muestra J13



Ubicación: Complejo de El Tinaco. Unidad Gneis de la Aguadita.

Fábrica: Xenoblástica (anhedral)

Texturas: Cataclástica, zonada.

Composición Mineralógica: 45% plagioclasa, 30% cuarzo, 5% microclino, 20% arcillas y minerales accesorios como clorita, biotita, moscovita, apatito, leucoxeno y goethita.

Metamorfismo: Facies esquistos verdes de grado medio.

Nombre de la Roca: Gneis plagioclásico-cuarzoso-microclínico.

Descripción General: En muestra de mano tiene un color marrón claro con manchas rojas y negras, muy fracturada. En sección fina presenta porfidoblastos de plagioclasa, cuarzo, microclino. El grano de hiperstena rosada (caprichosamente bien conservado) que se halla en esta muestra es indicativo de facies granulita, y sugiere que toda la zona ha sufrido un metamorfismo de mayor grado que el que se puede ver en las demás muestras, pero las evidencias del mismo posiblemente se han perdido debido a la meteorización extrema o por eventos metamórficos posteriores.