

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

CARACTERIZACIÓN POR TÉCNICAS ANALÍTICAS (DRX, FRX, SEM-EDS) DE ALTERACIONES EN EL PROYECTO SAN MIGUEL, UN DEPÓSITO EPITERMAL, TEMORIS, CHIHUAHUA, MEXICO.

**Que para obtener el Grado de:
Maestro en Ciencias-Geología.**



PRESENTA:

RAUL ALFREDO CASTILLO PINELLI.

Hermosillo, Sonora, Enero de 2016

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

Hermosillo, Sonora, a 19 de Enero de 2016

Dr. Jesús Vidal Solano
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología
Departamento de Geología

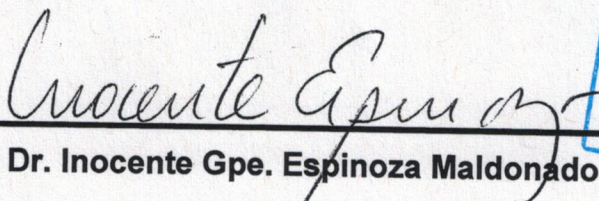
Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para su aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

"CARACTERIZACIÓN POR TÉCNICAS ANALÍTICAS (DRX, FRX, SEM-EDS) DE ALTERACIONES EN EL PROYECTO SAN MIGUEL, UN DEPÓSITO EPITERMAL, TEMORIS, CHIHUAHUA, MEXICO"

Esto es con el fin de que el alumno: **RAUL ALFREDO CASTILLO PINELLI**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Grado de la Maestría en Ciencias-Geología.

Sin otro en particular quedamos de Usted.

ATENTAMENTE


Dr. Inocente Gpe. Espinoza Maldonado

Director de Tesis



C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

Hermosillo, Sonora a 20 de enero de 2016

Dr. Inocente Gpe. Espinoza Maldonado
Director de Tesis

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted, intitulado:

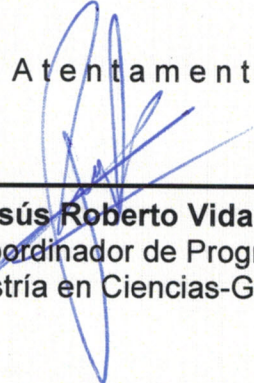
"CARACTERIZACIÓN POR TÉCNICAS ANALÍTICAS (DRX, FRX, SEM-EDS) DE ALTERACIONES EN EL PROYECTO SAN MIGUEL, UN DEPÓSITO EPITERMAL, TEMORIS, CHIHUAHUA, MEXICO"

Esto es con el fin de que el alumno: **CASTILLO PINELLI RAUL ALFREDO** pueda presentar su examen profesional, para la obtención del título de Grado. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

Dr. Lucas H. Ochoa Landín	Presidente
Dr. Francisco Abraham Paz Moreno	Secretario
Dr. Juan José Palafox Reyes	Vocal
Dr. Eduardo González Partida	Vocal
Dr. I. Guadalupe Espinoza Maldonado	Vocal

Sin otro en particular quedo de Ustedes

Atentamente


Dr. Jesús Roberto Vidal Solano
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**MAESTRIA EN
CIENCIAS
GEOLOGIA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**

C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

NOMBRE DE LA TESIS:

"CARACTERIZACIÓN POR TÉCNICAS ANALÍTICAS (DRX, FRX, SEM-EDS) DE ALTERACIONES EN EL PROYECTO SAN MIGUEL, UN DEPÓSITO EPITERMAL, TEMORIS, CHIHUAHUA, MEXICO"

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

RAUL ALFREDO CASTILLO PINELLI

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.


Dr. Lucas Ochoa Landín

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.


Dr. Francisco Abraham Paz Moreno

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.


Dr. Juan José Palafox Reyes

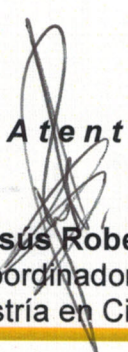
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

Dr. Eduardo González Partida

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Grado en la Universidad de Sonora.

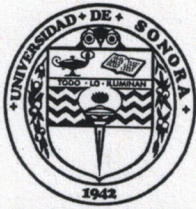

Dr. I. Guadalupe Espinoza Maldonado

Atentamente


Dr. Jesús Roberto Vidal Solano
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**MAESTRIA EN
CIENCIAS
GEOLOGIA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

Hermosillo, Sonora, a 21 de Enero de 2016

Dr. Jesús Vidal Solano
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología
Departamento de Geología

Por medio de la presente, nos permitimos informarle que después de revisar y aprobar el trabajo de tesis del alumno **RAUL ALFREDO CASTILLO PINELLI**, hemos acordado que la presentación del examen de grado del alumno se lleve a cabo el día jueves 28 de enero del presente a las 17:00 horas.

Sin otro particular, quedamos a la espera de su respuesta.

ATENTAMENTE
Comité de Tesis

Dr. Lucas H. Ochoa Landin

Dr. Francisco Abraham Paz Moreno

Dr. Juan José Palafox Reyes

Dr. Eduardo González Partida

Dr. Inocente Gpe. Espinoza Maldonado
Director de Tesis

C.c.p. Archivo





"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

Hermosillo, Sonora a 22 de enero de 2016

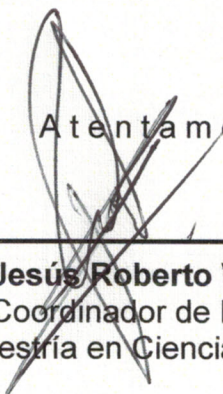
Dr. I. Guadalupe Espinoza Maldonado
Director de Tesis

Por este conducto y en atención a la solicitud recibida el día de ayer, le comunico que ha sido aprobada la fecha para la presentación de Examen de Grado del alumno **CASTILLO PINELLI RAUL** propuesta por el Comité de Tesis.

Dicho examen se llevará a cabo el día **jueves 28 de enero del presente a las 15:00 horas en el Auditorio del Departamento de Investigación en Física.**

Sin otro en particular quedo de Usted

Atentamente



Dr. Jesús Roberto Vidal Solano
Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**MAESTRIA EN
CIENCIAS
GEOLOGIA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**

C.c.p. Archivo

DEDICATORIA

A mis padres, *Haydee Pinelli Gutiérrez* y *Alfredo Castillo Carrillo*, por ser el mejor ejemplo a seguir y haberme dado la oportunidad de estudiar.

A mi nana, mis tíos y tías, especialmente a mi nana *María Luisa Gutiérrez Miranda*, mi tío *Martin Pinelli Gutiérrez* y mis tías *María Pinelli Gutiérrez*, *María Luisa Pinelli Gutiérrez* y mi tía *Cecilia Durazo Tanori*, por siempre estarme apoyando desde el momento que empecé mis estudios.

Agradecimiento a instituciones:

Al **Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por haberme apoyado con la beca de posgrado **No. 580134** y con ello culminar mi tesis de Maestría en Ciencias Geología (MCG) “**Caracterización mineralógica de las zonas de alteración del proyecto San Miguel, Temoris, Chihuahua, México**”, brindándome la oportunidad de titularme como Maestro en Ciencias.

A **Paramount Gold and Silver Corp. y Coeur Mining, Inc.** Por darme la oportunidad y facilidades de poder realizar mi trabajo de campo en el área San Miguel, Temoris, Chihuahua, México.

A la **Universidad de Sonora y al Departamento de Geología**, por darme la oportunidad de integrarme al programa de Maestría en Ciencias Geología y alimentar mi formación académica. También agradezco al Departamento de polímeros, especialmente al **Dr. Francisco Brown Bojórquez** por haberme prestado el equipo SEM-EDS.

Agradecimientos.

A la **Dra. Diana María Meza Figueroa** por haberme enseñado la teoría y métodos de procesamientos de datos del equipo de Fluorescencia de rayos X (Thermo Scientific Nitón FXL, FM-XRF-Analyzer) el cual fue adquirido por el Proyecto de Grupo Regional Emergente CONACYT, N° 235684. Geología, Ambiente y Salud (D. Meza-Figueroa) y haberme capacitado en los cursos de manejo del equipo de FRX en el Departamento de Geoquímica de la Universidad autónoma de México.

Agradezco a todas las personas que me ayudaron de alguna manera en la realización de esta tesis.

A mi director de tesis **Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado** por aceptarme por segunda vez como tesista y llevar este trabajo a su culminación. A mi codirector **Dr. Víctor Emmanuel Álvarez Montaña**, por enseñarme el método de laboratorio en el manejo de DRX y caracterización de los difractogramas entre muchas cosas, revisar esta tesis y por sus sugerencias para mejorar la redacción de la misma. Al Dr. Juan José Palafox Reyes por facilitarme el acceso al Difractómetro de rayos X del departamento de Geología. Al departamento de Geología, ya que gracias a ellos me estoy preparando para desarrollarme profesionalmente, en especial a los maestros: Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado, Dra. Diana María Meza Figueroa, Dr. Rogelio Monreal Saavedra, Dr. Luigi Radelli Rocco, Dr. Juan José Palafox Reyes, Dr. Francisco Paz Moreno, Dr. Lucas Ilario Ochoa Landin, del departamento de Polímeros al Dr. Francisco Brown Bojórquez y Dr. Víctor Emmanuel Álvarez Montaña. Quiero agradecerles por haberme enseñado todos sus conocimientos, experiencias y sobre todo ser mis amigos.

“Impresión de tesis apoyada con recursos provenientes de PIFI/PROFOCIE 2014”

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN POR TÉCNICAS ANALÍTICAS (DRX, FRX, SEM-EDS) DE
ALTERACIONES EN EL PROYECTO SAN MIGUEL, UN DEPÓSITO
EPITERMAL, TEMORIS CHIHUAHUA, MEXICO.

MAESTRÍA EN CIENCIAS-GEOLOGÍA.

RAÚL ALFREDO CASTILLO PINELLI, Exp. 207202842

AGRADECIMIENTO AL CONACYT POR APOYARME COMO BECARIO

Registro CVU: 580134



28/01/2016

	PÁGINA
ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
CARACTERIZACIÓN POR TÉCNICAS ANALÍTICAS (DRX, FRX, SEM-EDS) DE LAS ALTERACIONES EN EL PROYECTO SAN MIGUEL, UN DEPÓSITO EPITERMAL, TÉMORIS CHIHUAHUA, MÉXICO.....	1
1- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- Localización del área de estudio.....	1
1.2.- Metodología.....	2
1.3- Objetivo general de este estudio.....	3
2- ALTERACIÓN HIDROTHERMAL.....	4
2.1- Relaciones entre Alteración, Ganga y Mena.....	7
2.2- Mineralogía y alteración de la matriz de roca.....	8
2.3- Marco Geológico.....	8
2.3.1- Depósitos Epitermales.....	8
2.3.1.1- Argilización.....	13
2.3.1.2- Propilitización.....	13
2.3.1.3- Silicificación.....	14
2.3.2- Geología Regional.....	15
2.3.3- Geología Local.....	17
2.3.3.1- Tipos de depósito.....	19
3- CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LAS TÉCNICAS.....	21
3.1. Técnicas clásicas utilizadas en la identificación mineral:.....	21

3.2.- Difracción de rayos X (DRX).....	21
3.3.- Fluorescencia de rayos X (FRX).....	23
3.4.- Microscopio electrónico de barrido (SEM - EDS).....	23
4.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
4.1- Materiales.....	25
4.1.1.- Difracción de rayos X.....	25
4.1.2.- Fluorescencia de rayos X.....	26
4.1.3.- Microscopio electrónico de barrido.....	26
4.2.-Metodología.....	27
4.2.1.- Difracción de rayos X.....	27
4.2.2.- Fluorescencia de rayos X.....	29
5.- RESULTADOS.....	31
5.1 - Difracción de rayos X.....	31
5.1.1- Descripción mineralógica.....	31
5.2.- Fluorescencia de rayos X.....	33
6. - DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	40
6.1- DISCUSIÓN.....	40
6.2- CONCLUSIONES.....	43
6.2.1- DRX.....	43
6.2.2- FRX.....	44
6.2.3- SEM-EDS.....	44
7.- BIBLIOGRAFIA.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS.

ÍNDICE.	PÁGINA
Figura 1.- Mapa ubicación de las vías de accesos al área de trabajo Témoris, Chihuahua, desde la ciudad de Hermosillo, Sonora México. Google Maps 2015.....	2
Figura 2.- Diagrama esquemático que muestra los espacios de alteración en el sistema pórfido de Cu-Au de alta temperatura y sistema epitermal de Au-As-Sb de baja temperatura. Los límites de fase están limitadas esquemáticamente. Que se modificó de Seedorff et al., 2004.....	6
Figura 3.- Las fotografías de las vetas auríferas en toba félsicas desde la parte profunda del yacimiento de oro Hatu (Xinjiang): (a) dos vetas albíta-cuarzo en tobas félsicas. La toba fue cortada también por microvetillas que consisten en cuarzo-pirita-arsenopirita y pirita, arsenopirita diseminada en toba; (b) microvetilla aurífera de cuarzo-actinolita-pirita-calcita en tobas félsicas, luz polarizada; (c) microvetilla aurífera con cuarzo-actinolita-calcita en toba félsica, luz polarizada; (d) microvetilla rica en oro de cuarzo-actinolita-arsenopirita en toba félsica, luz reflejada.	7
Figura 4.- Esquema de la Izquierda: Comparación entre los tres tipos de depósitos epitermales basados en sus estructuras, alteraciones, volátiles liberados, procesos, temperatura, pH, tipos de fluidos y reacciones involucradas, así como la reacción presente en las rocas magmáticas. Tabla derecha: asociaciones mineralógicas asociadas a las alteraciones hidrotermales en la formación de depósitos epitermales, mesotermiales y pórfidos, en comparación con el pH de las soluciones mineralizantes. Abreviaciones: <i>Ab</i> = albíta, <i>Ac</i> = actinolita, <i>Ad</i> = adularia, <i>Al</i> = alunita, <i>And</i> = andalucita, <i>Bi</i> = biotita, <i>Ca</i> = calcedonia, <i>Cb</i> = carbonatos, <i>Cc</i> = calcita, <i>Cl</i> = clorita, <i>Co</i> = corindón, <i>Cr</i> = cristobalita, <i>Dc</i> = dickita, <i>Di</i> = diáspora, <i>Do</i> = dolomita, <i>Ep</i> = epidota, <i>Fp</i> = feldespatos potásicos, <i>Ha</i> = halloysita, <i>I</i> = illita o illita-esméctica, <i>K</i> = caolinita, <i>Mt</i> = magnetita, <i>Op</i> = ópalo o sílice opalina, <i>Pi</i> = pirofilita, <i>Px</i> = clinopiroxenos, <i>Q</i> = cuarzo, <i>Se</i> = sericita, <i>Si</i> = siderita, <i>Sm</i> = esméctica o esméctica-illita, <i>Tri</i> = tridimita, <i>Z</i> = zeolitas. Tomado de Camprubí y Albinson, 2006.	11
Figura 5.- Ambiente tectónico convergente, se observan los tipos de yacimientos minerales asociados, entre ellos los yacimientos tipo epitermales. Tomada de Rodríguez, S.F. 2014. 12	

Figura 6.- Distribución de diversas asociaciones rocosas de la provincia volcánica de la Sierra Madre Occidental, (Ferrari et al, 2007).....	16
Figura 7.- Mapa geológico del distrito de Guazapares Chihuahua, México, reporte técnico de Paramount Gold.	18
Figura 8.- Difractómetro de rayos X de polvos marca Bruker, modelo D8 Advance del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.....	26
Figura 9.- Equipo de Fluorescencia de rayos X marca Microscopio electrónico de barrido marca Nitón FXL 950 del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.	26
Figura 10.- Microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM-5410LV del Departamento de Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora.	27
Figura 11.- Muestra M7 Argílica: En el ángulo $2\Phi=12.5$ aparece el primer pico de la fase caolinita con una intensidad de 11 cuentas por segundo (cps). Picos asociados a la misma fase se localizan a 19.8, 20.5, 21.3, 21.5, 23.2, 23.9 y 25, siendo estos los picos principales. Los demás picos asociados a esta fase son de intensidades muy bajas.	31
Figura 12.- Muestra M25 Silicificación: En el ángulo $2\Phi=26.8$ aparece el primer pico de la fase cuarzo con una intensidad de 460 cuentas por segundo (cps). Picos asociados a la misma fase se localizan a 21, 36.7, 39.5, 40.5, 45.9, 50.2, 50.4, 55, 55.5, 57.3, 60, 64, 65.8, 67.9 y 68.5, siendo estos los picos principales. Los demás picos asociados a esta fase son de intensidades muy bajas.	32
Figura 13.- Muestra M46 Propilítica: En el ángulo $2\Phi=29.5$ aparece el primer pico de la fase calcita con una intensidad de 21.5 cuentas por segundo (cps). En el ángulo $2\Phi=28$ aparece el segundo pico de la fase albita baja con una intensidad de 27.5 cuentas por segundo (cps). Picos asociados a la misma fase se localizan a 14, 15.1, 15.9, 22, 23.8, 24.5, y 30.5, siendo estos los picos principales. Los demás picos asociados a esta fase son de intensidades muy bajas.	33
Figura 14.- Muestra M7 Argílica: Espectrograma de la muestra analizada, se muestra la distribución elemental de Ca y K que corresponden a las fases índices, el calcio y el potasio están sobrepuestos, es por eso que no se observa el Ca en espectrograma.	34

Figura 15.- Muestra M25 Silicificación: Espectrograma de la muestra analizada. Se muestra la distribución elemental de sílice, la cual, es una fase índice de la alteración. 35

Figura 16.- Muestra M46 Propilítica: Espectrograma de la muestra analizada. Se muestra la distribución elemental de Fe, Ca y K la cual corresponde a las fases índices de la alteración. 36

Figura 17.- Muestra M7 Argílica. Espectrograma con la distribución de la posición de los elementos encontrados. Como se observa, las fases índice están presentes en los óxidos $\text{SiO}_2 = 65.66\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 20.16\%$, $\text{MgO} = 0.56\%$ 37

Figura 18.- Muestra M25 Silicificación. Espectrograma con la distribución de la posición de los elementos encontrados. Como se observa, la fase índice está presente en los óxidos $\text{SiO}_2 = 92.90$ 38

Figura 19.- Muestra M46 Propilítica. Espectrograma con la distribución de la posición de los elementos encontrados. Como se observa, las fases índice están presentes en los óxidos $\text{SiO}_2 = 51.33\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16.62\%$, $\text{MgO} = 7.29\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 2.56\%$, $\text{K}_2\text{O} = 1.04\%$, $\text{CaO} = 8.77\%$, $\text{FeO} = 9.96\%$ 39

ÍNDICE DE TABLAS.

ÍNDICE.	PÁGINA
Tabla 1.- Comparación entre las características de los depósitos epidermales de alta, intermedia y baja sulfuración. (Camprubí y Albinson, 2006).	9
Tabla 2.- Muestras recolectadas durante la campaña de trabajo en campo.	25
Tabla 3.- Muestras analizadas por DRX y FRX.	28
Tabla 4.- Composición elemental de las muestras analizadas en las cuales aparecen las fases minerales características de cada alteración.	34
Tabla 5.- Muestra M7 Argílica. Concentración de los elementos distribuidos en la muestra.	37
Tabla 6.- Muestra M25 Silicificación. Concentración de los elementos distribuidos en la muestra.	38
Tabla 7.- Muestra M46 Propilítica. Concentración de los elementos distribuidos en la muestra.	39
Tabla 8.- Condiciones químicas de minerales indicadores de un depósito epidermal, modificado de Hedenquist, 1987 y White & Hedenquist, (1990, 1995).	41
Tabla 9.- Dos subtipos basados en minerales de ganga comunes. Se modificó de Hedenquist, 1987 y White & Hedenquist, (1990, 1995).	42
Tabla 10.- Terminología híbrida que combina la ganga y mineralogía de sulfuros. Se modificó de Hedenquist, 1987 y White & Hedenquist, (1990, 1995).	42

RESUMEN.

Con el objetivo de determinar las fases mineralógicas de alteración en el Proyecto San Miguel, Témoris Chihuahua, se colectaron 50 muestras asociadas a la alteración hidrotermal de ese Proyecto. Las muestras colectadas se analizaron por las técnicas analíticas: Fluorescencia de rayos X (FRX), Difracción de rayos X (DRX), Microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS).

Se identificaron tres tipos de alteración: argilización, silicificación, propilitización. La fase mineral índice que define a la alteración argílica es caolinita, montmorillonita, illita, la cual está acompañada por cuarzo, albita baja, óxido de hierro, calcita, diópsida, andesina, sericita, alunita, ortoclasa, diquita, labradorita, dolomita. La alteración silícica o silicificación está definida por la fase mineral índice de cuarzo, tridimita, la cual está acompañada por las siguientes fases minerales, albita baja, óxido de hierro, calcita, diópsida, montmorillonita, caolinita, alunita, diquita, bernalita, ankerita. La alteración Propilítica está definida por la fase mineral índice de clorita, la cual está acompañada por las siguientes fases minerales cuarzo, albita baja, óxido de hierro, calcita, diópsida, andesina, sericita, montmorillonita, caolinita, alunita, ortoclasa, diquita, bernalita, ankerita, richterita.

La mineralogía identificada por DRX en cada una de las zonas de alteración definidas por los minerales índices en el Proyecto San Miguel, corresponden con las fases minerales identificadas en otros yacimientos epitermales del mismo tipo en la región.

Los estudios de FRX muestran congruencia con la mineralogía identificada por DRX. En la alteración argílica la composición química en ppm, es la siguiente: Zr = 2.3-300.9, Sr = 41-163, U = 2.9-6.6, Rb = 2.5-225.5, Pb = 218.5-72.9, As = 14.8-14.8, Zn = 492.6-495.6, W = 27.5-29.5, Cu = 66.5-112.8, Fe, 18700.2-73031.9, Mn = 1533.6-14856.9, V = 110.4-247.2, Ti = 8324.4, Ca = 786.3, 2596.9, K 328.2-43913.2 En la alteración silícica la composición química en ppm es la siguiente: Zr = 16.6-238.1, Sr = 14.4-241.1, Rb = 11.8-87.9, Pb = 19-8.6, As = 5.6-19.2, Zn = 48.1-90.4, W = 20.9-55.5, Cu = 11.6-44.2, Fe = 8168.8-32350.5, V = 54.2-126.2, Ti = 701.7-4351.7, Ca = 523-11701.2, K = 3436.4-17052.2. En la alteración propilítica la composición química en ppm incluye los siguientes elementos: Zr = 141.4-295.2, Sr = 46.6-236.4, U = 4.6, Rb = 174.2-192.2, Pb = 14.1-114.7,

As = 204.4-171.7, Zn = 35-512.4, W = 29.2-33.2, Cu = 21.7-105.6, Fe = 18152.4-59542.5, Mn = 374.4-5790.1, V = 65.1-181.1, Ti = 2954.3-7264.4, Ca = 3355.9-30557.3, K = 41199.3-37555.3

Los estudios por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) muestran consistencia con la composición química determinada por FRX.

En la alteración argílica la variación de óxidos mayores es la siguiente: Na₂O = 2.66%, MgO = 0.34%, Al₂O₃ = 10.67%, SiO₂ = 30.69%, K₂O = 2.85%, TiO₂ = 0.59 %, FeO = 4.37%. En la alteración silícica la variación de elementos mayores es la siguiente: Al₂O₃ = 1.92%, SiO₂ = 43.43%, K₂O = 0.31%, TiO₂ = 0.09%, MnO = 0.21%, FeO = 2.09%. En la alteración Propilítica la variación de elementos mayores es la siguiente: Na₂O = 1.9%, MgO = 4.4%, Al₂O₃ = 8.79%, SiO₂ = 23.99%, P₂O₅ = 0.47%, K₂O = 0.87%, CaO = 6.27%, TiO₂ = 0.67%, MnO = 0.18%, FeO = 7.74%.

La consistencia en la composición mineralógica (DRX) con la composición química (FRX y SEM-EDX) las 50 muestras colectadas, muestran que estas técnicas se pueden utilizar en la exploración en forma complementaria.

CARACTERIZACIÓN POR TÉCNICAS ANALÍTICAS (DRX, FRX, SEM-EDS) DE LAS ALTERACIONES EN EL PROYECTO SAN MIGUEL, UN DEPÓSITO EPITERMAL, TÉMORIS CHIHUAHUA, MÉXICO.

1- INTRODUCCIÓN.

La identificación de minerales de alteración (secundarios) en cualquier tipo de depósito mineral es de suma importancia ya que su identificación, conocimiento e interpretación aporta evidencias directas sobre la mineralogía primaria que es de gran interés en exploración de yacimientos minerales (Klein 2002). Los minerales son elementos o combinaciones de elementos en una forma cristalina que han sido producidos por un proceso geológico natural (Klein, 2002; Korbelt, 2001, Bishop, 1999), ya que cada diferente especie mineral debe ser diferente en composición y/o estructura cristalina. Por lo tanto, las sustituciones menores en una estructura mineral no son clasificadas como minerales diferentes a menos que esta sustitución ocurra en proporciones específicas constantes (Klein, 2002). La identificación precisa de fases paragenéticas, también puede dar una indicación de sucesión espacial y temporal de las especies minerales presentes (Klein, 2002; Korbelt, 2001, Bishop, 1999).

1.1.- Localización del área de estudio.

El Proyecto San Miguel está ubicado en el noroeste de México en la parte suroeste del estado de Chihuahua. El proyecto se encuentra a unos 400 kilómetros por carretera al suroeste de la ciudad de Chihuahua, la capital del estado. La pequeña localidad de Guazapares, que se encuentra en la parte central del área del proyecto, se encuentra a unos 11 kilómetros (13 kilómetros por carretera) al norte del poblado de Témoris.

El proyecto de San Miguel es parte del distrito minero Guazapares, uno de los muchos distritos que conforman el cinturón de Oro-Plata de la Sierra Madre Occidental. El proyecto de San Miguel se centra alrededor de 27 ° 15 'Latitud Norte y 108 ° 20' Longitud Oeste.

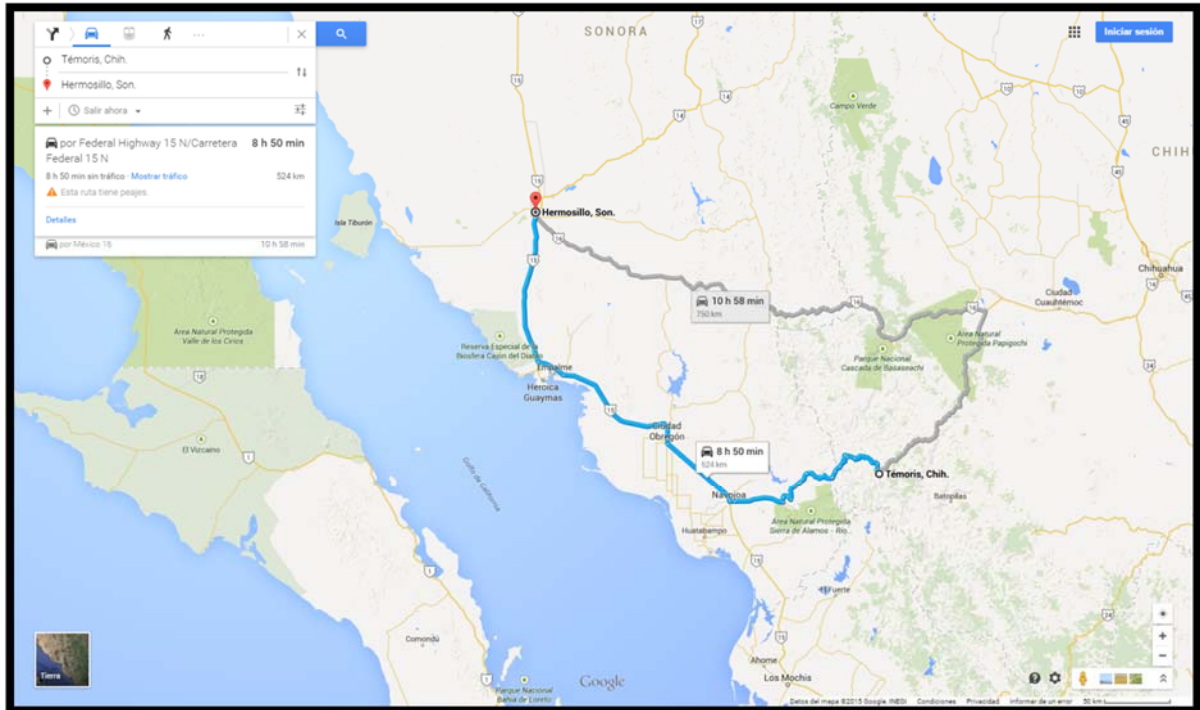


Figura 1.- Mapa ubicación de las vías de accesos al área de trabajo Témoris, Chihuahua, desde la ciudad de Hermosillo, Sonora México. Google Maps 2015.

1.2.- Metodología.

Este estudio se desarrolló siguiendo tres etapas importantes:

1. Recopilación y análisis de material bibliográfico.
2. Trabajo de campo.
3. Trabajo de laboratorio y gabinete.

El primer paso consistió en la recopilación de la información disponible acerca de los yacimientos epidermales, así como trabajos realizados en el área de estudio y zonas aledañas.

El trabajo de campo consistió en un reconocimiento geológico, con el fin de identificar la litología del área de manera local, distribución de la alteración y mineralización así como estructuras relacionadas. De manera simultánea se recolectaron 50 muestras de alteraciones (argilización, propilitización y silicificación) las cuales han sido ubicadas en el mapa local de la zona.

El trabajo de laboratorio y gabinete consistió en la preparación de las muestras para su trituración y pulverización, las cuales se generaron en el laboratorio del Departamento de Metalurgia y la pulverización en el laboratorio del Departamento de Geología, así como la información generada en las actividades anteriores, fue ordenada, analizada, descrita y se generaron planos relacionados a cada alteración, para la culminación de este trabajo de tesis.

1.3- Objetivo general de este estudio.

Este estudio será realizado para adquirir información de un grupo selecto de alteraciones minerales arcillosas (argilización, propilitización y silicificación) de un sistema epitermal. Este estudio se apoya con las técnicas analíticas: DRX, FRX, SEM-EDS.

El objetivo general y principal de este estudio es utilizar las técnicas analíticas en la identificación de minerales arcillosos, asociados con las zonas de alteración a un sistema epitermal, en el área de Témoris Chihuahua.

En segundo lugar, utilizar los minerales arcillosos identificados mediante SEM-EDS, DRX, FRX, para identificar la composición mineralógica asociada a la alteración en el entorno del sistema epitermal.

Los objetivos específicos de esta investigación de tesis son:

Adquirir información de los minerales de las diferentes áreas alteradas donde se tomaron las muestras y explicar las diferencias de las alteraciones, muy posiblemente debidas a cambios en estructura cristalina y composición química del mineral, provocada por el movimiento de masa asociada a la migración de fluidos hidrotermales.

Mostrar que las técnicas son una opción en la exploración minera para un rápido análisis tanto en laboratorio como en campo.

2- ALTERACIÓN HIDROTHERMAL.

Los depósitos minerales asociados a sistemas magmáticos hidrotermales se pueden encontrar en diferentes ambientes geológicos, tectónicos y pueden estar alojados en diferentes tipos de roca. Son usualmente controladas por fallas o estructuras de cizalla, ocurriendo como vetas y stockworks, o por estratos en el caso de menas estratiformes. Aunque es común pensar en fluidos formadores de mena derivados de magma para la formación de depósitos minerales, se tienen sistemas hidrotermales sin características distintivas de actividad magmática y que pueden resultar en la formación de grandes yacimientos hidrotermales (p. ej., Au, Ag, Pd, Zn, Sb, Hg, etc.).

Las reacciones geoquímicas que producen la alteración hidrotermal en la roca encajonante en los depósitos epitermales son importantes por varias razones. Primero: la distribución espacial (tridimensional) de las zonas de alteración hidrotermal es producida por la circulación de fluidos hidrotermales y por lo tanto, aportan evidencia sobre las trayectorias del movimiento de fluidos y evidencias geoquímicas de las posibles condiciones físicas y químicas de alteración. La distribución mineralógica y química de las zonas de alteración hidrotermal es generalmente la única evidencia directa de los patrones de circulación de los fluidos relacionados con la formación de minerales de mena. Segundo: el arreglo sistemático de las zonas de alteración hidrotermal y la determinación o identificación de este arreglo, pueden proporcionar información útil en la exploración y en algunos casos pueden proporcionar patrones (o proxis) para yacimientos por descubrir. Tercero: la alteración hidrotermal puede proporcionar información clave sobre el origen de los elementos metálicos en los depósitos epitermales. Por ejemplo, el agotamiento de elementos clave en las rocas alteradas, combinado con la cuantificación o deducción del volumen estimado de roca alterada puede limitar las posibles fuentes de minerales metálicos de mena. Por último, Cuarto: la identificación y el reconocimiento de las agrupaciones mineralógicas de alteración hidrotermal y su distribución zonal en el campo pueden proporcionar importantes indicios para determinar si un área bajo evaluación es favorable o no.

La alteración hidrotermal varía ampliamente de distrito a distrito y de depósito a depósito, las referencias bibliográficas al respecto son voluminosas. Para el lector

interesado, aquí se presenta un concentrado de referencias y citas: Slack (1993), Ohmoto (1996), Carvalho y otros (1999), Galley y Koski (1999), Large y otros (2001a), Hannington y otros (2003), Gifkins y otros (2005), Peter y otros (2007), Galley y otros (2007), Gibson y Galley (2007), y Goodfellow (2007).

Los procesos de alteración hidrotermal están relacionados con la interacción de la roca encajonante por fluidos hidrotermales, que transportan calor y componentes químicos en condiciones termodinámicas cambiantes y evolutivas. Los factores que afectan dicha alteración incluyen principalmente gradientes de temperatura entre los fluidos hidrotermales y variación en composición en la roca encajonante. El gradiente en las propiedades físicoquímicas (T vs. Xk/H) es generalmente grande (véase Fig. 2), pero el tiempo de reacción de los procesos metasomáticos es limitado, es decir, difícilmente se alcanza el equilibrio entre las diferentes fases minerales finales.

La alteración hidrotermal proporciona una importante guía para la exploración de yacimientos minerales, debido a que numerosos depósitos se caracterizan por presentar amplios halos de alteración, tal como los que se observan en los sistemas de pórfidos (Fig. 2). Aunque la presencia de alteración no garantiza necesariamente la presencia de un cuerpo mineral, muchos depósitos se han descubierto sobre la base del estudio del arreglo mineralógico de la alteración hidrotermal. En la Fig. 3 se muestra un ejemplo de vetas de oro en tobas félsicas alteradas del Yacimiento de oro Hatu (oeste Junggar, Xinjiang); todas las vetas de oro están acompañadas por una fuerte alteración en la roca encajonante caracterizada por cuarzo, sericita, clorita, calcita, que coexisten con abundante pirita y arsenopirita.

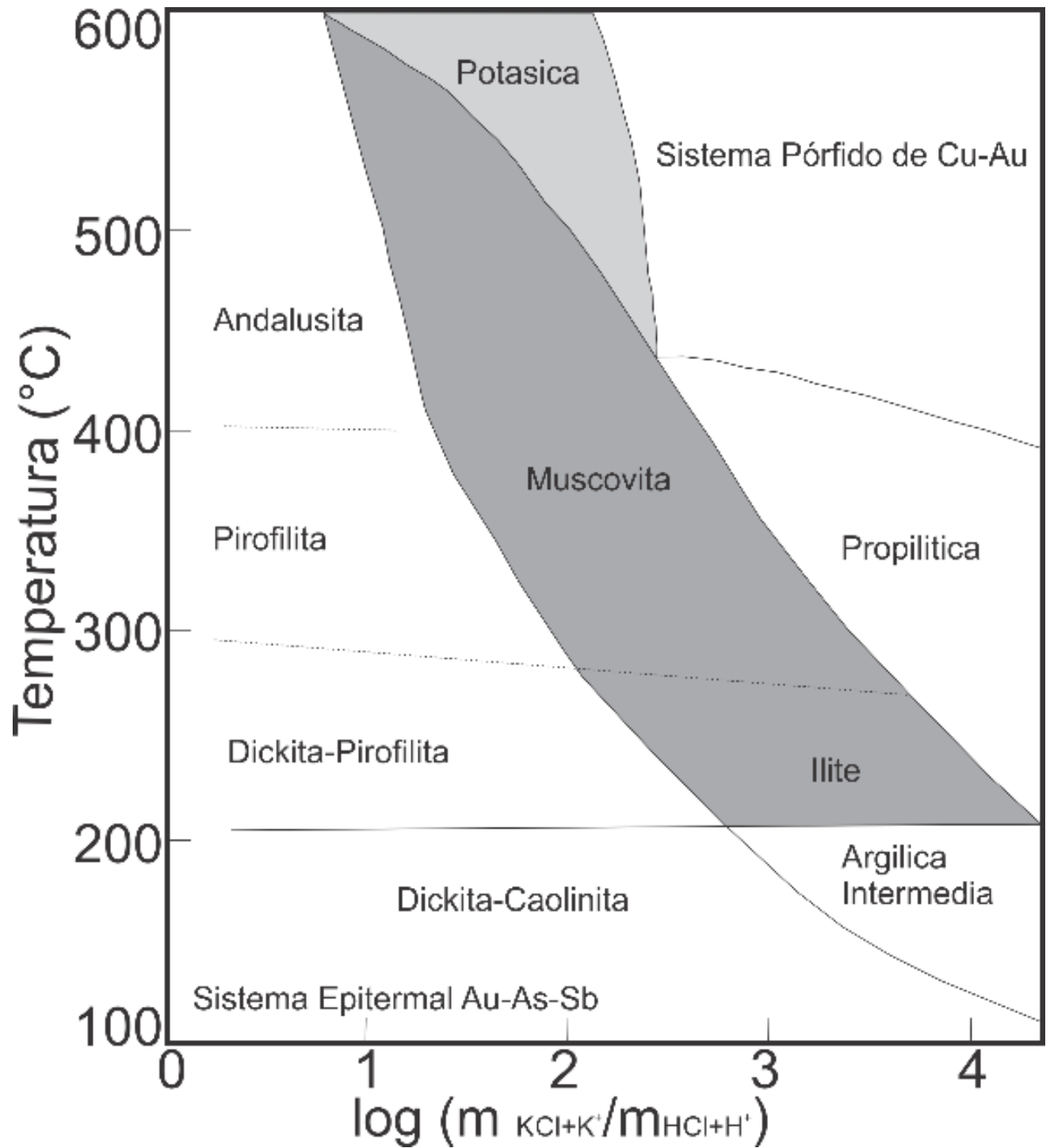


Figura 2.- Diagrama esquemático que muestra los espacios de alteración en el sistema pórfido de Cu-Au de alta temperatura y sistema epitermal de Au-As-Sb de baja temperatura. Los límites de fase están limitadas esquemáticamente. Que se modificó de Seedorff et al., 2004.

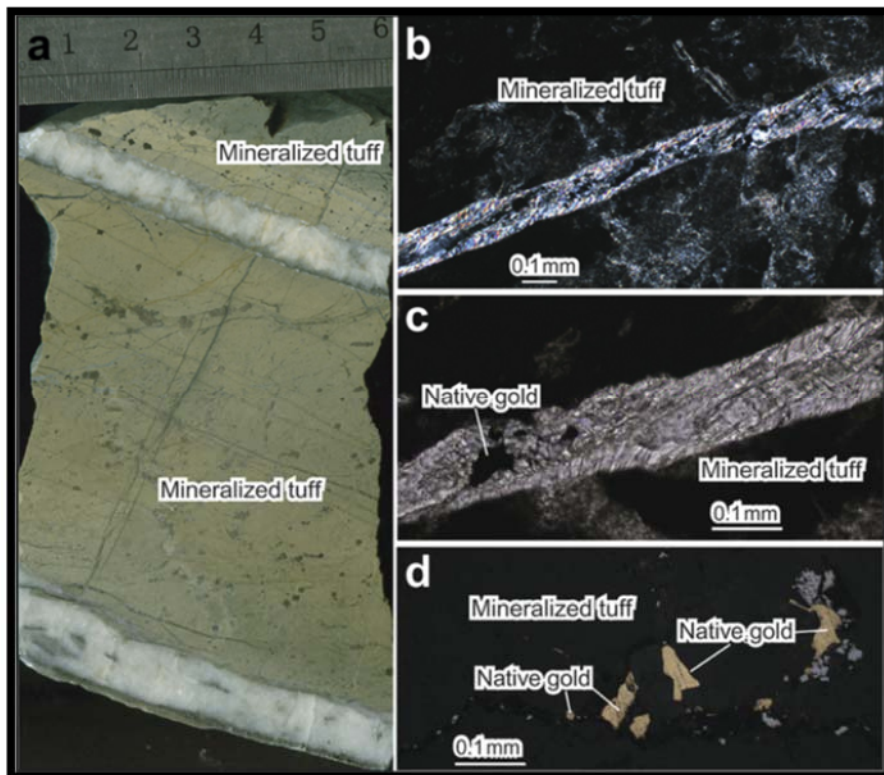


Figura 3.- Las fotografías de las vetas auríferas en toba félsicas desde la parte profunda del yacimiento de oro Hatu (Xinjiang): (a) dos vetas albita-cuarzo en tobas félsicas. La toba fue cortada también por microvetillas que consisten en cuarzo-pirita-arsenopirita y pirita, arsenopirita diseminada en toba; (b) microvetilla aurífera de cuarzo-actinolita-pirita-calcita en tobas félsicas, luz polarizada; (c) microvetilla aurífera con cuarzo-actinolita-calcita en toba félsica, luz polarizada; (d) microvetilla rica en oro de cuarzo-actinolita-arsenopirita en toba félsica, luz reflejada.

2.1- Relaciones entre Alteración, Ganga y Mena.

Mena es tradicionalmente definida como un mineral valioso o productos químicos que pueden ser extraídas con un beneficio. Ganga se define como cualquier mineral no económico depositado junto con el mineral de mena. Alteración hidrotermal se define como el proceso epigenético que modifica o produce alteración de las rocas o minerales mediante la reacción de fluido hidrotermal con las fases sólidas preexistentes. Alteración hidrotermal puede ser isoquímica, como el metamorfismo dominado por cambios mineralógicos, o puede ser metasomática y producir considerables adición o removilización de elementos. Cuando la alteración es intensa, puede resultar en cambios significativos de volumen, de tal

forma que se requiere de análisis de balance de masas para entender plenamente el proceso de alteración (Gresens, 1967).

2.2- Mineralogía y alteración de la matriz de roca.

Alteración hidrotermal en rocas volcánicas vítreas, podría incluir el remplazamiento de material vítreo primario de origen ígneo y minerales primarios (plagioclasa, cuarzo, ortoclasa, biotita y muscovita, anfíboles, piroxeno, titanomagnetita) por minerales de alteración estables en las condiciones de alteración, generalmente en el rango de 150-400 °C. Los minerales de alteración pueden incluir cuarzo y otras formas de sílice (calcedonia, ópalo, sílice amorfa), illita, sericita, esméctita, clorita, serpentina (lizardita, el crisotilo), albita, epidota, pirita, carbonatos, talco, caolinita, pirofilita, sulfatos (anhidrita, barita, alunita, jarosita), y óxidos (magnetita, hematita, goethita), entre otros. La alteración hidrotermal en el campo, puede en algunos casos ser difícil de distinguir de aquellas muestras alteradas por procesos de intemperismo. Roca vítrea o matriz vítrea o mesostasis de grano fino pueden ser particularmente susceptible a la alteración y puede ser masivamente silicificada, o remplazada por clorita o sericita al aumentar intensidad de la alteración. A alta intensidad de alteración, las rocas pueden ser afectadas por alteración penetrativa (pervasiva), en la que prácticamente todas las fases primarias en la roca son alterados o remplazados por nuevos minerales hidrotermales. En los casos extremos de zonas de alteración, se puede encontrar roca masivamente alterada por cuarzo, clorita, calcopirita, con o sin pirita, sericita y carbonatos. En estos casos extremos, las rocas son irreconocible en términos de litología original.

2.3- Marco Geológico.

2.3.1- Depósitos Epitermales.

Los depósitos epitermales en México, son de los más importantes y comunes como fuentes de metales preciosos y base. Este tipo de yacimientos minerales han sido encontrados en una gran variedad de ambientes geológicos, los cuales, reflejan una amplia gama de asociaciones litológicas, (usualmente ígneas-volcánicas), tectónicas y estructurales. La mayoría de estos depósitos son del Cenozoico y se encuentran

preferentemente a lo largo de la parte centro-oeste de México, cubriendo áreas de escala muy variable de <10 km² a >100 km² (Simmons et al, 2005).

El término epitermal se refiere a las mineralizaciones hidrotermales, normalmente en vetas, que se emplazan a poca profundidad, en un rango que abarca desde la superficie hasta 1 o 2 km de profundidad, y se forman a temperaturas entre 150°C y 300°C y a presiones de hasta varias centenas de bares, donde las condiciones hidrostáticas prevalecen (Simmons et al, 2005). Las características de los depósitos epitermales y su clasificación se han recopilado y resumido por Camprubí y Albinson (2006), (Tabla 1).

Tabla 1.- Comparación entre las características de los depósitos epitermales de alta, intermedia y baja sulfuración. (Camprubí y Albinson, 2006).

	Epitermales alcalinos (BS y SI)		Epitermales ácidos (AS)		
	Andesitas-riodacitas (AR), riolitas- basaltos bimodales (RB), alcalinas (A)		Andesitas-riodacitas por magmas calcoalcalinos		
	Somero	Profundo	Somero	Intermedio	Profundo
Rocas volcánicas relacionadas.					
Profundidad de formación.	0 - 300 m	300-800 m (muy raro >1000 m)	<500 m	500-1000 m	>1000 m
Contexto; roca de caja típica.	Domos; rocas piroclásticas y sedimentarias.	Domos; diatremas (AR,A); rocas piroclásticas y sedimentarias.	Domos, surgencia central; rocas piroclásticas y sedimentarias.	Domos, diatremas; rocas volcánicas.	Domo-diatrema; porfidos, rocas volcánicas y sedimentarias clásicas.
Morfología del depósito.	Vetas, enjambres de vetas, stockwork, diseminaciones.	Vetas, cuerpos brechificados, diseminaciones.	Diseminaciones, brechas y vetillas.	Vetas de sulfuros masivos, brechas.	Diseminaciones vetillas, brechas.
Texturas de las menas.	Bandas delgadas, crustiformes, en peine, brechas.	Bandas gruesas.	Cuarzo oqueroso de reemplazamiento.	Sulfuros masivos, vetas o brechas tardías.	Reemplazamiento.
Alteración	Capa de alunita-kalolinita, halo de arcillas.	Arcillas, sericita, carbonatos; roscoelita, fluorita (A).	Silicica (oquerosa), cuarzo-alunita.	Silicica (oquerosa), cuarzo-alunita, pirofilita-dickita-sericita.	Pirofilita-sericita, cuarzo-sericita.
Minerales de ganga.	Calcedonia-adularia-illita-calcita.	Cuarzo -Carbonatos-sericita-adularia ±baritas±anhidrita±hematita±clorita (AR)	Alunita, barita, kaolinita.	Anhidrita, kaolinita, dickita.	Sericita, pirofilita.
Sulfuros.	Cinabrio, estibinita; pirita/marcasita-arsenopirita, seleniuros AU-AG, sulfosales Se, pirrotita, esfalerita-Fe (RB).	Pirita-sulfuros/sulfosales Au-Ag, ±esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita/tennantita (AR).	Enargita/luzonita, covellita, pirita.	Energita/luzonita, calcopirita, tetraedrita/tennantita,	Bornita, digenita, calcocita, covellita.
Metales.	Au-Ag-As-Sb-Se-Hg-Tl (RB), relacion Ag/Aubaja; metales basicos <0.1-1 %	Ag-Au-Pb-Zn, Ba, Mn, Se (AR), relacion Ag/Au alta; metales basicos <2-10 (20+)%	Au-Ag, Cu lixiviado (Hg superpuesto).	Cu-Au-Ag-Bi-Te-Sn.	Cu-Au.
Características notables.	Sinter, capa de calcedonia (zona freática)	Algunas vetas de sulfuración intermedia, adyacentes a depositos de AS.	Capas de alteración debida a aguas calentadas por vapor.	Cuarzo oqueroso (vuggy)	Superpuesto a depositos metaliferos en porfidos.
Fluidos.	Incremento de salinidad y temperatura.		Incremento de salinidad y temperatura.		
Denominacion de tipo o subtipo.	Baja sulfuracion (término extremo).	Sulfuración intermedia.			

Los depósitos epitermales se pueden relacionar espacial y temporalmente con rocas volcánicas sub-aéreas y a intrusiones subvolcánicas (White y Hedenquist, 1990). Por eso existe multiplicidad en donde el yacimiento epitermal se encuentra asociado a un pórfido sin que necesariamente sea una aseveración la relación genética entre ellos, sin embargo, se ha documentado que dicho intrusivo aporta el calor necesario así como los fluidos hidrotermales capaces de llegar a formar un sistema hidrotermal cerca de la superficie. Dicho sistema hidrotermal esta frecuentemente relacionado con magmatismo calco-alcalino

a alcalino, en ambientes de arcos volcánicos de márgenes convergentes en intra-arco, tras-arco y en ambiente de rift post-colisional (Simmons et al, 2005).

Para este tipo de depósitos, los fluidos hidrotermales, tanto de origen ígneo como la interacción con los fluidos de origen meteórico y su respectiva mezcla son causantes de un cambio mineralógico en la roca encajonante así como del propio fluido, que al experimentar una disminución de la solubilidad de los metales ocasionará la deposición de los mismos. Es importante mencionar que la parte estructural juega un papel importante en este tipo de depósitos debido a que las estructuras como fallas y/o fracturas, brechas y porosidad producidas por procesos geológicos anteriores o contemporáneos al hidrotermalismo, serán los conductos necesarios para que fluidos mineralizantes sean fácilmente transportados, formando vetas, stockworks, disseminaciones y zonas de vetillas, principalmente. (White y Hedenquist, 1995), favoreciendo procesos de recarga de agua meteórica que entra al ciclo convectivo hidrotermal.

Dentro de la clasificación de los depósitos epitermales, existen tres subtipos de yacimientos epitermales; los de alta sulfuración, intermedia sulfuración y baja sulfuración (Figura 4), una de las características que los diferencian, resulta ser implícita en los nombres que presentan los yacimientos, los cuales se refieren a características mineralógicas y a sus alteraciones. El yacimiento epitermal de alta sulfuración es también llamado enargita-oro, alunita-caolinita y ácido-sulfato, mientras que el de baja sulfuración presenta otros nombres como adularia-sericita. Para el caso de los de intermedia sulfuración, sus propiedades han sido relacionadas con mayor parentesco a los de baja sulfuración, con ciertas discrepancias mínimas. Hedenquist (1987) propuso formalmente el término alta y baja sulfuración basándose en el estado de oxidación-reducción del azufre, el cual, en la actualidad es más común usar, por su carácter práctico y unificador. En base a esto, el tipo de yacimiento de alta sulfuración se forma bajo fluidos oxidados y de pH ácidos, en otras palabras, azufre con estado de oxidación de +6 o +4, en forma de SO_4 o SO_2 , lo cual es típico de fuentes termales ácidas cercanas a volcanes. Los de baja sulfuración se forman bajo fluidos reducidos y de pH neutro con azufre en estado de oxidación -2, y se encuentran más distales a su fuente de calor. (Camprubí y Albinson, 2006).

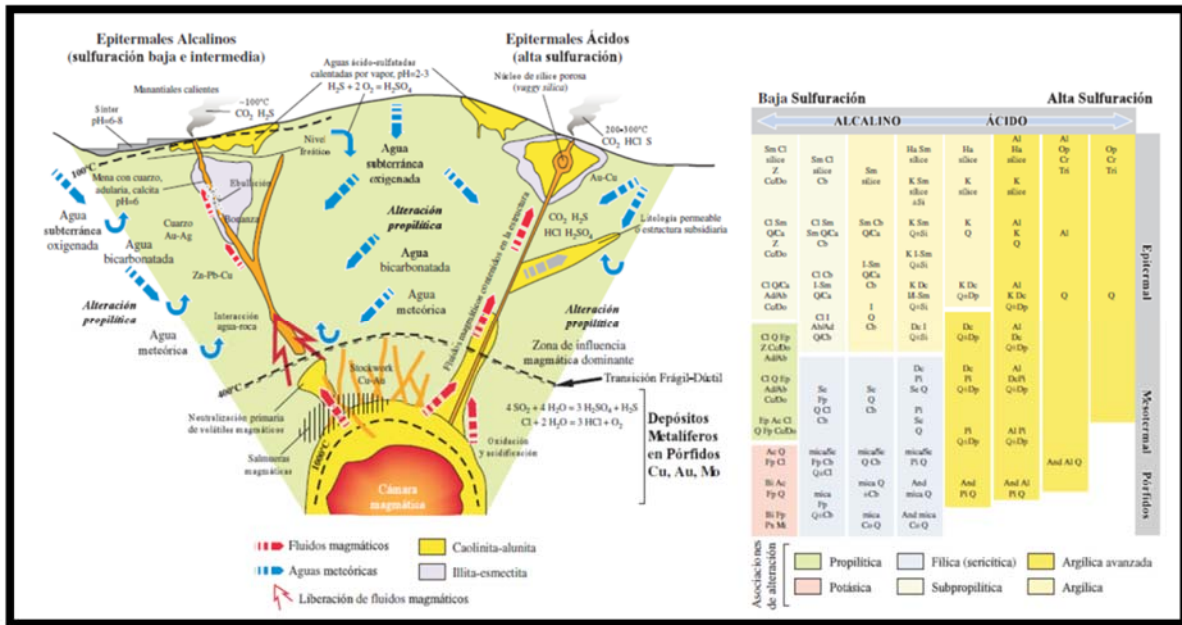


Figura 4.- Esquema de la Izquierda: Comparación entre los tres tipos de depósitos epitermales basados en sus estructuras, alteraciones, volátiles liberados, procesos, temperatura, pH, tipos de fluidos y reacciones involucradas, así como la reacción presente en las rocas magmáticas. Tabla derecha: asociaciones mineralógicas asociadas a las alteraciones hidrotermales en la formación de depósitos epitermales, mesotermales y pórfidos, en comparación con el pH de las soluciones mineralizantes. Abreviaciones: *Ab* = albita, *Ac* = actinolita, *Ad* = adularia, *Al* = alunita, *And* = andalucita, *Bi* = biotita, *Ca* = calcedonia, *Cb* = carbonatos, *Cc* = calcita, *Cl* = clorita, *Co* = corindón, *Cr* = cristobalita, *Dc* = dickita, *Di* = diáspora, *Do* = dolomita, *Ep* = epidota, *Fp* = feldespatos potásicos, *Ha* = halloysita, *I* = illita o illita-esméctica, *K* = caolinita, *Mt* = magnetita, *Op* = ópalo o sílice opalina, *Pi* = pirofilita, *Px* = clinopiroxenos, *Q* = cuarzo, *Se* = sericitita, *Si* = siderita, *Sm* = esméctica o esméctica-illita, *Tri* = tridimita, *Z* = zeolitas. Tomado de Camprubí y Albinson, 2006.

Simmons et al., (2005), resumen que las diferencias que presentan las soluciones magmático-hidrotermales ácidas con respecto a las soluciones cloruradas con pH cercano al neutro, son debido a cuatro condiciones propias del ambiente:

1. La naturaleza y profundidad del subyacente intrusivo.
2. El alcance que presenta el flujo de los fluidos desde las partes más profundas del sistema hasta el ambiente epitermal.
3. El grado en que los fluidos son capaces de ascender libremente por los conductos verticales.

4. El alcance de interacción agua-roca, conforme los fluidos ascienden.

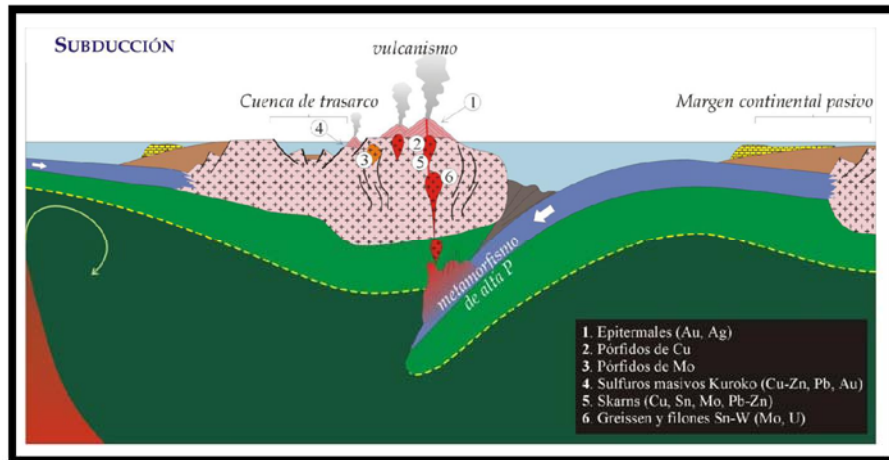


Figura 5.- Ambiente tectónico convergente, se observan los tipos de yacimientos minerales asociados, entre ellos los yacimientos tipo epitermales. Tomada de Rodríguez, S.F. 2014.

La relación espacio-temporal que los depósitos epitermales sobrellevan en sus primeras etapas de formación es un reflejo directo de lo que se puede observar en sus tipos de alteración, producidas por la interacción de los fluidos mineralizantes con la roca encajonante, dicha característica comparte criterios que permiten diferenciar entre los tipos de epitermales, acompañado, evidentemente, de otras particularidades del yacimiento. White y Hedenquist (1995), mencionan que la asociación entre minerales económicos y los de alteración en los epitermales de baja sulfuración son producidos por aguas termales con pH cercano al neutro y con temperaturas que van decreciendo conforme disminuye la profundidad y se aleja de los conductos por donde los fluidos son transportados, mientras que en el caso de los epitermales de alta sulfuración esto ocurre con fluidos ácidos que no están en equilibrio con la roca encajonante.

Por comparación, en los sistemas hidrotermales activos (sistemas geotermales), la alteración mineralógica y la temperatura son medidas directamente durante el proceso de formación, tales datos indican el rango de estabilidad termal de temperatura dependiendo del mineral. Durante la exploración de prospectos epitermales ésta información facilita calcular paleo isothermas que permiten deducir la distribución de los minerales de alteración, ayudan a encontrar conductos de paleo fluido y a determinar los niveles de erosión actuales. Es importante mencionar que las acumulaciones de los minerales económicos ocurren

mayoritariamente en las zonas de los conductos. Lo último es significativo para los sistemas epitermales dado que la mineralización económica se deposita en un rango de temperaturas que va predominantemente de 180°C a 280°C, equivalente a la profundidad debajo del nivel isostático del agua, de 100 m a 800-1500 m (White y Hedenquist, 1995).

2.3.1.1- Argilización.

La alteración argílica se caracteriza por la formación de minerales de arcilla, debido al metasomatismo de H^+ y al lixiviamiento ácido, a temperaturas de entre 100°C a 300°C. La lixiviación de los silicatos de aluminio resulta en un enriquecimiento de material rico en sílice. Los minerales de arcilla son producto del reemplazamiento de las plagioclasas y los silicatos máficos como la biotita y la hornblenda. Arcillas amorfas como el alófano pueden también estar presentes (Pirajno, 2009).

Dentro de los cambios transicionales que presenta la alteración argílica, internamente puede variar a zonas de alteración filica, mientras que hacia el exterior se empieza a tornar propilitica (Pirajno, 2009), tales variaciones son controladas por la cercanía de los conductos de los fluidos y por lo tanto de las condiciones químicas dominantes en la región.

La asociación mineral típica para esta alteración está conformada por cuarzo, caolinita, illita sericita y esméctita (Arribas, 1995), sin embargo la alteración argílica puede derivarse a una alteración argílica intermedia en donde las condiciones cambian un poco. Para esta alteración predomina la caolinita y montmorillonita, y pueden estar presentes arcillas amorfas y feldespatos potásico y biotita parcialmente recristalizadas a clorita. En cuanto a la temperatura relacionada a esta alteración, se ha visto que, en base a la estabilidad de la caolinita y la montmorillonita, la primera se presenta inestable a temperaturas mayores a los 400°C y la montmorillonita a valores apenas superiores a la caolinita, por lo tanto se ha fijado que la temperatura máxima para esta alteración sería de 400°C a 480°C (Gómez, s.f).

2.3.1.2- Propilitización.

Una de las alteraciones que ocurren en las zonas más alejadas de la actividad hidrotermal y de sus consecuentes fluidos ácidos es la alteración propilitica la cual es

caracterizada por la añadidura de H₂O y CO₂ al sistema y localmente Azufre (S), con poca cantidad de H⁺ producto del metasomatismo (Pirajno, 2009). Esta alteración ocurre preferentemente en regiones con baja relación agua-roca, fuera de las zonas de los conductos, y está controlada por la composición original de la roca (White y Hedenquist, 1995). Cuando los fluidos, que se desplazan lentamente por estar lejanos a la fuente, alcanzan el equilibrio con la roca y sus minerales constituyentes, se forma la alteración propilítica (Simmons et al, 2005). En una escala regional, a una profundidad de más de 400 m por debajo del nivel freático del agua, esta alteración es común, como se ha reportado en depósitos como Acupan, Filipinas y Comstock Lode and Round Mountain en Estados Unidos (Simmons et al, 2005).

La asociación mineralógica relacionada a esta alteración presenta minerales como la albita, calcita, illita, esmectita, epidota, clorita, piritita, adularia y minerales del grupo de las zeolitas (White y Hedenquist, 1995; Arribas, 1995), los cuales generalmente se presentan como asociación rodeando a las demás alteraciones y cuerpos de minerales económicos.

Los minerales en esta alteración, sobre todo en el caso de la illita y esmectita, se presentan más frecuentemente por la situación de que éstos son más estables conforme los fluidos ácidos son progresivamente neutralizados por la reacción con la roca encajonante (White y Hedenquist, 1995).

2.3.1.3- Silicificación.

Involucra el aumento de sílice, con el desarrollo de cuarzo secundario, jaspe, calcedonia, chert, ópalo u otras variedades silíceas en las rocas de caja de depósitos epigénicos. La química de esta alteración es variada y depende esencialmente del tipo de roca afectada. En materiales carbonáticos hay generalmente una introducción de sílice y una gran remoción de Ca, Mg, Fe, CO₂ entre otros constituyentes. En rocas silicatadas, la sílice puede ser redistribuida entre las rocas de caja. Se asocia a la depositación de sulfuros principalmente.

2.3.2- Geología Regional.

El distrito Guazapares y el proyecto San Miguel están ubicados en la parte occidental de la Sierra Madre Occidental (SMO). La SMO se caracteriza por una meseta de tendencia al noroeste con una altitud media superior a 2000 msnm, y cubre un área de aproximadamente 1200 km de largo y 200 a 400 km de ancho, que se extiende al sureste de la frontera con los Estados Unidos para el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (Fig. 6).

El término "Sierra Madre Occidental" también se utiliza para describir la provincia volcánica terciaria, la cual se caracteriza por grandes volúmenes de ignimbritas silíceas. Dentro de este contexto, la Sierra Madre Occidental se extiende más allá de los límites de la provincia fisiográfica e incluye la Mesa Central y parte del este de Chihuahua. La provincia volcánica de la Sierra Madre Occidental es una de las más grandes provincias ígneas silíceas en la Tierra, que cubre un área de aproximadamente 300.000 km² (Ferrari et al., 2007).

Los volúmenes de ignimbritas silíceas que caracterizan a la provincia volcánica de la Sierra Madre Occidental son parte de una secuencia más grande de rocas volcánicas y plutónicas que se sabe reflejan magmatismo de arco continental de subducción que migró lentamente hacia el este durante el Terciario temprano y luego se retiró hacia el oeste, más rápidamente, alcanzando el margen occidental del continente a finales del Oligoceno (Damon et al, 1981;.. Sedlock et al, 1993). Los conjuntos relacionados de arco son del más antiguo al más joven (Figura 6; Ferrari et al., 2007):

- Las rocas plutónicas y volcánicas andesíticas del Cretácico-Paleoceno Tardío.
- Eoceno andesítico y menos rocas volcánicas dacíticas-riolíticas.
- Ignimbritas silíceas emplazadas como resultado de dos impulsos principales de las erupciones de la caldera en el Oligoceno Temprano y Mioceno Temprano.
- Lavas basálticas que estallaron durante las últimas etapas de y después, cada pulso ignimbrítico.
- Los episodios repetidos de lavas basálticas alcalinas e ignimbritas generalmente emplazados a lo largo de la periferia de la Sierra Madre Occidental en el Mioceno superior, Plioceno y Cuaternario.

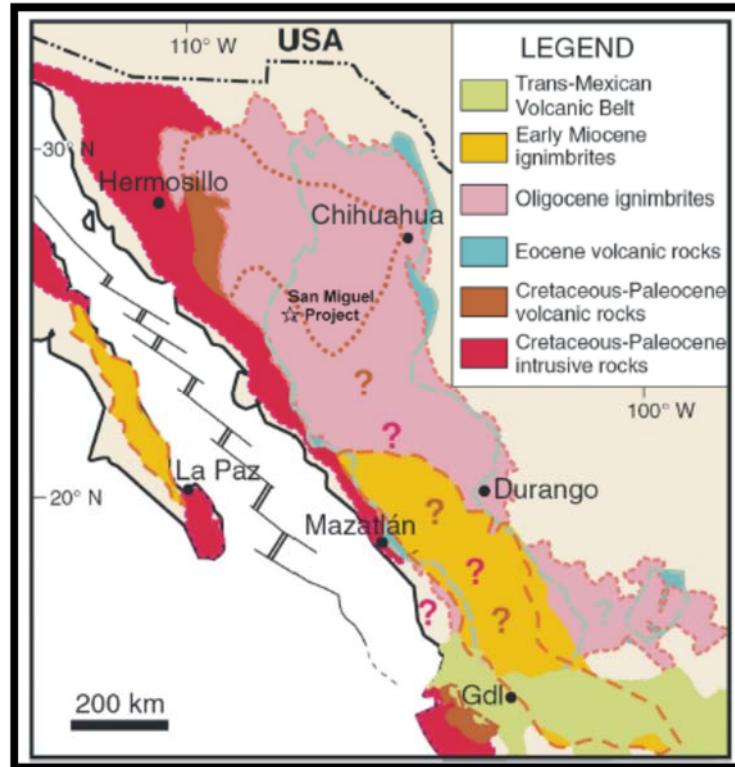


Figura 6.- Distribución de diversas asociaciones rocosas de la provincia volcánica de la Sierra Madre Occidental, (Ferrari et al, 2007).

El conjunto de rocas de la Sierra Madre Occidental es una suite riolítica calcoalcalina típica con intermedio a alto potasio y contenidos relativamente bajo en hierro (Ferrari et al., 2007). El Complejo Volcánico Inferior, se compone de más de 2000 metros de rocas volcánicas andesíticas predominantemente, con unos flujos de cenizas intercaladas e intrusiones hipabisales. El Complejo Volcánico Superior consta de más de 1000 metros de ignimbritas riolíticas y flujos, con andesita subordinada, dacita y basalto. El Complejo Volcánico Superior cubre discordantemente al Complejo Volcánico Inferior. Algunos cuerpos intrusivos ácidos alterados, a menudo asociados con la mineralización pueden estar relacionados con primeras fases de esta secuencia superior. Todos los conjuntos se superponen parcialmente y cubren un sótano heterogéneo del Precámbrico, Paleozoico, Mesozoico y rocas expuestas localmente en cañones (Ferrari et al., 2007).

Las rocas intrusivas más antigua (101 a 89 Ma) del Complejo Volcánico Inferior en Sinaloa, y volcánicas del Cretácico Tardío (70,6 a 65,5 Ma) del Complejo Volcánico Inferior en el centro de Chihuahua, se vieron afectados por la deformación de contracciones

moderadas durante la Orogenia Laramide. En la etapa final de este ciclo de deformación (Paleoceno y Eoceno Temprano), con tendencia extensionales EW a ENE - WSW, estructuras formadas dentro del Complejo Volcánico Inferior de la Sierra Madre Occidental. El Complejo Volcánico Superior es relativamente plano con un buzamiento suavemente al este y no deformado por el evento más antiguo Laramide.

Posterior al evento compresional Laramide, la Sierra Madre Occidental ha sido variablemente afectada por diferentes episodios de deformación extensional dominante. La tectónica extensional comenzó ya en el Oligoceno en toda la mitad oriental de la Sierra Madre Occidental, formando fosas delimitadas por un alto ángulo fallas normales. En el Mioceno temprano y medio, la extensión migró hacia el oeste y por el Mioceno tardío, la extensión se centró en la parte más occidental de la Sierra Madre Occidental, al lado del Golfo de California. La deformación extensional no ha afectado el núcleo de la Sierra Madre Occidental, que se encuentra entre lo que se ha definido como el "Basin and Range de México", al este, y la "Provincia del Golfo Extensional", al oeste (Henry, C.D., and Aranda-Gómez, J.J., 2000; Ferrari et al., 2007). En los extremos norte y sur de la Sierra Madre Occidental, estas dos provincias donde se fusiona la extensión, han afectado a todo el ancho de la Sierra Madre Occidental.

Dentro de la parte occidental de la Sierra Madre Occidental, unos 300 kilómetros de largo al norte-noroeste con tendencia un cinturón de baja a intermedia sulfuración epitermal, de plata polimetálica y mineralización de oro se extiende desde el depósito Moris a Guadalupe y Calvo a lo largo de la frontera suroeste de Chihuahua. Esta tendencia de ocurrencias minerales parece estar localizado por una serie de norte al noroeste estructuras extensionales regionales orientadas.

2.3.3- Geología Local.

En el distrito de Guazapares, las rocas andesíticas regionalmente propilitizadas y tobas riódacíticas e intrusiones hipabisales relacionados del Complejo Volcánico Inferior ocurren en elevaciones más bajas. Los flujos de cenizas masivas, tobas riolíticas del Eoceno-Oligoceno Volcánico relacionadas con el Complejo Volcánico Superior ocurren en las crestas de las colinas más altas. Andesitas basálticas y basaltos del Mioceno localmente recubren al Complejo Volcánico Superior inmediatamente al oeste de las concesiones de

San Miguel y Empalme (Figura 7). Gran parte de la mineralización reconocida en este distrito, incluyendo aquella en el lote minero San Miguel (Fig. 7), se hospeda en las rocas del Complejo Volcánico Inferior.

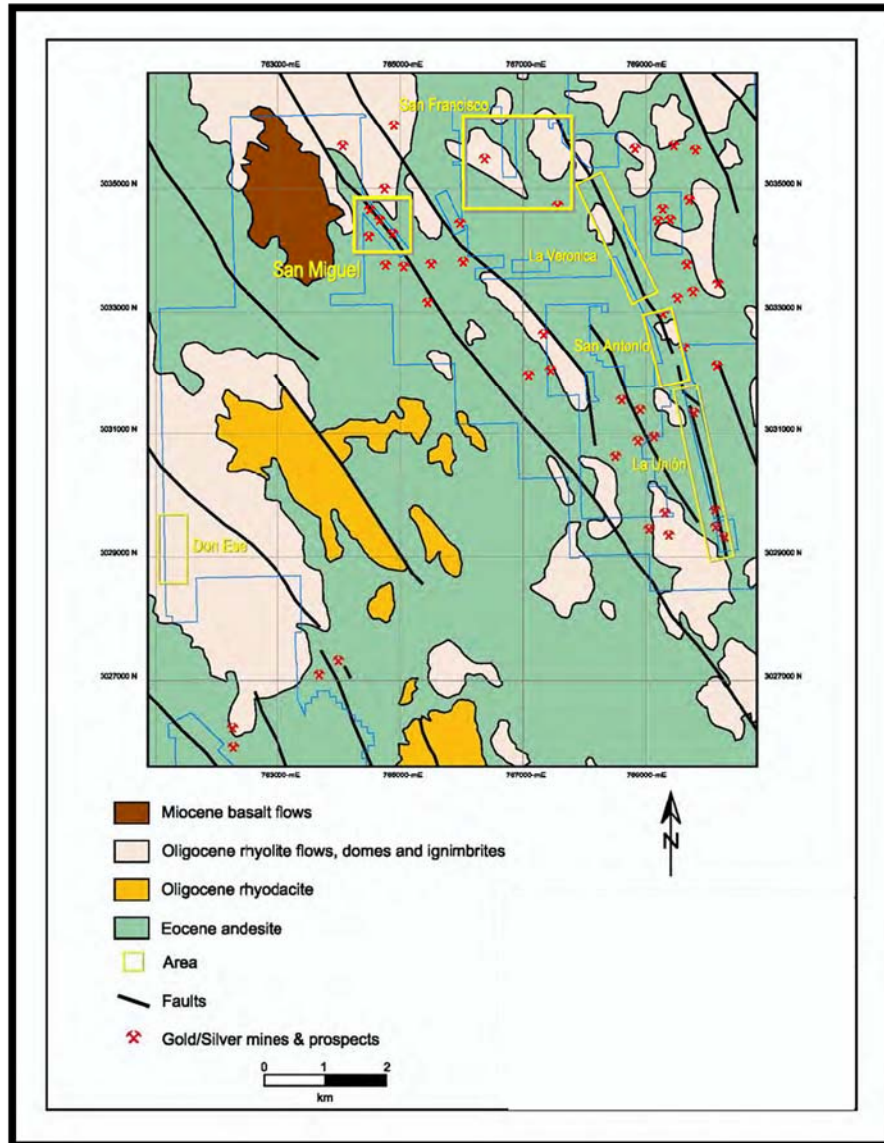


Figura 7.- Mapa geológico del distrito de Guazapares Chihuahua, México, reporte técnico de Paramount Gold.

Las fallas en el distrito, generalmente desarrollan arreglo en paralelo con una tendencia norte-noroeste, con mineralización de plata, oro, plomo y zinc asociada, con varios diques riodacíticos que siguen a estas estructuras y que parecen estar asociados con la mineralización.

2.3.3.1- Tipos de depósito.

La mineralización en el proyecto de San Miguel se presentan en forma de vetas epitermales de oro-plata y brechas mineralizadas de baja a intermedia sulfuración que siguen el tren estructural N-NW, similar a la de otros distritos a lo largo del cinturón Oro-Plata de la Sierra Madre Occidental.

Camprubí y Albinson, (2007) discuten en detalle los tipos de depósitos epitermales presentes en México. Es su conclusión de que la mayoría de los depósitos epitermales en México, tienen características compuestas de baja a intermedia sulfuración y no pueden ser caracterizados como uno u otro. Su categoría mixta de baja a intermedia sulfuración es el tipo más generalizado de la mineralización epitermal en México y comprende aquellas características de baja sulfuración predominantemente rica en metales preciosos pero que tienen polimetálicos con raíces de intermedia sulfuración (Zn-Pb/-Cu). En la mayoría de estos depósitos la mineralización se encuentra en las vetas y/o cuerpos brechoides de hasta varios kilómetros de largo y en intervalos verticales generalmente de 300 a 600 metros. La mayoría de los depósitos epitermales en México tienen un polifásico y un carácter multiepisódico y son productos de varias fases o etapas de la formación de la veta, no todos los cuales son minerales transportados, las etapas de las vetas con frecuencias exhiben un complejo de bandas internas de minerales de ganga y mineral que puede ser producto de pulsos discretos de fluidos mineralizantes con diferentes orígenes o el proceso episódico de brechificación y el sellado de las vetas durante un solo pulso del fluido.

La mineralización epitermal de vetas, stockworks y brechas raramente se formaron durante varios eventos hidrotermales. Los tipos de alteración asociada incluyen: propilitización, agilitación, silicificación, además se pueden observar zonas de stockwork, brechas hidrotermales silicificadas y vuggy, brechas de expansión rellenas con cuarzo.

Los prospectos históricos dentro del proyecto de San Miguel son Veta San Miguel, Veta San Luis, San Antonio y Veta La Unión, en el que la mineralización de oro y plata en general, tiene un buzamiento abrupto y los rumbos en las tendencias de mineralización son N-NW, de forma similar a la mineralización en el cercano distrito de Palmarejo. La actividad minera anterior a 1956, se caracteriza por la explotación cercana a la superficie de las zonas oxidadas de las estructuras mineralizadas, las cuales produjeron plata y en menor

cantidad oro. A escala de distrito, la litología, el control estructural de la mineralización parece ser muy similar al de otros yacimientos en el área, en particular a los de Palmarejo, que se localiza a unos 15 kilómetros al oeste del proyecto de San Miguel y de la mina Dolores, ubicada a 200 kilómetros al norte-noroeste.

Las principales estructuras que albergan las vetas mineralizadas, zonas de stockwork y cuerpos de brechas ocurren generalmente en andesitas con alteración propilítica y cantidades menores de tobas volcánicas riodacíticas relacionadas con intrusiones hipabisales del Complejo Volcánico Inferior, o cerca del contacto entre las secuencias andesíticas y/o secuencias félsicas que permitieron el desarrollo de cuerpos mineralizados a través de las fracturas o zonas dilatacionales.

El distrito de San Miguel comprende una serie de vetas con múltiples fases caracterizadas por la generaciones de vetillas, zonas de brecha y alteración hidrotermal; esta última conformando una propilitización periférica circundando a una alteración argílica y silicificación intensa, a menudo con el desarrollo de adularia, dentro de las rocas que encierran las principales estructuras mineralizadas.

Estos sistemas de vetas son ricas en plata con una relación Ag: Au de 100:1 y parece que se extienden lateralmente y a profundidad. La mineralogía más importante en las vetas de plata es esfalerita y argentita con menos pirita. En el caso de las vetas de oro, la mineralogía es pirita y calcopirita como los principales minerales de sulfuro y se producen a lo largo de los márgenes de intrusiones subvolcánicas. Hematita hipógena es común en todas las zonas.

3- CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LAS TÉCNICAS.

3.1. Técnicas clásicas utilizadas en la identificación mineral:

DRX, Difracción de Rayos-X. La difracción de rayos-X es actualmente la técnica más utilizada en la identificación de fases minerales. La aplicación de esta técnica implica la molienda y pulverización de las muestras.

Mineralogía óptica, usada como un procedimiento rutinario convencional en la identificación de minerales mediante la utilización de microscopio óptico petrográfico-minerográfico, para tal propósito se debe preparar secciones delgadas de roca de 1 μm de espesor.

(SEM-EDS), EMPA, AA/AE, ICP-MS, FRX. Este es un grupo de técnicas utilizadas para el análisis de la composición química de fases minerales. La cobertura con una capa de carbono es necesaria (SEM y EMPA) o la disolución de la muestra (AA/AE, ICP-MS, FRX) para el análisis de las fases minerales. Así mismo se requiere, tener que preparar de un juego de estándares de muy alta precisión para una calibración confiable del método.

3.2.- Difracción de rayos X (DRX).

La técnica por Difracción de Rayos X es una técnica no destructiva y altamente empleada para la caracterización e identificación de las fases mineralógicas, especialmente de los sedimentos y rocas con mineralogía arcillosa. La técnica se basa en la interferencia de los rayos X con la muestra a analizar y su respectiva red cristalina, ya a que los rayos X presentan una longitud de onda similar al espaciado interplanar de las estructuras cristalinas.

Los rayos X se definen como una radiación electromagnética de longitud de onda corta que presentan longitudes en el rango de $\sim 0.1 \text{ \AA}$ a $\sim 100 \text{ \AA}$, y se encuentran localizados entre la radiación gamma y ultravioleta. La región específica, en el espectro, que más comúnmente utilizamos para la DRX, abarca de $\sim 0.5 \text{ \AA}$ a $\sim 2.5 \text{ \AA}$ por ser del mismo orden que las distancias interatómicas observadas tanto para materiales orgánicos como para inorgánicos (minerales) (Pecharsky y Zavalij, 2005).

Los rayos X se producen en cualquier laboratorio de investigación. Se generan en un tubo en el que electrones de alta energía que proceden de un cátodo, bombardean a un ánodo principalmente de Cu o Co, como resultado se obtiene dos tipos de radiación con las siguientes características:

1. Radiación blanca, que es una banda continua de radiación, producto de la transformación de energía cinética en rayos X, de los electrones del filamento que se desaceleran al golpear el ánodo.
2. Radiación característica, los cuales son un grupo de líneas de intensidades variables, representando la energía liberada, producto del cambio o reordenamiento de los electrones en sus niveles energéticos K, L, M, N, O, P, Q, durante el proceso de excitación de los átomos metálicos. Dependiendo de la posición de los electrones participantes. (Carretero y Pozo, 2007).

El fundamento de la técnica se basa en la ley de Bragg, la cual, establece que los rayos X se difractan sobre los planos reticulares de los cristales según un ángulo (θ) que depende del espaciado de los mismos (Melgarejo et al, 2010). La fórmula de la ley de Bragg es la siguiente: $\lambda = 2d \sin(\theta)$, donde: λ = longitud de onda de los rayos X, d = distancia interplanar de un plano cristalográfico con índices de Miller hkl . La fórmula permite convertir el ángulo de difracción a la distancia interplanar de los cristales en unidades Å o nm, en donde posteriormente, basados en una base de datos digital podemos identificar el mineral deseado.

Algunas características Fundamentales:

- Se propagan en línea recta, ionizan gases, impresionan películas fotográficas, gran poder de penetración.
- Las longitudes de onda de los rayos X son comparables con las distancias interatómicas de los cristales.
- Cristales: rejillas naturales de la difracción.
- Identificación de fases minerales y determinación de su estructura.

3.3.- Fluorescencia de rayos X (FRX).

El fundamento de la Fluorescencia de rayos-X radica en la existencia de un sistema atómico con distintos niveles de energía y las posibles transiciones electrónicas entre ellos. La base de la técnica analítica de la Fluorescencia de rayos-X por dispersión en longitud de onda (WDFRX) es la medida de la energía de la radiación emitida en estas transiciones energéticas y es conocida como fluorescencia de rayos-X.

El fenómeno de fluorescencia de rayos X se puede describir en dos etapas:

- **Excitación**

Si se considera un sistema en su estado fundamental, es decir de menor energía, al aplicarse una energía de una magnitud suficiente, ésta puede ser absorbida por el sistema, pasando éste a un estado de mayor energía o estado excitado debido a la salida de electrones del átomo. A la excitación producida por rayos X que provienen del tubo de rayos-X, se le llama radiación primaria o fotones de rayos-X primarios.

- **Emisión**

Los estados excitados son inestables, y el átomo tiende a volver a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones desde los niveles más externos hacia los niveles más internos, para ocupar los huecos producidos. Este proceso produce desprendimiento de energía en forma de radiación de rayos-X secundaria llamada fluorescencia de rayos-X.

- Fuente de energía: Rayos X (radiación policromática).
- Composición química global: Técnica macroanalítica, espectro característico de cada elemento presente, Cuantificación (empleo de patrones), Precauciones en la preparación de la muestra, Limitaciones de elementos con $Z > 5$ (efectos de absorción y dificultad para encontrar cristales con grandes espaciados).

3.4.- Microscopio electrónico de barrido (SEM - EDS).

SEM (Scanning Electron Microscopy) es una técnica con bastante resolución a la hora de caracterizar partículas o superficies de minerales que no pueden ser captados en

microscopía óptica, el rango de aumentos que pueden ser utilizados en la técnica abarca de los 20X hasta los 100,000X, el límite de resolución es de 0.01 μm (Carretero y Pozo, 2007).

La base de la técnica se fundamenta en la interacción de un haz de electrones con la muestra a analizar, lo que produce imágenes producto de la detección de electrones secundarios (SE) y/o electrones retrodispersados (BSE) que son producidos de la superficie de la muestra debido a la excitación producto de la interacción con el haz. Esta radiación producida por la muestra, presenta diferentes longitudes de onda, sin embargo, los más utilizados corresponden a los de radiación X. Por consiguiente se comparan las longitudes de onda o las intensidades de los rayos X con emisiones procedentes de patrones (McMahon, 2007; Carretero y Pozo, 2007).

El uso de SE-BSE, capta ambos tipos de electrones, se emplea de forma rutinaria para el estudio de materiales poco consolidados o consolidados, en donde es muy importante conocer preferentemente el aspecto morfológico que el composicional. Por otra parte cuando se usa solo BSE y mediante el sistema de análisis puntual del equipo, logramos diferenciar componentes por sus distintas reflectividades y la composición química en diferentes puntos de la muestra (Carretero y Pozo, 2007).

Electrones retrodispersos (BSE):

- Interesa destacar topografía frente a composición.
- Resolución del orden de 100 Å

Electrones secundarios (SE):

- Liberados por la muestra al incidir el haz de electrones.
- Energía mucho más baja que los BSE.
- Resolución similar al diámetro del haz.
- Cuanto menor es el ángulo entre la superficie y el haz, mayor es la señal de los SE.
- Las muestras se metalizan con una película de Au.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1- Materiales.

Se realizó una campaña de trabajo de campo por 15 días en el área de estudio. Durante esa campaña se recolectaron un total de 50 muestras de alteración (argilización, propilitización y silicificación) como se observa en la tabla 2. Se seleccionaron estas muestras debido a que son las alteraciones más comunes asociadas al sistema epidermal, motivo de este estudio.

Tabla 2.- Muestras recolectadas durante la campaña de trabajo en campo.

MUESTRAS				
M1 ARGÍ	M11 ARGÍ	M21 ARGÍ	M31 ARGÍ	M41 ARGÍ
M2 PROPI	M12 PROPI	M22 ARGÍ	M32 ARGÍ	M42 ARGÍ
M3 SILI	M13 SILI	M23 ARGÍ	M33 ARGÍ	M43 SILI
M4 PROPI	M14 ARGÍ	M24 ARGÍ	M34 ARGÍ	M44 ARGÍ
M5 ARGÍ	M15 ARGÍ	M25 SILI	M35 SILI	M45 ARGÍ
M6 ARGÍ	M16 ARGÍ	M26 ARGÍ	M36 PROPI	M46 PROPI
M7 ARGÍ	M17 ARGÍ	M27 PROPI	M37 ARGÍ	M47 ARGÍ
M8 ARGÍ	M18 SILI	M28 ARGÍ	M38 ARGÍ	M48 SILI
M9 PROPI	M19 ARGÍ	M29 SILI	M39 ARGÍ	M49 ARGÍ
M10 PROPI	M20 ARGÍ	M30 ARGÍ	M40 ARGÍ	M50 SILI

4.1.1.- Difracción de rayos X.

El análisis se realizó mediante un equipo de DIFRACCION DE RAYOS X DE POLVOS, de la marca Bruker, modelo D8 Advance con radiación de Cu K α (1.5406 Å) con monocromador de grafito. Las mediciones se realizaron a temperatura ambiente (25 °C) con una velocidad de barrido en 2 θ de 2°/min.



Figura 8.- Difractómetro de rayos X de polvos marca Bruker, modelo D8 Advance del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

4.1.2- Fluorescencia de rayos X.

Los análisis fueron realizados mediante un equipo de FLUORESCENCIA DE RAYOS X, Nitón FXL Campo Rayos X, con un numero de modelo Nitón FXL 950, tubo de Ag ánodo 50kV / 200mu A/4W, detector GOLDD, Std. rango analítico de hasta 42 elementos de Mg-U. Las condiciones de medición para hacer los análisis de las muestras fueron: se realizó a una temperatura ambiente, estándar certificado 2710a MONTANA, modo de análisis TEST ALL GEO, se realizaron 3 lectura / 3 minutos.



Figura 9.- Equipo de Fluorescencia de rayos X marca Microscopio electrónico de barrido marca Nitón FXL 950 del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

4.1.3.- Microscopio electrónico de barrido.

Microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM-5410LV operado a 20 KV de aceleración, equipado con detector para EDS (Energy Dispersive Spectroscopy, por sus siglas en inglés) marca Oxford para el análisis elemental, está situado en el Departamento de Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora.



Figura 10.- Microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM-5410LV del Departamento de Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora.

4.2.-Metodología.

4.2.1.- Difracción de rayos X.

A las 50 muestras analizadas se les redujo el tamaño a $\frac{1}{4}$ de pulgada y después se redujeron a 80 - 100 mallas en la pulverizadora de anillos de carburo de tungsteno para así poder analizarlas en el difractómetro de polvos. Cada lectura tuvo una duración de 30 min. La cual, fue caracterizada con el programa EVA.

Muestras analizadas:

Tabla 3.- Muestras analizadas por DRX y FRX.

Muestra	Coordenadas UTM NAD 27			Zona	Tipo
	X	Y	Z		
13-07-M1-Argi	763973	3026978	1318	B.B	Hum.
13-07-M2-Propi	763977	3027989	1320	B.B	Hum.
13-07-M3-Sili	762974	3026444	1383	L.V	Sec.
13-07-M4-Propi	762976	3026454	1385	L.V	Hum.
13-07-M5-Argi	762974	3026448	1383	L.V	Sec.
13-07-M6-Argi	762842	3026677	1407	L.V	Hum.
13-07-M7-Argi	760712	3027456	1477	L.V	Hum.
13-07-M8-Argi	760363	3028145	1472	G.P	Hum.
13-07-M9-Propi	760363	3028145	1472	G.P	Hum.
13-07-M10-Propi	760954	3029438	1421	D.E	Hum.
13-07-M11-Argi	760950	3029428	1422	D.E	Hum.
13-07-M12-Propi	761447	3030066	1470	L.B	Sec.
13-07-M13-Sili	761496	3029893	1473	L.B	Sec.
13-07-M14-Argi	761499	3030043	1483	L.B	Hum.
13-07-M15-Argi	762076	3030512	1567	E.O	Hum.
13-07-M16-Argi	761429	3031446	1478	E.O	Hum.
13-07-M17-Argi	761402	3031489	1483	E.O	Hum.
13-07-M18-Sili	768249	3020846	1487	V.T	Sec.
13-07-M19-Argi	768211	3020838	1492	V.T	Hum.
13-07-M20-Argi	767368	3018909	1560	G.	Hum.
13-07-M21-Argi	767362	3018824	1555	G.	Hum.
13-07-M22-Argi	766351	3018403	1550	G.	Hum.
13-07-M23-Argi	766334	3018443	1559	G.	Hum.
13-07-M24-Argi	765529	3018128	1588	E.T.	Hum.
13-07-M25-Sili	765298	3018128	1588	V.E.D.	Hum.
13-07-M26-Argi	765298	3018128	1519	V.E.D.	Hum.
13-07-M27-Propi	765310	3028128	1522	V.E.D.	Hum.
13-07-M28-Argi	770358	3029136	1649	S.C	Hum.
13-07-M29-Sili	770362	3028378	1683	S.O	Sec.
13-07-M30-Argi	770367	3028377	1683	S.O	Sec.
13-07-M31-Argi	770031	3030440	1637	L.U	Hum.
13-07-M32-Argi	769706	3031676	1622	V.S.L	Hum.
13-07-M33-Argi	769606	3031923	1621	S.A	Hum.
13-07-M34-Argi	769583	3031914	1621	S.A	Hum.
13-07-M35-Sili	769423	3032939	1608	E.C	Sec.
13-07-M36-Propi	769419	3032913	1606	E.C	Hum.
13-07-M37-Argi	769431	3032914	1607	E.C	Hum.
13-07-M38-Argi	768675	3033954	1596	L.V	Hum.
13-07-M39-Argi	767700	3035227	1624	M.	Hum.
13-07-M40-Argi	767812	3034845	1573	M.	Hum.
13-07-M41-Argi	766968	3034410	1601	S.F	Hum.
13-07-M42-Argi	766952	3034533	1627	S.F	Hum.
13-07-M43-Sili	766821	3034655	1634	S.F	Sec.
13-07-M44-Argi	766821	3034655	1634	S.F	Hum.
13-07-M45-Argi	764680	3034478	1447	S.M	Hum.
13-07-M46-Propi	764708	3034280	1434	S.M	Hum.
13-07-M47-Argi	768266	3031869	1571	S.I	Hum.
13-07-M48-Sili	768263	3031874	1571	S.I	Sec.
13-07-M49-Argi	761407	3011350	1459	L.T	Hum.
13-07-M50-Sili	761312	3011100	1403	L.T	Sec.

Se realizó un tratamiento gravimétrico de concentración de las arcillas en algunas de las muestras, con la finalidad de que se aprecien de mejor manera la presencia de las mismas en los patrones de difracción, y por ende, facilitar su identificación en la base de datos. El tratamiento llevado a cabo se describe a continuación.

Tratamiento de muestras para concentrar arcillas.

Tratamiento de arcillas.

Material:

- 1 Embudo de cristal.
- 2 Vasos de precipitado de 250 ml.
- 1 Tripie.
- Papel filtro numero 40 (45 micras).

Procedimiento:

- Hacer un cono de papel filtro.
- Agregar agua destilada.
- Agregar 50g de la muestra.
- En un vaso de precipitado se vertió los 50g de muestra con 150ml de agua destilada y se procede a agitar.
- Se decanta el líquido del asiento.
- Se vuelve a decantar el líquido decantado en el embudo con papel filtro.
- Se mete la muestra al horno a 110°C/1-2 h.
- Se pulverizó en el mortero de ágata.

4.2.2.- Fluorescencia de rayos X.

A las 50 muestras analizadas se redujeron de tamaño a ¼ de pulgada y después se redujeron a 80 - 100 mallas en la pulverizadora de anillos de carburo de tungsteno para así poder analizarlas en el equipo de Fluorescencia de rayos X.

Cada muestra pulverizada se colocó en una bolsa tipo Ziploc de 2x2 pul, para poder ser analizada en el equipo, las mediciones se realizaron utilizando un estándar certificado 2710a MONTANA en el modo de TEST ALL GEO, con el cual se obtienen los mejores

resultados, a cada muestra se le realizaron tres lecturas, cada una, con una duración de un minuto. Los datos crudos se procesaron mediante el método 6200 (Field portable x-ray fluorescence spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment) obteniendo la recuperación de la lectura del equipo con respecto a la lectura certificada del estándar, los valores considerados en la recuperación fueron de 80-120% para poder confiar en la lectura.

La ecuación para calibrar %D es la siguiente:

$$\%D = ((C_s - C_k) / C_k) \times 100$$

Dónde: %D = Diferencia porcentual, C_k = Concentración certificada de la muestra del estándar, C_s = Concentración medida de la muestra del estándar.

4.2.3.- Microscopio electrónico de barrido.

A las 50 muestras analizadas se les redujo el tamaño a $\frac{1}{4}$ de pulgada y después se redujeron a 80 - 100 mallas en la pulverizadora de anillos de carburo de tungsteno para así poder analizarlas en el equipo de Microscopio electrónico de barrido. Las muestras se colocaron en porta muestras y fueron cubiertas con una capa de grafito para así, poder ser analizadas.

- 13-07-M4 Propilítica- área La Verde. (Andesita y sedimentos)
- 13-07-M7 Argílica- área La Verde. (Andesita)
- 13-07-M9 Propilítica- área La Verde. (Andesita)
- 13-07-M20 Argílica- área Guajipa. (Andesita)
- 13-07-M23 Argílica- área Guajipa. (Andesita)
- 13-07-M25 Silicificación- área El Durazno. (Veta)
- 13-07-M36 Propilítica- área El Carmen. (Andesita)
- 13-07-M46 Propilítica- área San Miguel. (Andesita)

5.- RESULTADOS.

5.1 - Difracción de rayos X.

Se cuenta con todas las muestras analizadas, en las cuales, se determinó la mineralogía de cada alteración. A continuación se muestran los resultados de tres muestras.

5.1.1- Descripción mineralógica

Descripción de los picos principales en los difractogramas y su relación con la mineralogía identificada.

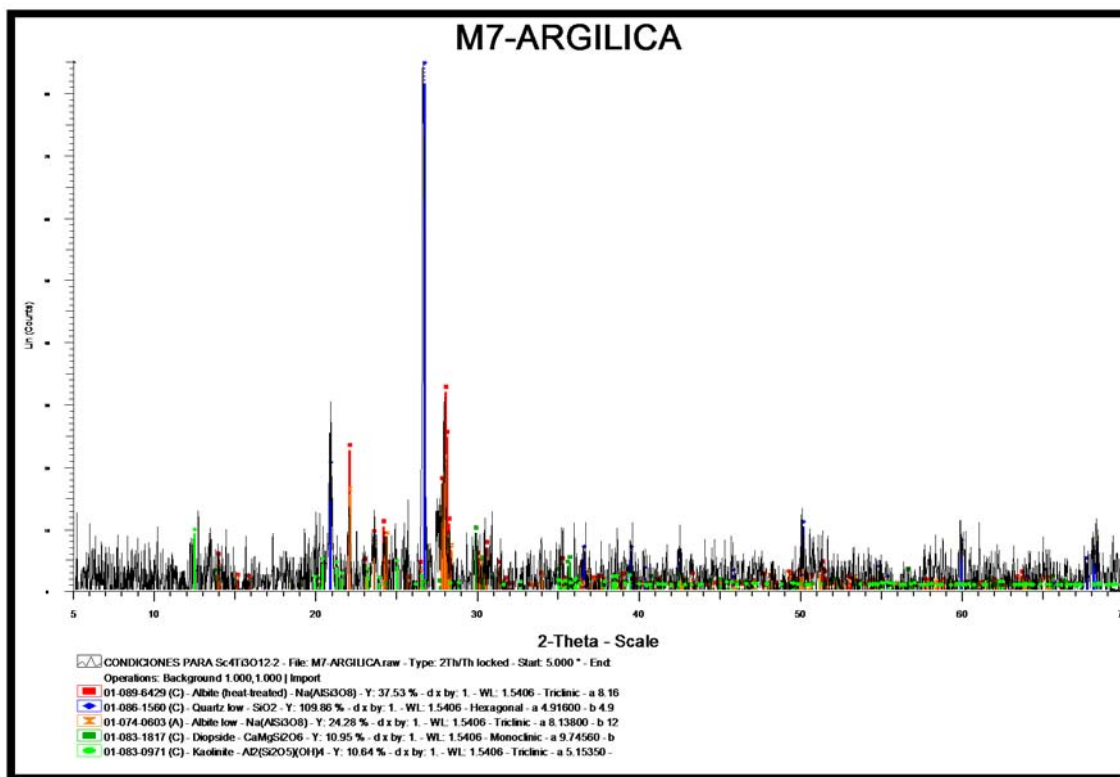


Figura 11.- Muestra M7 Argílica: En el ángulo $2\Phi=12.5$ aparece el primer pico de la fase caolinita con una intensidad de 11 cuentas por segundo (cps). Picos asociados a la misma fase se localizan a 19.8, 20.5, 21.3, 21.5, 23.2, 23.9 y 25, siendo estos los picos principales. Los demás picos asociados a esta fase son de intensidades muy bajas.

La presencia de las fases mineralógicas caolinita, montmorillonita, illita, cuarzo, sericita se tomaron como fases índices para definir la argilización. Las fases en todas las muestras definidas por esta alteración está acompañada por: Óxidos de Fe, albita baja,

diópsida, andesina, alunita, ortoclasa, diquita, labradorita y dolomita. Las rocas que se analizaron fueron mayoritariamente andesitas, dacitas y vetas.

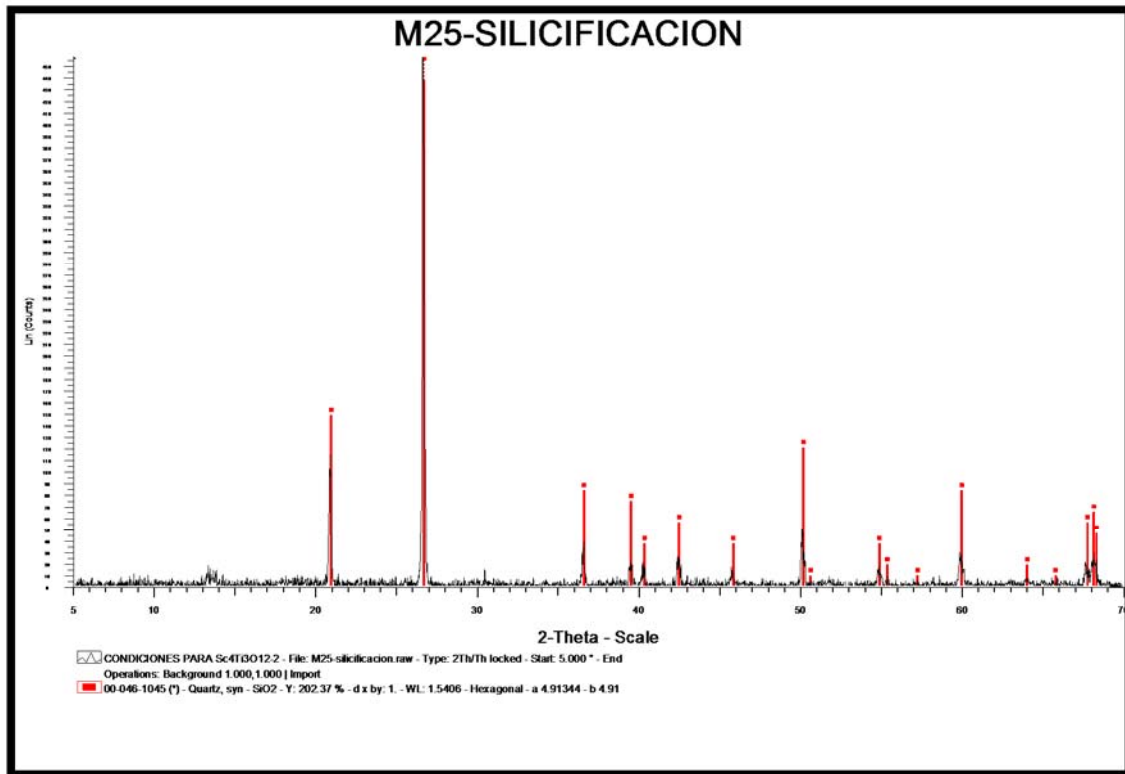


Figura 12.- Muestra M25 Silicificación: En el ángulo $2\theta=26.8$ aparece el primer pico de la fase cuarzo con una intensidad de 460 cuentas por segundo (cps). Picos asociados a la misma fase se localizan a 21, 36.7, 39.5, 40.5, 45.9, 50.2, 50.4, 55, 55.5, 57.3, 60, 64, 65.8, 67.9 y 68.5, siendo estos los picos principales. Los demás picos asociados a esta fase son de intensidades muy bajas.

La presencia de las fases mineralógicas cuarzo y tridimita baja se tomaron como fases índices para definir la silicificación. Las fases en todas las muestras definidas por esta alteración está acompañada por: Albita baja, óxidos de Fe, calcita, diópsida, montmorillonita, caolinita, alunita, diquita e ilita. Las rocas que se analizaron fueron mayoritariamente vetas, andesitas y dacitas.

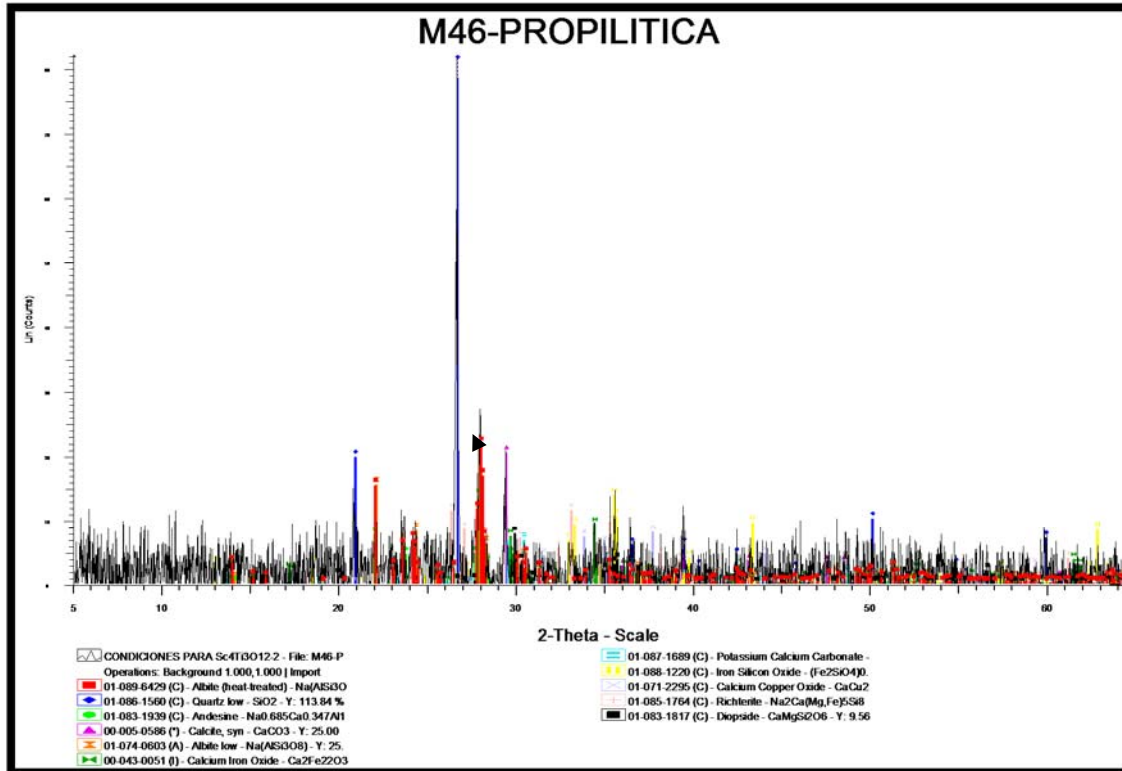


Figura 13.- Muestra M46 Propilitica: En el ángulo $2\Phi=29.5$ aparece el primer pico de la fase calcita con una intensidad de 21.5 cuentas por segundo (cps). En el ángulo $2\Phi=28$ aparece el segundo pico de la fase albita baja con una intensidad de 27.5 cuentas por segundo (cps). Picos asociados a la misma fase se localizan a 14, 15.1, 15.9, 22, 23.8, 24.5, y 30.5, siendo estos los picos principales. Los demás picos asociados a esta fase son de intensidades muy bajas.

La presencia de las fases mineralógicas clorita, calcita, albita baja se tomaron como fases índices para definir propilitización. Las fases en todas las muestras definidas por esta alteración está acompañada por: cuarzo, óxidos de Fe, diópsida, andesina, sericita, montmorillonita, caolinita, alunita, ortoclasa, diquita, ilita, bernalita y ankerita. Las rocas que se analizaron fueron mayoritariamente andesitas.

5.2.- Fluorescencia de rayos X.

Se cuenta con todas las muestras analizadas de las cuales se van a presentar tres para su comparación.

Tabla 4.- Composición elemental de las muestras analizadas en las cuales aparecen las fases minerales características de cada alteración.

ppm															
MUESTRA	Zr	Sr	U	Rb	Pb	As	Zn	W	Cu	Fe	Mn	V	Ti	Ca	K
M7 ARGÍ	255.14	175.17		95.88	9.58	17.36	40.07	23.47	35.5	27347.76	592.12	107.87	4245.39	999.76	17787.88
M25 SILÍ	16.56	14.43		11.8	19.02	19.22	48.06	20.89	11.61	8168.8	569.55	54.15	701.68	523.5	3436.43
M46 PROPI	223.64	539.54		19.19		6.78	88.39	53.95	29.15	59879.86	856.04	201.03	5783.72	46162.06	6238.99

La composición elemental de la alteración argilica concuerda con dos fases índice en la identificación de la misma, las cuales son: illita, montmorillonita. La composición elemental de la alteración propilítica concuerda con tres fases índice en la identificación de la misma, las cuales son: clorita, albita baja y calcita. Para la composición elemental de la alteración sílica no se puede determinar la sílice, debido a que el equipo requiere de una purga de helio para que así se pueda detectarlo.

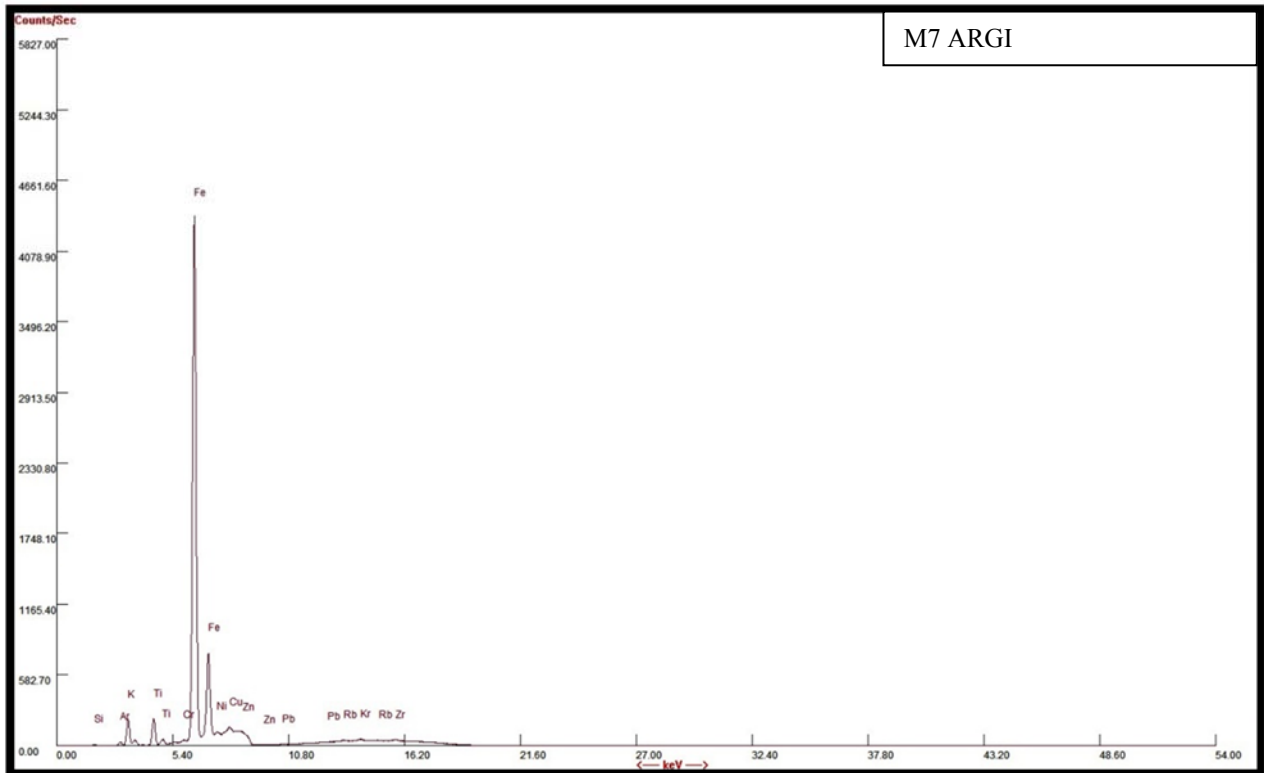


Figura 14.- Muestra M7 Argilica: Espectrograma de la muestra analizada, se muestra la distribución elemental de Ca y K que corresponden a las fases índices, el calcio y el potasio están sobrepuestos, es por eso que no se observa el Ca en espectrograma.

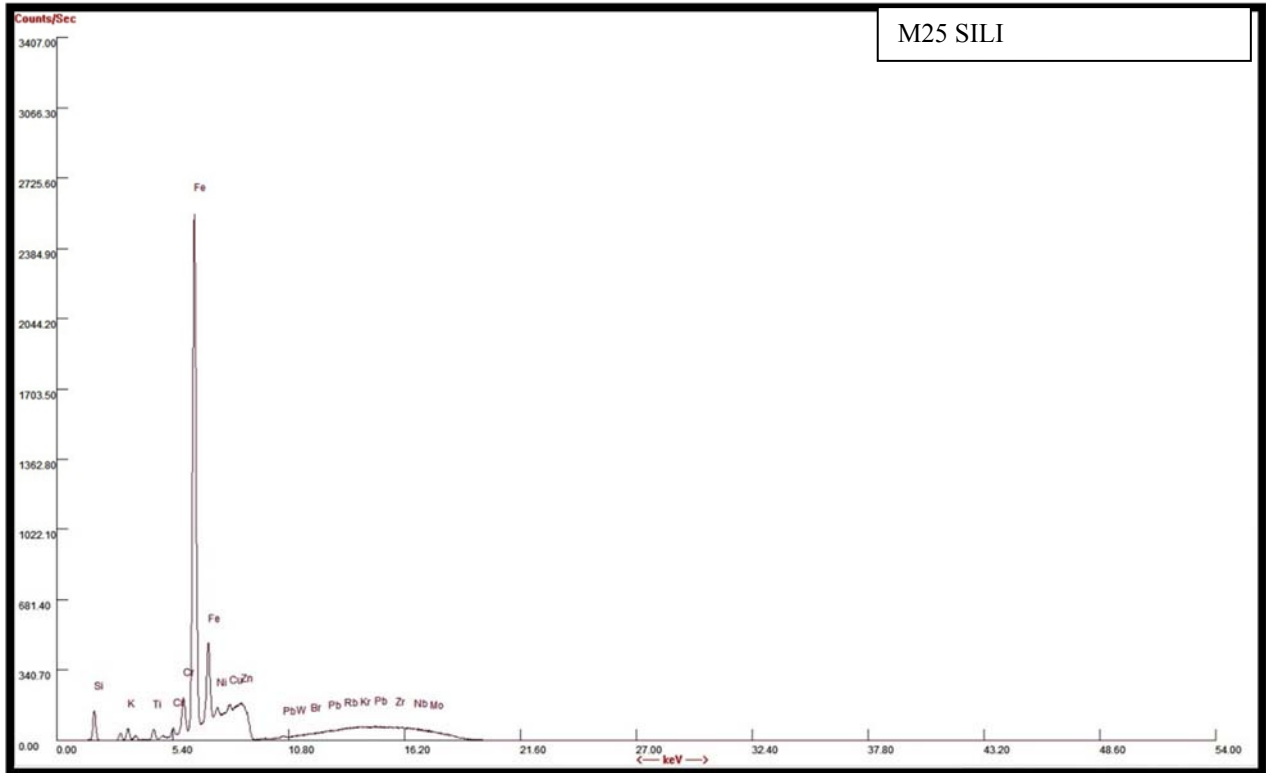


Figura 15.- Muestra M25 Silicificación: Espectrograma de la muestra analizada. Se muestra la distribución elemental se sílice, la cual, es una fase índice de la alteración.

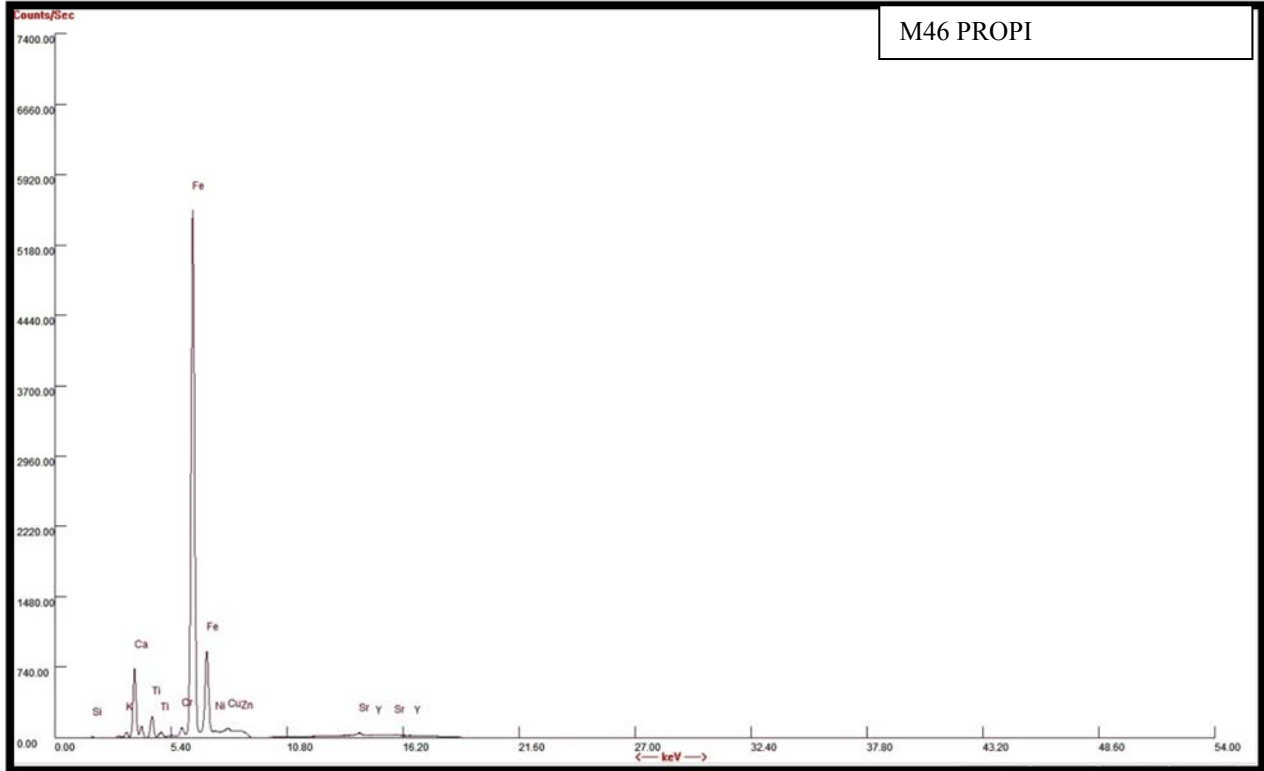


Figura 16.- Muestra M46 Propilítica: Espectrograma de la muestra analizada. Se muestra la distribución elemental de Fe, Ca y K la cual corresponde a las fases índices de la alteración.

5.3- Microscopio electrónico de barrido (SEM - EDS).

Se analizaron siete muestras, de las cuales, se verán tres para poder ser comparadas, con los resultados obtenidos de los dos métodos antes mencionados.

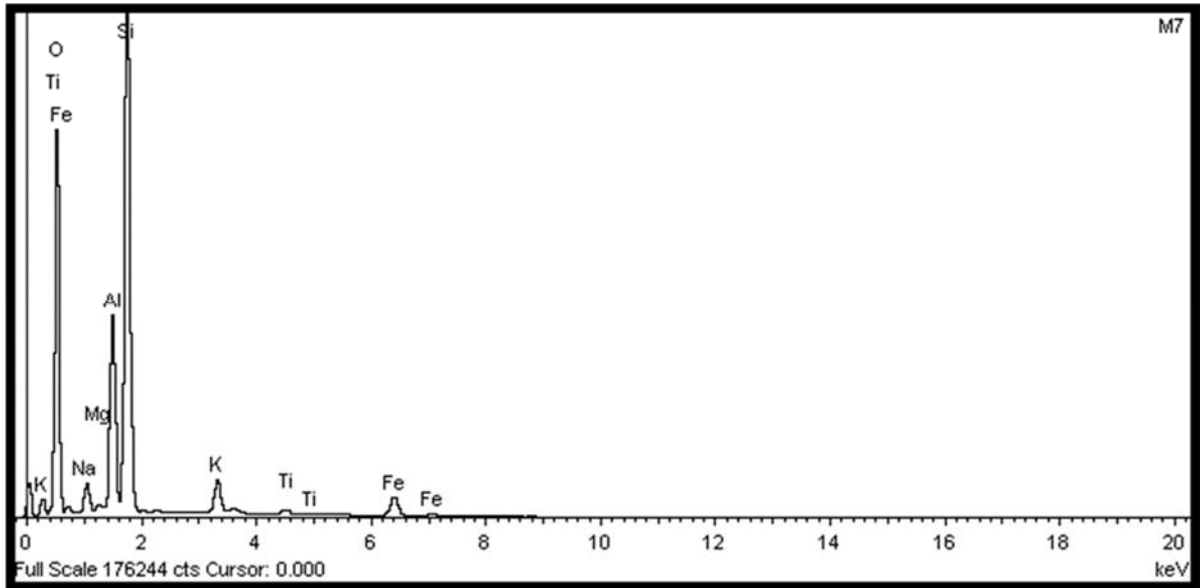


Figura 17.- Muestra M7 Argílica. Espectrograma con la distribución de la posición de los elementos encontrados. Como se observa, las fases índice están presentes en los óxidos $\text{SiO}_2 = 65.66\%$, O , $\text{Al}_2\text{O}_3 = 20.16\%$, $\text{MgO} = 0.56\%$.

Tabla 5.- Muestra M7 Argílica. Concentración de los elementos distribuidos en la muestra.

Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Na	2.66	Na_2O	3.59
Mg	0.34	MgO	0.56
Al	10.67	Al_2O_3	20.16
Si	30.69	SiO_2	65.66
K	2.85	K_2O	3.43
Ti	0.59	TiO_2	0.98
Fe	4.37	FeO	5.62
O	47.83		
Total	100		100

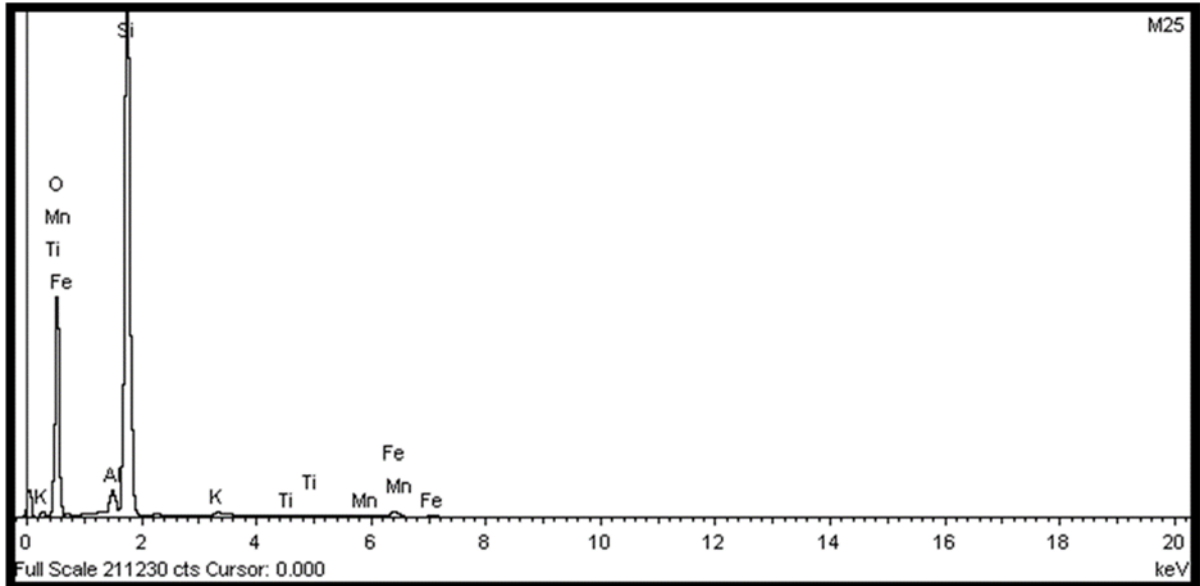


Figura 18.- Muestra M25 Silicificación. Espectrograma con la distribución de la posición de los elementos encontrados. Como se observa, la fase índice está presente en los óxidos $\text{SiO}_2 = 92.90$

Tabla 6.- Muestra M25 Silicificación. Concentración de los elementos distribuidos en la muestra.

Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Al	1.92	Al_2O_3	3.62
Si	43.43	SiO_2	92.90
K	0.31	K_2O	0.37
Ti	0.09	TiO_2	0.15
Mn	0.21	MnO	0.28
Fe	2.09	FeO	2.69
O	51.96		
Total	100		100

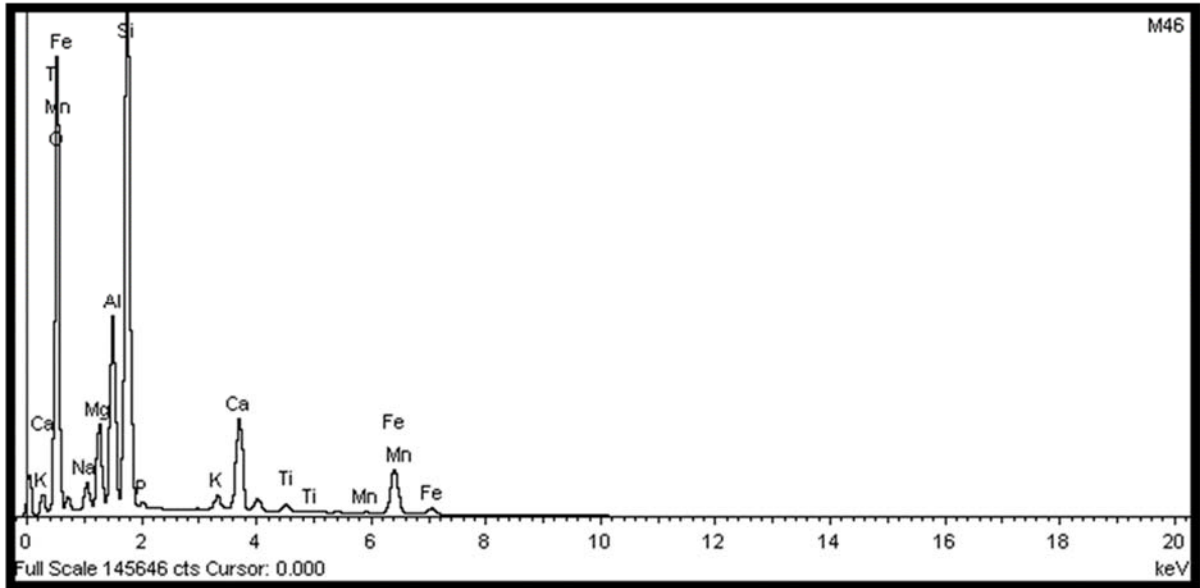


Figura 19.- Muestra M46 Propilítica. Espectrograma con la distribución de la posición de los elementos encontrados. Como se observa, las fases índice están presentes en los óxidos $\text{SiO}_2 = 51.33\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16.62\%$, $\text{MgO} = 7.29\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 2.56\%$, $\text{K}_2\text{O} = 1.04\%$, $\text{CaO} = 8.77\%$, $\text{FeO} = 9.96\%$.

Tabla 7.- Muestra M46 Propilítica. Concentración de los elementos distribuidos en la muestra.

Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Na	1.90	Na_2O	2.56
Mg	4.40	MgO	7.29
Al	8.79	Al_2O_3	16.62
Si	23.99	SiO_2	51.33
P	0.47	P_2O_5	1.08
K	0.87	K_2O	1.04
Ca	6.27	CaO	8.77
Ti	0.67	TiO_2	1.12
Mn	0.18	MnO	0.23
Fe	7.74	FeO	9.96
O	44.72		
Total	100		100

6. - DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

6.1- DISCUSIÓN.

El proyecto San Miguel presenta características similares con otros depósitos epitermales. Al revisar la literatura se encuentran ejemplos similares, que se localizan en depósitos considerados típicamente epitermales, tales como la Veta **El Indio Sur 3500** en la cual Hemley y Jones 1964 determinaron que la veta Indio Sur 3500 en Chile, desarrolla halos de alteración, las rocas alteradas presentan colores claros con tonalidades grises, amarillas y rosadas, la mineralogía de estos halos está dominada por la asociación de cuarzo, sericita, pirofilita, caolinita, diasparo, alunita, pirita y jarosita, predominando los primeros tres, los cuales son típicos de una alteración tipo argílica avanzada, las rocas alteradas son tobas dacíticas y en menor proporción tobas riolíticas y tobas andesíticas. **El Sauzal** con unidades piroclásticas dacíticas a riolitas y andesitas. La alteración argílica avanzada está definida por la asociación cuarzo-alunita. La alteración propilítica está caracterizada por calcita, clorita, cuarzo. La silicificación está representada por cuarzo vuggy. Sillitoe, 1993a; White y Hedenquist, 1995; Corbett y Leach, 1998; Weiss et al. 2004. **En Palmarejo** predominan las andesitas acompañadas de riolitas, calizas y rocas volcanoclásticas. La silicificación es la alteración característica de las rocas encajonantes a la veta y está acompañada por la argilización la cual está determinada por diquita, clorita, hemetita. **En Pinos Altos** la silicificación está cerca de las zonas de veta, como la alteración argílica de débil a moderada. La propilitización está dada por la asociación clorita-epidota-pirita, está presente a lo largo de todas las vetas, sobrepuesta por la silicificación. **En La India** las rocas (tobas de cenizas y flujos riódacíticos, tobas riolíticas, andesitas y basaltos.) están fuertemente silicificadas rodeadas por halos de alteración compuesta por moderada a débil silicificación con un contenido variable de arcillas y zonas de débil cloritización a propilitización. La silicificación corresponde a una moderada a fuerte silicificación con un marcado contenido de alunita + clorita, sílice-arcilla que corresponde a un grado de silicificación débil asociado a arcillas como: caolinita, diquita, ilita y montmorillonita. La argilización varía de débil a moderada y fuerte con una presencia en el contenido de arcillas como caolinita, ilita y esméctita que es muy característico. La alteración propilítica se encuentra rodeando a las demás alteraciones,

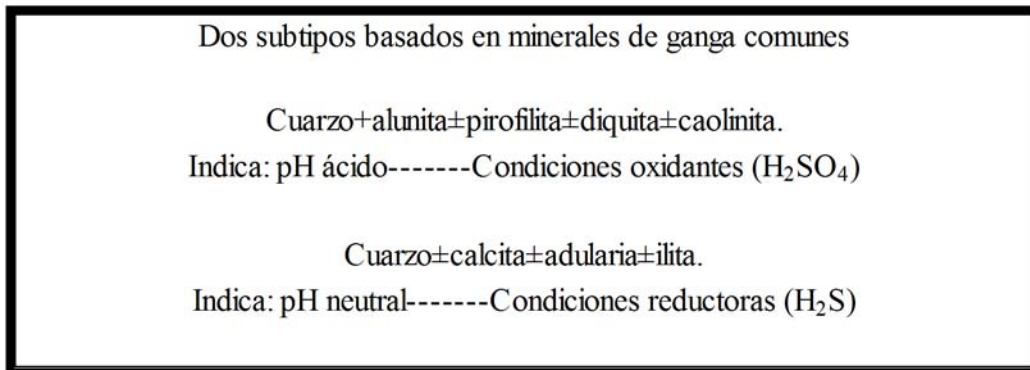
varía la intensidad de débil a moderada con presencia de minerales verdes como clorita-epidota y carbonatos. O. González, 2009. Estos antecedentes son, por lo tanto, coincidentes con los estudios realizados en el Proyecto San Miguel, concluyéndose así la caracterización de la alteración.

Tabla 8.- Condiciones químicas de minerales indicadores de un depósito epitermal, modificado de Hedenquist, 1987 y White & Hedenquist, (1990, 1995).

Condiciones químicas de minerales indicadores de un depósito epitermal.				
pH		Sulfuración fS_2		Redox
Ácido	Cuarzo, alunita, pirofilita, diquita, caolinita.	Alta	Pirita+bornita, enargita, famatinina, luzonita, covelita y oropimente.	Oxidado Alunita, hematita+magnetita.
		Intermedia	Tenantita, tetrahedrita, pirita, hematita+pirita+magnetita, esfalerita pobre en Fe+pirita, calcopirita.	
Neutro	Cuarzo, calcita, adularia, ilita.	Baja	Arsenopirita+ ollingita+pirotita, esfalerita rica en Fe+pirita, pirotita.	Reducido Magnetita+pirita+pirrotita+clorita+pirita.

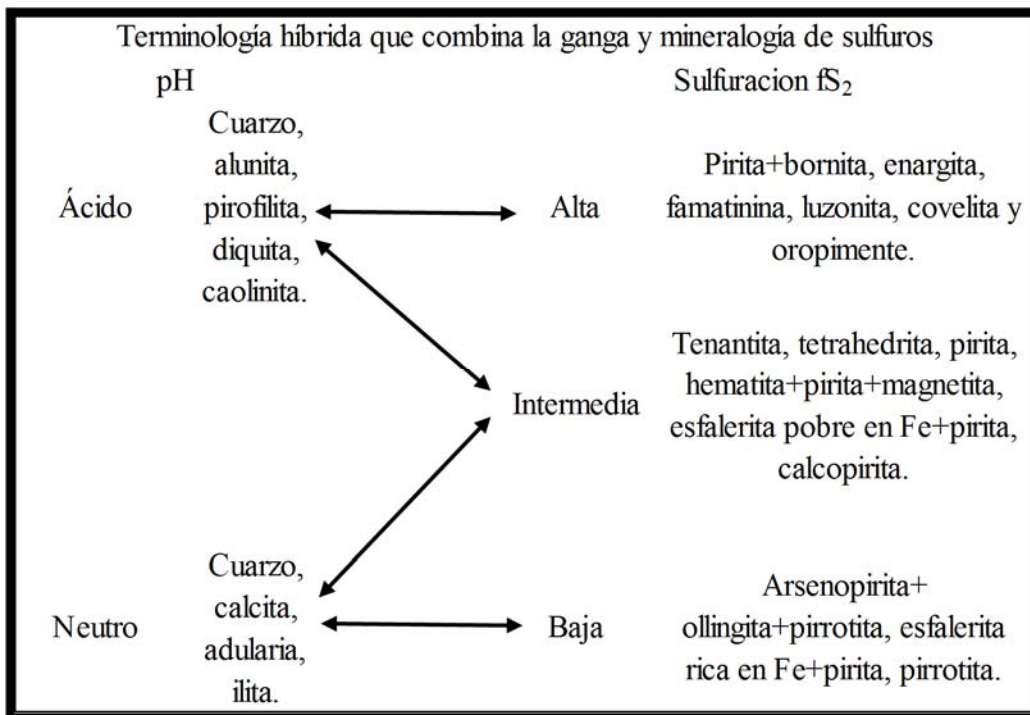
En la tabla 8 se muestran algunas condiciones químicas, con las cuales, se puede definir el tipo de depósito epitermal, el ambiente y el pH del mismo solamente con la mineralogía asociada.

Tabla 9.- Dos subtipos basados en minerales de ganga comunes. Se modificó de Hedenquist, 1987 y White & Hedenquist, (1990, 1995).



En la tabla 9 se muestran dos subtipos de minerales de ganga con los cuales se determina el ambiente y condiciones de formación del depósito epitermal.

Tabla 10.- Terminología híbrida que combina la ganga y mineralogía de sulfuros. Se modificó de Hedenquist, 1987 y White & Hedenquist, (1990, 1995).



La clasificación de un depósito epitermal puede estar ligada a tener características de ambiente de formación y tener cualidades de alta, intermedia o baja sulfuración, el depósito puede tener características de ambos, la cual se combina y a través de la ganga y los sulfuros se puede determinar el tipo de yacimiento.

6.2- CONCLUSIONES.

Se identificaron tres tipos de alteración: Argilización, Silicificación y Propilitización. La fase mineral índice que define a la alteración Argílica es caolinita, montmorillonita, illita, la cual está acompañada por cuarzo, albita baja, óxido de hierro, calcita, diópsida, andesina, sericita, alunita, ortoclasa, diquita, labradorita, dolomita. La alteración silíceica o silicificación está definida por la fase mineral índice de cuarzo, tridimita, la cual está acompañada por las siguientes fases minerales, albita baja, óxido de hierro, calcita, diópsida, montmorillonita, caolinita, alunita, diquita, bernalita, ankerita. La alteración Propilítica está definida por la fase mineral índice de clorita, la cual está acompañada por las siguientes fases minerales cuarzo, albita baja, óxido de hierro, calcita, diópsida, andesina, sericita, montmorillonita, caolinita, alunita, ortoclasa, diquita, bernalita, ankerita, richterita.

6.2.1- DRX.

La mineralogía identificada en cada una de las zonas de alteración definidas por los minerales índices en el Proyecto San Miguel, corresponden con las fases minerales identificadas en otros yacimientos epitermales del mismo tipo en la región. La presencia de las fases mineralógicas caolinita, montmorillonita, illita, cuarzo, sericita se tomaron como fases índices para definir la alteración Argilica. Las fases en todas las muestras definidas por esta alteración está acompañada por: Óxidos de Fe, albita baja, diópsida, andesina, alunita, ortoclasa, diquita, labradorita y dolomita. Las rocas que se analizaron fueron mayoritariamente andesitas, dacitas y vetas de cuarzo. La presencia de las fases mineralógicas clorita, calcita, albita baja se tomaron como fases índices para definir la alteración Propilítica. Las fases en todas las muestras definidas por esta alteración que está acompañada por: cuarzo, óxidos de Fe, diópsida, andesina, sericita, montmorillonita, caolinita, alunita, ortoclasa, diquita, illita, bernalita y ankerita. Las rocas que se analizaron fueron mayoritariamente andesitas. La presencia de las fases mineralógicas cuarzo y tridimita baja se tomaron como fases índices para definir la alteración silíceica (silicificación). Las fases en todas las muestras definidas por esta alteración está acompañada por: Albita baja, óxidos de Fe, calcita, diópsida, montmorillonita, caolinita,

alunita, diquita e illita. Las rocas que se analizaron fueron mayoritariamente vetas de cuarzo, andesitas y dacitas.

6.2.2- FRX.

Los estudios de FRX muestran congruencia con la mineralogía identificada por DRX. En la alteración Argílica la composición química en ppm es la siguiente: Zr = 2.3-300.9, Sr = 41-163, U = 2.9-6.6, Rb = 2.5-225.5, Pb = 218.5-72.9, As = 14.8-14.8, Zn = 492.6-495.6, W = 27.5-29.5, Cu = 66.5-112.8, Fe, 18700.2-73031.9, Mn = 1533.6-14856.9, V = 110.4-247.2, Ti = 8324.4, Ca = 786.3, 2596.9, K 328.2-43913.2 En la alteración silícica la composición química en ppm es la siguiente: Zr = 16.6-238.1, Sr = 14.4-241.1, Rb = 11.8-87.9, Pb = 19-8.6, As = 5.6-19.2, Zn = 48.1-90.4, W = 20.9-55.5, Cu = 11.6-44.2, Fe = 8168.8-32350.5, V = 54.2-126.2, Ti = 701.7-4351.7, Ca = 523-11701.2, K = 3436.4-17052.2. En la alteración Propilítica la composición química en ppm incluye los siguientes elementos: Zr = 141.4-295.2, Sr = 46.6-236.4, U = 4.6, Rb = 174.2-192.2, Pb = 14.1-114.7, As = 204.4-171.7, Zn = 35-512.4, W = 29.2-33.2, Cu = 21.7-105.6, Fe = 18152.4-59542.5, Mn = 374.4-5790.1, V = 65.1-181.1, Ti = 2954.3-7264.4, Ca = 3355.9-30557.3, K = 41199.3-37555.3

La composición elemental de la alteración argílica concuerda con dos fases índice en la identificación de la misma, las cuales son: illita, montmorillonita. La composición elemental de la alteración propilítica concuerda con tres fases índice en la identificación de la misma, las cuales son: clorita, albita baja y calcita. Para la composición elemental de la alteración silícica no se puede determinar la sílice, debido a que el equipo requiere de una purga de helio para que así se pueda detectarlo.

6.2.3- SEM-EDS.

Los estudios por microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) muestran consistencia con la composición química determinada por FRX.

En la alteración argílica la variación de elementos mayores es la siguiente: Na₂O = 2.66%, MgO = 0.34%, Al₂O₃ = 10.67%, SiO₂ = 30.69%, K₂O = 2.85%, TiO₂ = 0.59 %, FeO = 4.37% está representada por la siguiente mineralogía: cuarzo, caolinita, illita,

montmorillonita, sericita. En la alteración silícica la variación de elementos mayores es la siguiente: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1.92\%$, $\text{SiO}_2 = 43.43\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.31\%$, $\text{TiO}_2 = 0.09\%$, $\text{MnO} = 0.21\%$, $\text{FeO} = 2.09\%$ está representada por la mineralogía: cuarzo, tridimita baja. En la alteración Propilítica la variación de elementos mayores es la siguiente: $\text{Na}_2\text{O} = 1.9\%$, $\text{MgO} = 4.4\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8.79\%$, $\text{SiO}_2 = 23.99\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.47\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.87\%$, $\text{CaO} = 6.27\%$, $\text{TiO}_2 = 0.67\%$, $\text{MnO} = 0.18\%$, $\text{FeO} = 7.74\%$ está representada por la siguiente mineralogía: clorita, calcita, albita baja, ilita.

La consistencia en la composición mineralógica (DRX) con la composición química (FRX y SEM-EDS) de las 50 muestras colectadas, muestran que estas técnicas se pueden utilizar en la exploración en forma complementaria.

De acuerdo con las tablas 8, 9 y 10, el proyecto San Miguel se caracteriza en un depósito epitermal con un pH ácido, de intermedia sulfuración en un ambiente oxidante, en el cual los minerales de ganga varían de un ambiente reductor oxidante con pH neutro-ácido. El depósito epitermal tiene una característica híbrida en la mineralogía de ganga, por lo cual se define como de intermedia sulfuración.

7.- BIBLIOGRAFIA.

- Arribas, A. Jr., 1995, Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid, en Thompson, J.F.H. (ed.), Magmas, fluids and ore deposits: Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 23, pp. 419-454.
- Bishop, A.C., A.R. Woolley, and W.R. Hamilton, Philip's Minerals, Rocks and Fossils. 3rd ed. 1999, London: Octopus Publishing Proup.
- Camprubí A., y Albinson T., 2006, Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, Revisión de Algunas Tipologías de Depósitos Minerales de México, Tomo LVIII, núm. 4, pp. 27-81.
- Camprubí, A., y Albinson, T., 2007. Epithermal deposits in Mexico update of current knowledge, and an empirical reclassification. Geological Society of America Special Paper 422, 377–415.
- Carretero, M. I. y Pozo, M., 2007, Mineralogía Aplicada. Salud y Medio Ambiente, Paraninfo, Madrid, 424 p.
- Carvalho, D., Barriga, F.J.A.S., y Munha, J., 1999, Bimodal-siliciclastic systems The case of the Iberian Pyrite Belt, in Barrie, C.T., and Hannington, M.D., eds., Volcanic-associated massive sulfide deposits. Processes and examples in modern and ancient settings: Reviews in Economic Geology, v. 8, p. 375–408.
- Corbett, G.J. y Leach, T.M.; 1998, High sulfidation gold-copper systems; in: Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization, Society of Economic Geologists, Special Publication No. 6, p. 101-136.
- Damon, P., Shafiqullah, M., Clark, K., 1981. Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis: Revista del Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México, v. 5, p. 131–139.

- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., y Bryan, S., 2007. Magmatism and tectonics of the Sierra Madre Occidental and its relation with the evolution of the western margin of North America. Geological Society of America Special Paper 422, 1- 39.
- Galley, A.G., y Koski, R.A., 1999. Setting and characteristics of ophiolite-hosted volcanogenic massive sulfide deposits, in Barrie, C.T., and Hannington, M.D., Volcanic-associated massive sulfide deposits. Processes and examples in modern and ancient settings: Reviews in Economic Geology, v. 8, p. 221–246.
- Galley, A.G., Hannington, M., y Jonasson, I., 2007, Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral deposits of Canada. A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, p. 141–161.
- Gibson, H.L., y Galley, A.G., 2007, Volcanogenic massive sulphide deposits of the Archean, Noranda district, Québec, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral deposits of Canada. A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, p. 533–552.
- Gifkins, C., Herrmann, W., y Large, R.R., 2005. Altered volcanic rocks. A guide to description and interpretation: Hobart, Tasmania, Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, 275 p.
- Gómez Juan Carlos, S.F., 2004. Curso de procesamiento digital de imágenes.
- Goodfellow, W.D., 2007, Metallogeny of the Bathurst mining camp, northern New Brunswick, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral deposits of Canada. A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, p. 449–469.
- Gresens, R.L., 1967, Composition-volume relationships of metasomatism: Chemical Geology, v. 2, p. 47–65.

- Hannington, M.D., Santaguida, F., Kjarsgaard, I.M., y Cathles, L.M., 2003, Regional-scale hydrothermal alteration in the central Blake River Group, western Abitibi subprovince, Canada. Implications for VMS prospectivity: *Mineralium Deposita*, v. 38, p. 392–422.
- Hedenquist, J.W., 1987, Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin, in *Transactions 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, Singapore, pp. 1-26.
- Hemley, J.J.; Jones, W.R. 1964. Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. *Econ. Geol.*, Vol 59, p. 538-569.
- Henry, C.D., y Aranda-Gómez, J.J., 2000. Plate interactions control middle late Miocene proto-Gulf and Basin and Range extension in the southern Basin and Range: *Tectonophysics*, v. 318, p. 1–26, doi: 10.1016/S0040-1951(99)00304-2.
- Klein, C., 2002. *Mineral Science*. 22 Ed. New York: Wiley.
- Korbel, P. y M. Novak. *The Complete Encyclopedia of Minerals*. 2001, U.K.: Grange Books.
- Large, R.R., Allen, R.L., Blake, M.D., y Herrmann, W., 2001a. Hydrothermal alteration and volatile element halos for the Rosebery K Lens volcanic-hosted massive sulfide deposit, Western Tasmania: *Economic Geology*, v. 96, p. 1055–1072.
- McMahon Gillian, 2007, *Analytical Instrumentation*, England, Jhon Wiley & Sons, Ltd, 296 p.
- Melgarejo J. C., Proenza J.A, Galí S., Llovet X., 2010, Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, volumen 62, número 1, pp. 1-23.
- O. González. 2009, Características principales de los depósitos epitermales en el noroeste de México, un análisis y comparación.
- Ohmoto, H., 1996, Formation of volcanogenic massive sulfide deposits. The Kuroko perspective, in Vielreicher, R.M., Groves, D.I., Heinrich, C.A., and Walshe, J.L., eds., *Ore geology reviews*: Amsterdam, Elsevier, p. 135–177.

- Pecharsky K.V. y Zavalij P.Y., 2005, Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials, USA, Springer, 713 p.
- Peter, J.M., Layton-Matthews, D., Piercey, S., Bradshaw, G., Paradis, S., y Boulton, A., 2007, Volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Finlayson Lake district, Yukon, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral deposits of Canada. A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada Special Publication 5, p. 471–508.
- Pirajno Franco, 2009, Hydrothermal Processes and Mineral Systems, Springer, Geological of Western Australia, pp. 1250.
- Rodríguez Álvarez Rafael, S.F, Geología y Metalogenia del Arco Volcánico.
- Sedlock, R., Ortega-Gutierrez, F., y Speed, R.C., 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. Geological Society of America Special Paper 278, 153 p.
- Seedorff, E., Dilles, J.H., Proffett, J.M., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J., Barton, M.D., Johnson, D.A., 2004. Porphyry-related deposits: characteristics and origin of hypogene features. In: Economic Geology 100th Anniversary Volume. pp. 251e298.
- Sillitoe, R.H.; 1993a. Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features; in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I, and Duke, J.M. (eds); Mineral Deposits Modeling, Geological Association of Canada Special Paper 40, p. 404-417.
- Simmons Stuart F., White Noel C., John David. A., 2005. Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits, Society of Economic Geologists, Inc., Economic Geology 100th Anniversary Volume, pp. 485-522..
- Slack, J.F., 1993, Descriptive and grade-tonnage models for Besshi-type massive sulphide deposits, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., and Duke, J.M., eds., Mineral deposit modeling: Geological Association of Canada Special Paper 40, p. 343–371.

- Weiss, S.I., Espinoza, E., y Ronkos, C., 2004, Update on the El Sauzal high sulfidation Gold-Silver Deposit at the initiation of mining, Municipio de Urique, Chihuahua, México. 8 p.
- White, N.C., y Hedenquist, J.W., 1995, Epithermal Gold Deposits: styles, characteristics and exploration, Society of Economic Geologists Newsletter, number 23, p. 1 and 9-13.
- White, N.C., y Hedenquist, J.W., 1990, Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration: Journal of Geochemical Exploration, 36, pp. 445-474.

ANEXO I

Descripción de muestras.



13-07-M1-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, está muy deleznable, a un lado está la veta.



13-07-M2-PROPILÍTICA

Andesitas y sedimentos con alteración propilítica, muy interperisada.



13-07-M3-SILICIFICACIÓN

Veta silicificada con hematita y goethita. (SE12NW; 66SW)



13-07-M4-PROPILÍTICA

Andesitas y sedimentos.



13-07-M5-ARGÍLICA

En algunas partes de la veta hay alteración argílica, es muy poca la que se observa, también hay carbonato de cobre, hematita y goethita.

13-07-M6-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, la roca está muy fracturada, tiene hematita, goethita y jarosita en algunas partes.



13-07-M7-ARGÍLICA

Andesitas con alteración argílica, está muy deleznable, tiene muchas vetillas rellenas de hematita y goethita

13-07-M8-ARGÍLICA

Andesitas con alteración argílica con hematita y goethita, está muy erosionada.



13-07-M9-PROPILÍTICA

Andesita con alteración propilítica, está a un lado de la argílica, tiene hematita y goethita.

13-07-M10-PROPILÍTICA

Andesitas con alteración propilítica, está muy erosionada.



13-07-M11-ARGÍLICA

Andesita con parches de alteración argílica, tiene mucha hematita y goethita.



13-07-M12-PROFILÍTICA

Veta con alteración propilítica, con cuarzo y tiene mucha hematita, está bien expuesta.



13-07-M13-SILICIFICACIÓN

Andesita silicificada con óxidos en algunas zonas.



13-07-M14-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, muy erosionada.



13-07-M15-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, está muy erosionada.



13-07-M16-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, bien expuesta, con muchas vetillas de cuarzo.



13-07-M17-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, tiene hematita.



13-07-M18-SILICIFICACIÓN

Veta silicificada con hematita, limonita, goethita, a los alrededores hay muchas vetillas de cuarzo (Stock Work) hay una falla (NW42SE; 69NE)



13-07-M19-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, tiene vetillas de cuarzo.



13-07-M20-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, tiene muchas fracturas en todas direcciones, con hematita, limonita y goethita.





13-07-M21-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, hay dos vetas que la cortan, posiblemente un caballo, tiene mucho vetillas rellenas de cuarzo y óxidos.



13-07-M22-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, tiene muchas vetillas rellenas de hematita.



13-07-M23-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, está muy fracturada, hay catas de trabajos antiguos.



13-07-M24-ARGÍLICA

Andesitas con alteración argílica, muy fracturadas y vetillas rellenas de hematita.



13-07-M25-SILICIFICACIÓN

Veta silicificada, tiene drusas de cuarzo con óxidos, esta erosionada (NW35SE; 72SW)

13-07-M26-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, la cruzan muchas vetillas de cuarzo, tiene hematita y goethita.



13-07-M27-PROFILÍTICA

Andesita con alteración propilítica, está a un lado de la veta de cuarzo, tiene pirita diseminada.

13-07-M28-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, está muy erosionada, la veta es de cuarzo y tiene sulfuros (galena y blenda o esfalerita) también hay carbonatos de cobre. Veta (NW58SE; 52NE)



13-07-M29-SILICIFICACIÓN

Andesita silicificada con puntos de óxidos en la parte fresca.

13-07-M30-ARGÍLICA

Veta con alteración argílica, está muy desquebrajado, es poca la argilisacion. (NW60SE)



13-07-M31-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, todo está muy fracturado y tiene muchas vetillas de cuarzo, hematita, goethita.



13-07-M32-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, está muy cubierta, tiene vetillas de cuarzo, el tiro tiene 800m y extraen agua para el poblado.



13-07-M33-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, esta todo cubierto, tiene fracturas rellenas de óxido.



13-07-M34-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, está muy erosionado, tiene muchas fracturas rellenas de óxido, y está cubierto todo.



13-07-M35-SILICIFICACIÓN

Andesita silicificada con muchas vetillas de cuarzo, tiene hematita y goethita, tiene parches de alteración propilítica.



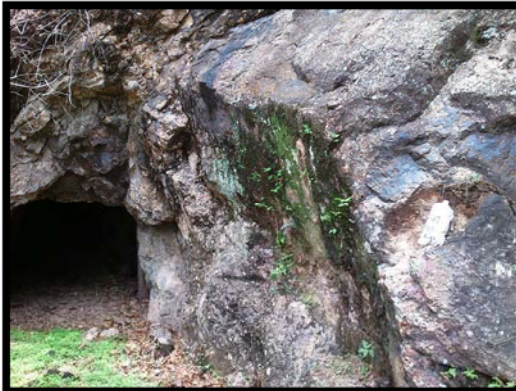
13-07-M36-PROPILÍTICA

Andesita amígdalar con alteración propilítica, las amígdalas están rellenas de clorita, la muestra se tomo del terrero porque esta roca la sacaban debajo de la mina y en la cima se ve la silicificacion y la argilizacion, tiene pirita diseminada.



13-07-M37-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, está muy fracturada, tiene hematita, goethita, la andesita tiene alteración propilítica con pirita diseminada.



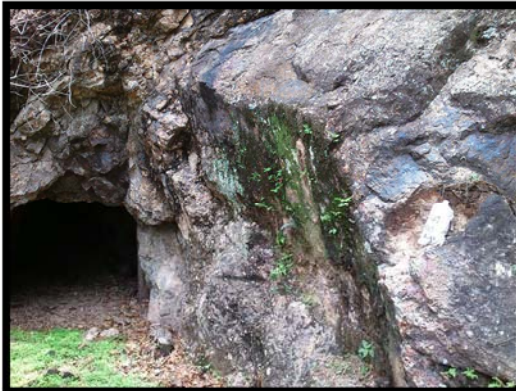
13-07-M38-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, está muy fracturado, tiene mucha hematita, goethita, esta parte no está cubierta, todo esta zona es argilica.



13-07-M39-ARGÍLICA

Andesita y vulcanosedimentos con alteración argílica, tiene mucha hematita y goethita, hay muy poca propilítica.



13-07-M40-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, tiene oxido, esta todo cubierto.





13-07-M41-ARGÍLICA

Dacita con alteración argílica, tiene muchas vetillas rellenas de oxido, está muy fracturado, tiene muchos Box Works de pirita rellenos de oxido.



13-07-M42-ARGÍLICA

Dacita con alteración argílica, está a un lado de la veta, donde hay un tiro, tiene Box Works, todo es argílica, hay muy poca silicificación y propilitización.



13-07-M43-SILICIFICACIÓN

Dacita silicificada, tiene Box Works, hay muchas vetillas de cuarzo, hematita, goethita, está en una veta donde hubo labores.



13-07-M44-ARGÍLICA

Dacita con alteración argílica, tiene Box Works, hematita, goethita, está muy erosionada, está a un lado de la muestra M43, propilitica se ve muy poca.



13-07-M45-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, la muestra se tomo en los trabajos, tiene oxido.



13-07-M46-PROPILÍTICA

Andesita amígdalar con alteración propilítica, amígdalas rellenas de clorita, no se le observan óxidos.



13-07-M47-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, está cubierto, tiene oxido, está a un lado de la veta.



13-07-M48-SILICIFICACIÓN

Veta silicificada, tiene oxido, está cubierta, se ve cierta parte nomas.



13-07-M49-ARGÍLICA

Andesita con alteración argílica, se le ve en algunas partes propilítica, hay muchas vetillas en esta parte (Stock Works)



13-07-M50-SILICIFICACIÓN

Veta silicificada (Stock Work) tiene hematita en algunas partes, alteración argílica.



ZONAS DONDE SE RECOLECTARON LAS MUESTRAS

Zona	Coordenadas UTM NAD 27			Propietario.	Alteracion.			Obs.	Mineralizacion	Roca
	X	Y	Z		Argilica	Popilitica	Silica			
Barranca blanca	763983	3026972	1323	param	si	si	si		Au-Ag	And
La Verde	762974	3026446	1384	Privado	poca	si	si		Au-Ag	And
Don ese	760953	3029432	1418	Privado	Parches	si	no		Au-Ag	And
La Bavisa	761460	3029992	1469	param	poca	si	si		Au-Ag	And
El Ojito	762091	3030515	1469	param	si	?	?		Au-Ag	And
El Ojito otro punto	761404	3030502	1564	param	si	?	?		Au-Ag	And
Veta Temoris	768243	3020842	1505	param	poca	no	si		Au-Ag	And
Guajipa	767605	3019369	1594	param	si	?	si		Au-Ag	And
Guajipa1	767364	3018828	1556	param	si	?	si		Au-Ag	And
Guajipa2	767380	3018716	1547	param	si	?	si		Au-Ag	And
Mina de Barita	765772	3018357	1606	param	no	no	no		Au-Ag	And
El Trigo	756534	3018819	1591	param	si	si	no		Au-Ag	And
Brecha Veta muy g	765386	3018985	1581	param	?	?	?		Au-Ag	And
Brecha Veta muy otro punto	765354	3019386	1564	param	?	?	?		Au-Ag	And
Veta el Durasno	765300	3018122	1525	param	si	poca	si		Au-Ag	And
Santa Clara	770364	3029141	1646	param	si	no	no	sulfuros, esfaletita galena	Au-Ag	And
Sata de Oro	770390	3028360	1673	param	si	no	si		Au-Ag	And
San Luis	769715	3031721	1620	param	si	no	no		Au-Ag	And
El Carmen	769435	3032911	1604	param	si	si	si		Au	And amigdalur
La Veronica	768681	3033957	1598	param	si	no	no	Catas	Au-Ag	And
Veta San Francisco	766944	3034542	1621	param	si	si	si		Au	And amigdalur
San Miguel	764662	3034468	1431	param	si	si	no		Au-Ag	And amigdalur-Tobas
San Isidro	768267	3031881	1565	param	si	si	si		Au-Ag	And amigdalur

Tabla 1.- COORDENADAS DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS

Muestra	Coordenadas UTM NAD 27			Zona	Tipo
	X	Y	Z		
13-07-M1-Argi	763973	3026978	1318	B.B	Hum.
13-07-M2-Propi	763977	3027989	1320	B.B	Hum.
13-07-M3-Sili	762974	3026444	1383	L.V	Sec.
13-07-M4-Propi	762976	3026454	1385	L.V	Hum.
13-07-M5-Argi	762974	3026448	1383	L.V	Sec.
13-07-M6-Argi	762842	3026677	1407	L.V	Hum.
13-07-M7-Argi	760712	3027456	1477	L.V	Hum.
13-07-M8-Argi	760363	3028145	1472	G.P	Hum.
13-07-M9-Propi	760363	3028145	1472	G.P	Hum.
13-07-M10-Propi	760954	3029438	1421	D.E	Hum.
13-07-M11-Argi	760950	3029428	1422	D.E	Hum.
13-07-M12-Propi	761447	3030066	1470	L.B	Sec.
13-07-M13-Sili	761496	3029893	1473	L.B	Sec.
13-07-M14-Argi	761499	3030043	1483	L.B	Hum.
13-07-M15-Argi	762076	3030512	1567	E.O	Hum.
13-07-M16-Argi	761429	3031446	1478	E.O	Hum.
13-07-M17-Argi	761402	3031489	1483	E.O	Hum.
13-07-M18-Sili	768249	3020846	1487	V.T	Sec.
13-07-M19-Argi	768211	3020838	1492	V.T	Hum.
13-07-M20-Argi	767368	3018909	1560	G.	Hum.
13-07-M21-Argi	767362	3018824	1555	G.	Hum.
13-07-M22-Argi	766351	3018403	1550	G.	Hum.
13-07-M23-Argi	766334	3018443	1559	G.	Hum.
13-07-M24-Argi	765529	3018128	1588	E.T.	Hum.
13-07-M25-Sili	765298	3018128	1588	V.E.D.	Hum.
13-07-M26-Argi	765298	3018128	1519	V.E.D.	Hum.
13-07-M27-Propi	765310	3028128	1522	V.E.D.	Hum.
13-07-M28-Argi	770358	3029136	1649	S.C	Hum.
13-07-M29-Sili	770362	3028378	1683	S.O	Sec.
13-07-M30-Argi	770367	3028377	1683	S.O	Sec.
13-07-M31-Argi	770031	3030440	1637	L.U	Hum.
13-07-M32-Argi	769706	3031676	1622	V.S.L	Hum.
13-07-M33-Argi	769606	3031923	1621	S.A	Hum.
13-07-M34-Argi	769583	3031914	1621	S.A	Hum.
13-07-M35-Sili	769423	3032939	1608	E.C	Sec.
13-07-M36-Propi	769419	3032913	1606	E.C	Hum.
13-07-M37-Argi	769431	3032914	1607	E.C	Hum.
13-07-M38-Argi	768675	3033954	1596	L.V	Hum.
13-07-M39-Argi	767700	3035227	1624	M.	Hum.
13-07-M40-Argi	767812	3034845	1573	M.	Hum.
13-07-M41-Argi	766968	3034410	1601	S.F	Hum.
13-07-M42-Argi	766952	3034533	1627	S.F	Hum.
13-07-M43-Sili	766821	3034655	1634	S.F	Sec.
13-07-M44-Argi	766821	3034655	1634	S.F	Hum.
13-07-M45-Argi	764680	3034478	1447	S.M	Hum.
13-07-M46-Propi	764708	3034280	1434	S.M	Hum.
13-07-M47-Argi	768266	3031869	1571	S.I	Hum.
13-07-M48-Sili	768263	3031874	1571	S.I	Sec.
13-07-M49-Argi	761407	3011350	1459	L.T	Hum.
13-07-M50-Sili	761312	3011100	1403	L.T	Sec.

ANEXO II

Difracción de rayos X

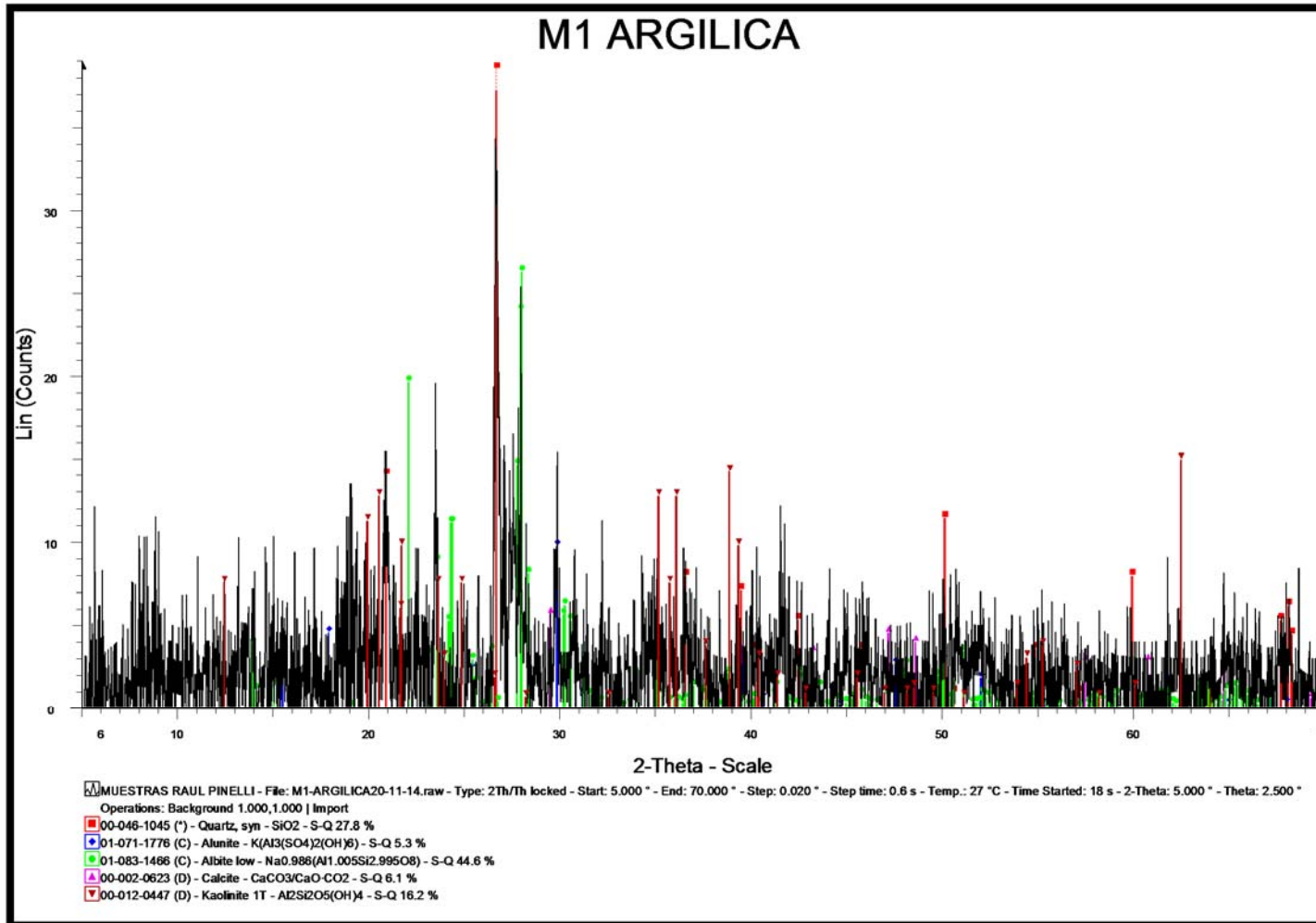


Figura 1.- M1 ARGÍLICA

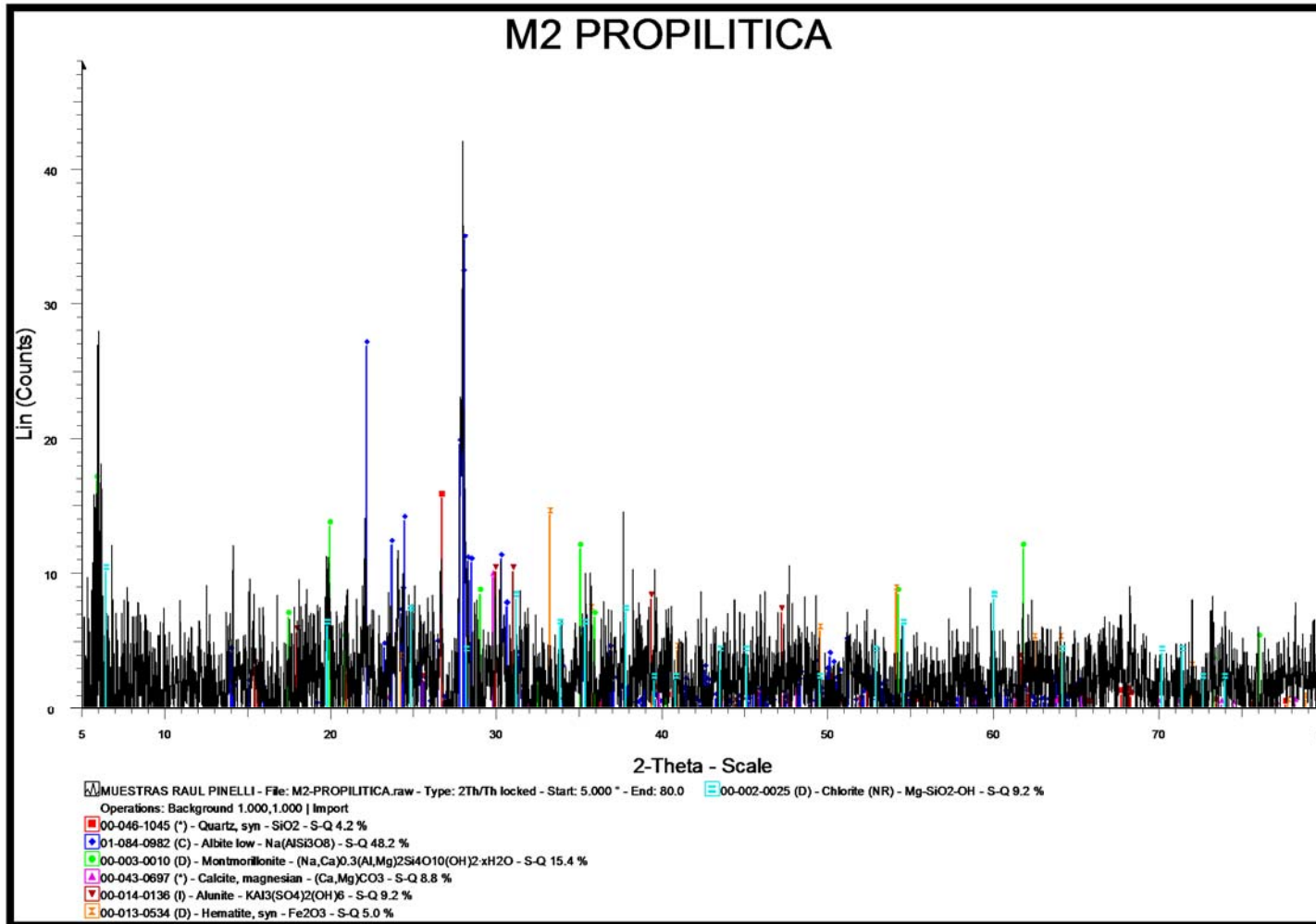


Figura 2.- M2 PROPILÍTICA

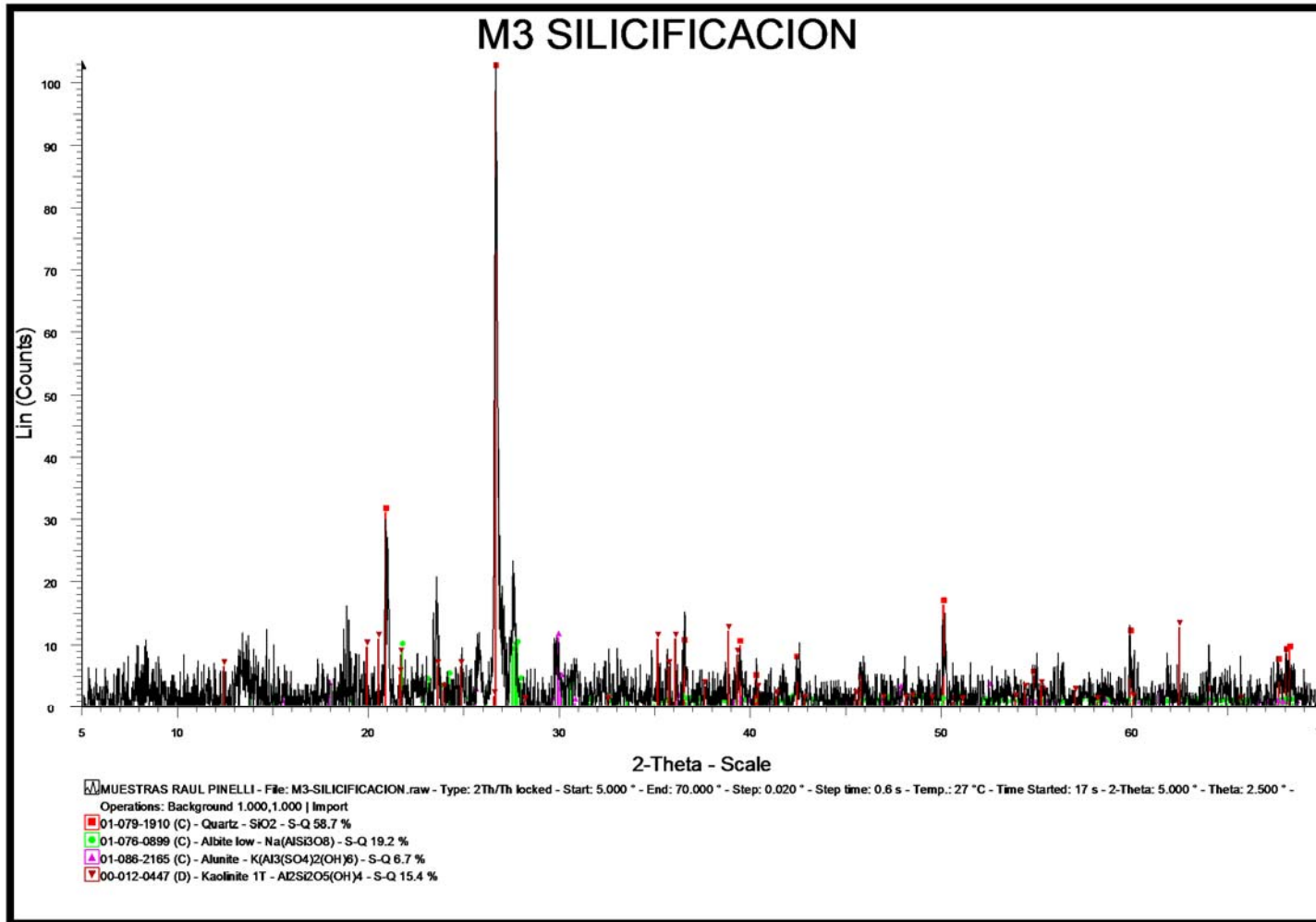


Figura 3.- M3 SILICIFICACIÓN

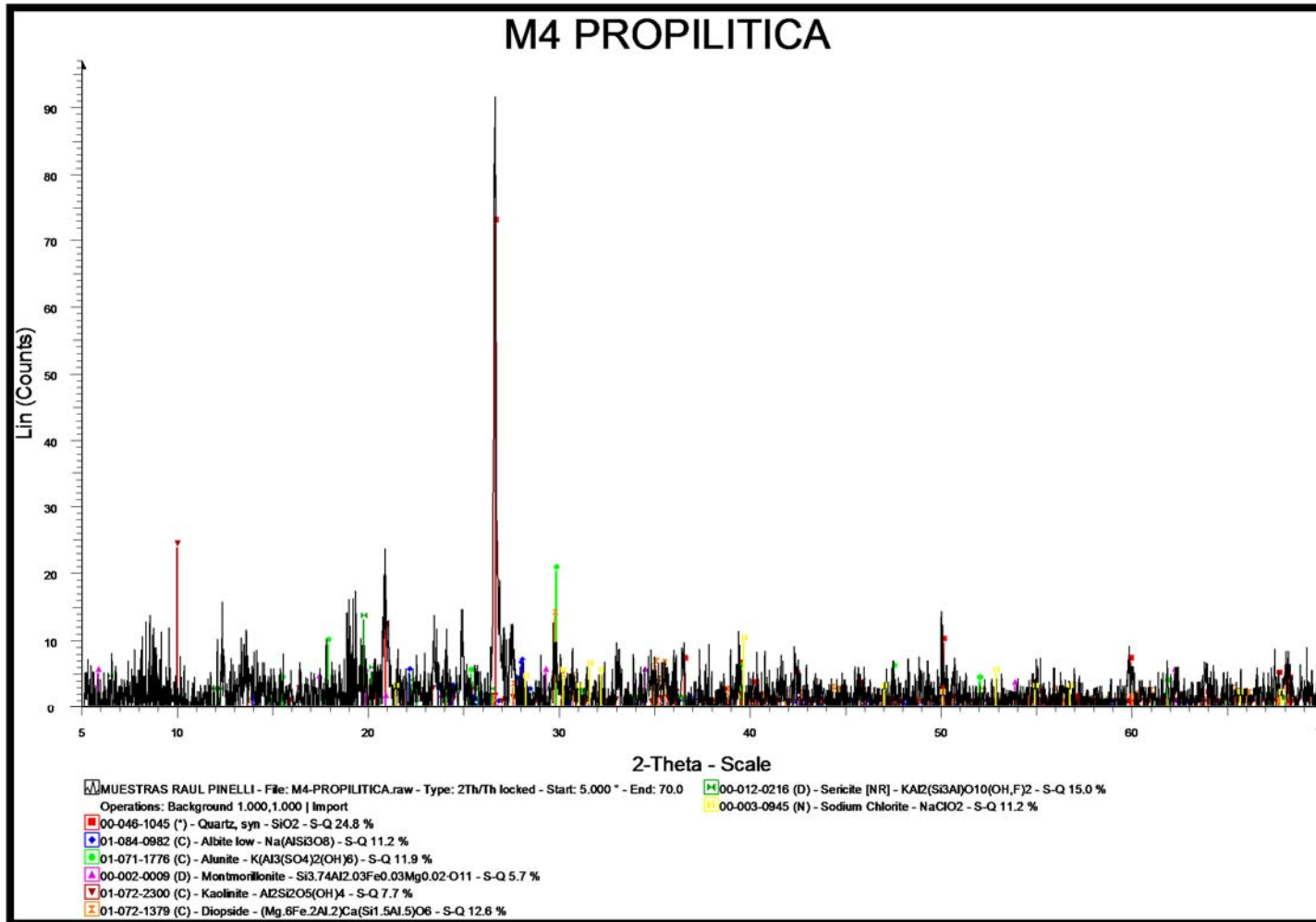


Figura 4.- M4 PROPILÍTICA

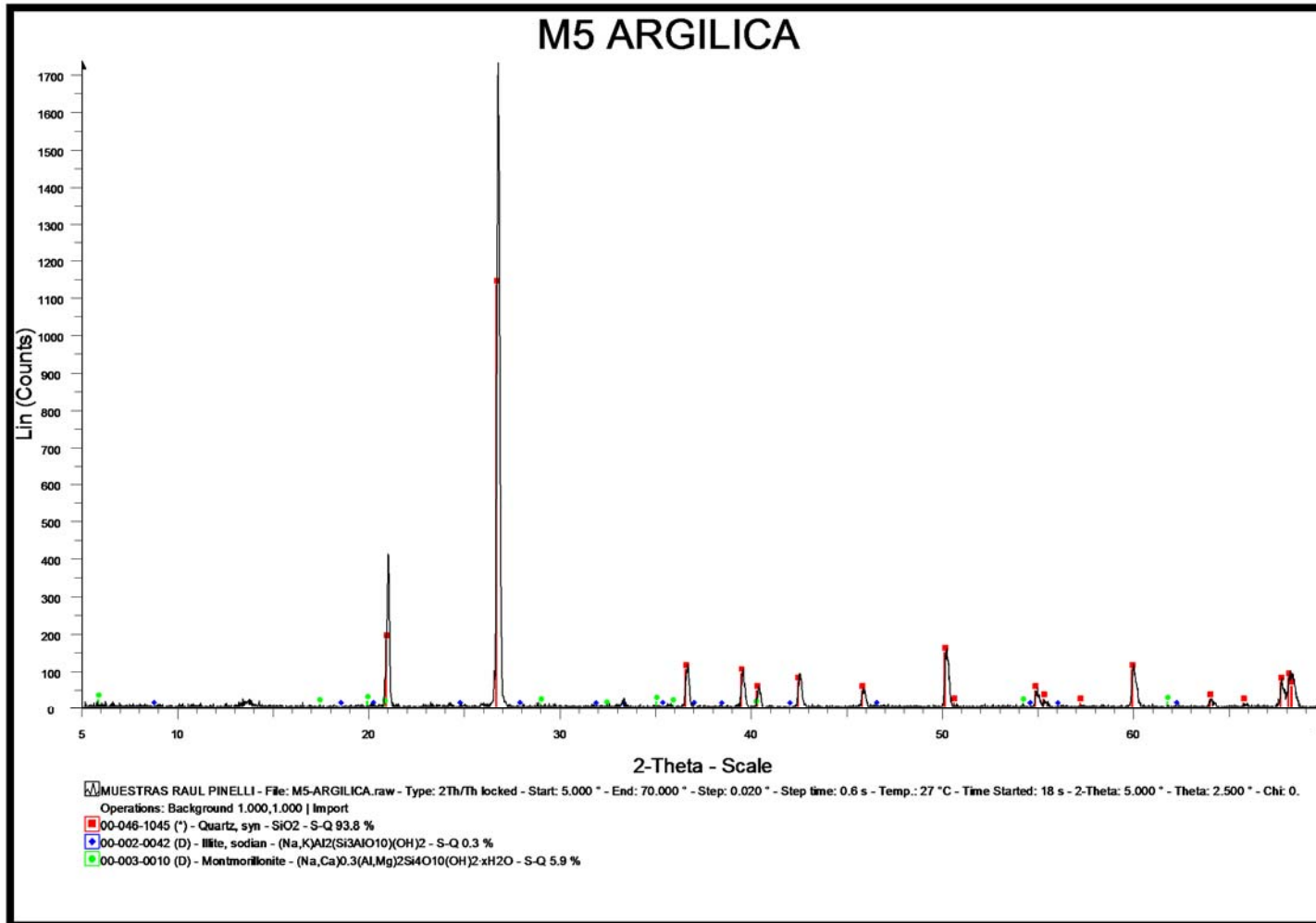


Figura 5.- M5 ARGÍLICA

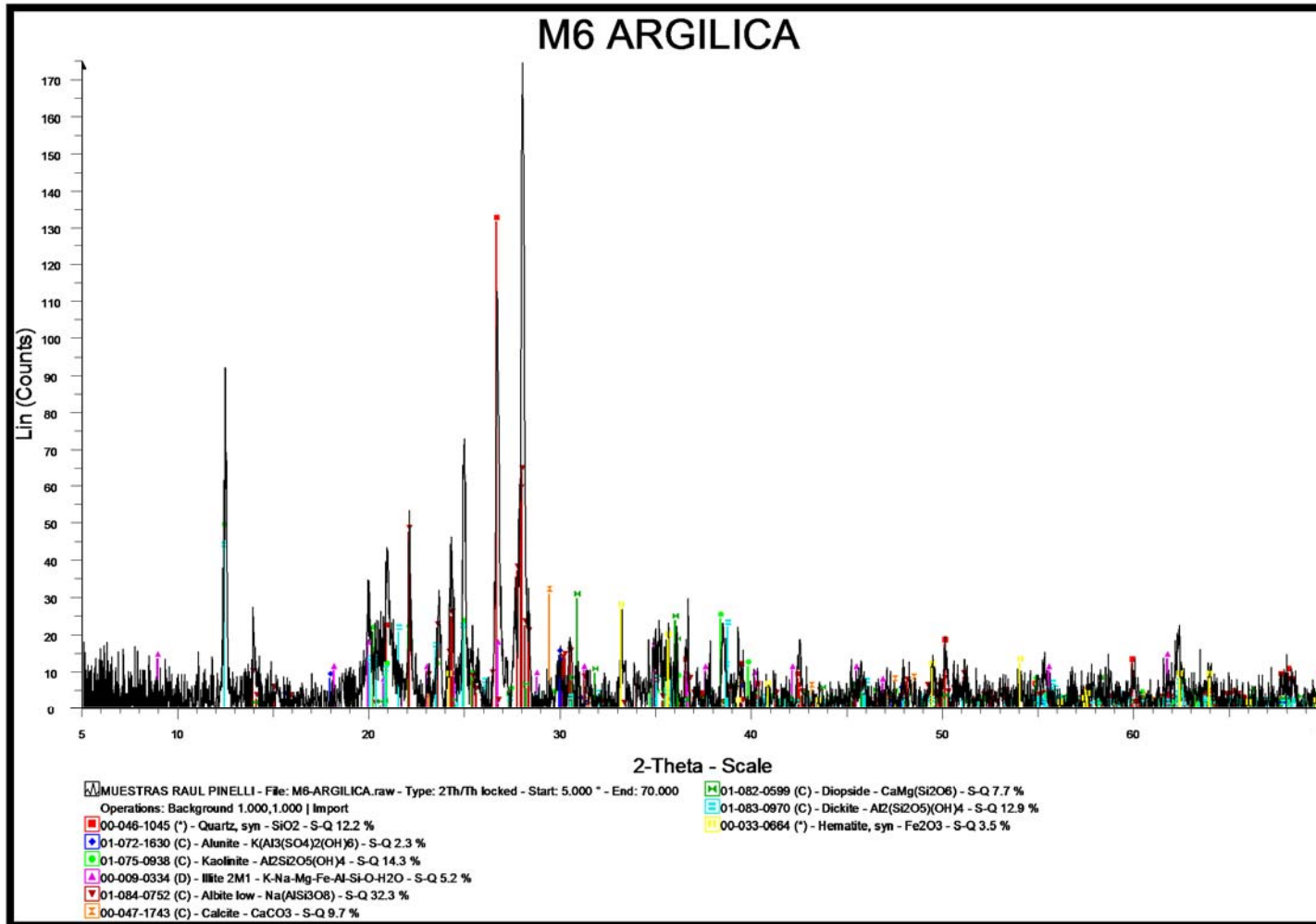


Figura 6.- M6 ARGÍLICA

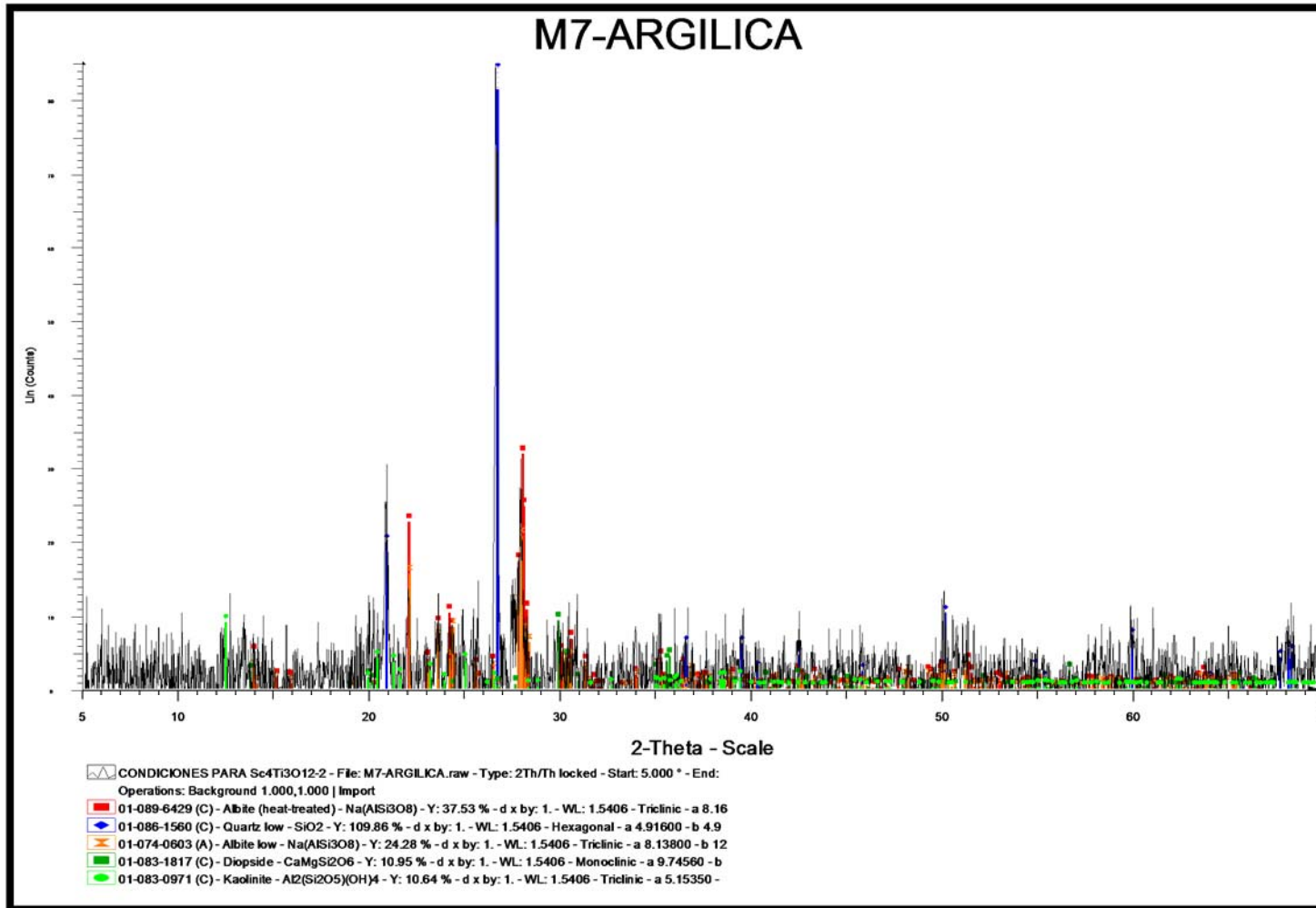


Figura 7.- M7 ARGÍLICA

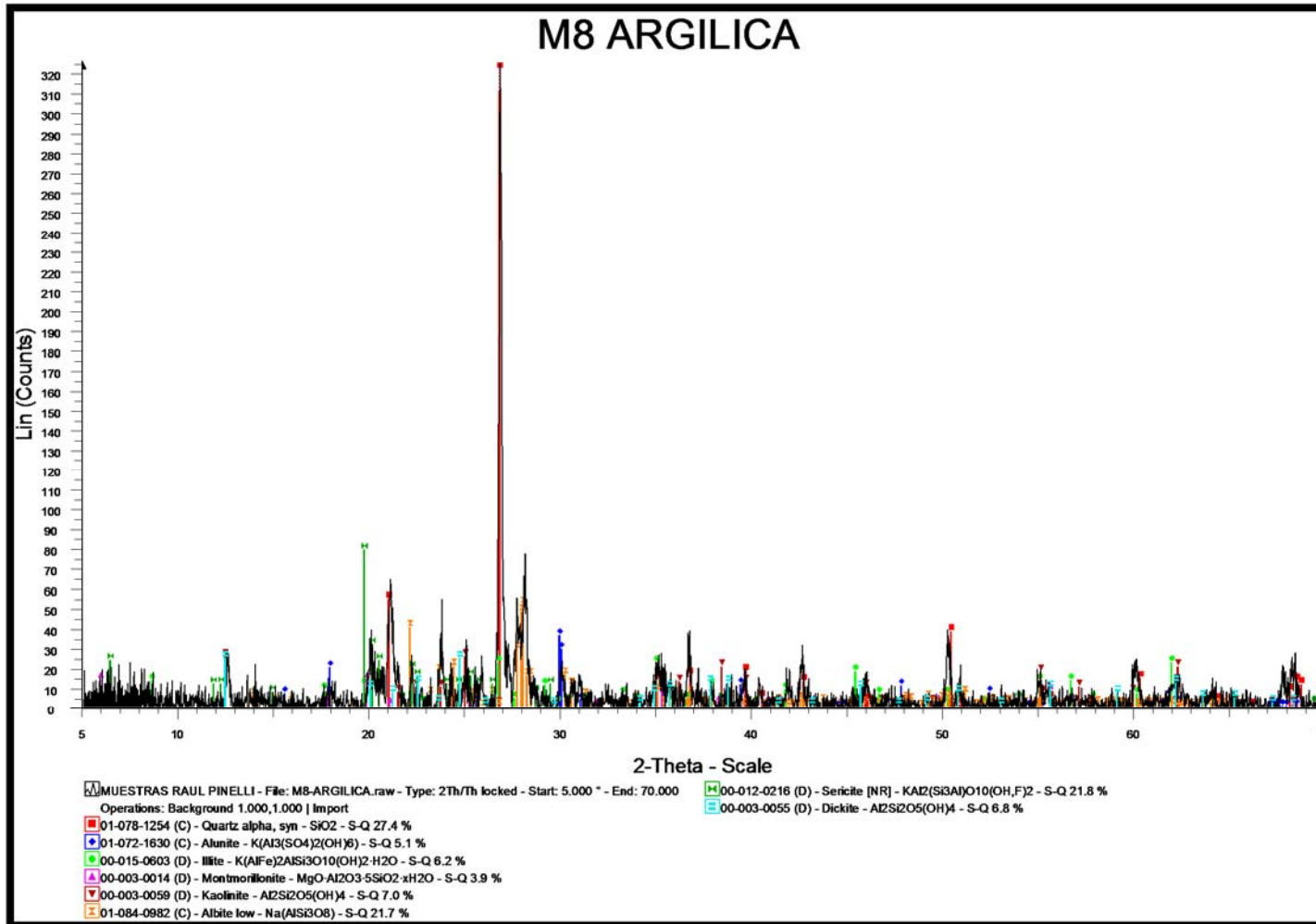


Figura 8.- M8 ARGÍLICA

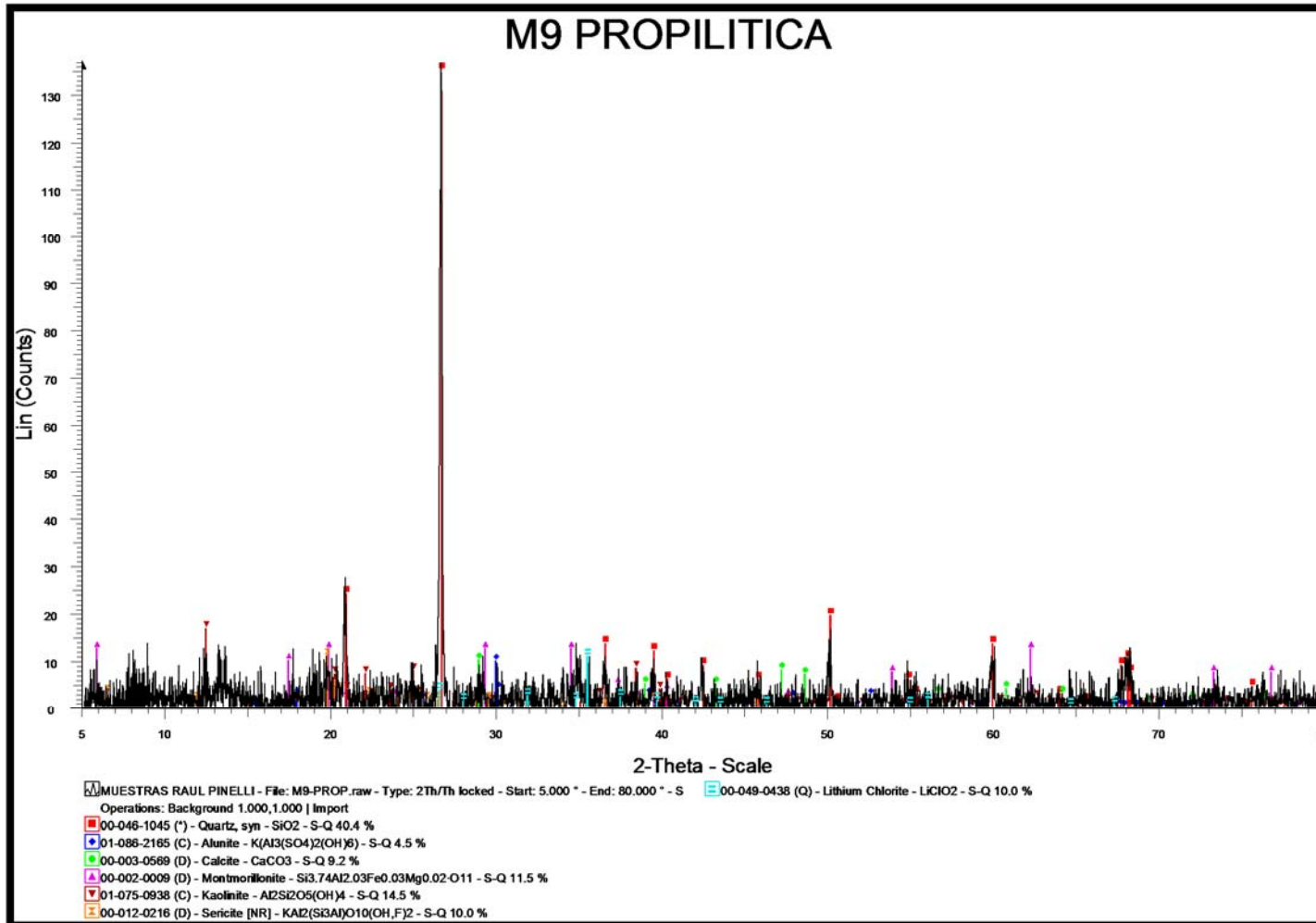


Figura 9.- M9 PROPILÍTICA

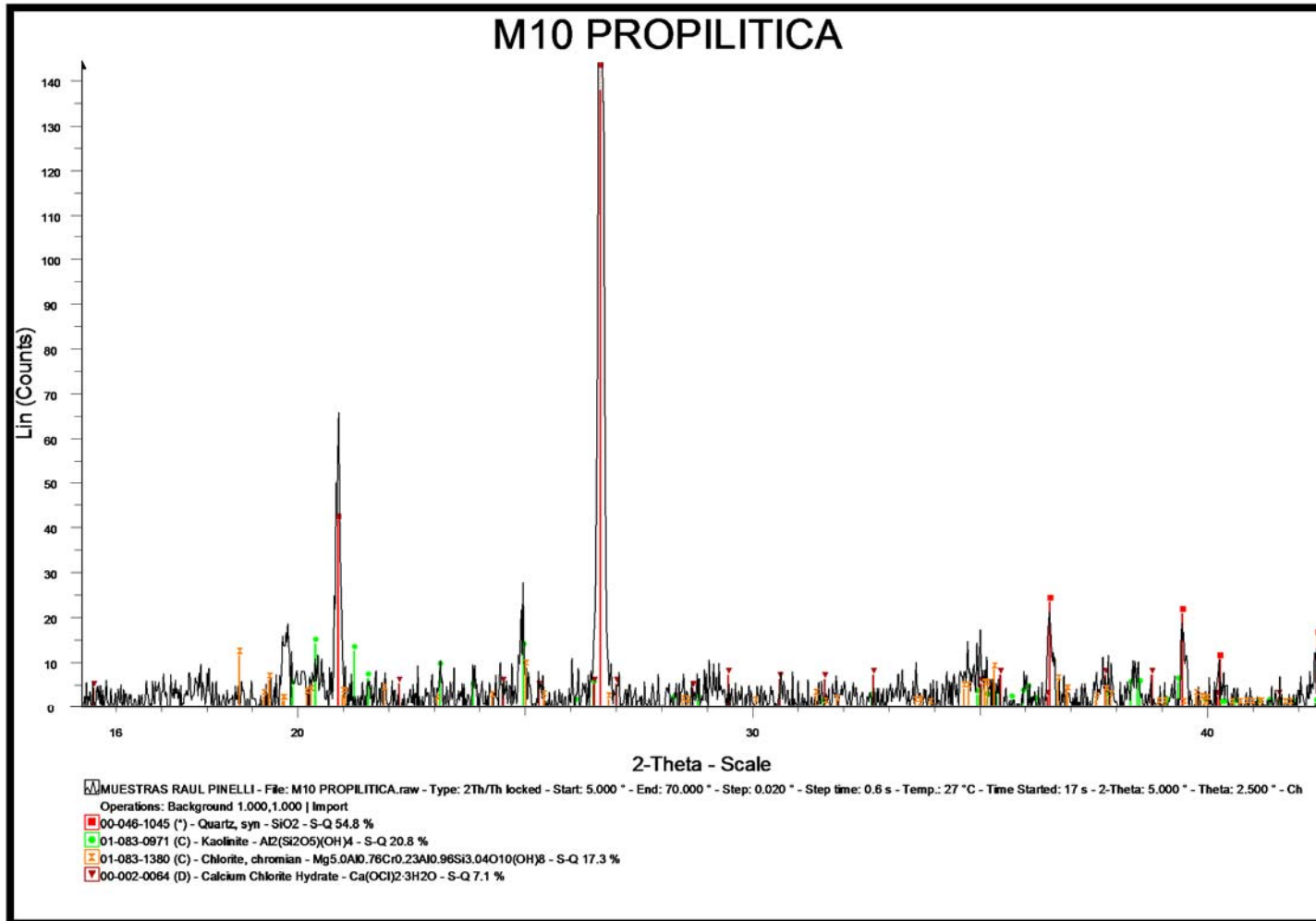


Figura 10.- M10 PROPILÍTICA

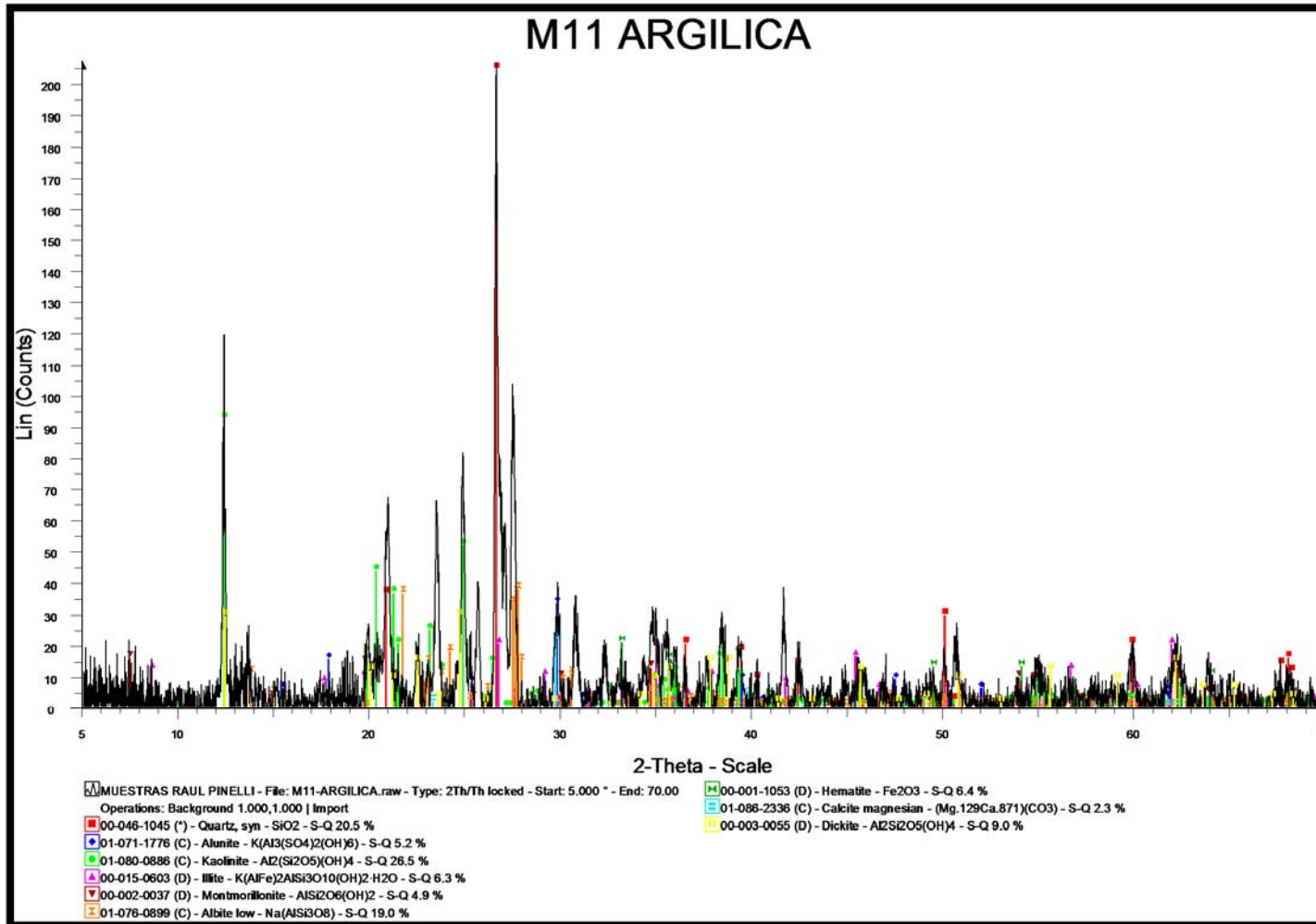


Figura 11.- M11 ARGÍLICA

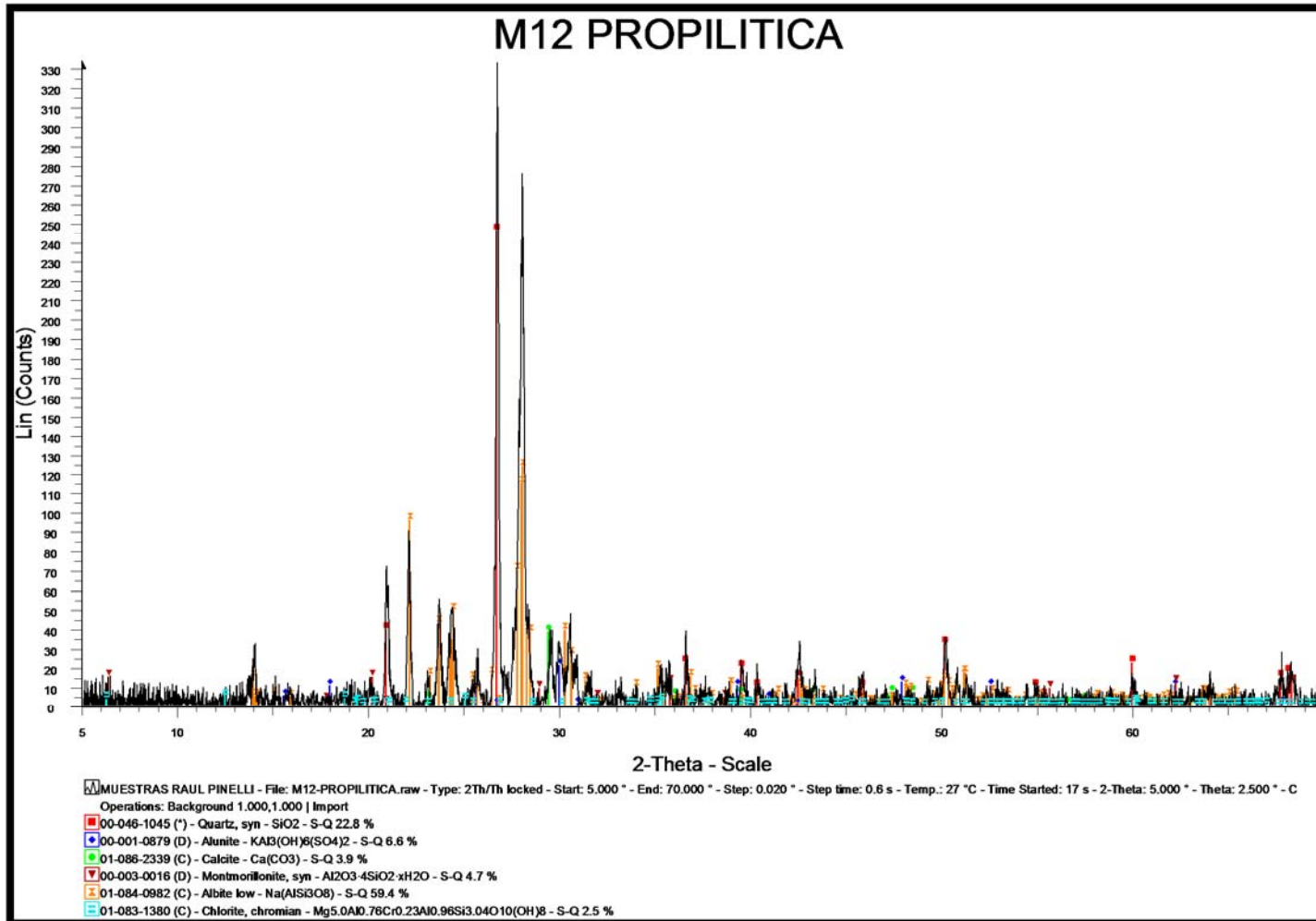


Figura 12.- M12 PROPILÍTICA

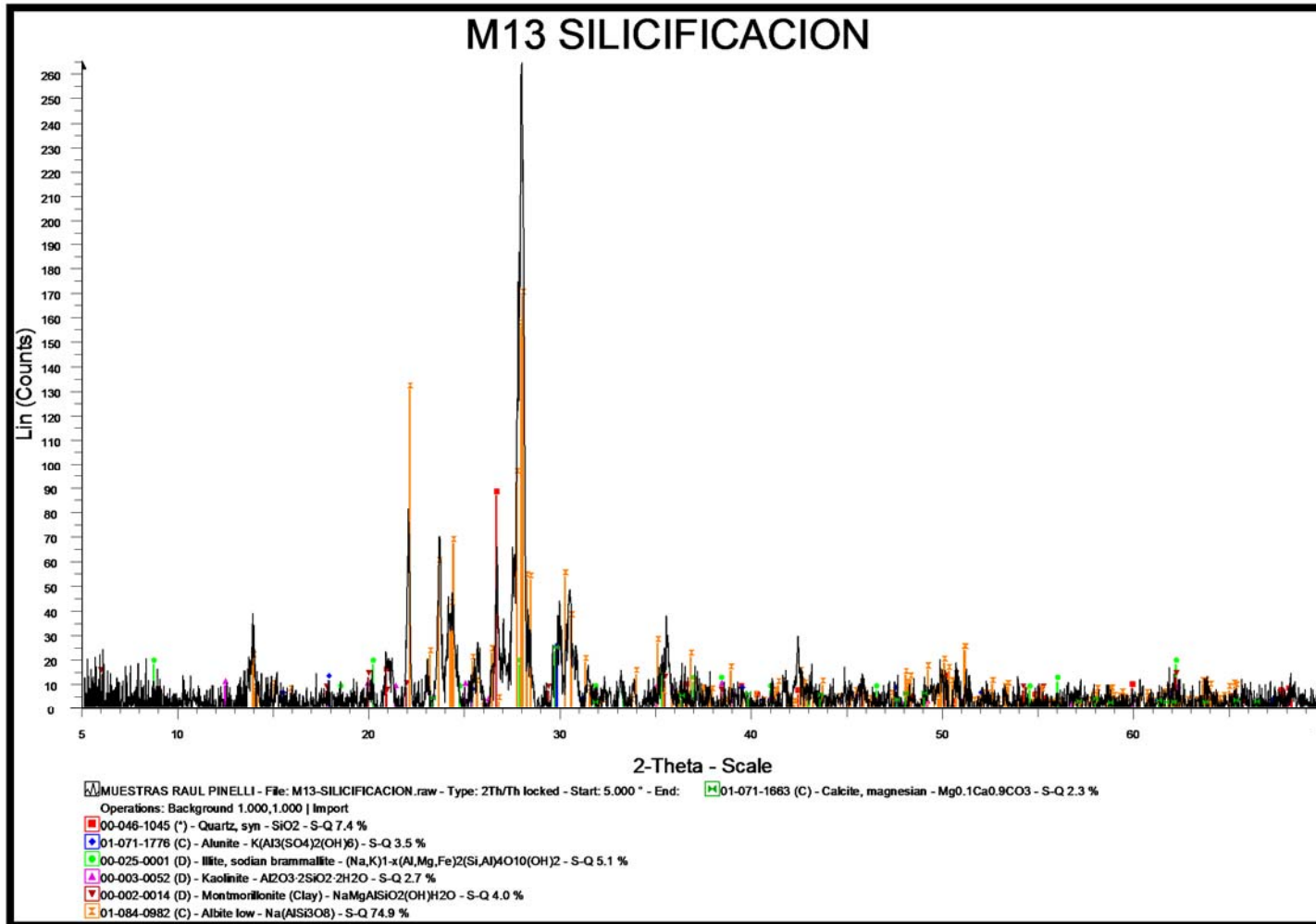


Figura 13.- M13 SILICIFICACIÓN

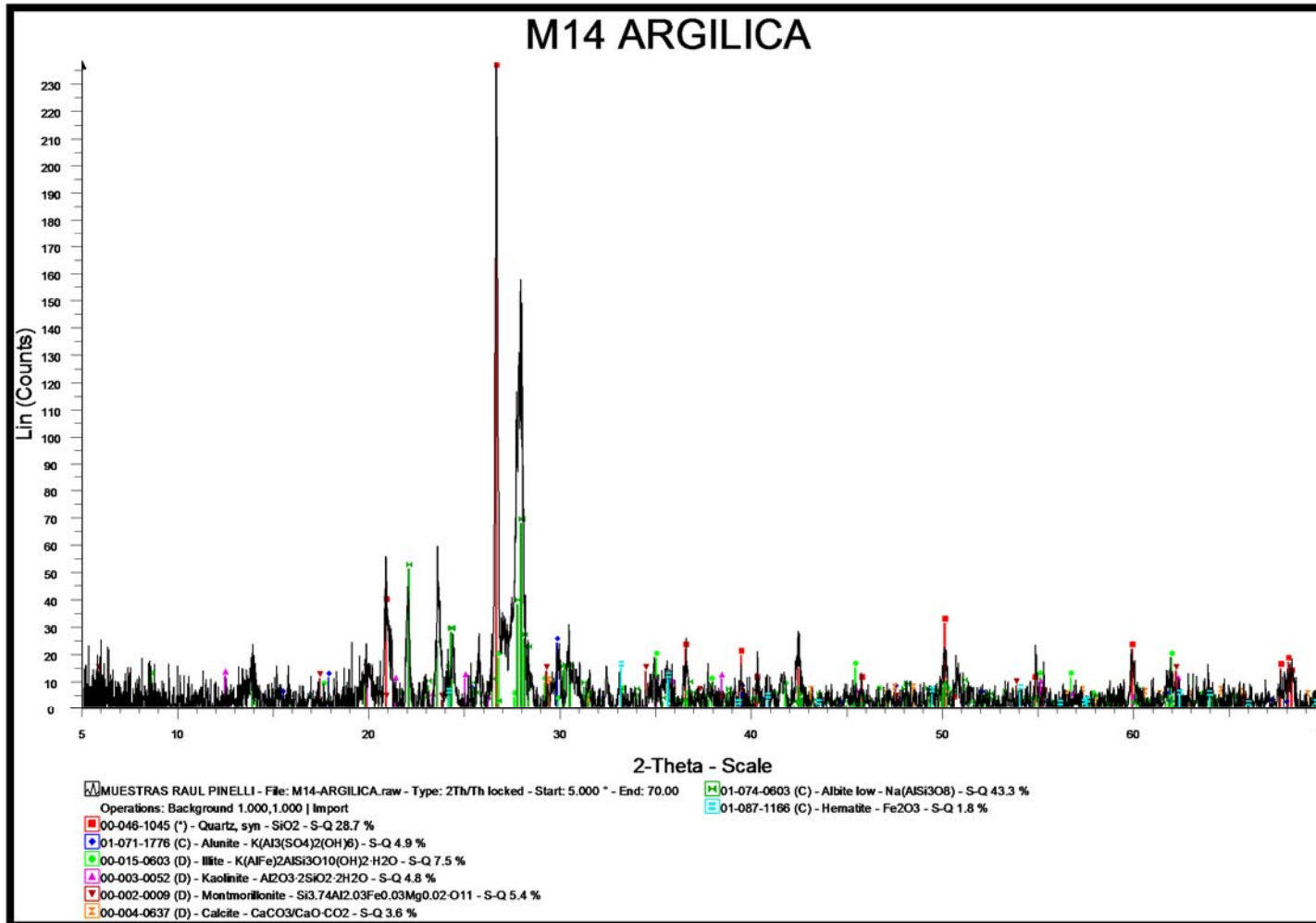


Figura 14.- M14 ARGÍLICA

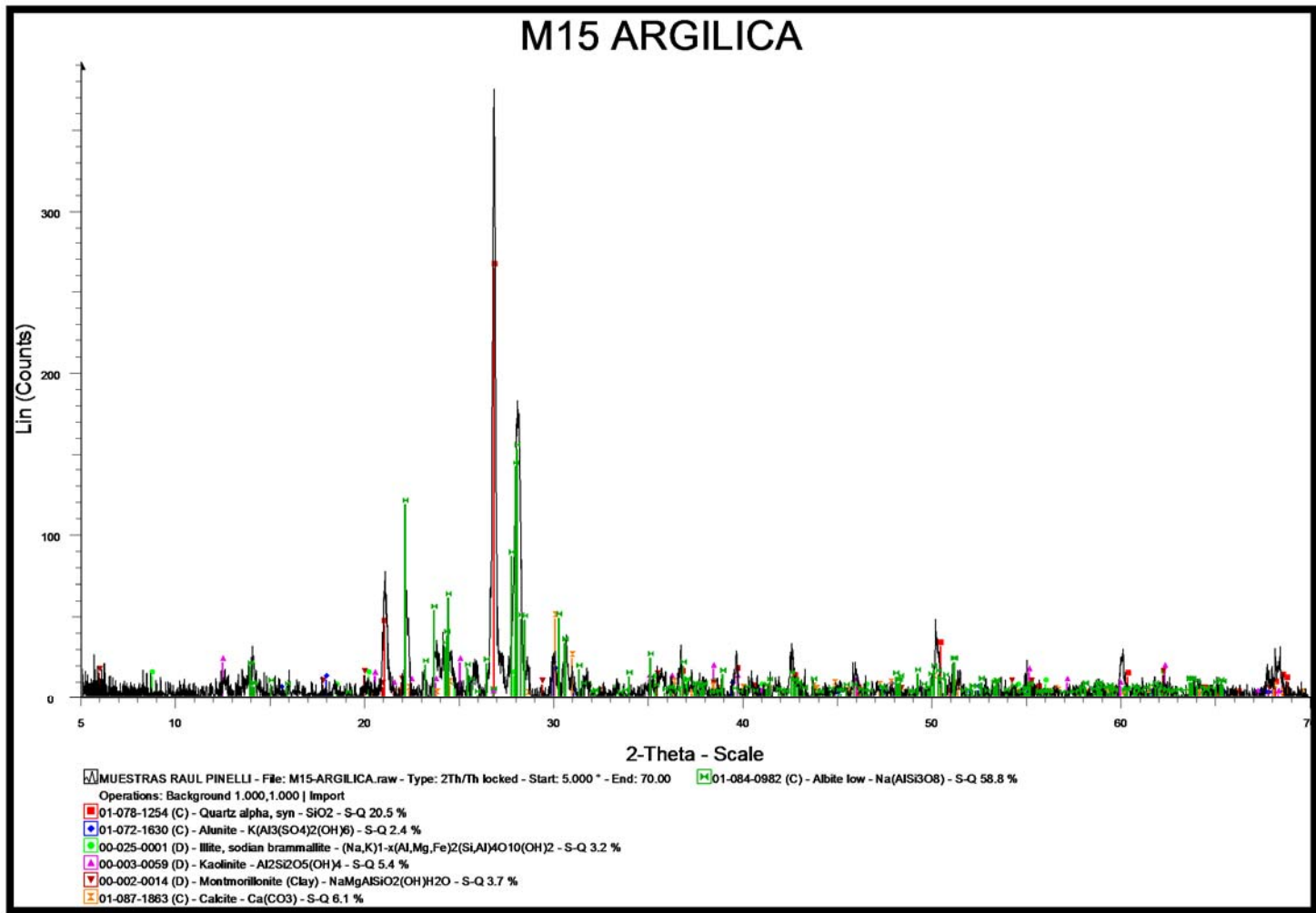


Figura 15.- M15 ARGÍLICA

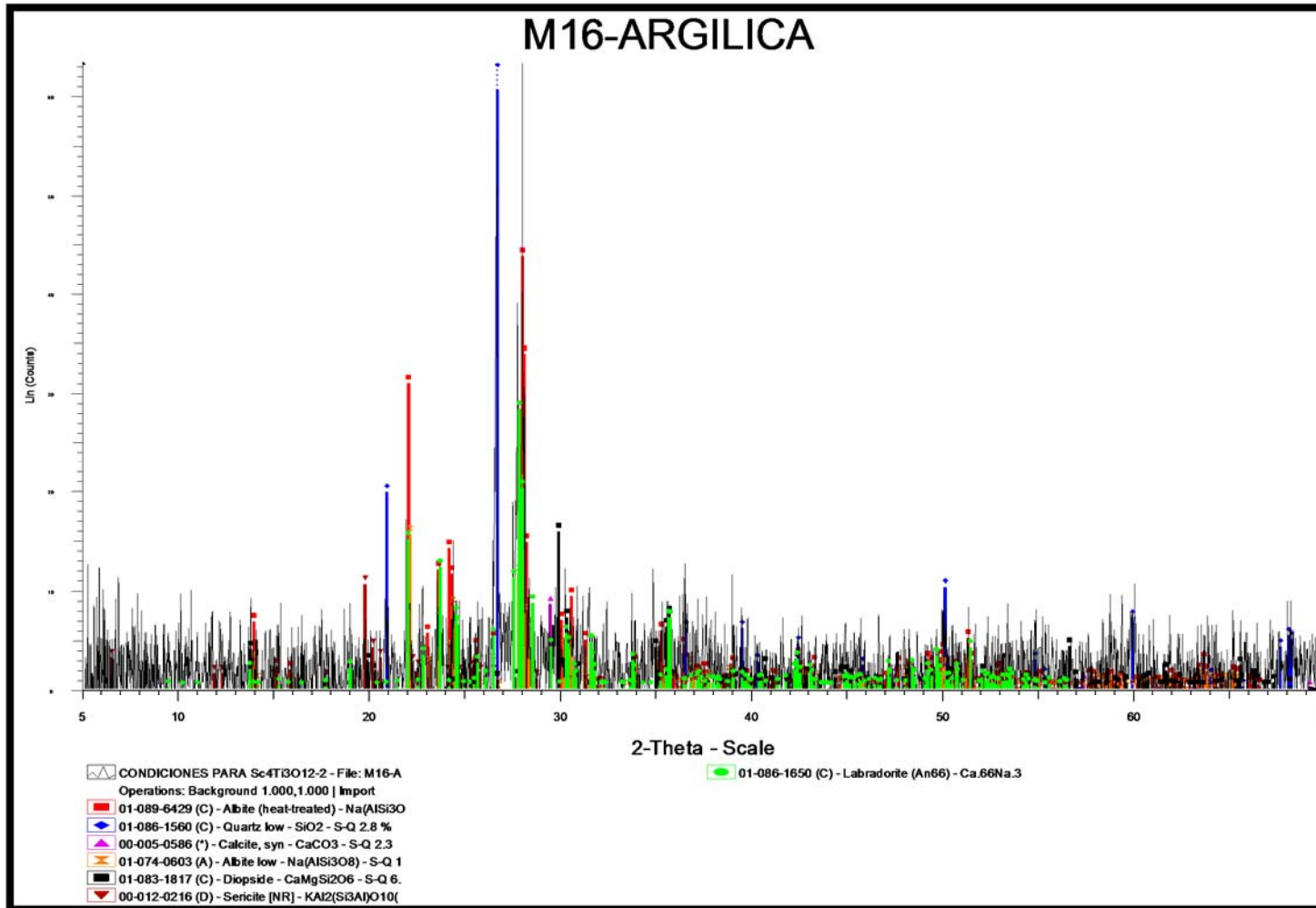


Figura 16.- M16 ARGÍLICA

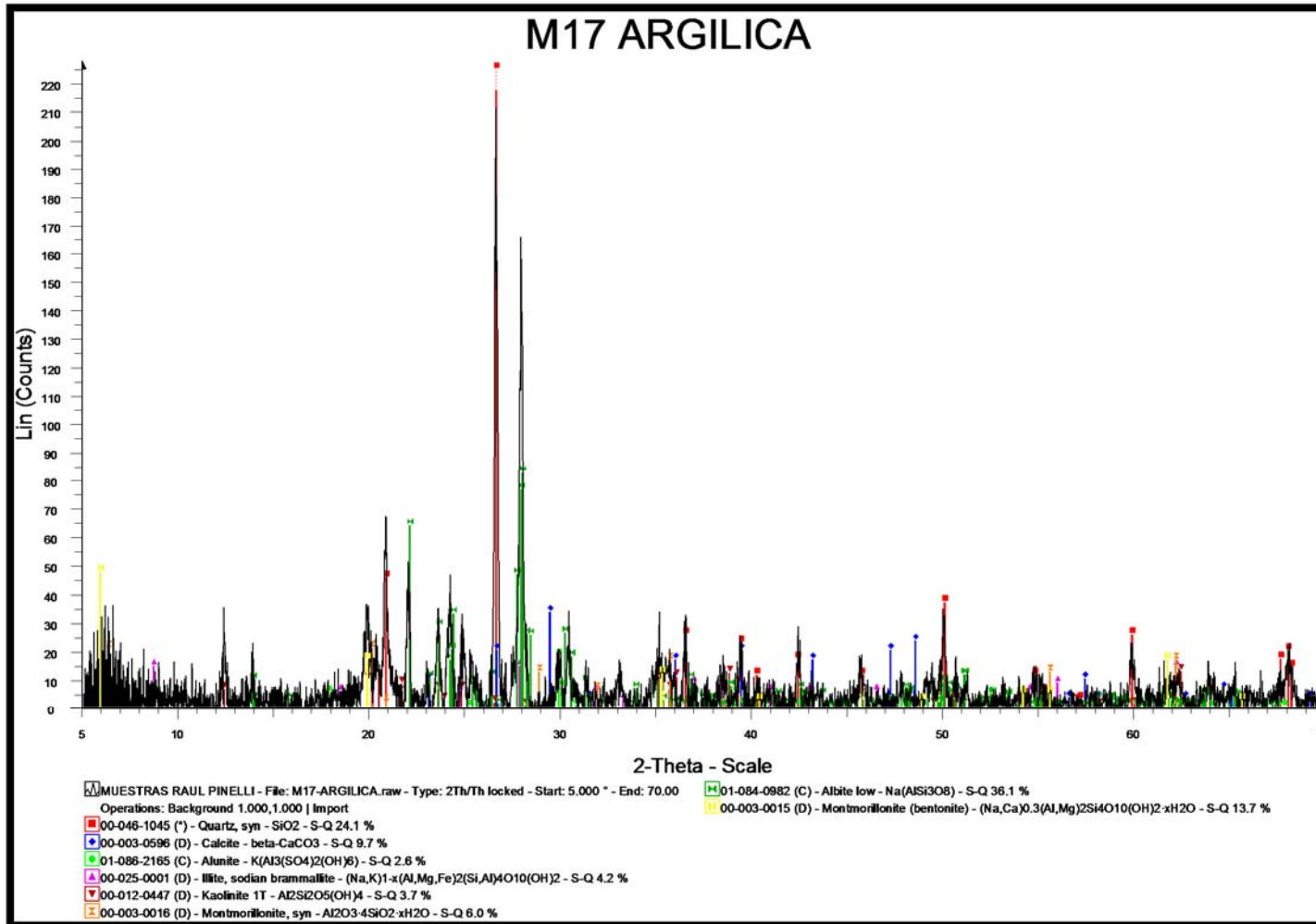


Figura 17.- M17 ARGÍLICA

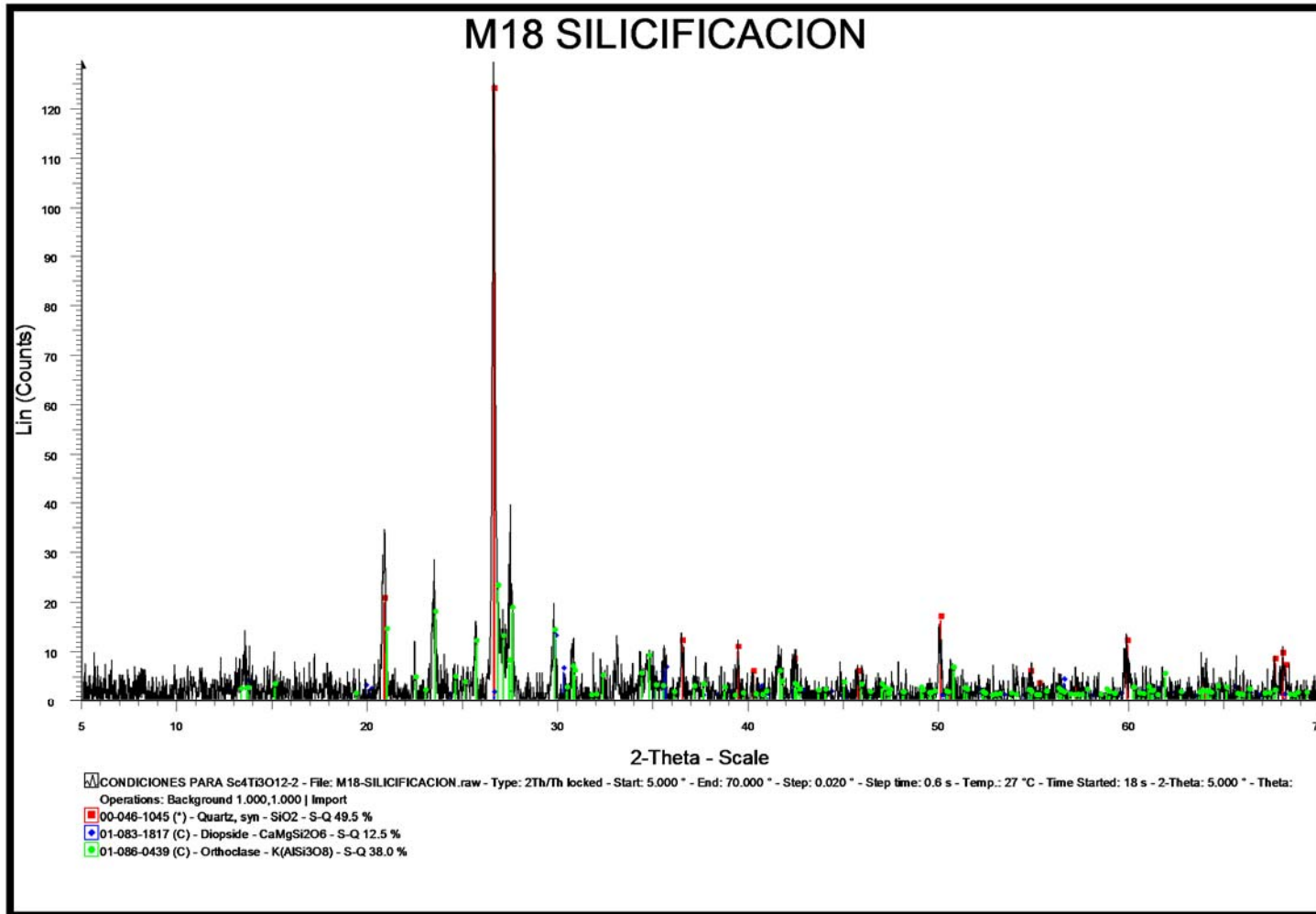


Figura 18.- M18 SILICIFICACIÓN

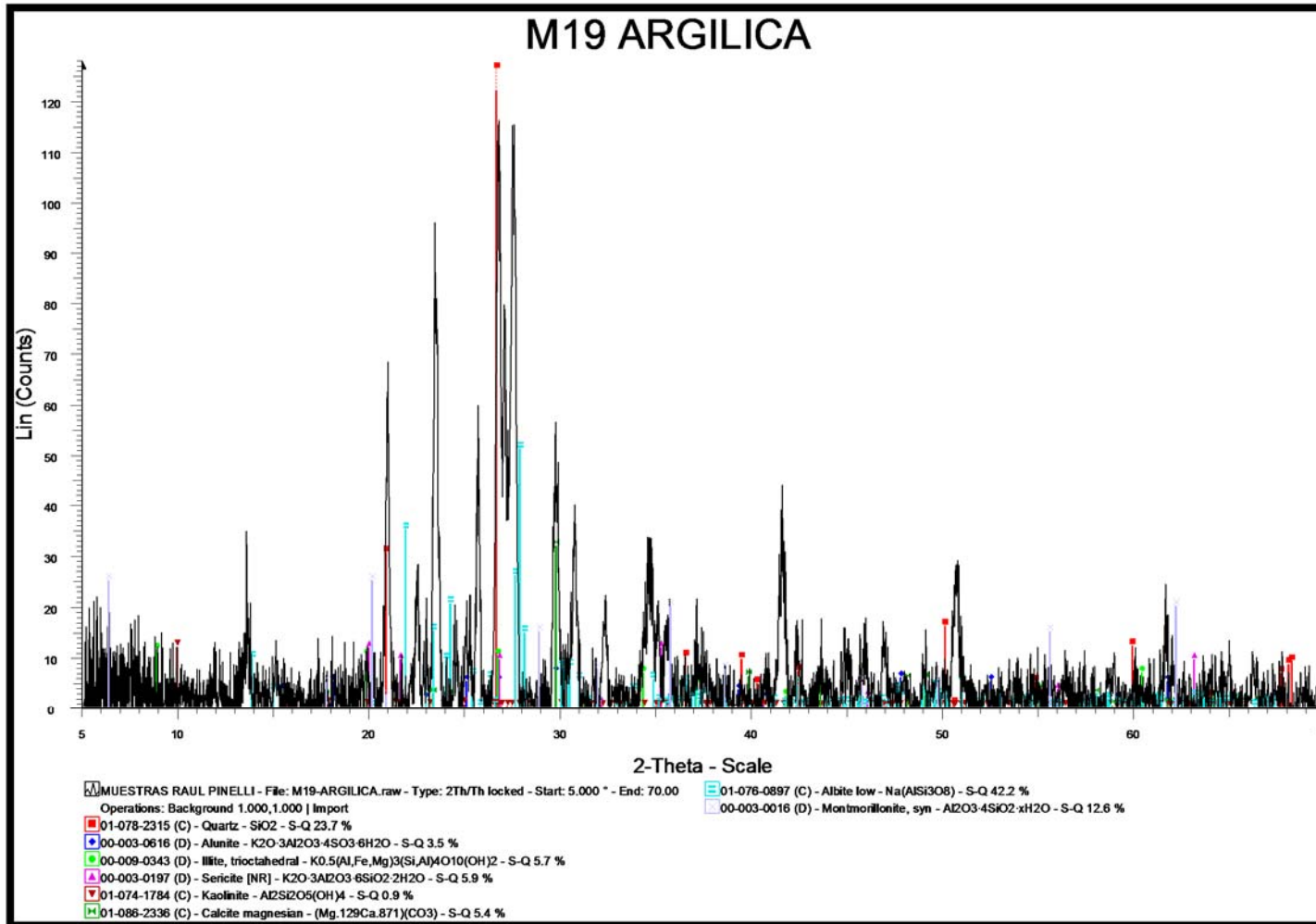


Figura 19.- M19 ARGÍLICA

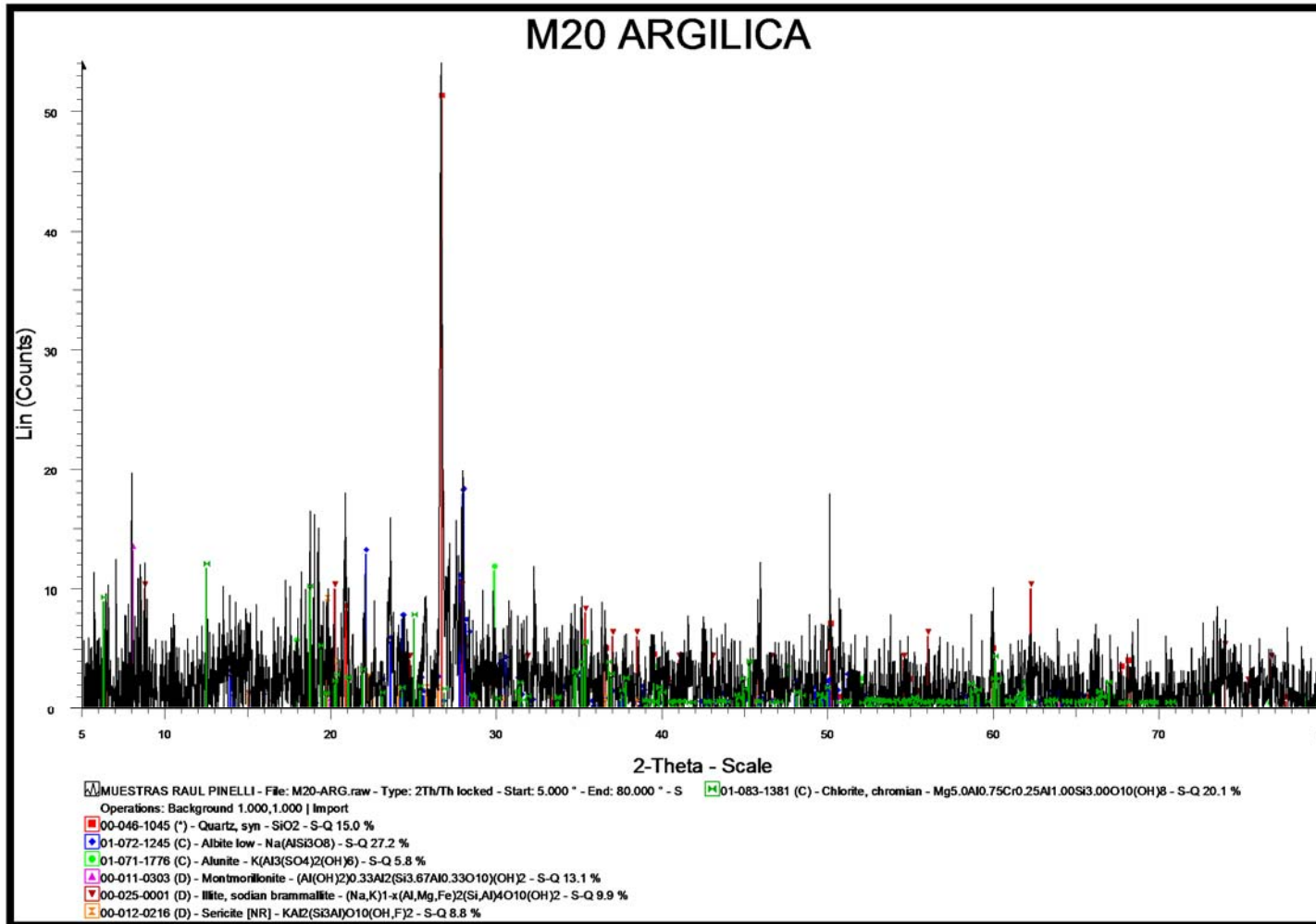


Figura 20.- M20 ARGÍLICA

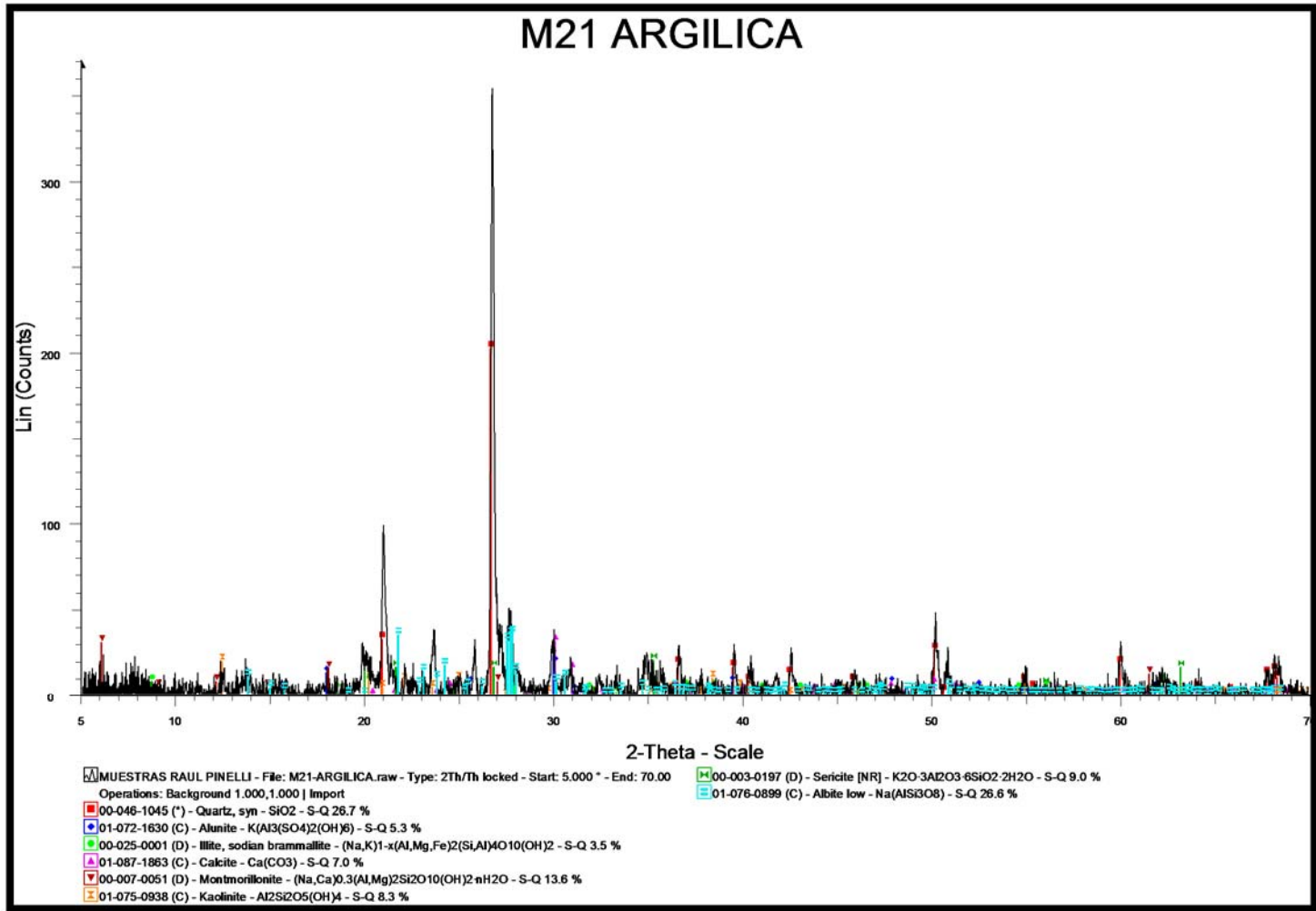


Figura 21.- M21 ARGÍLICA

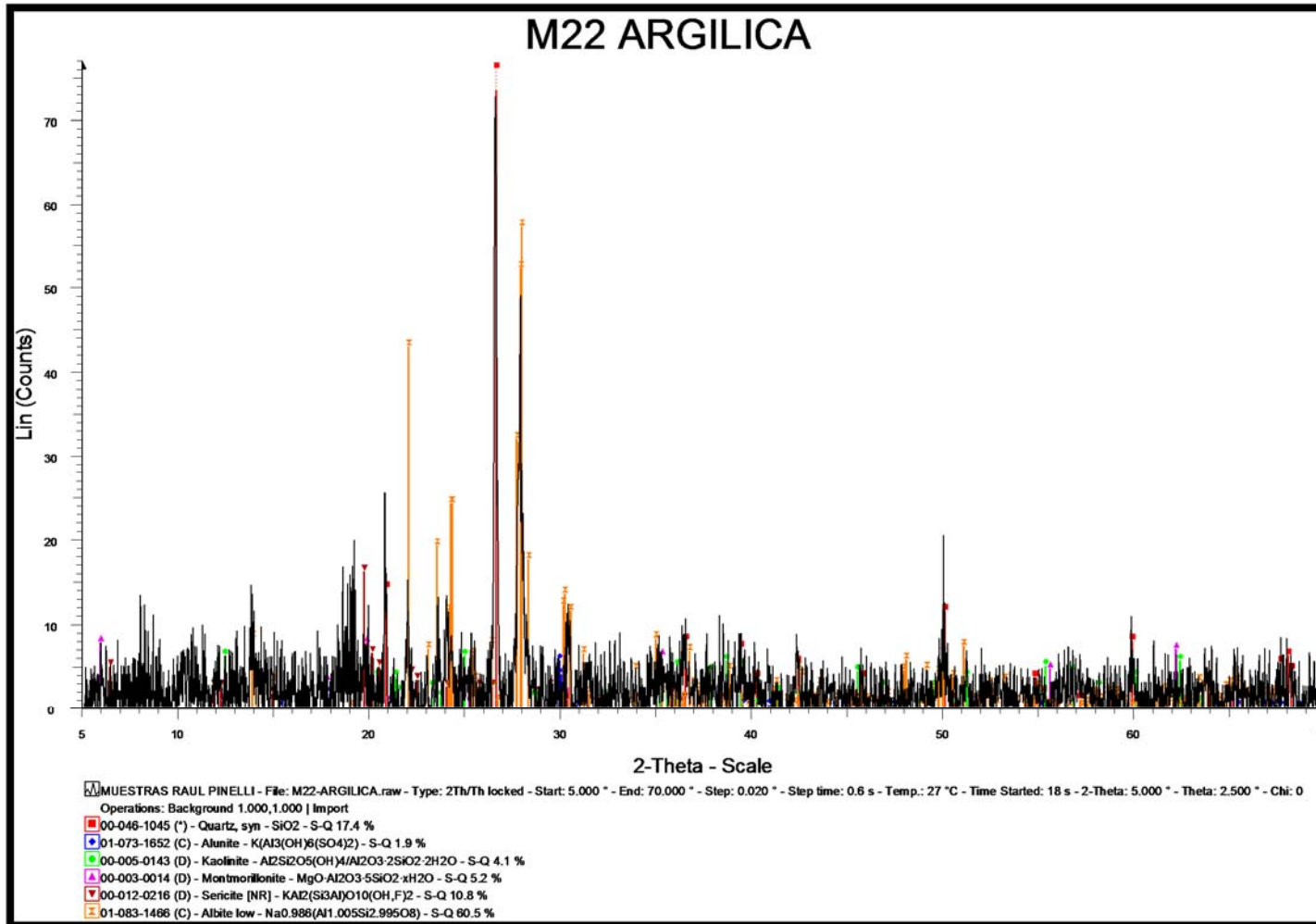


Figura 22.- M22 ARGÍLICA

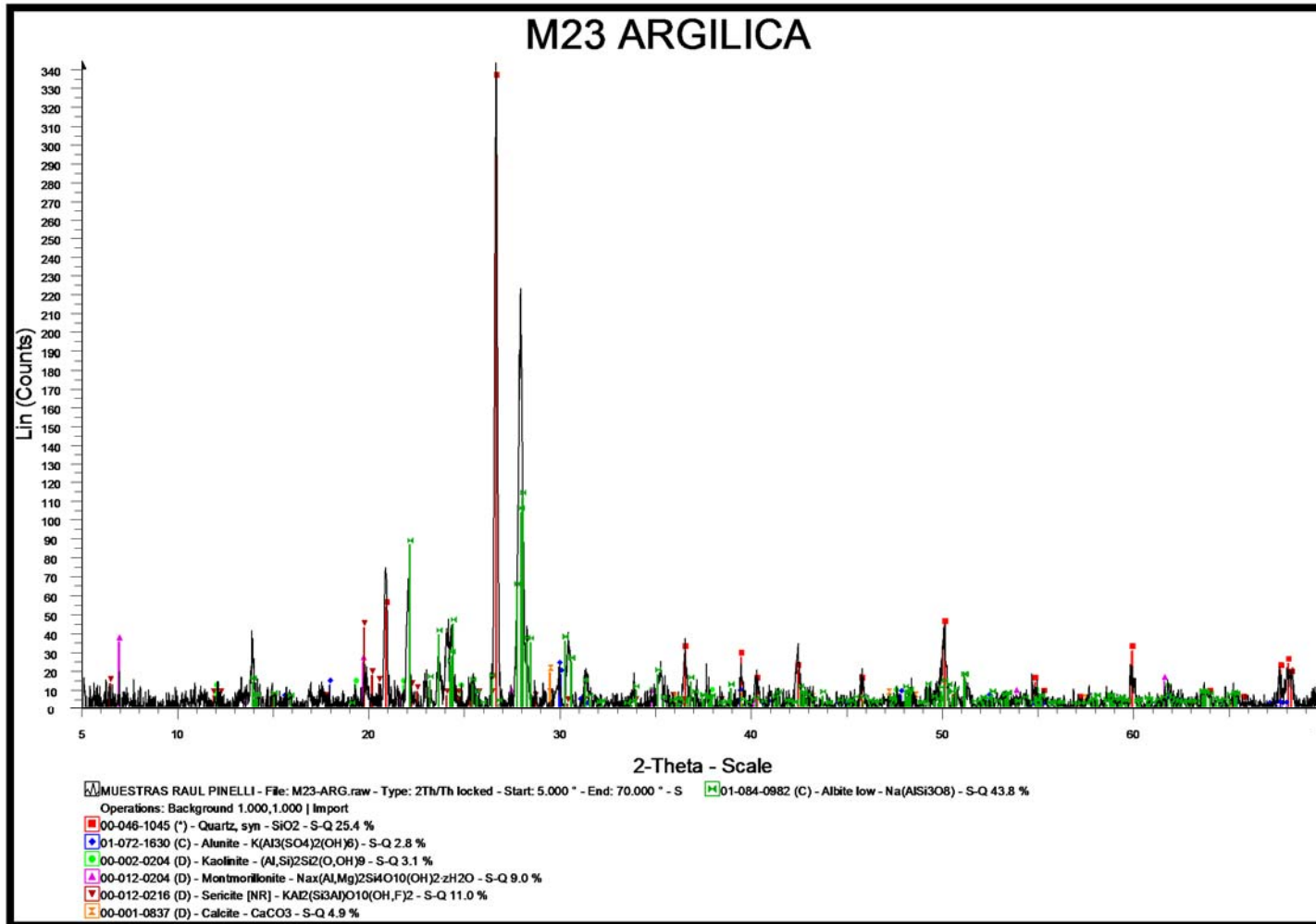


Figura 23.- M23 ARGÍLICA

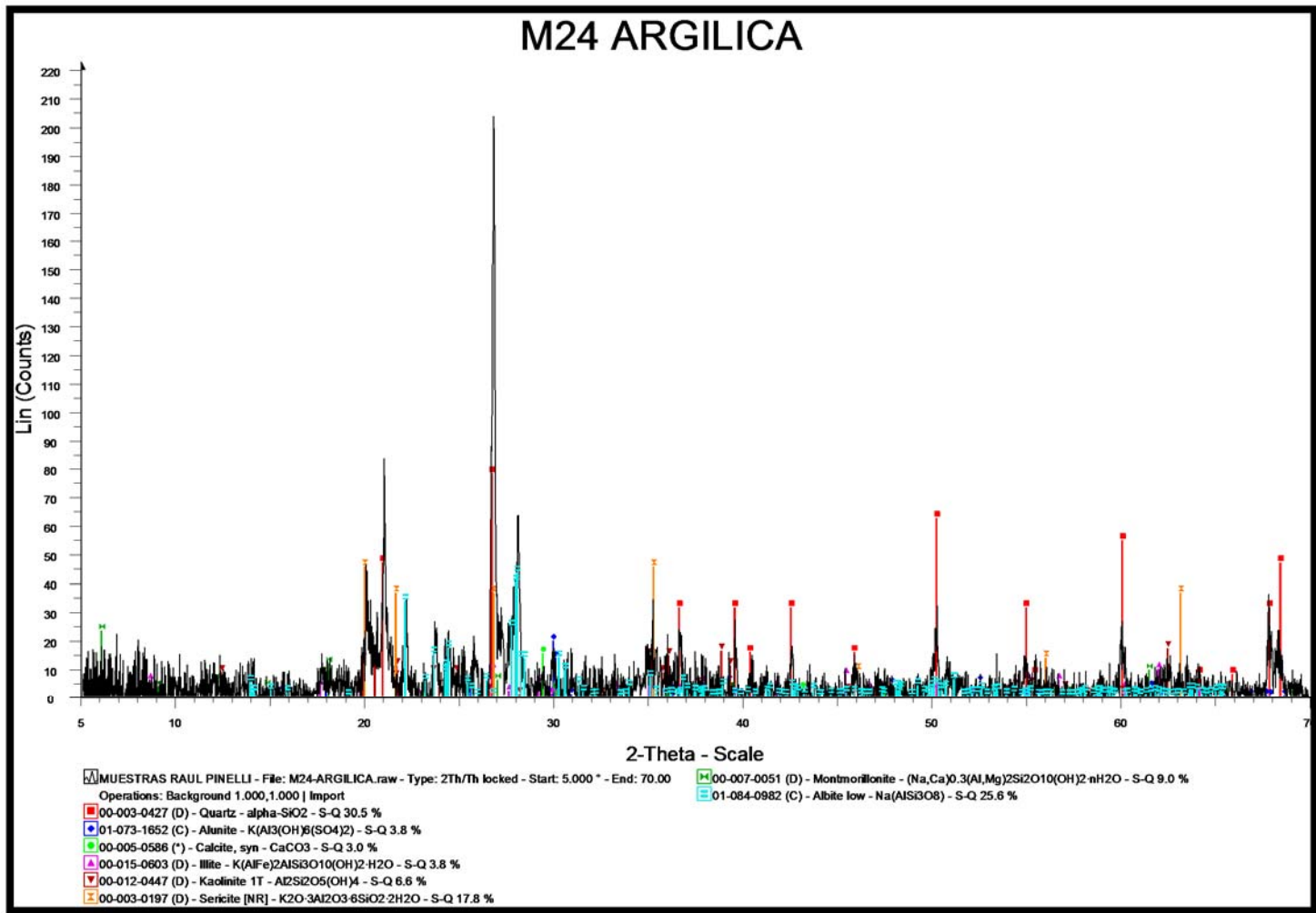


Figura 24.- M24 ARGÍLICA

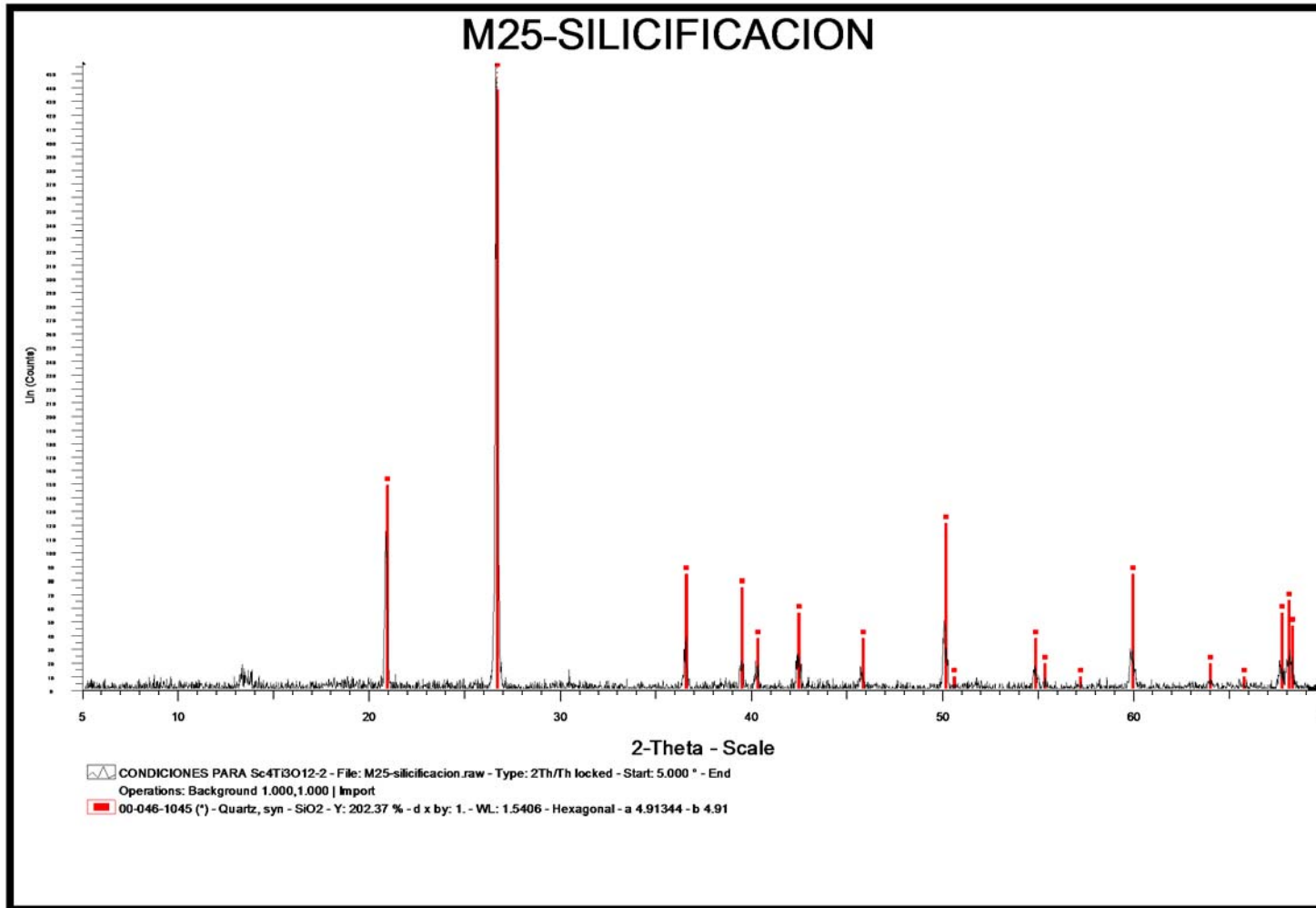


Figura 25.- M25 SILICIFICACIÓN

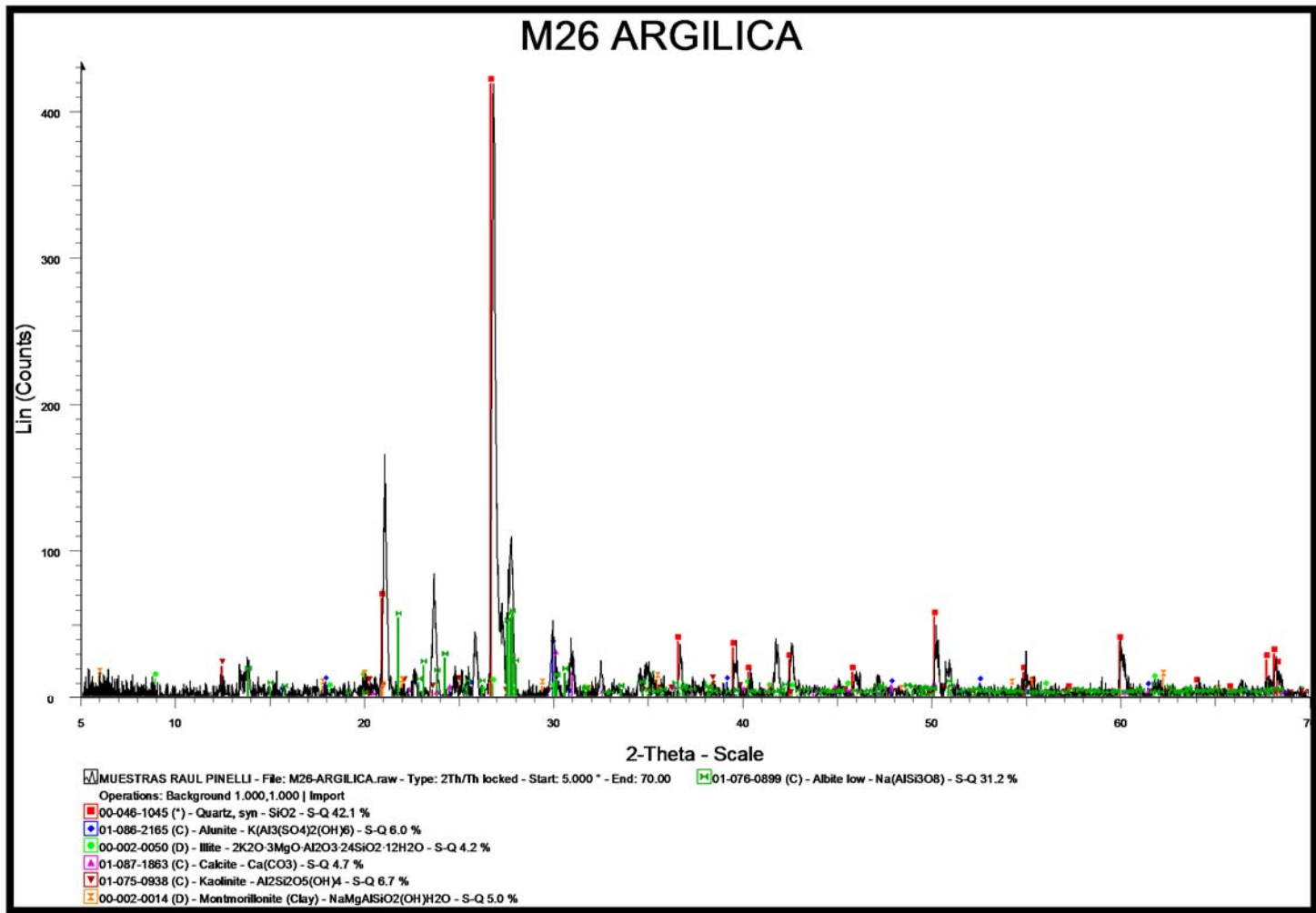


Figura 26.- M26 ARGÍLICA

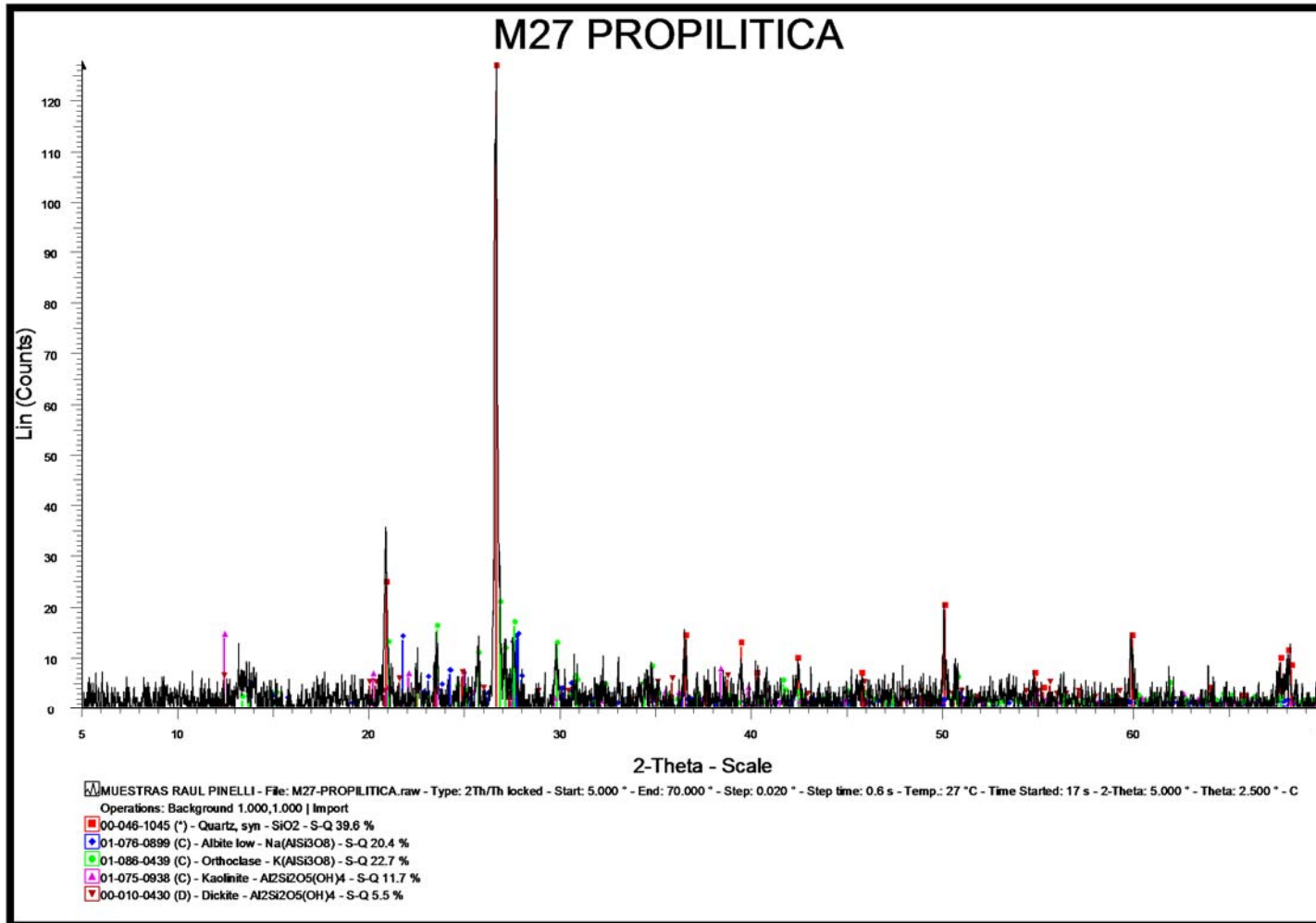


Figura 27.- M27 PROPILÍTICA

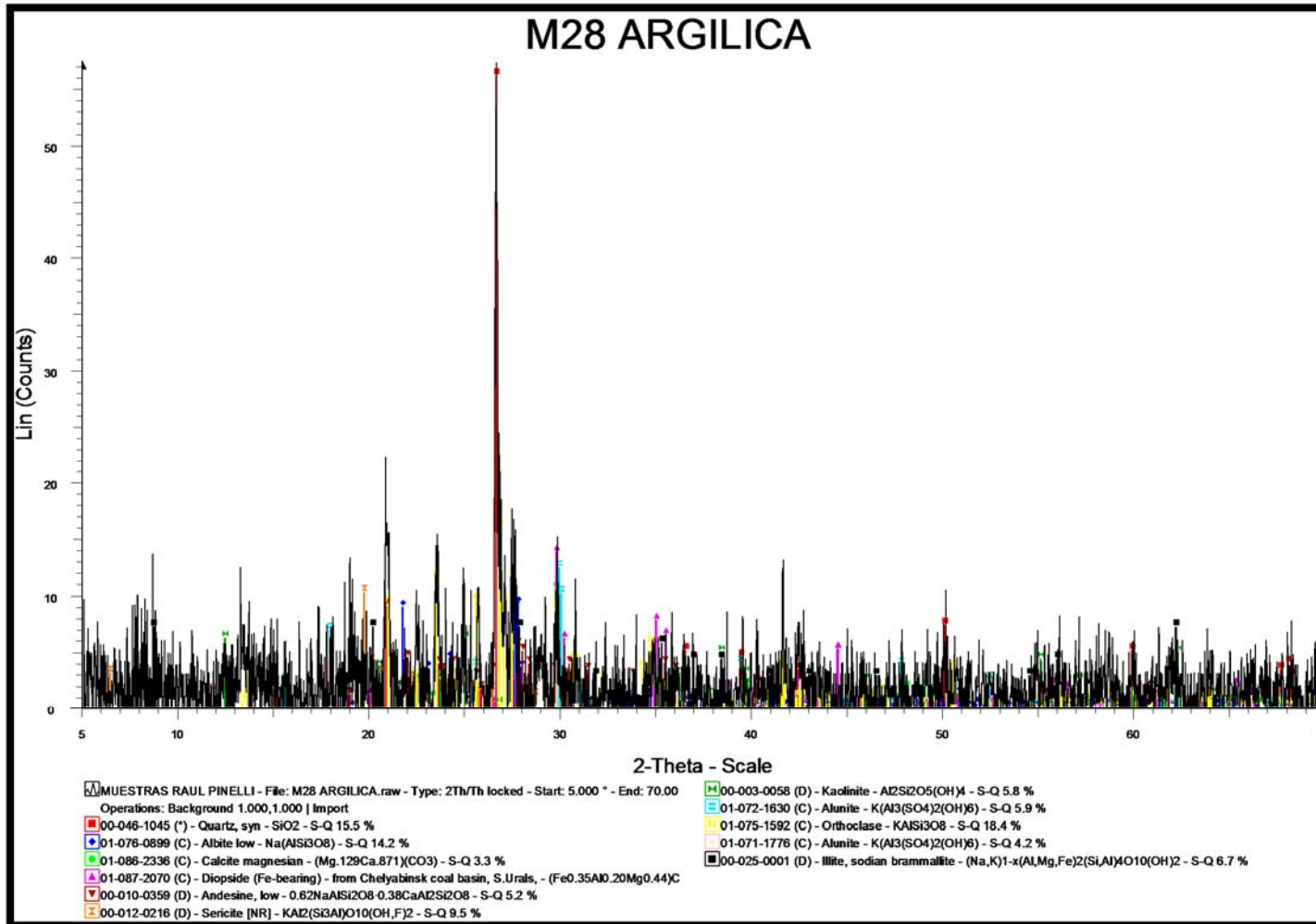


Figura 28.- M28 ARGÍLICA

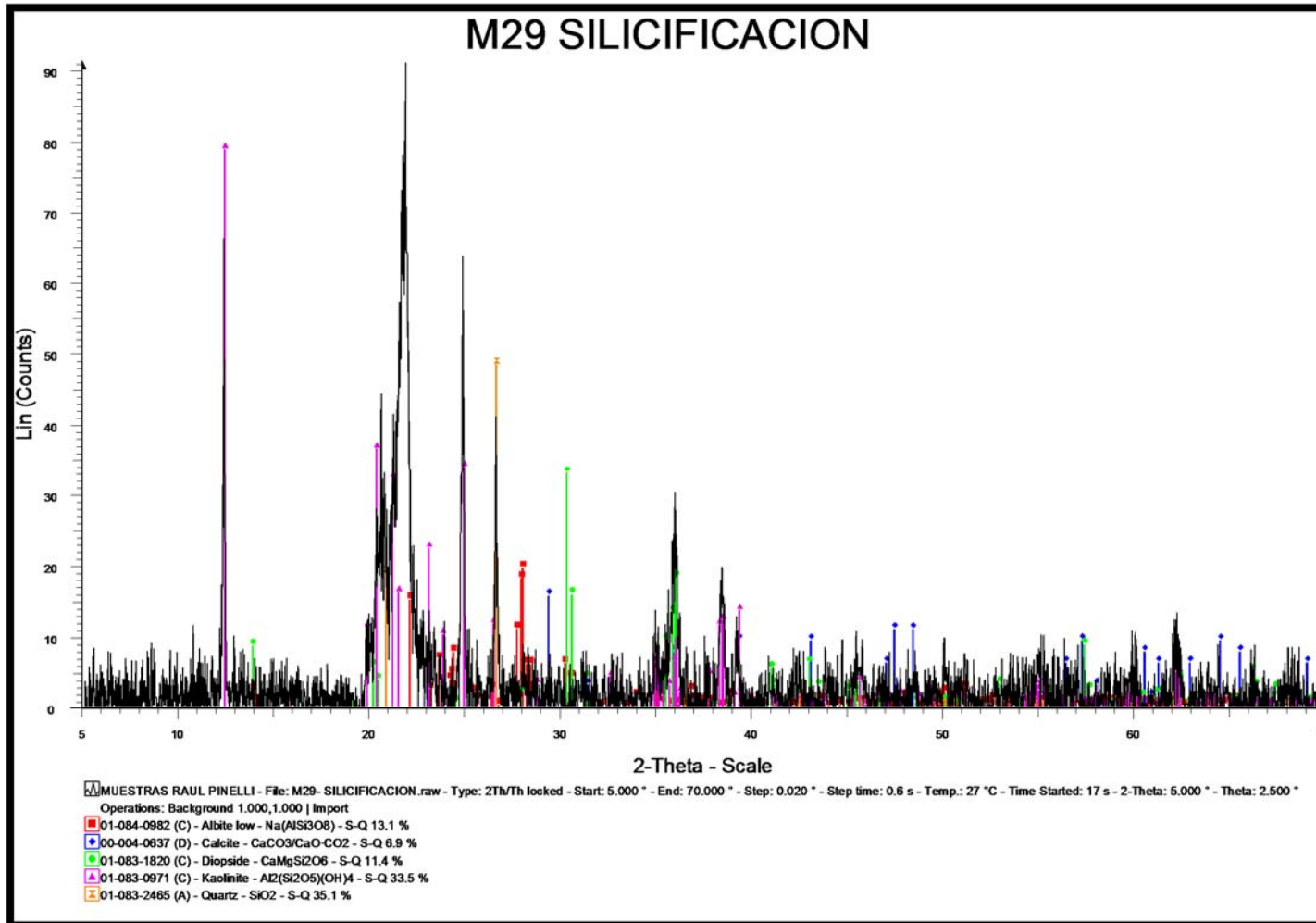


Figura 29.- M29 SILICIFICACIÓN

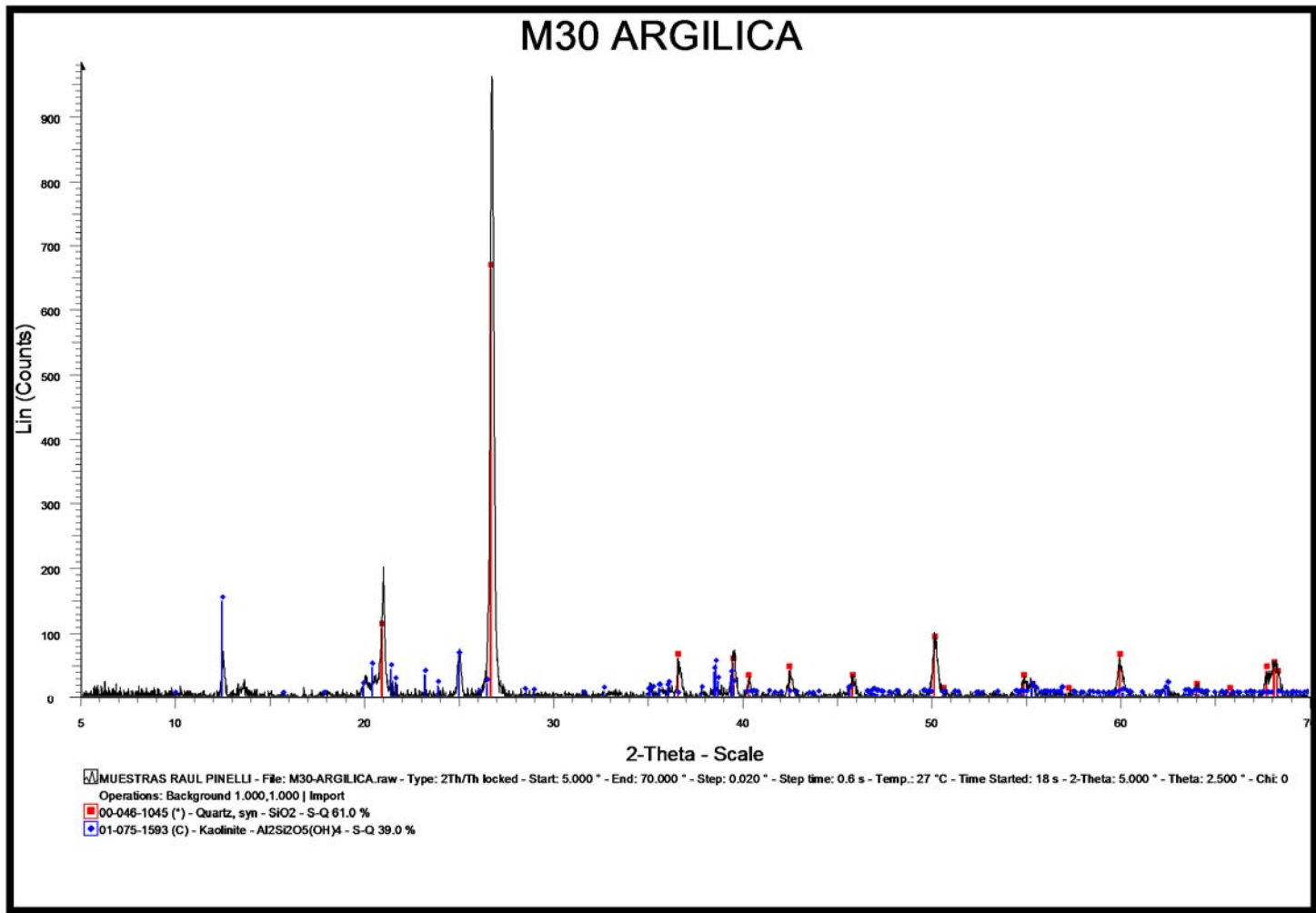


Figura 30.- M30 ARGÍLICA

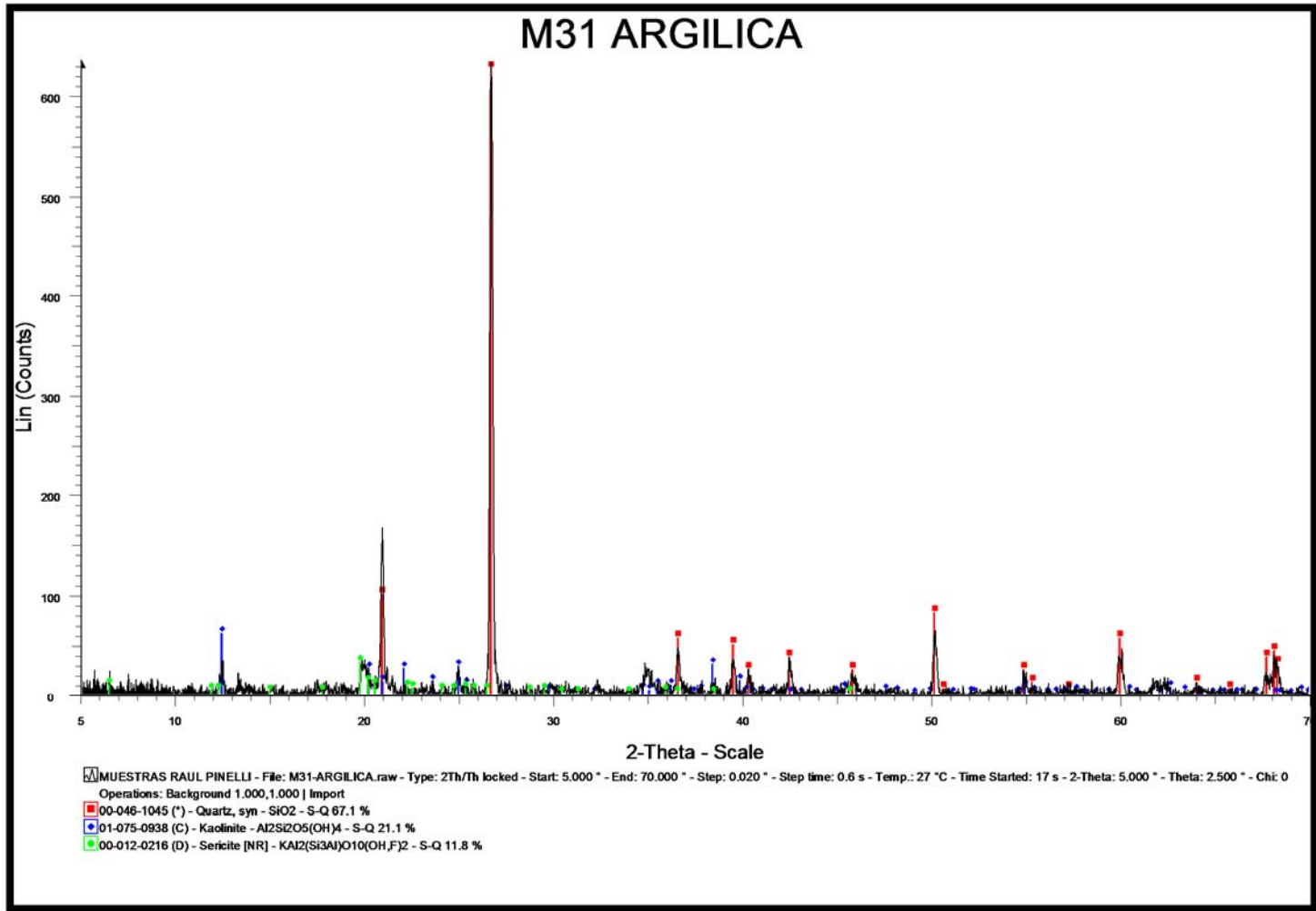


Figura 31.- M31 ARGÍLICA

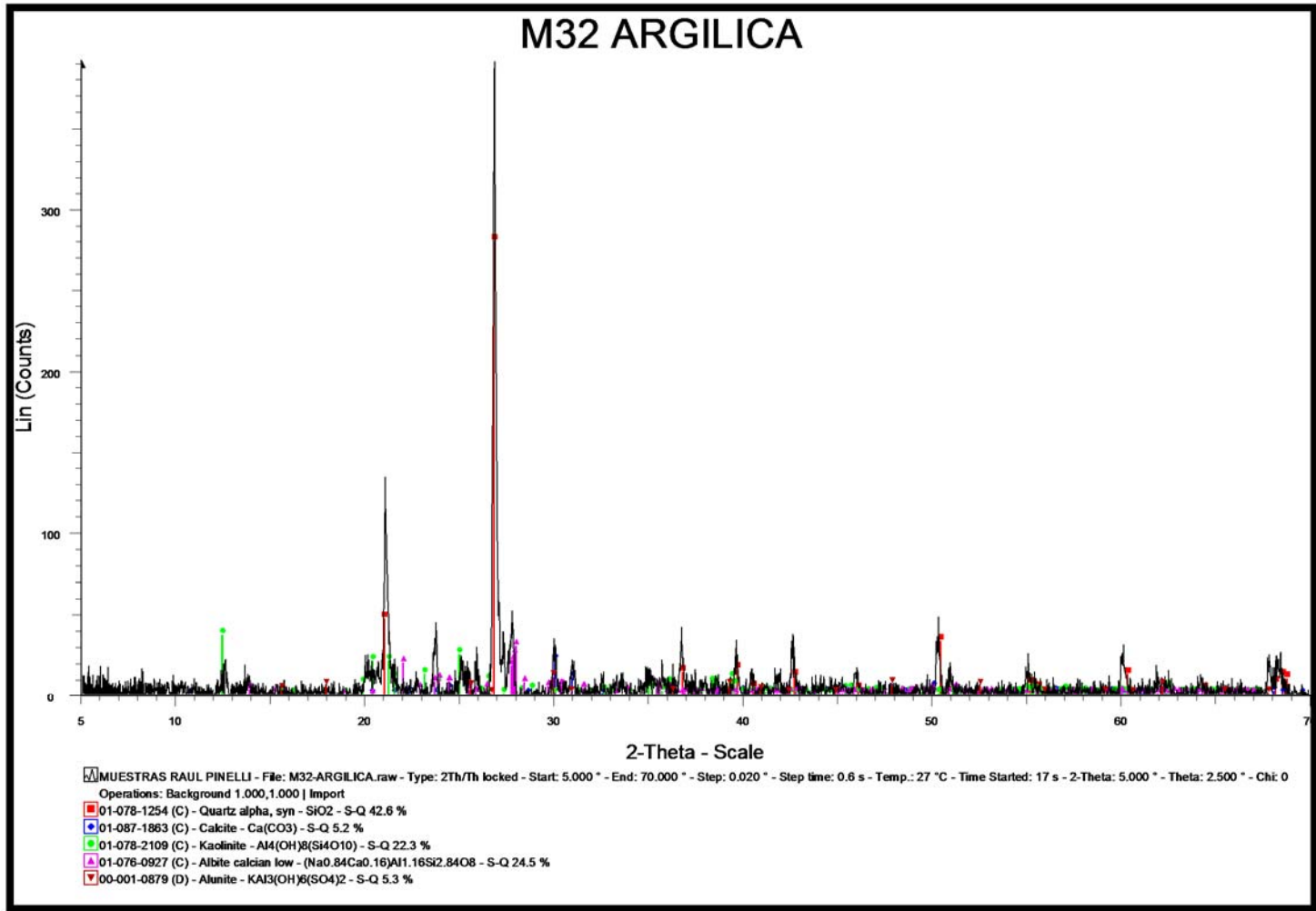


Figura 32.- M32 ARGÍLICA

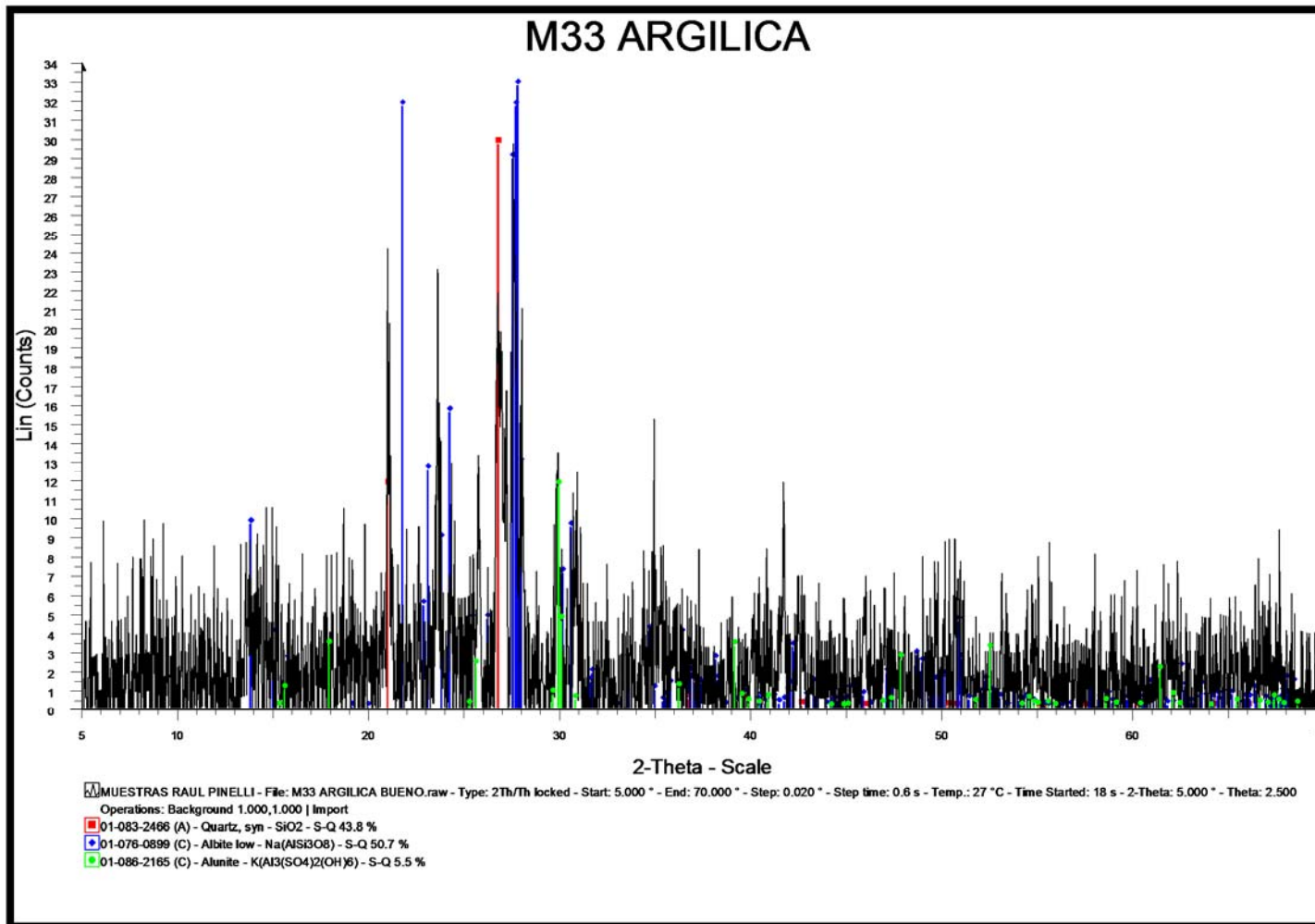


Figura 33.- M33 ARGÍLICA

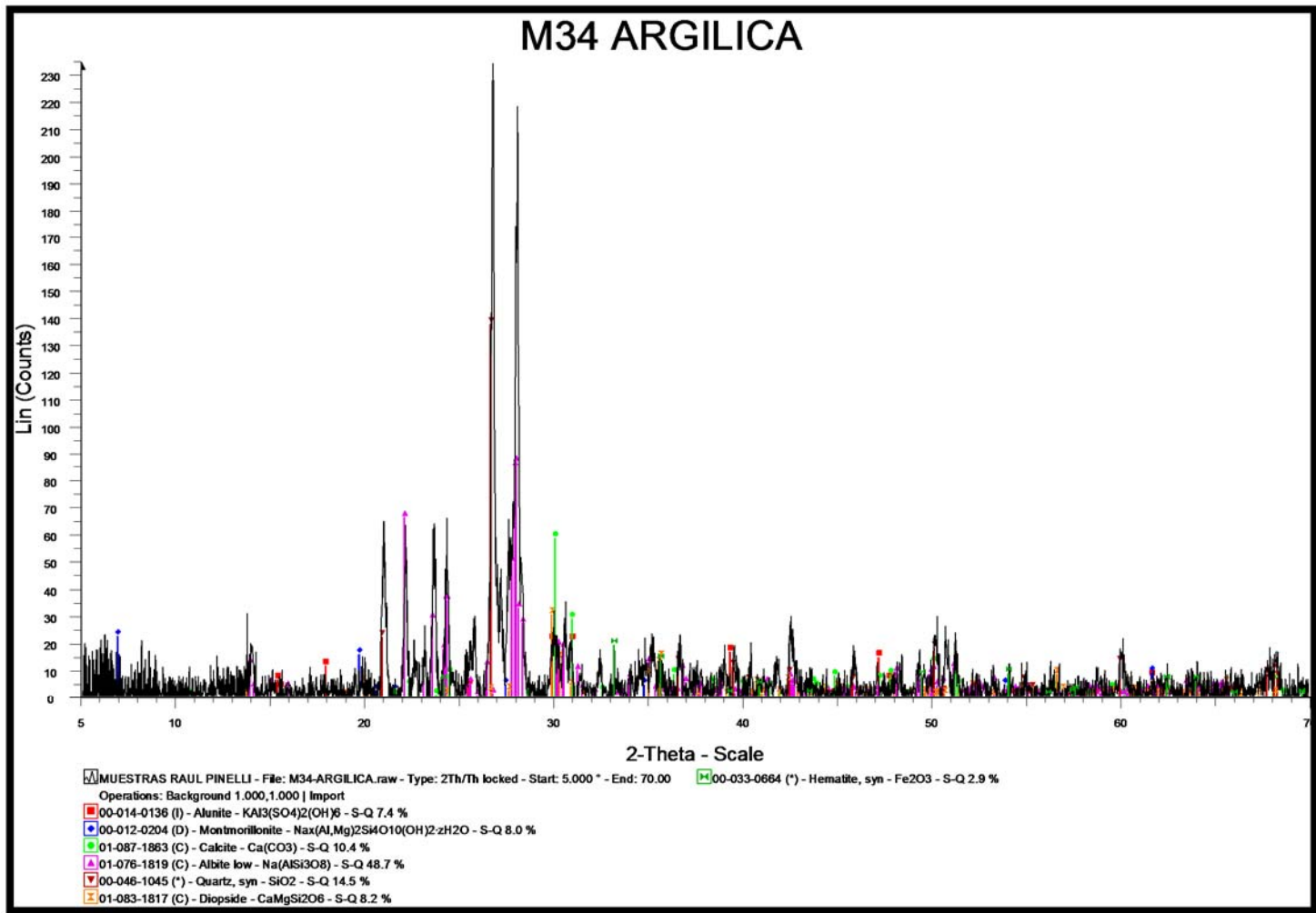


Figura 34.- M34 ARGÍLICA

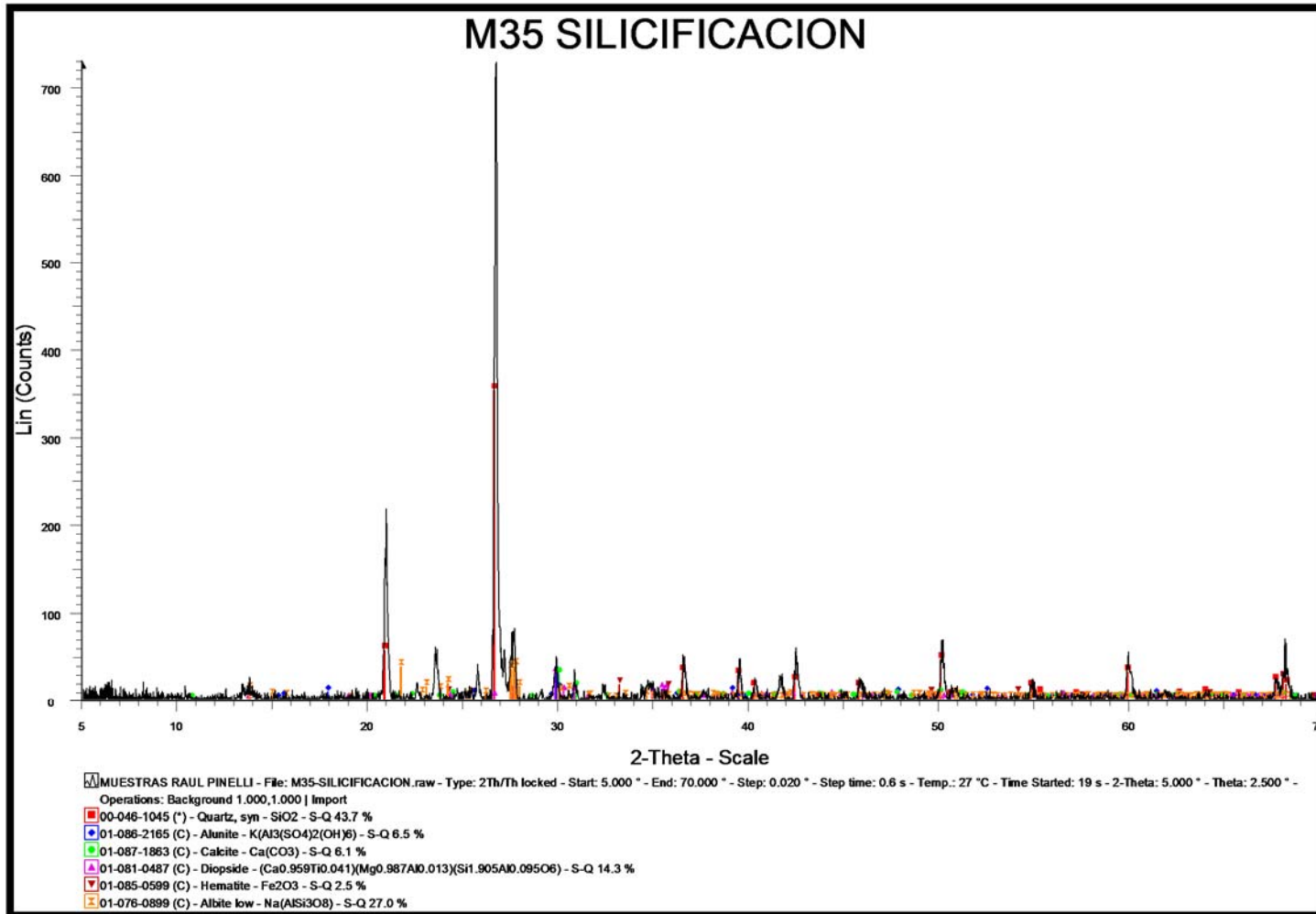


Figura 35.- M35 SILICIFICACIÓN

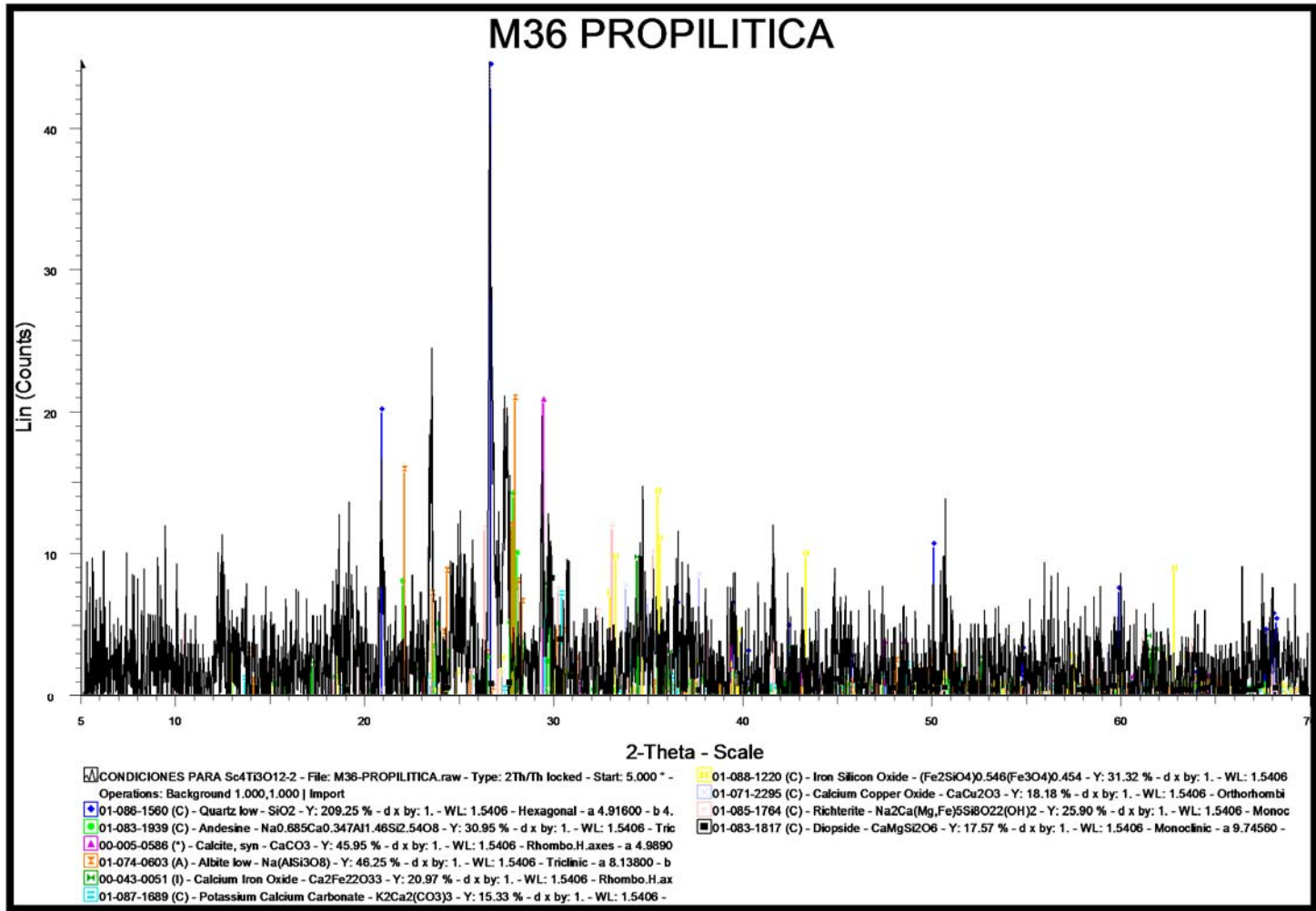


Figura 36.- M36 PROPILÍTICA

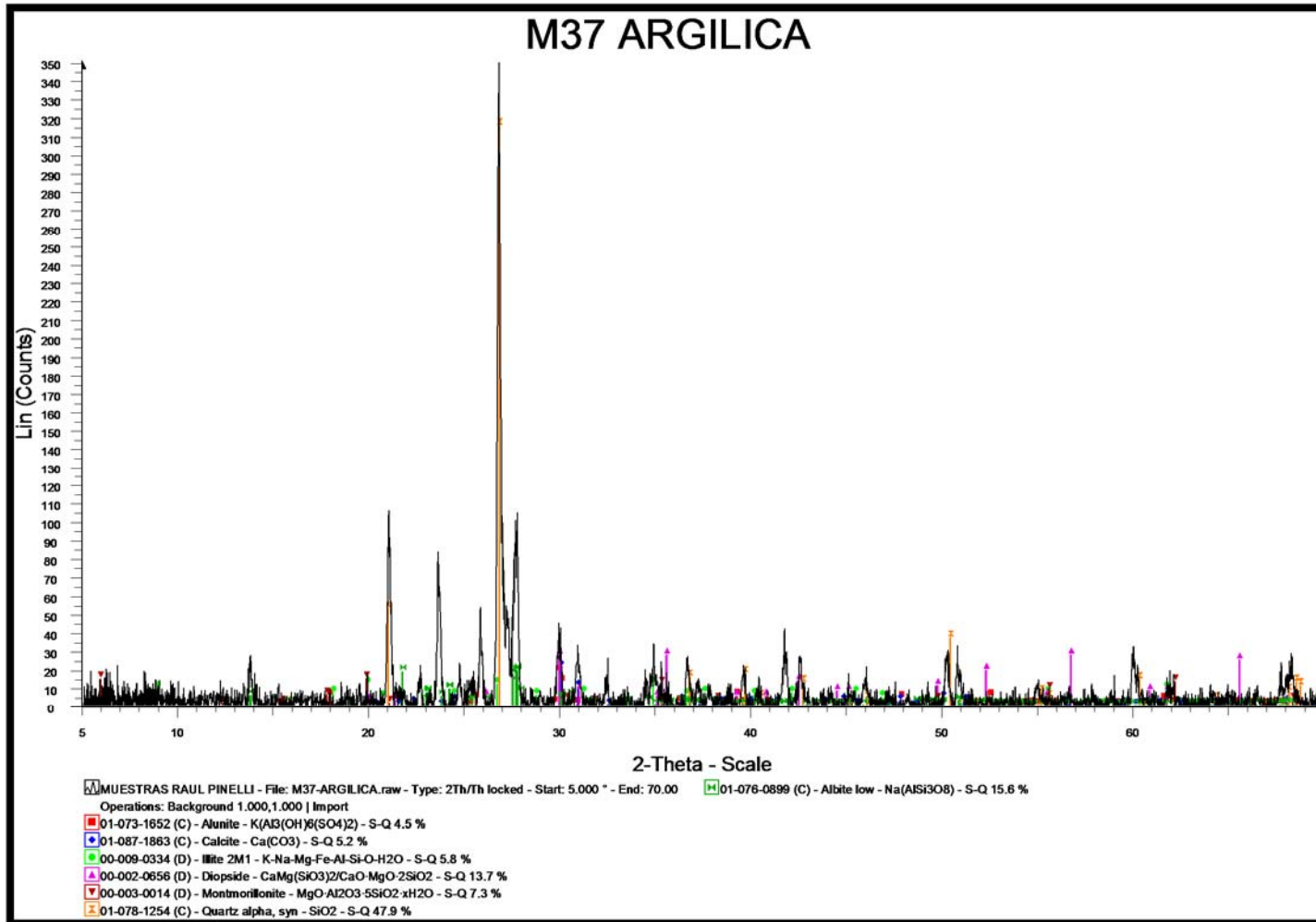


Figura 37.- M37 ARGÍLICA

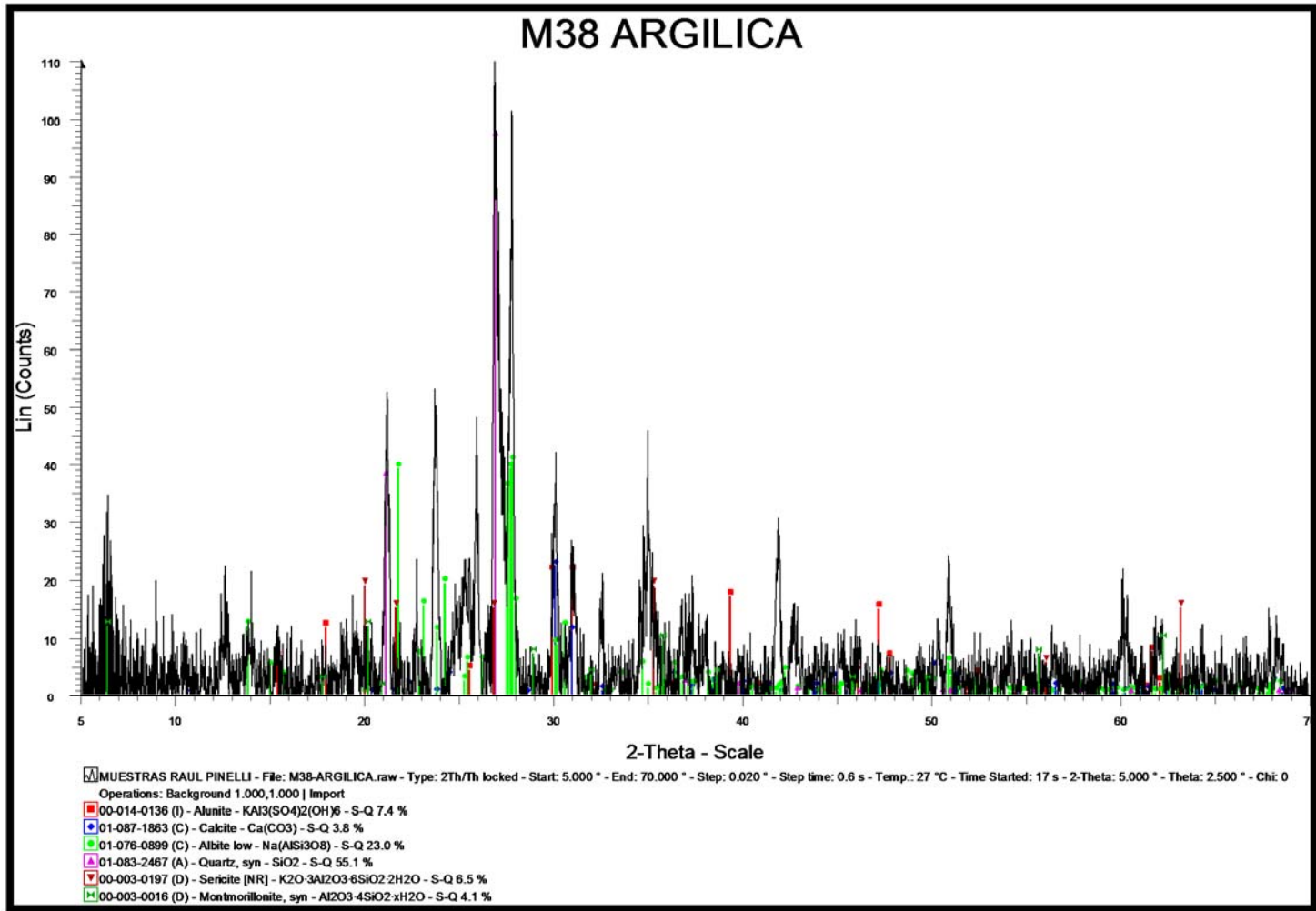


Figura 38.- M38 ARGÍLICA

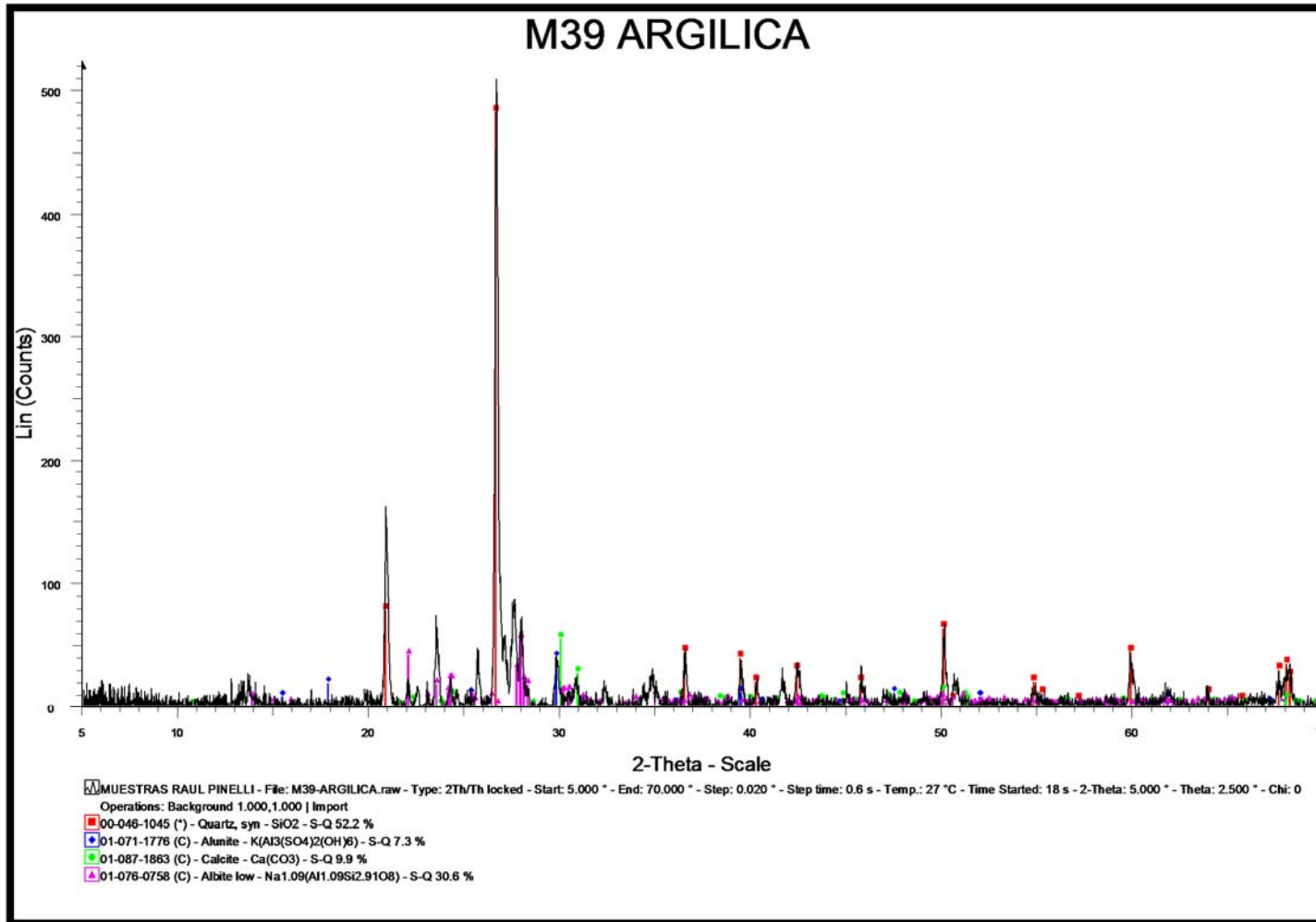


Figura 39.- M39 ARGÍLICA

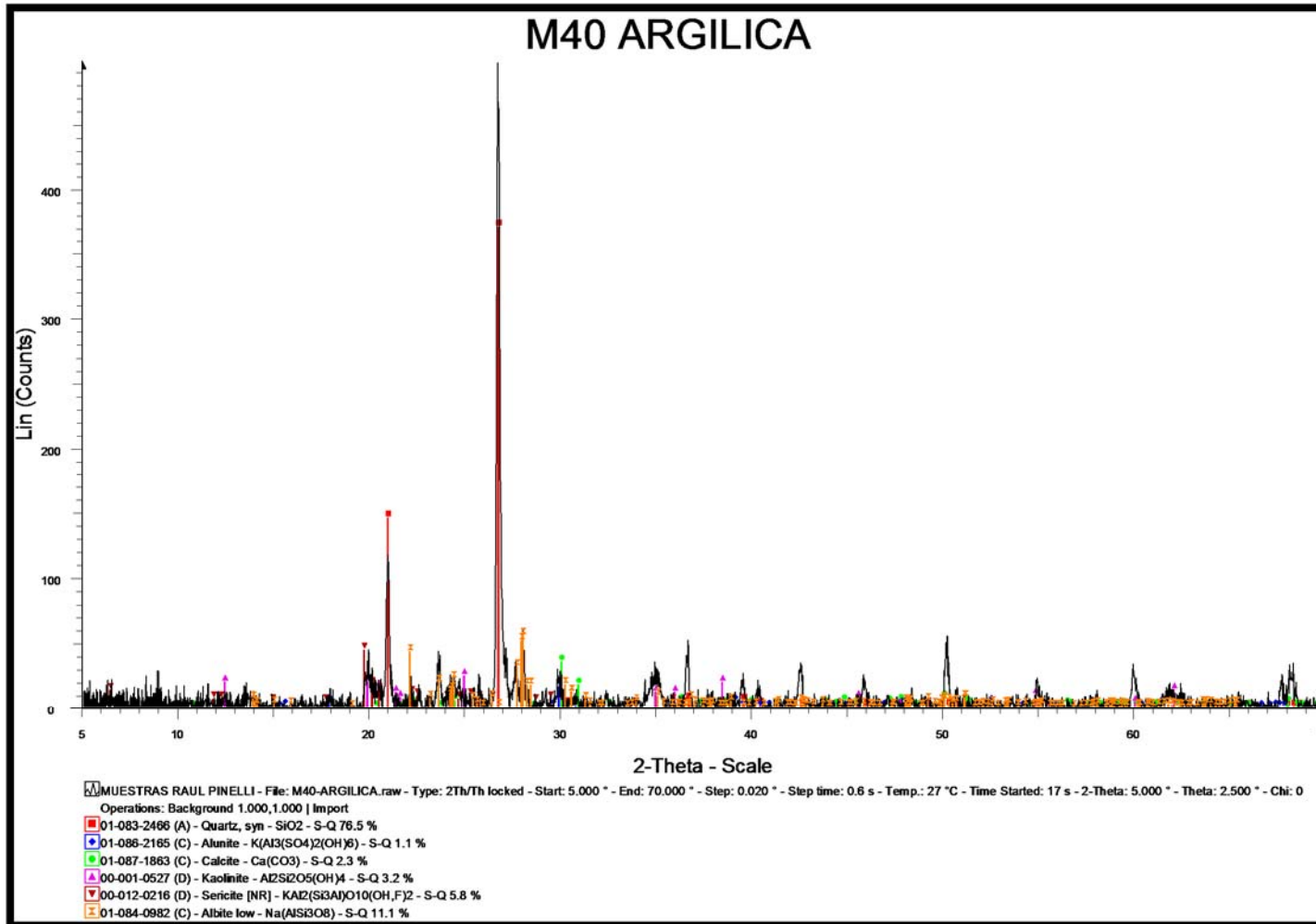


Figura 40.- M40 ARGÍLICA

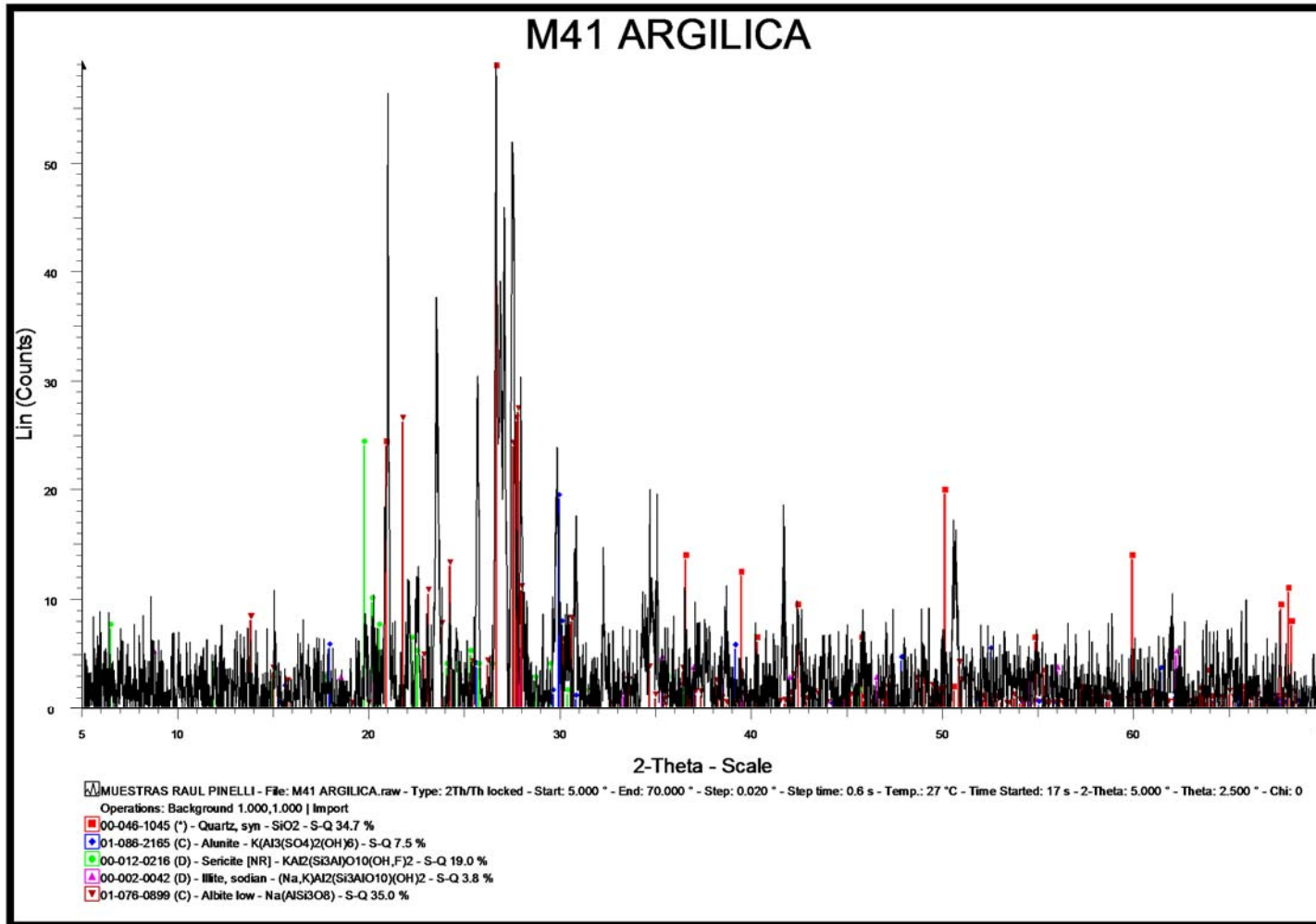


Figura 41.- M41 ARGÍLICA

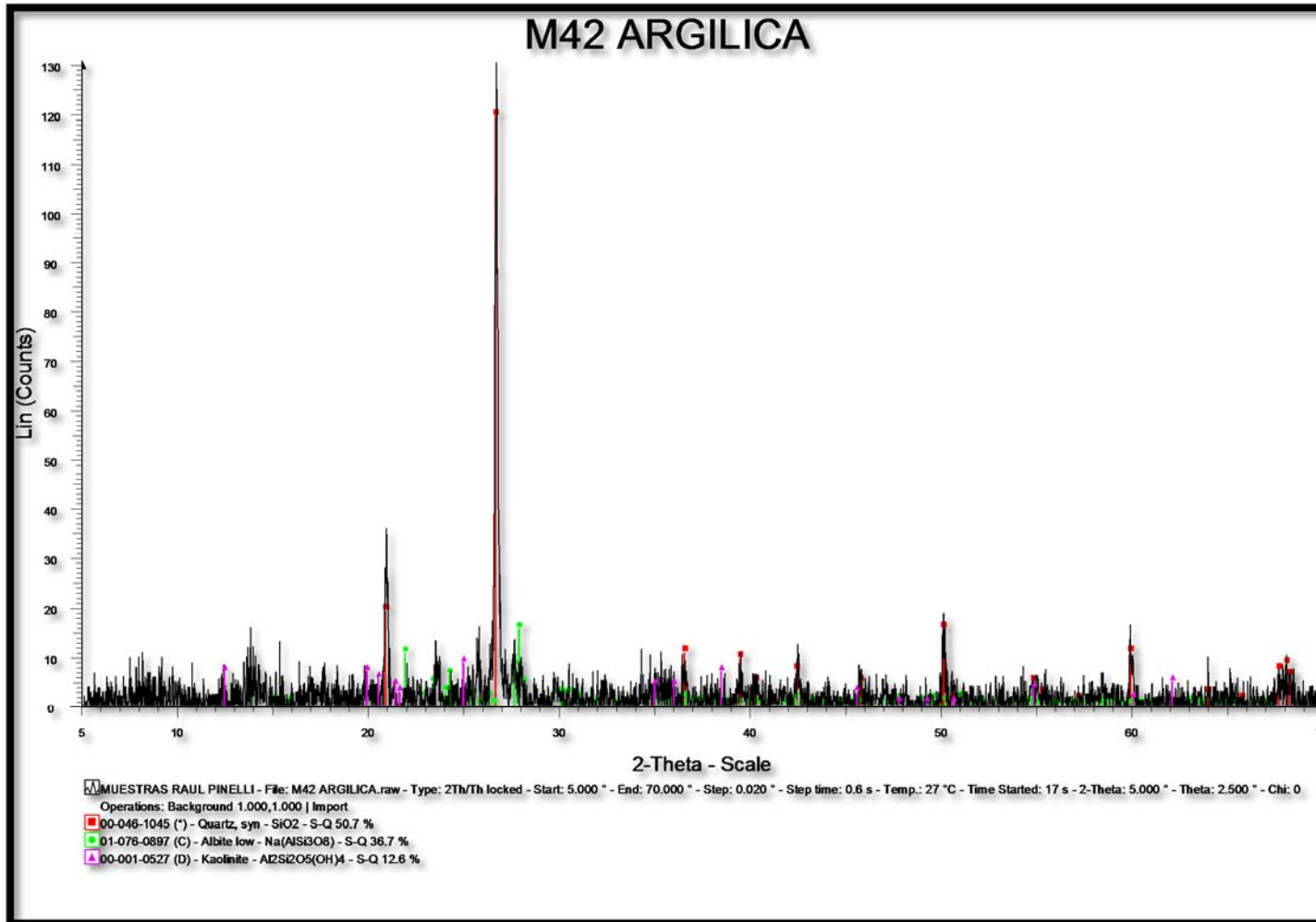


Figura 42.- M42 ARGÍLICA

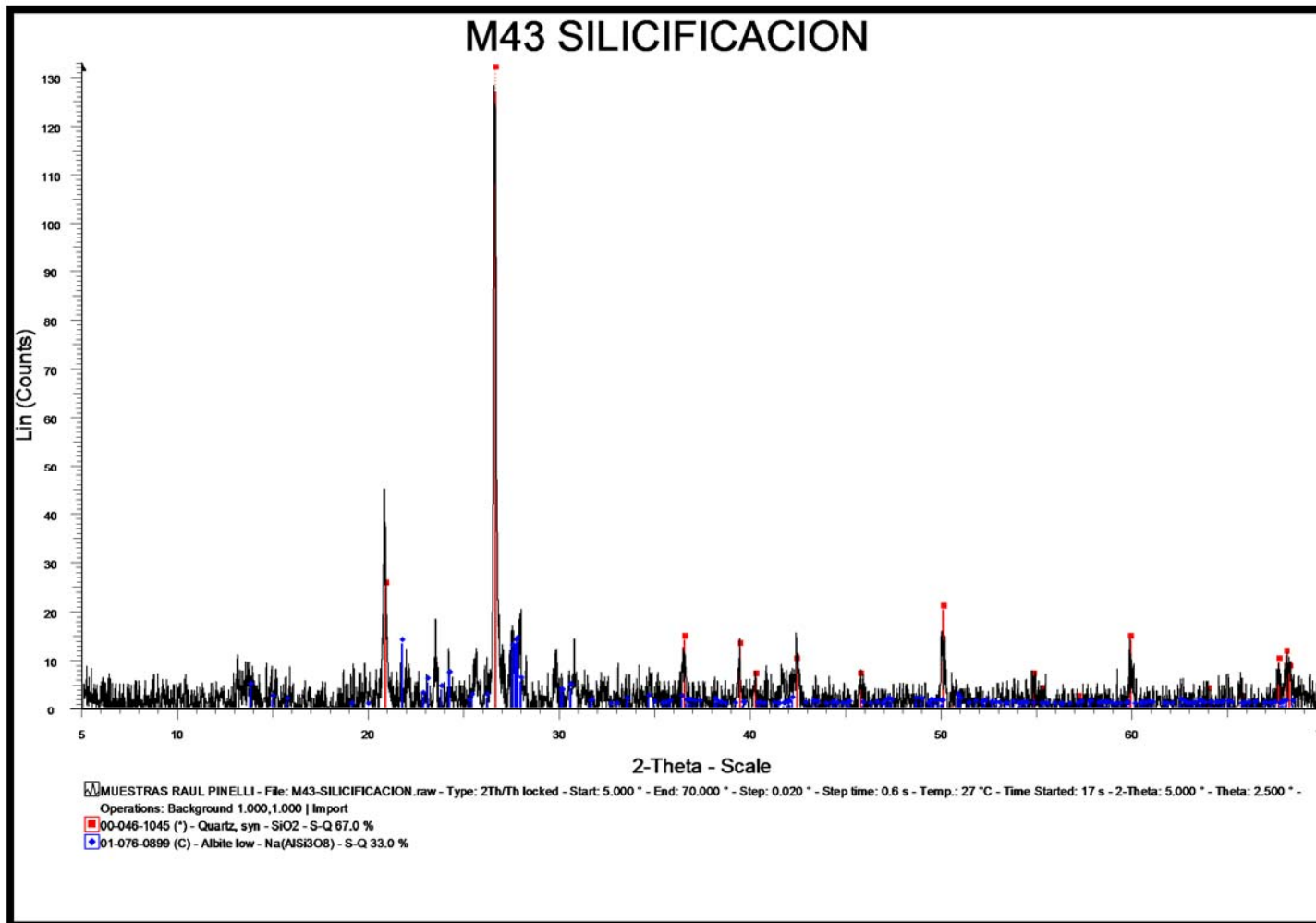


Figura 43.- M43 SILICIFICACIÓN

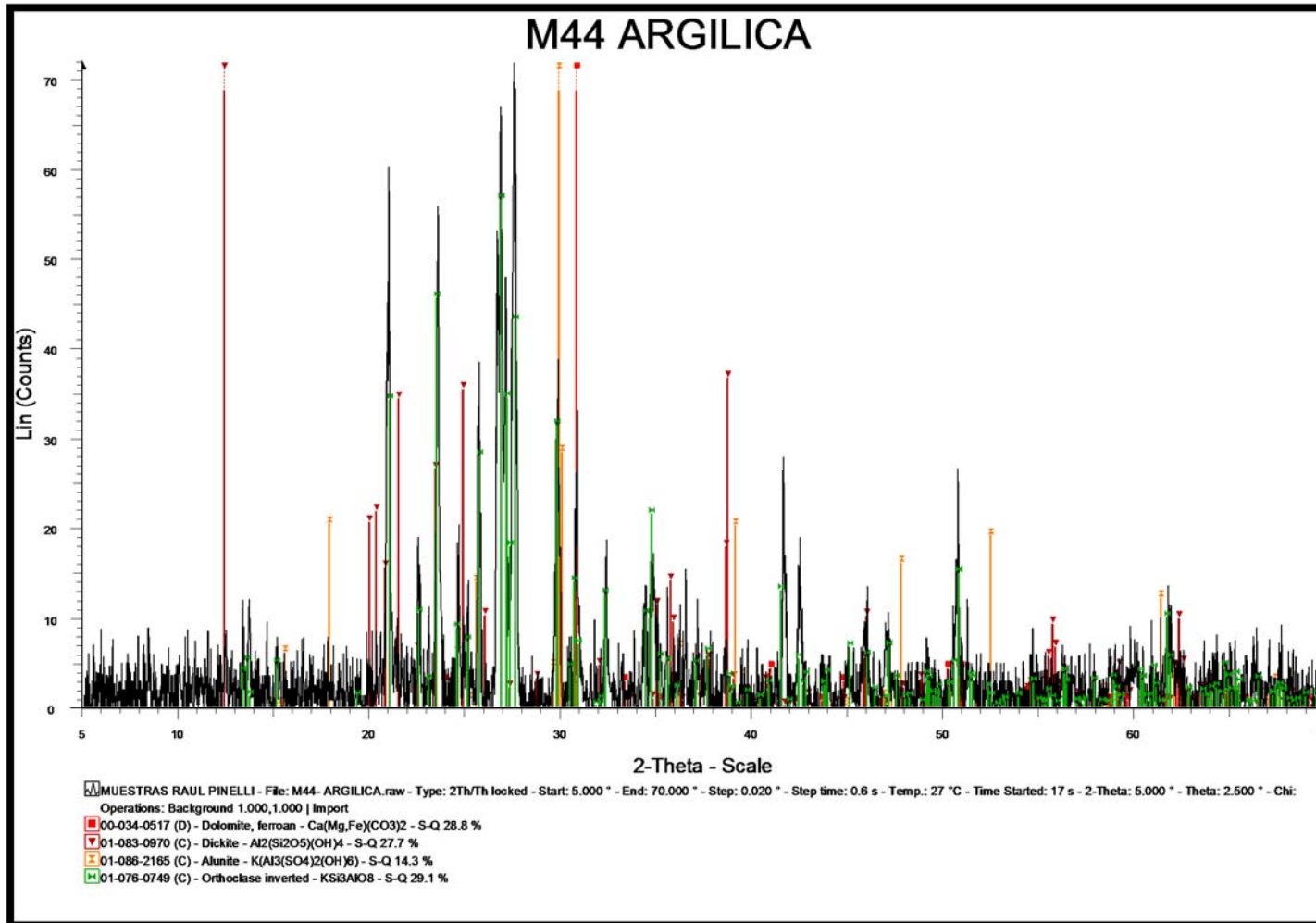


Figura 44.- M44 ARGÍLICA

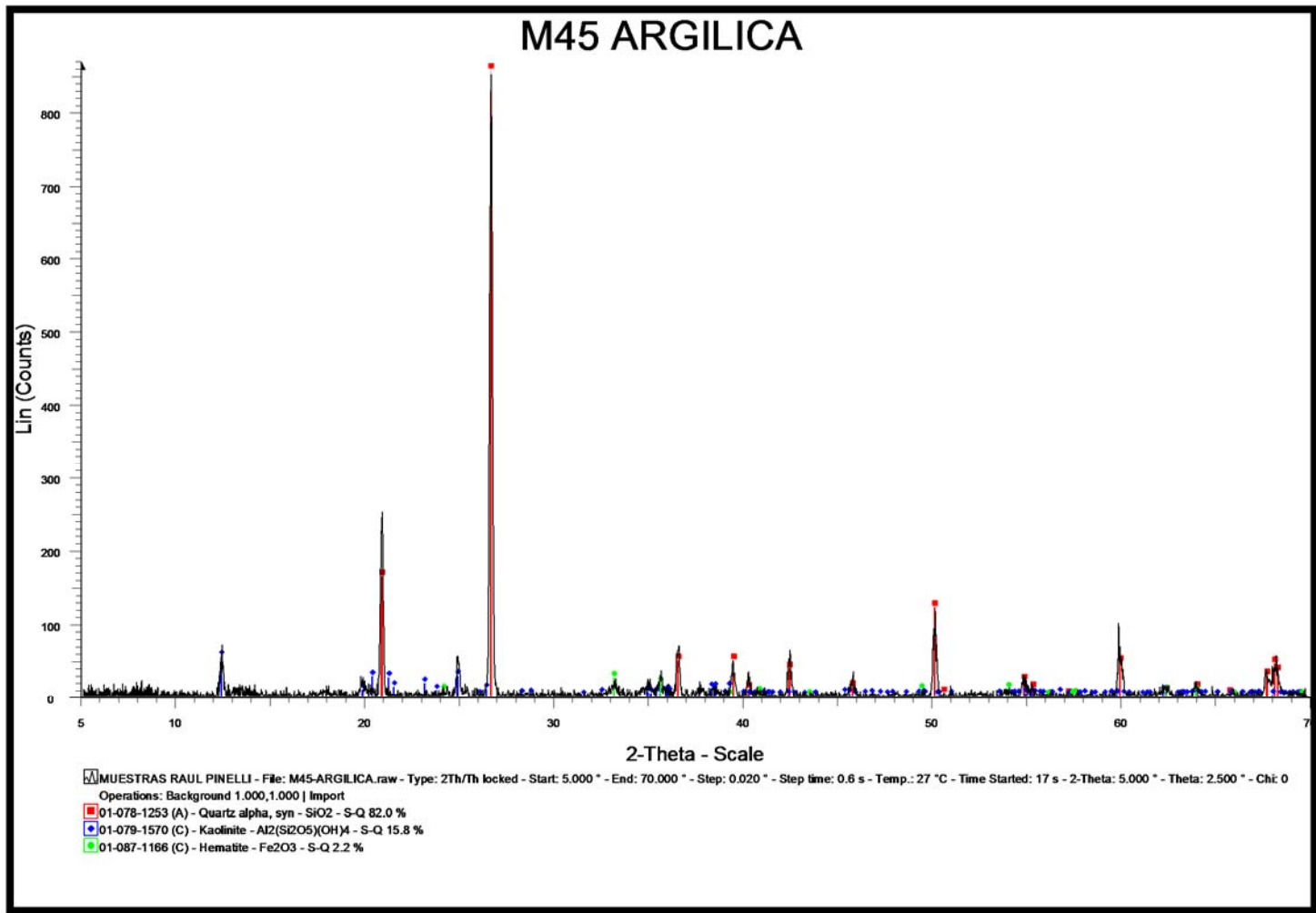


Figura 45.- M45 ARGÍLICA

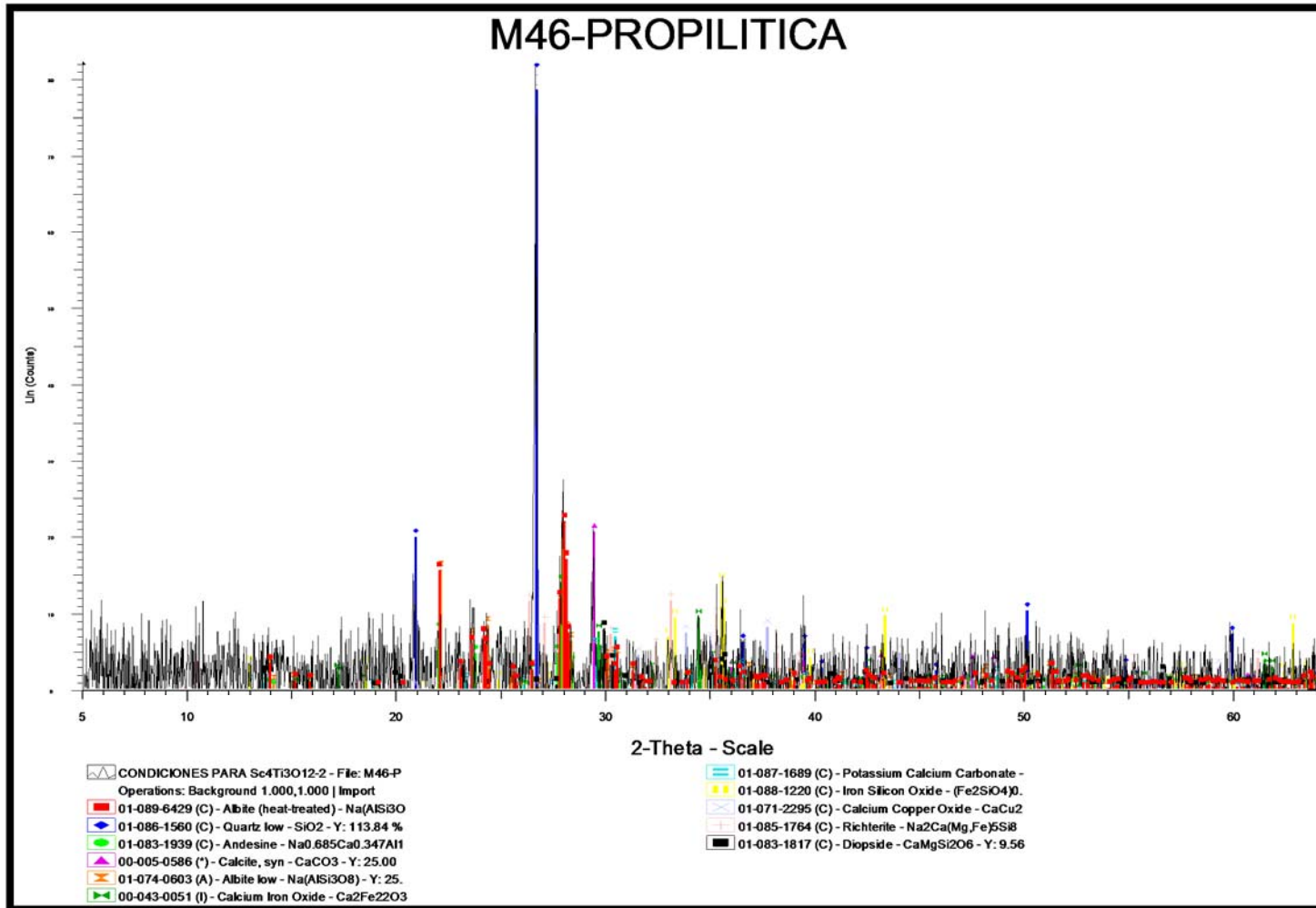


Figura 46.- M46 PROPILÍTICA

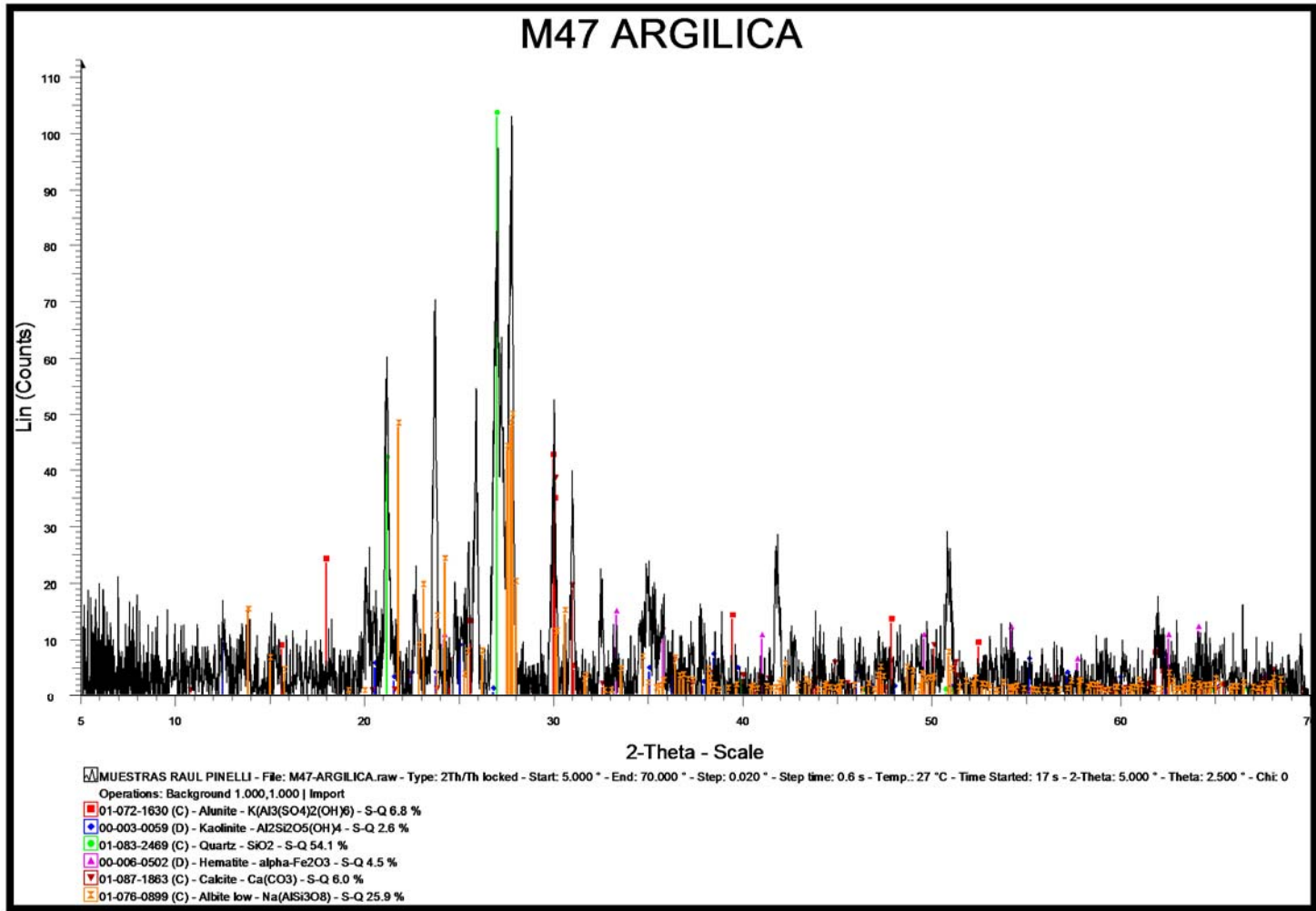


Figura 47.- M47 ARGÍLICA

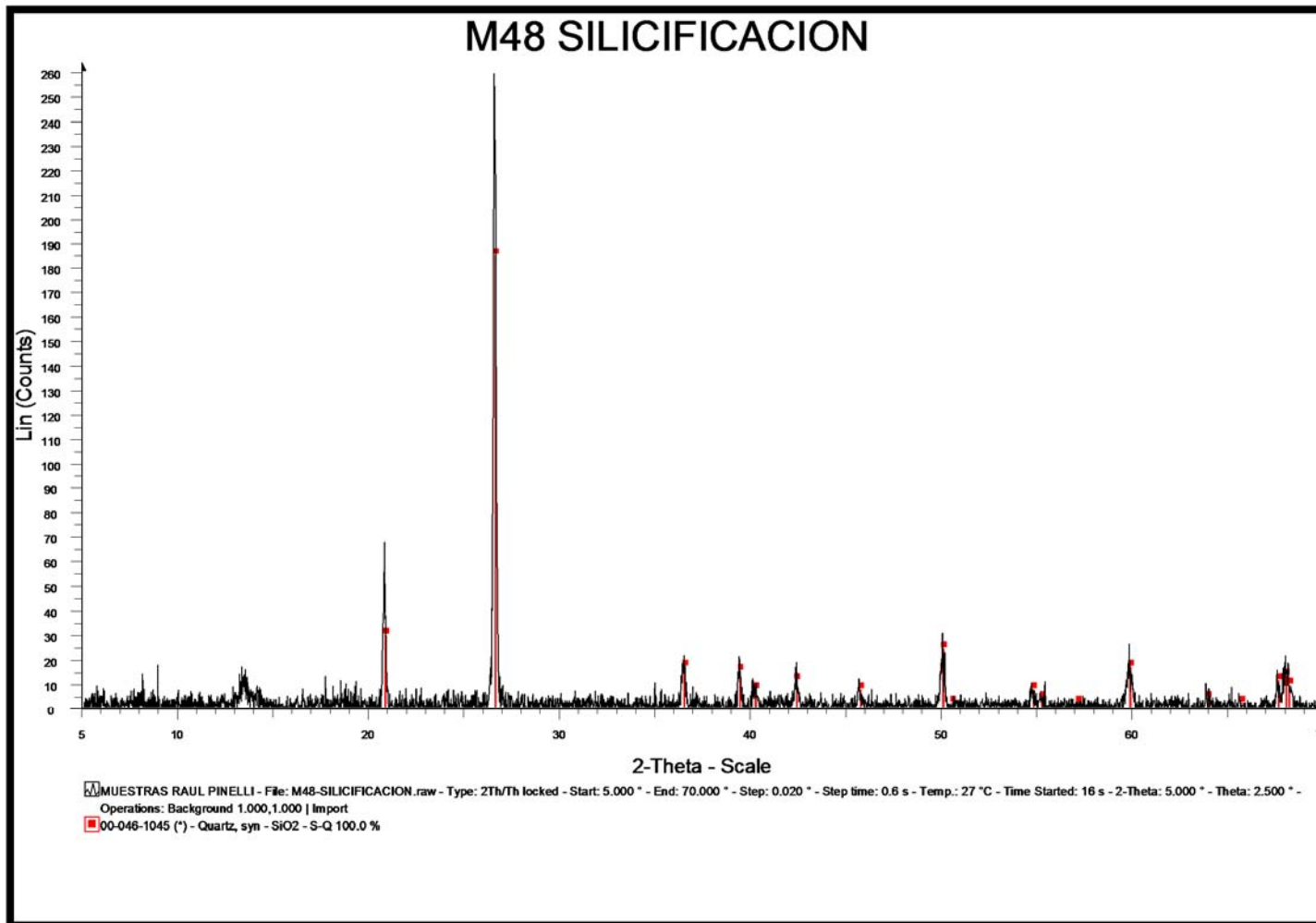


Figura 48.- M48 SILICIFICACIÓN

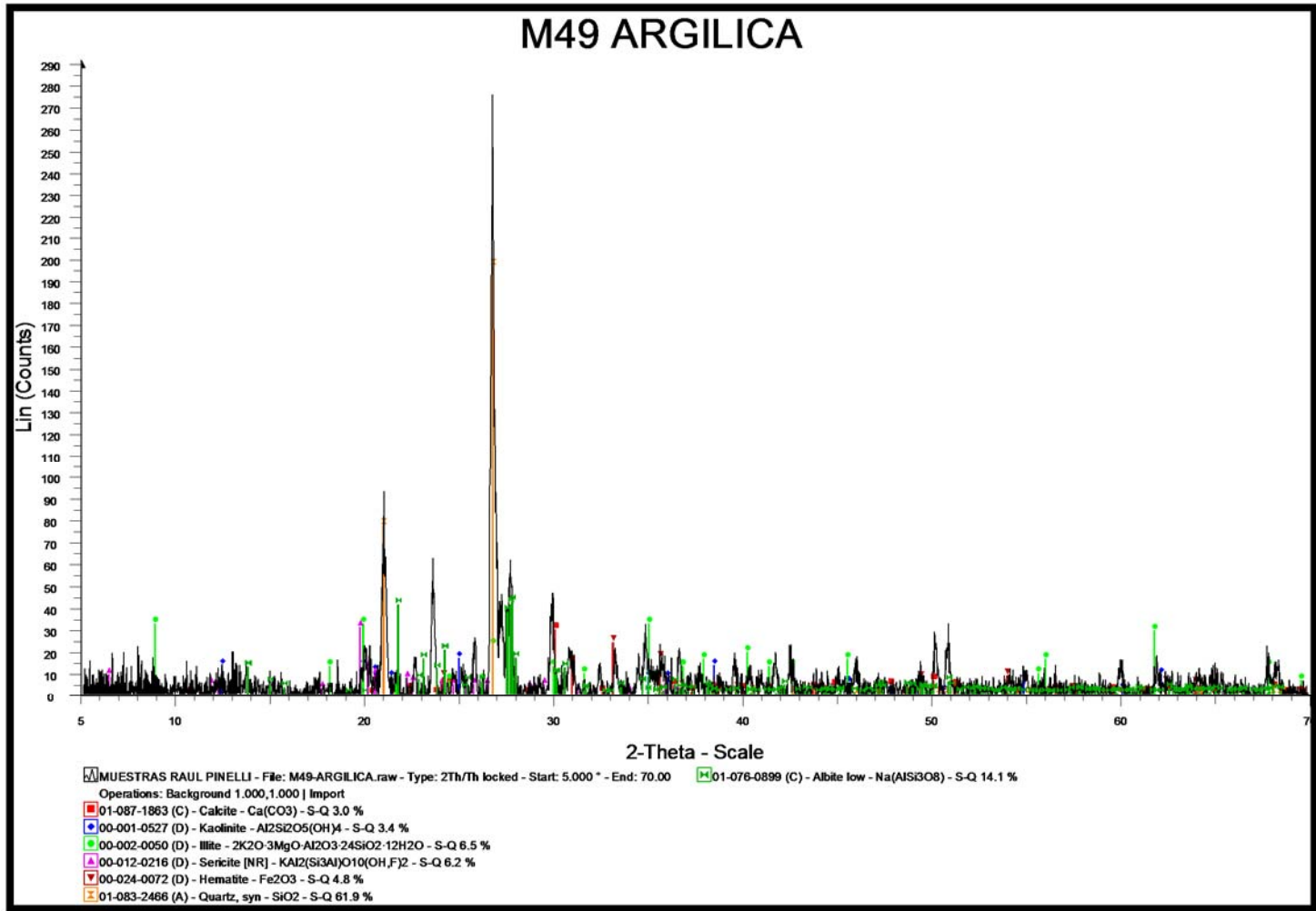


Figura 49.- M49 ARGÍLICA

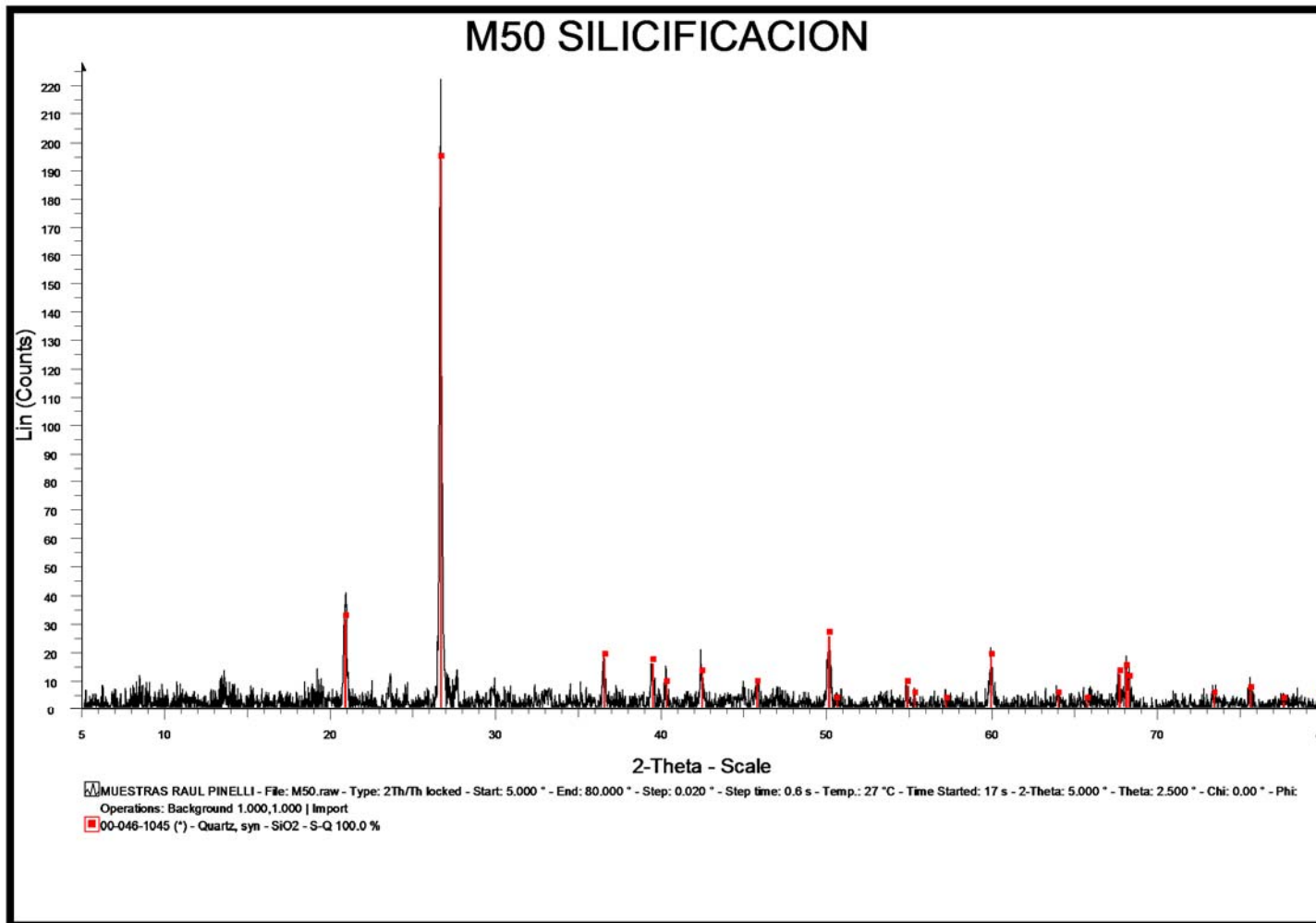


Figura 50.- M50 SILIFICACIÓN.

ANEXO III

Fluorescencia de rayos X

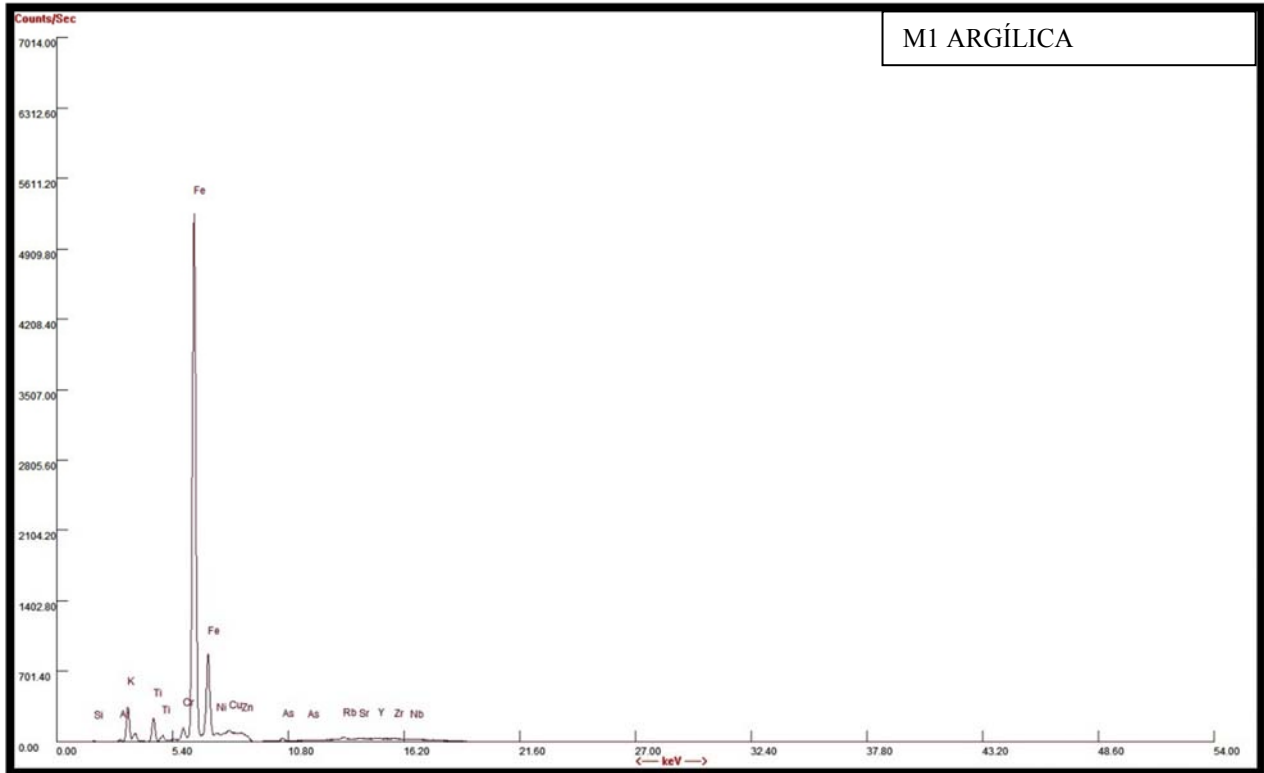


Figura 1.- M1 ARGÍLICA

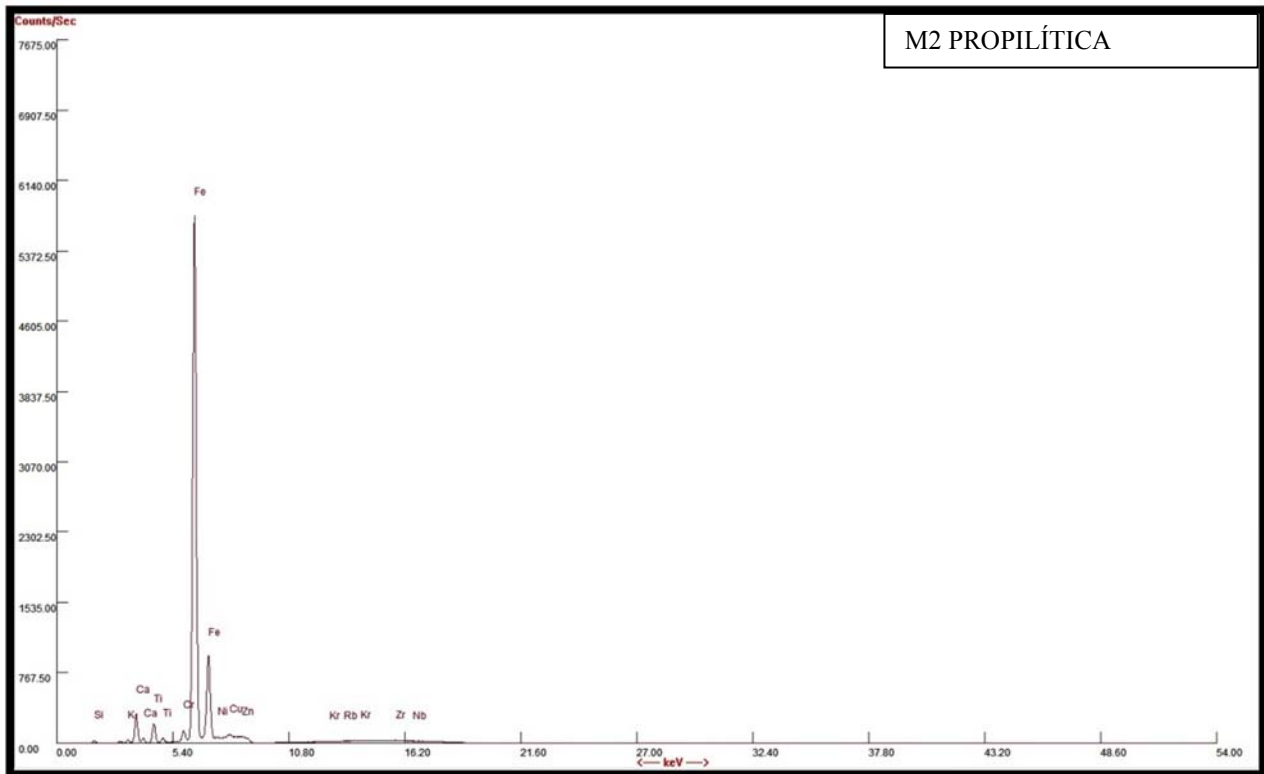


Figura 2.- M2 PROPILÍTICA

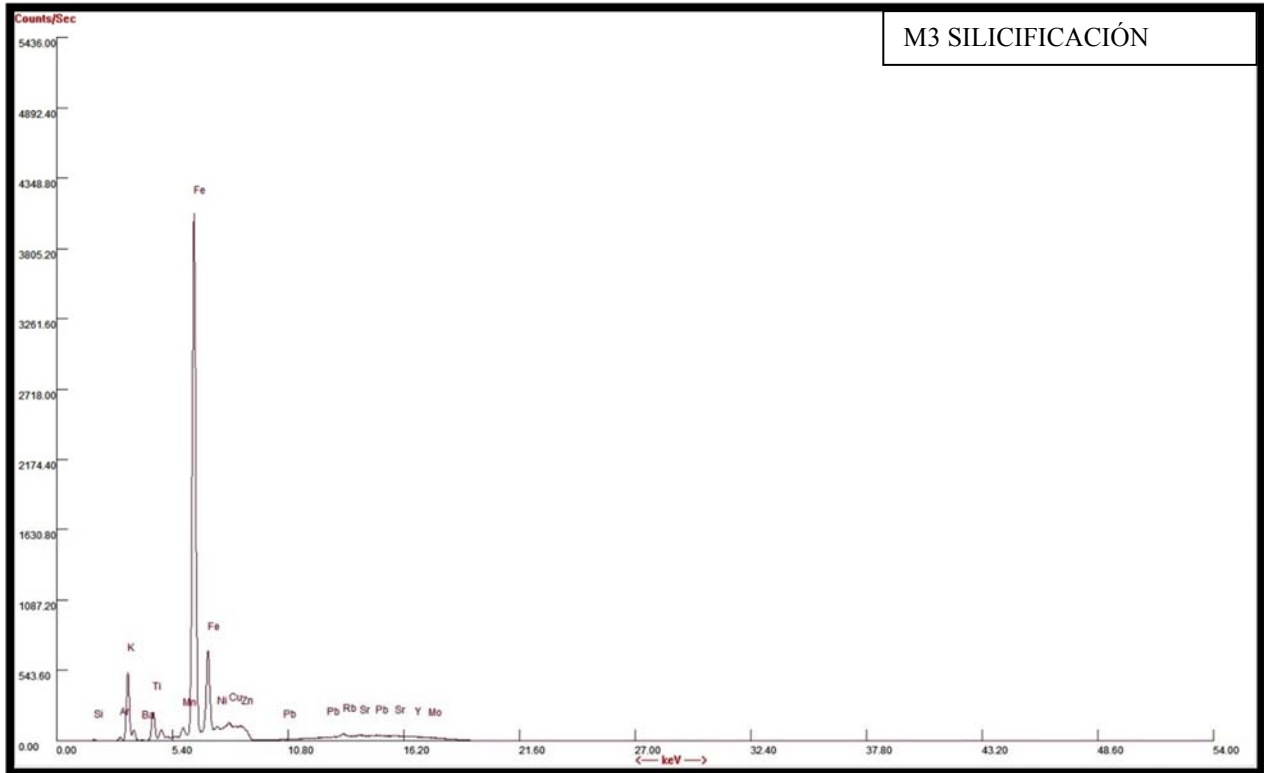


Figura 3.- M3 SILICIFICACIÓN

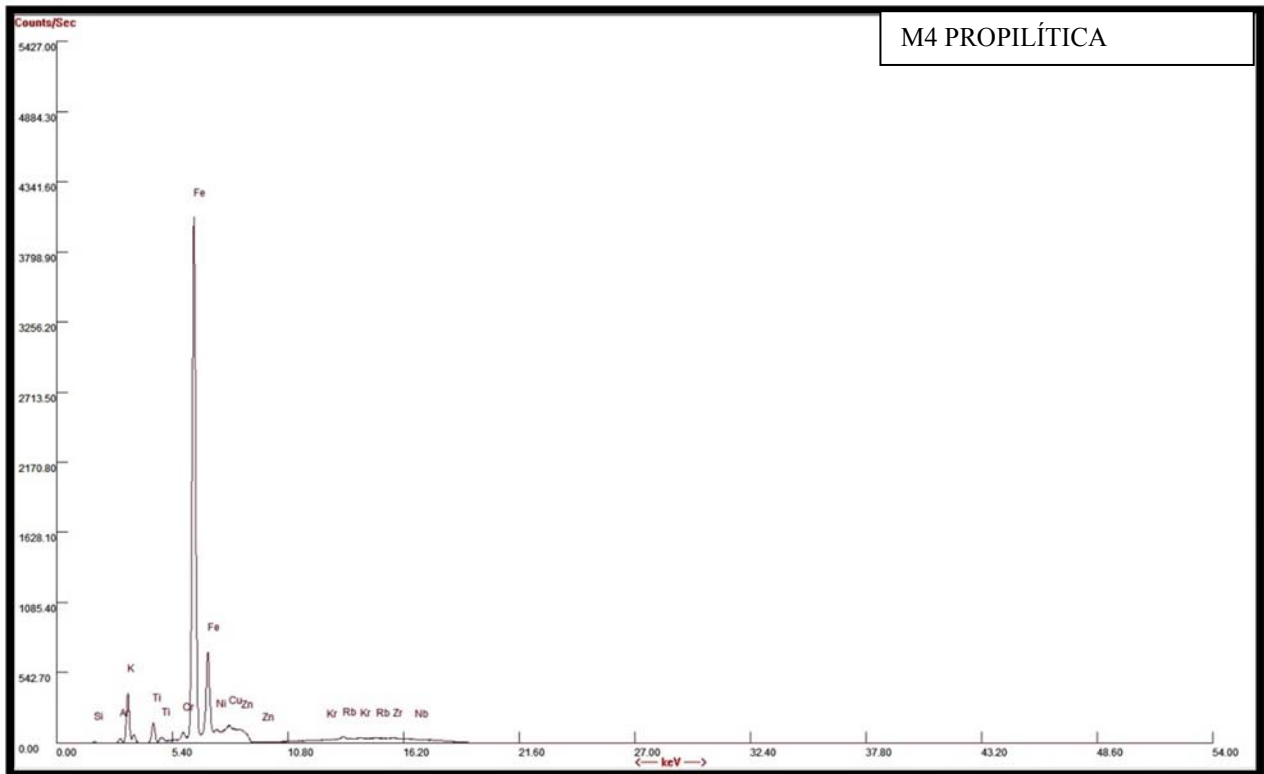


Figura 4.- M4 PROPILÍTICA

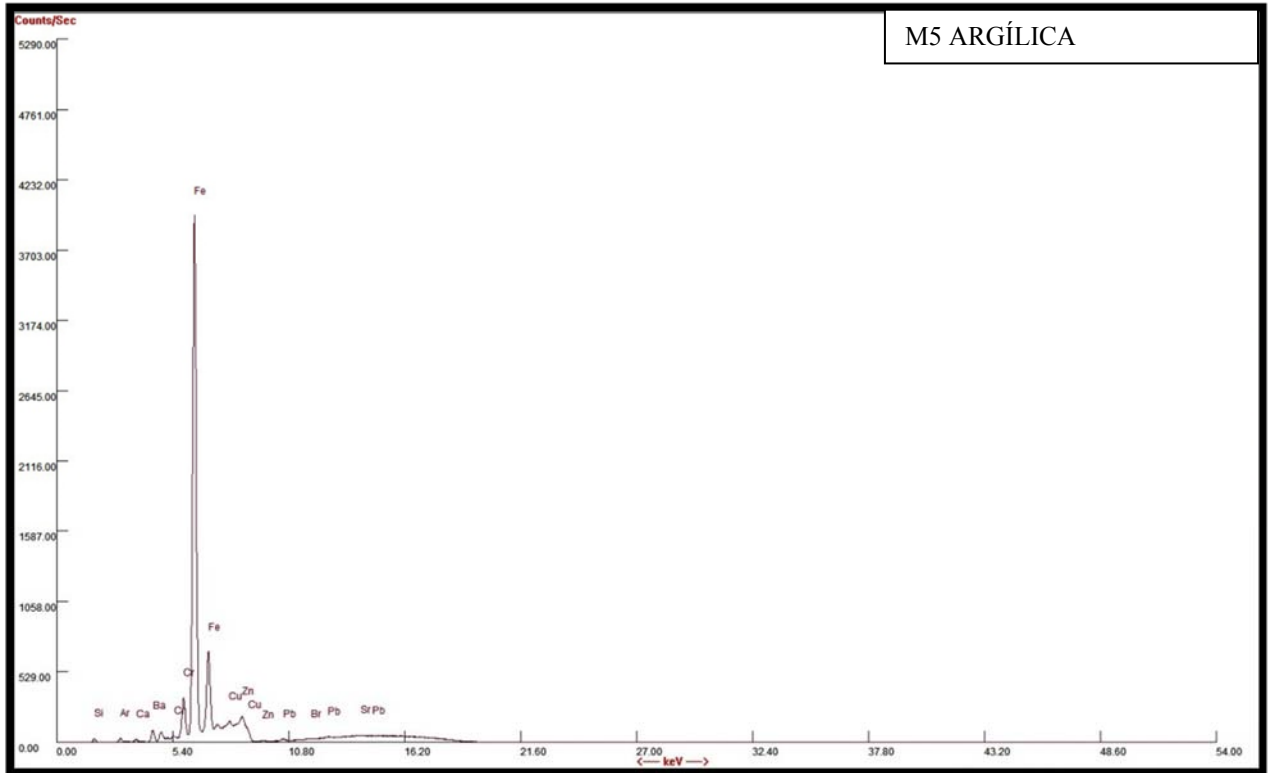


Figura 5.- M5 ARGÍLICA

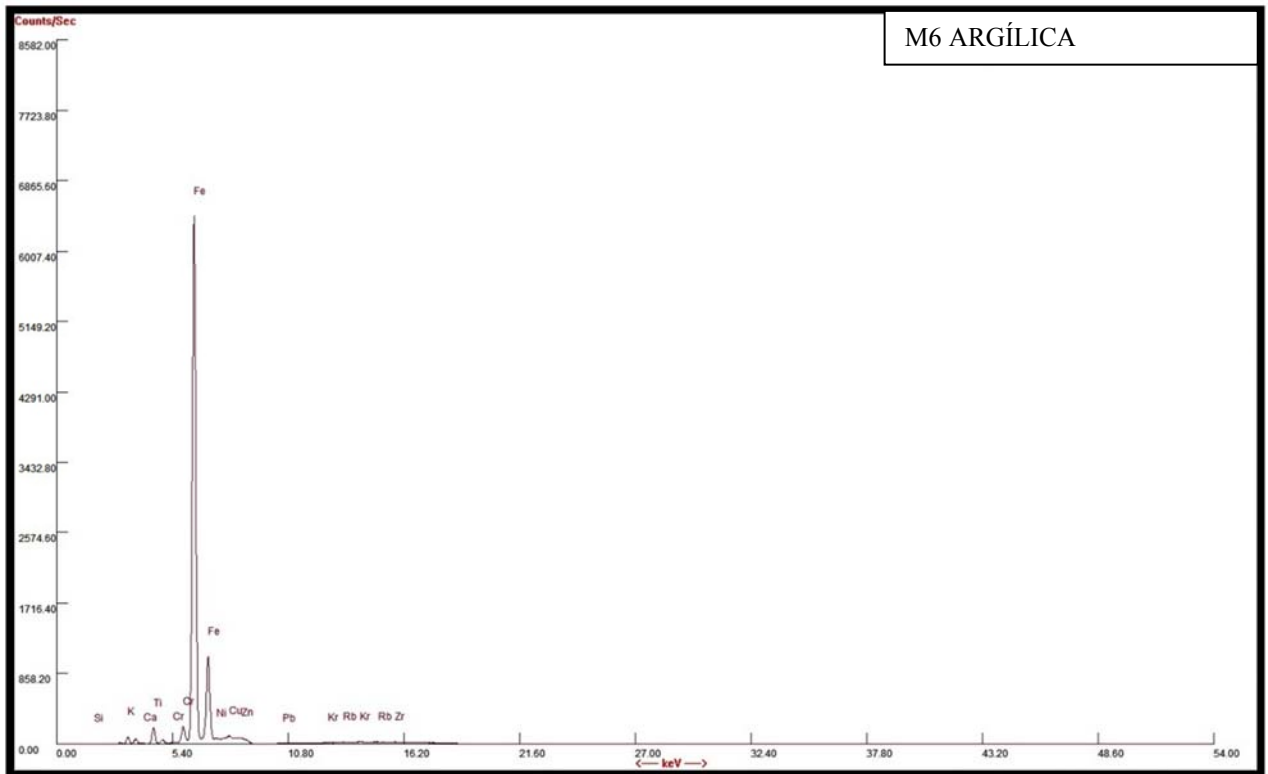


Figura 6.- M6 ARGÍLICA

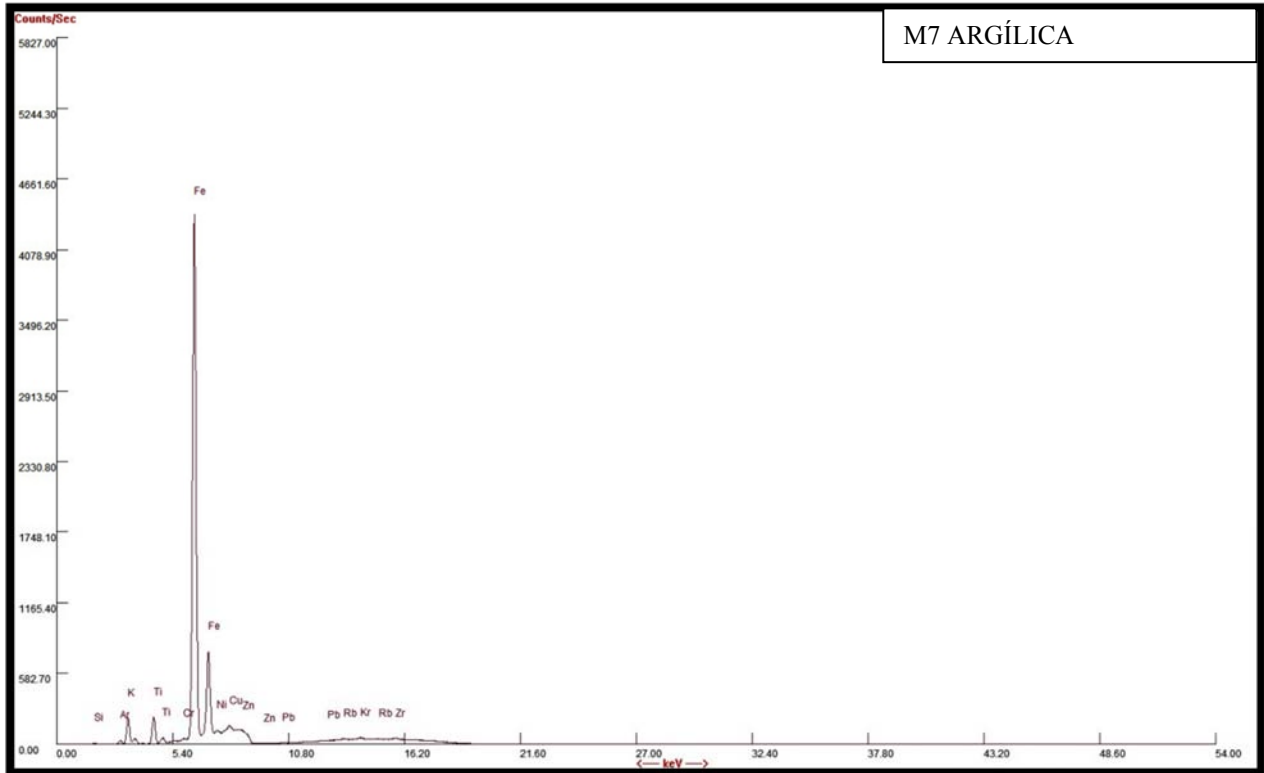


Figura 7.- M7 ARGÍLICA

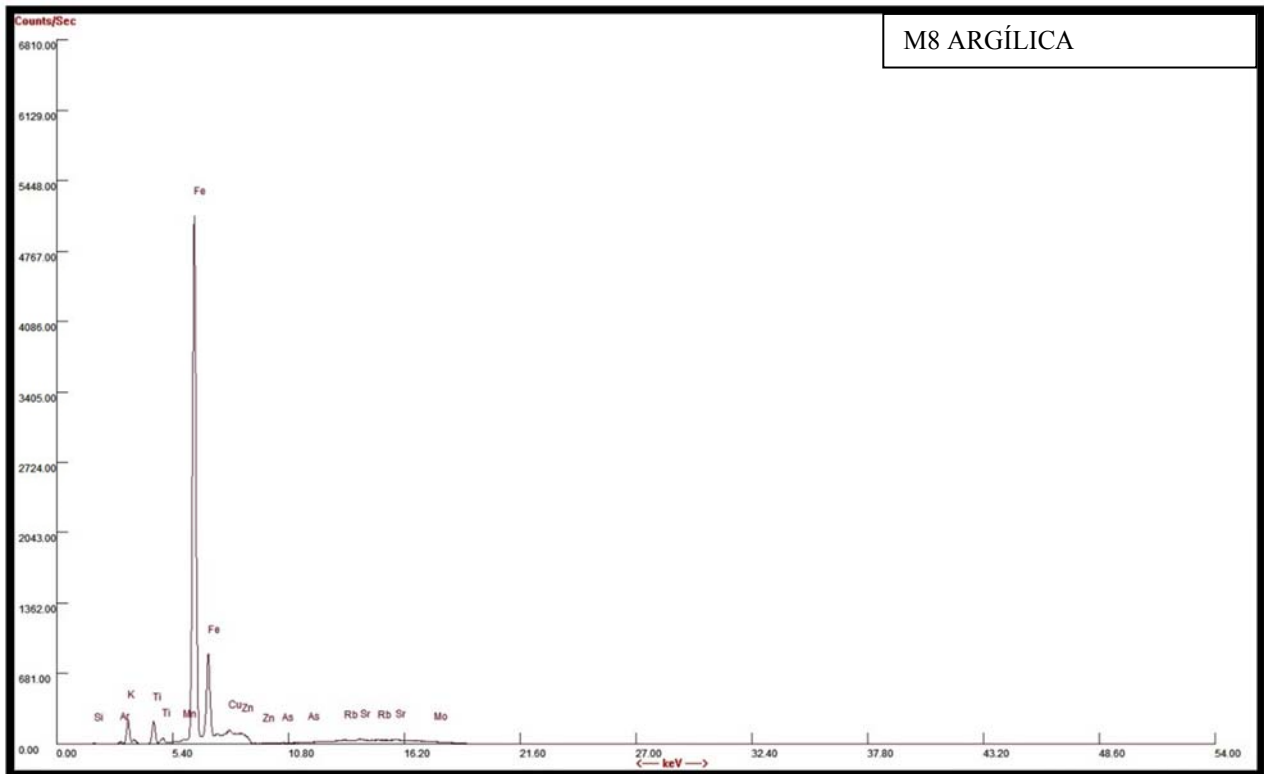


Figura 8.- M8 ARGÍLICA

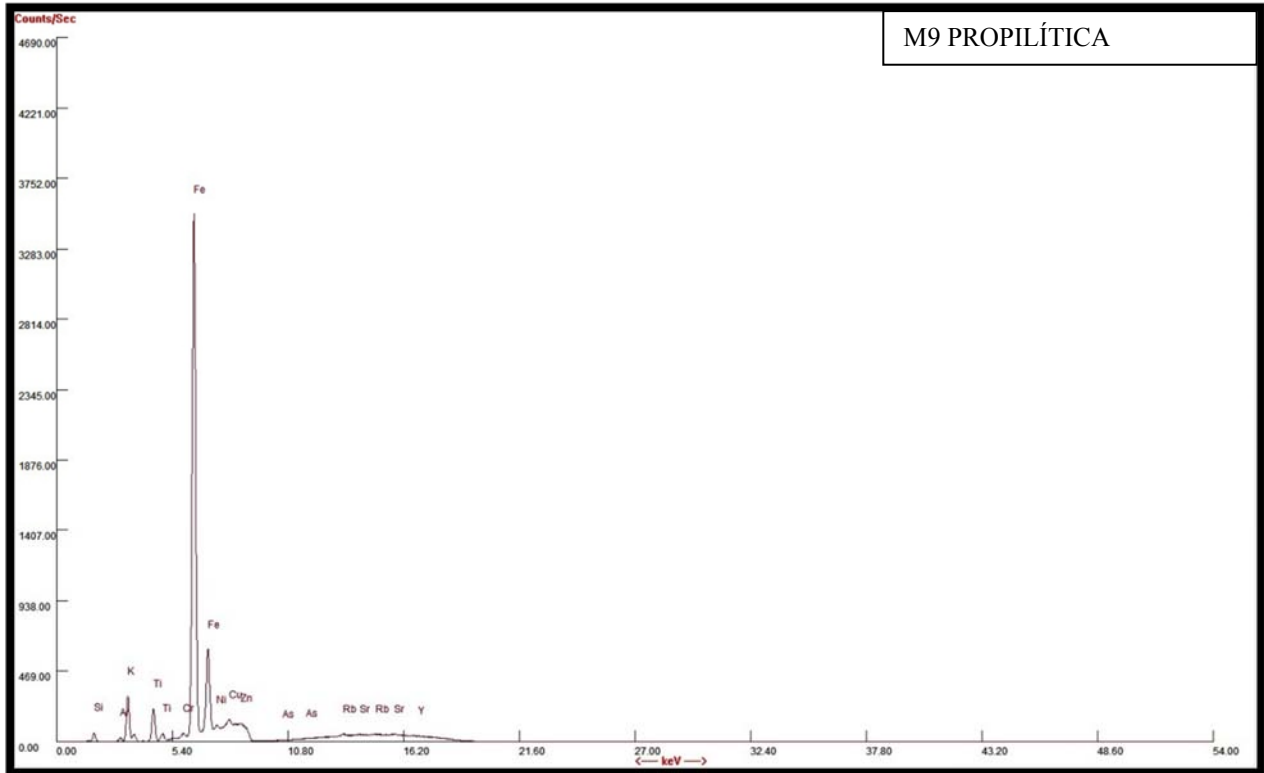


Figura 9.- M9 PROPILÍTICA

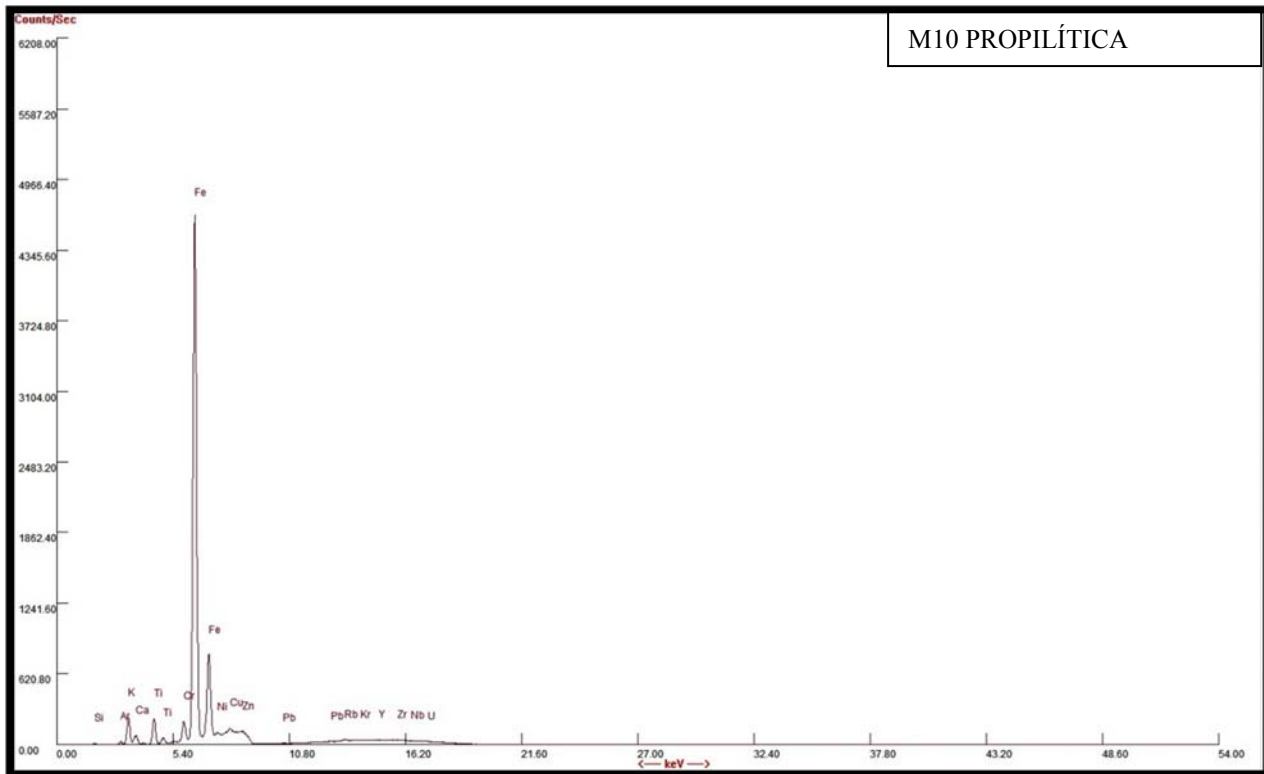


Figura 10.- M10 PROPILÍTICA

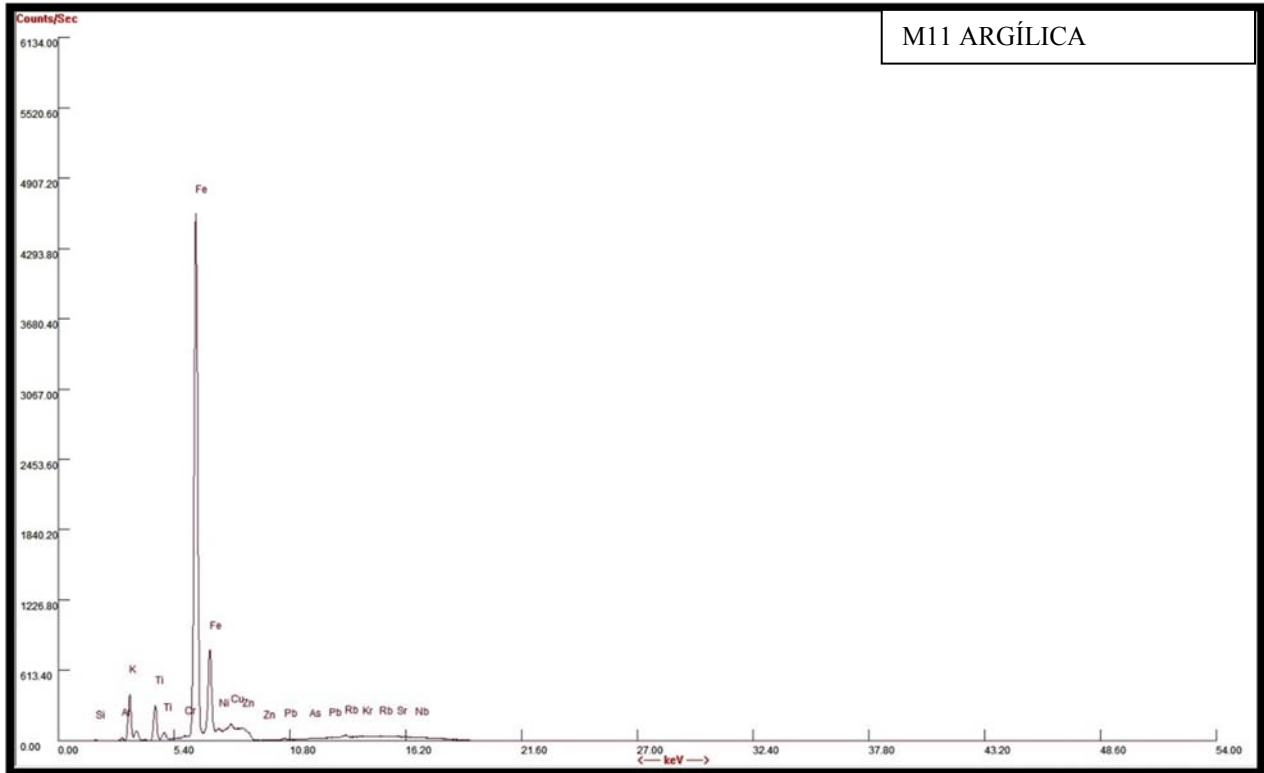


Figura 11.- M11 ARGÍLICA

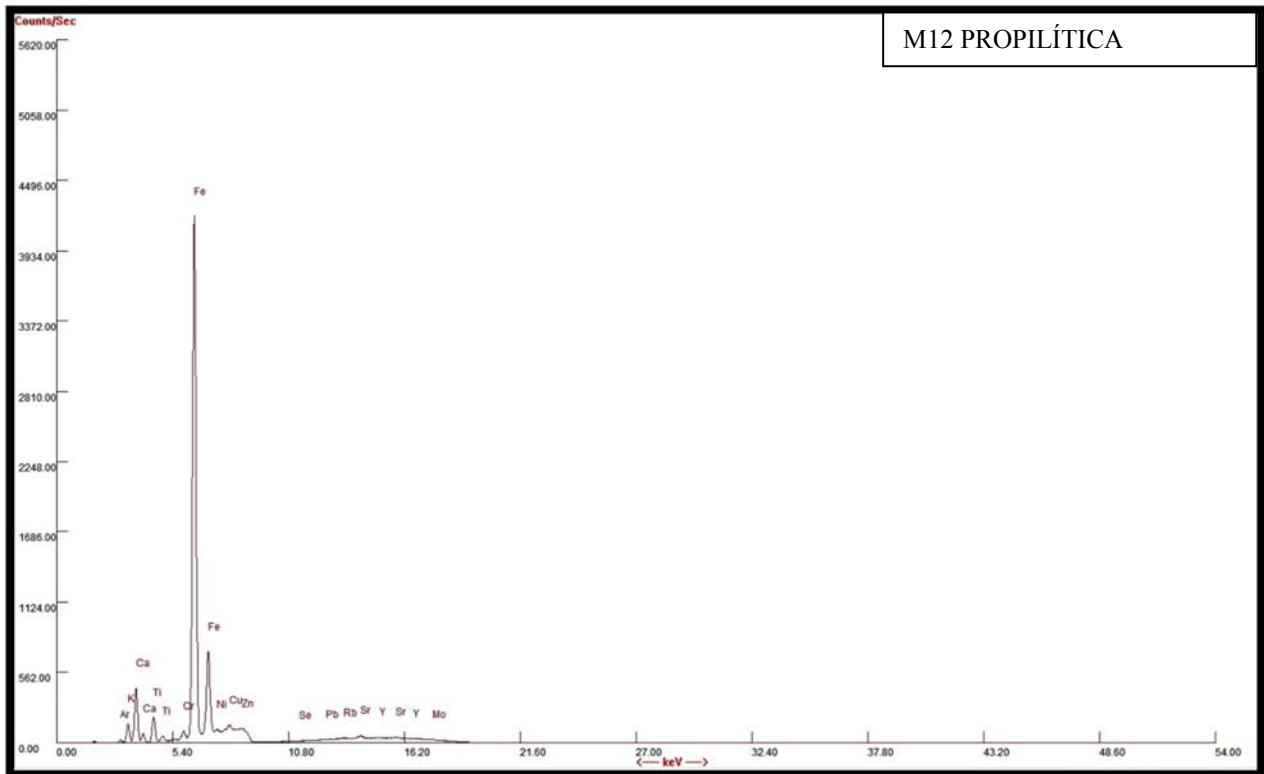


Figura 12.- M12 PROPILÍTICA

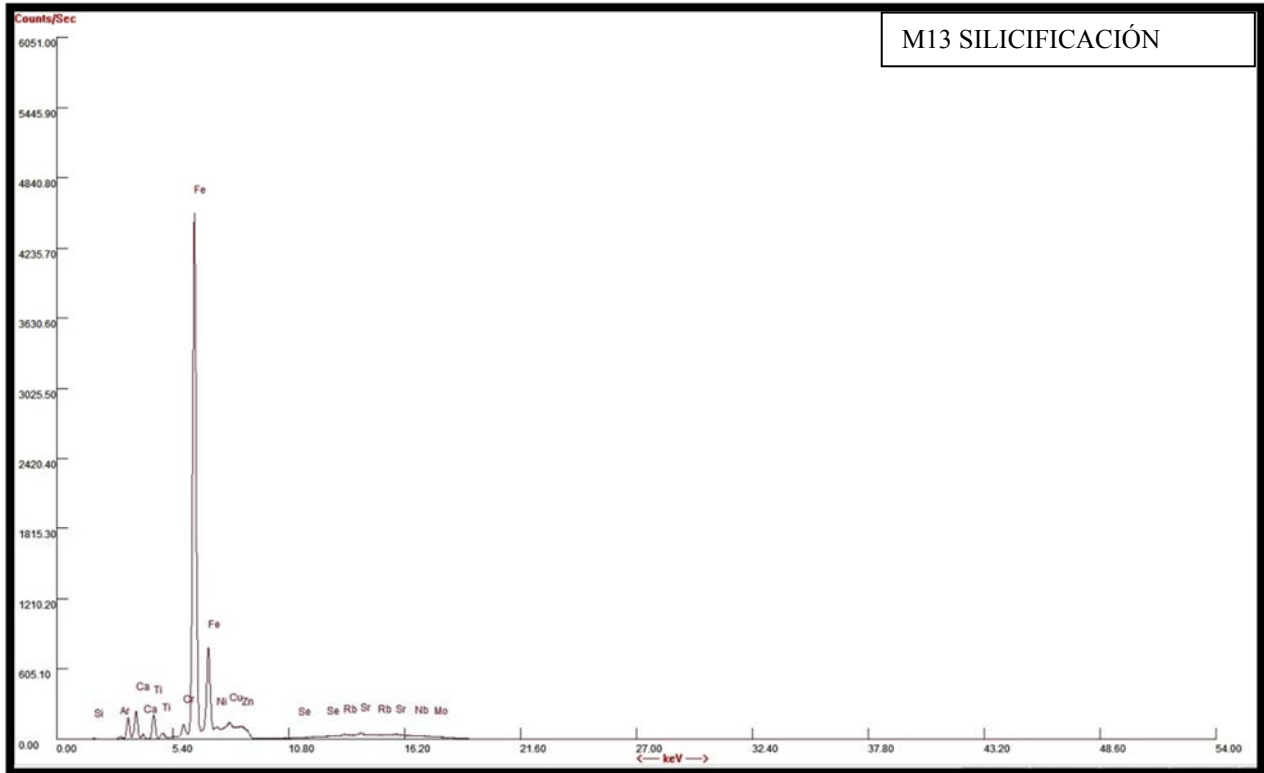


Figura 13.- M13 SILICIFICACIÓN

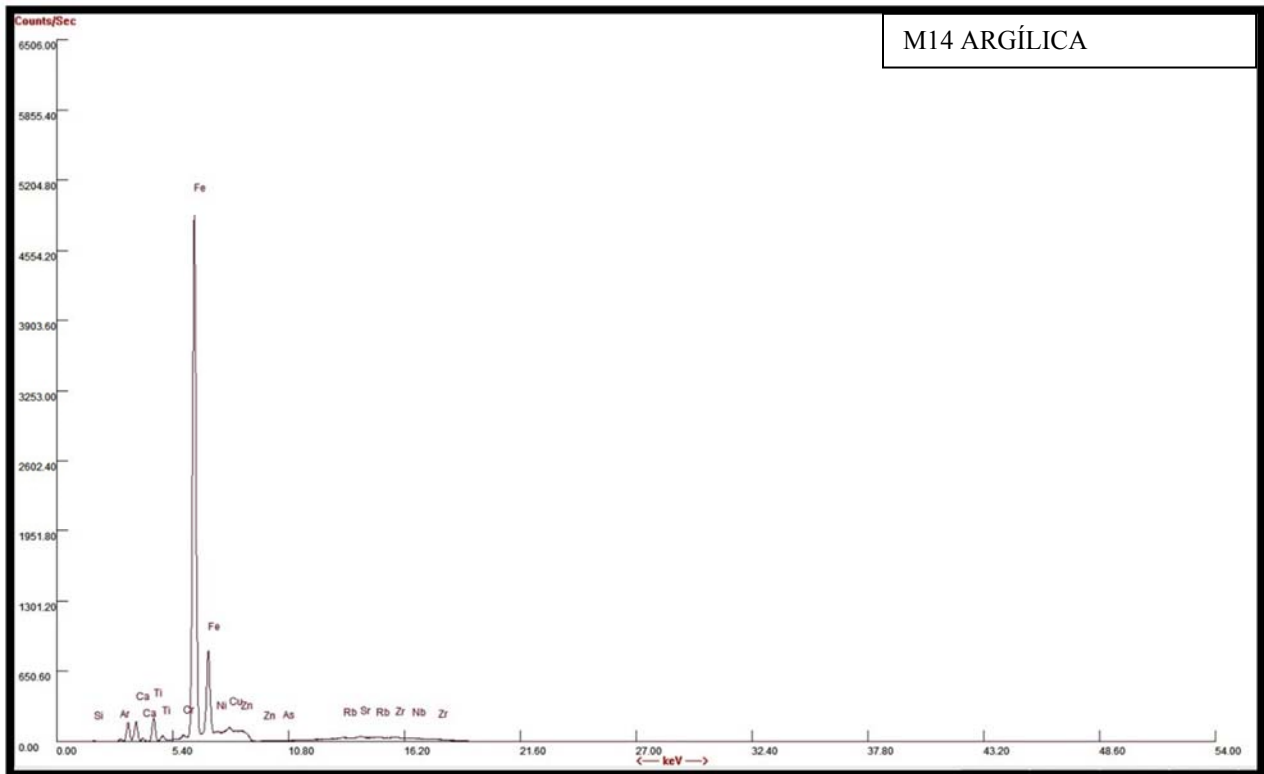


Figura 14.- M14 ARGÍLICA

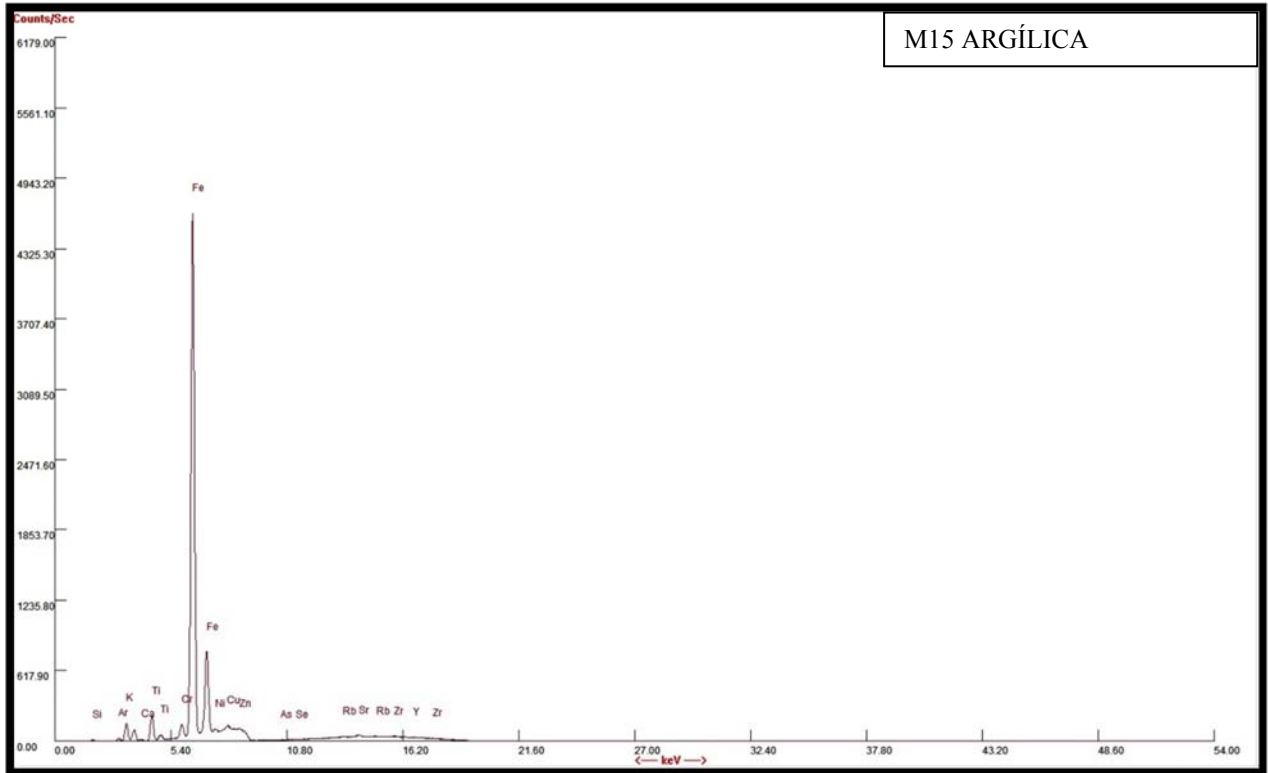


Figura 15.- M15 ARGÍLICA

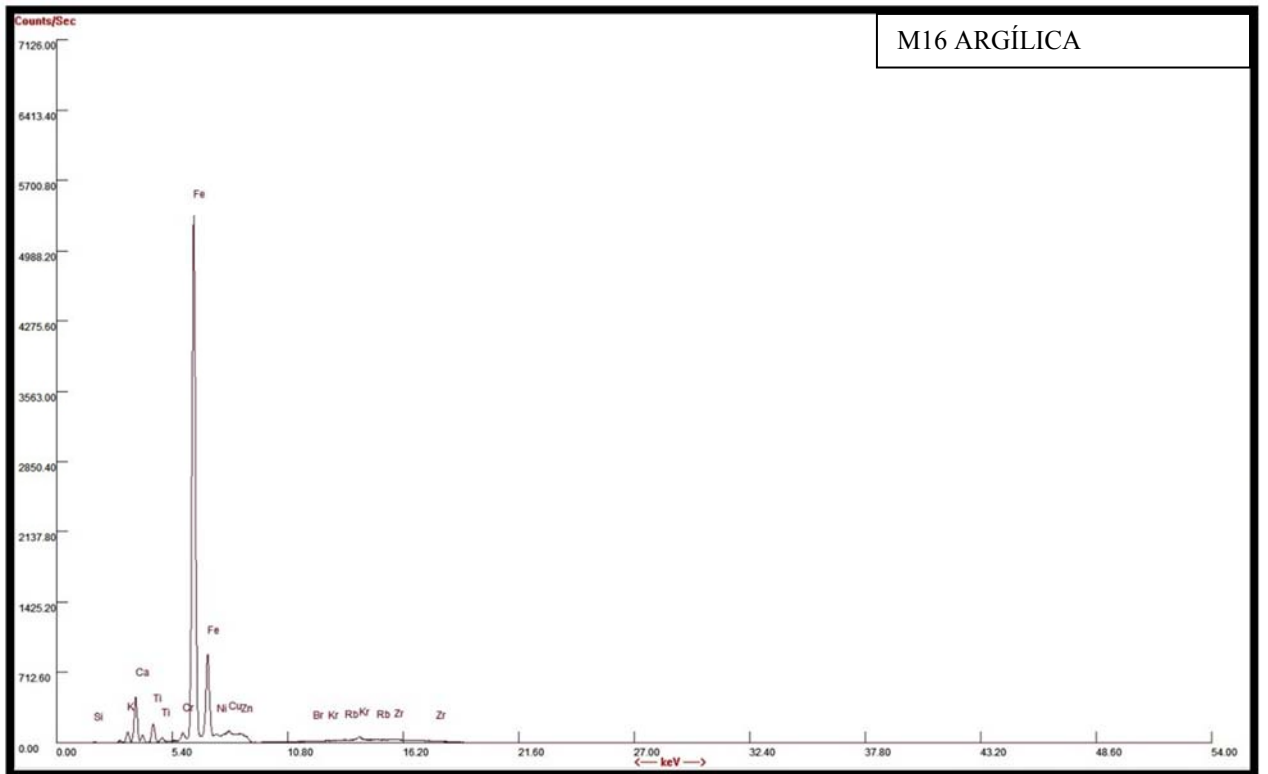


Figura 16.- M16 ARGÍLICA

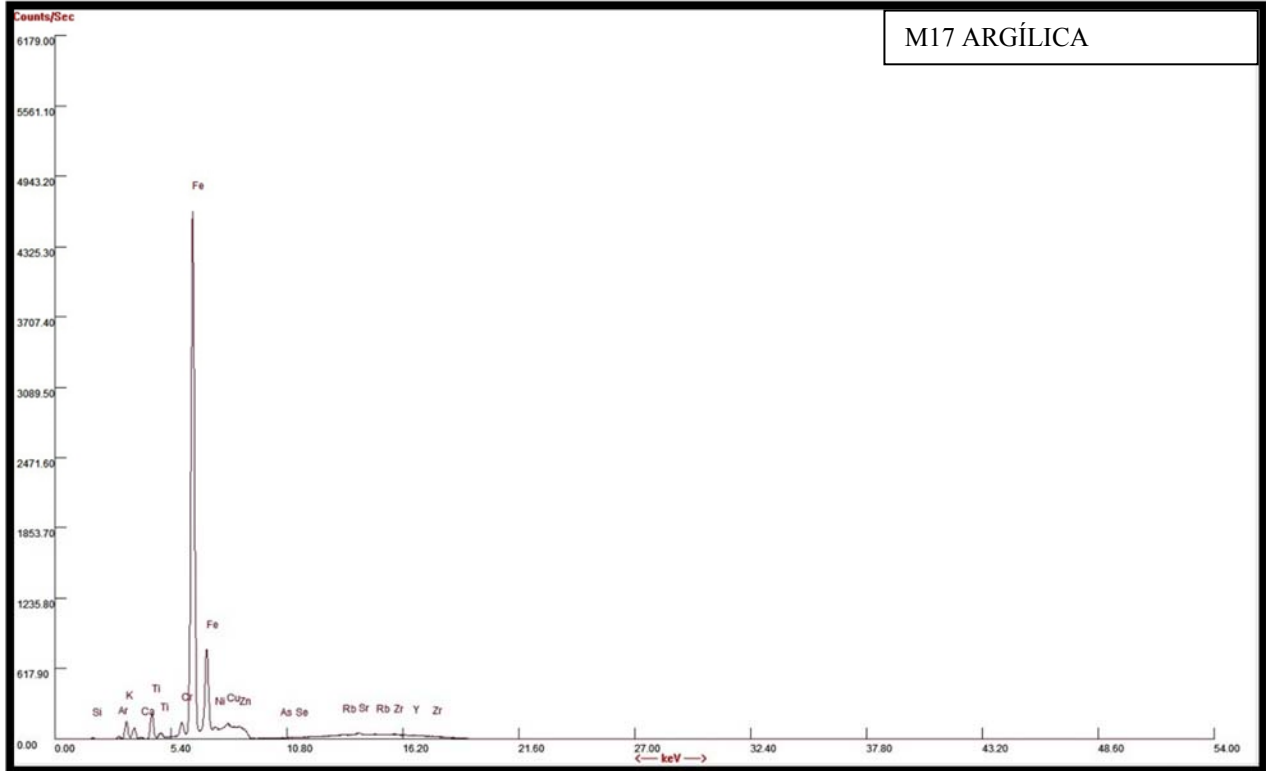


Figura 17.- M17 ARGÍLICA

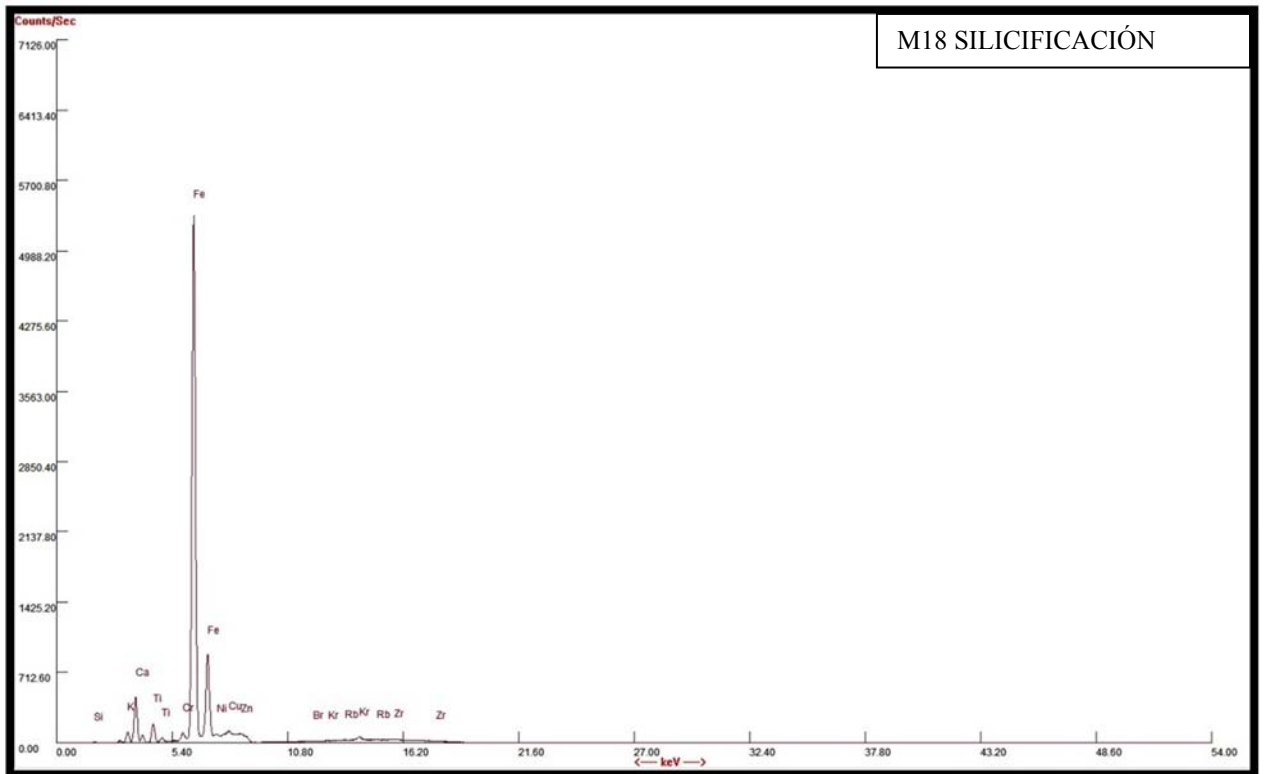


Figura 18.- M18 SILICIFICACIÓN

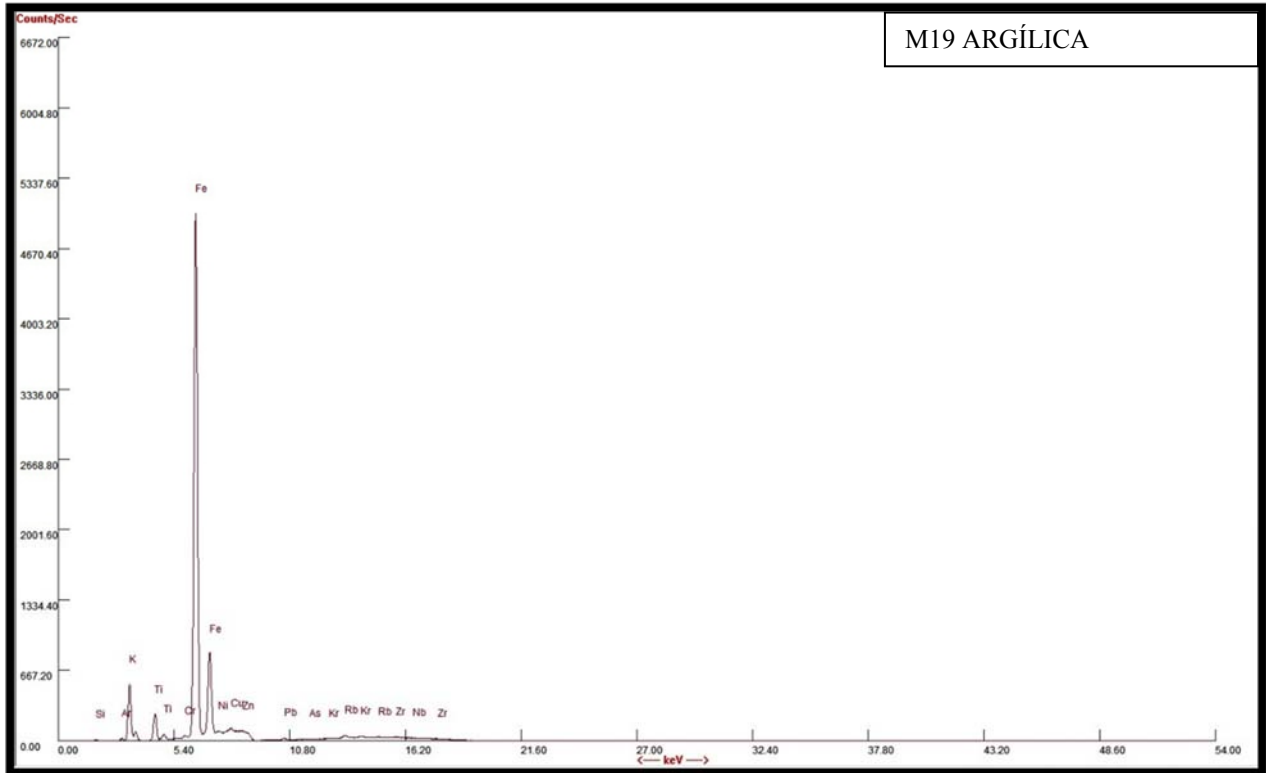


Figura 19.- M19 ARGÍLICA

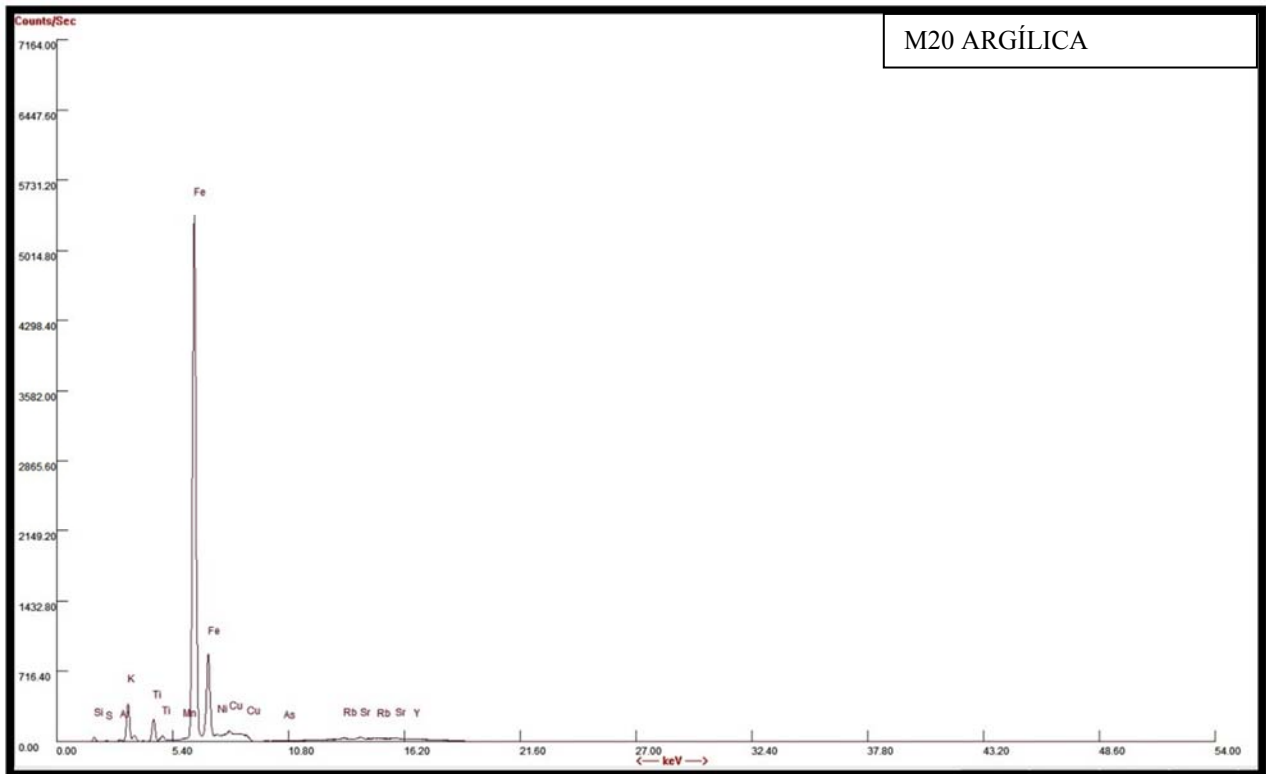


Figura 20.- M20 ARGÍLICA

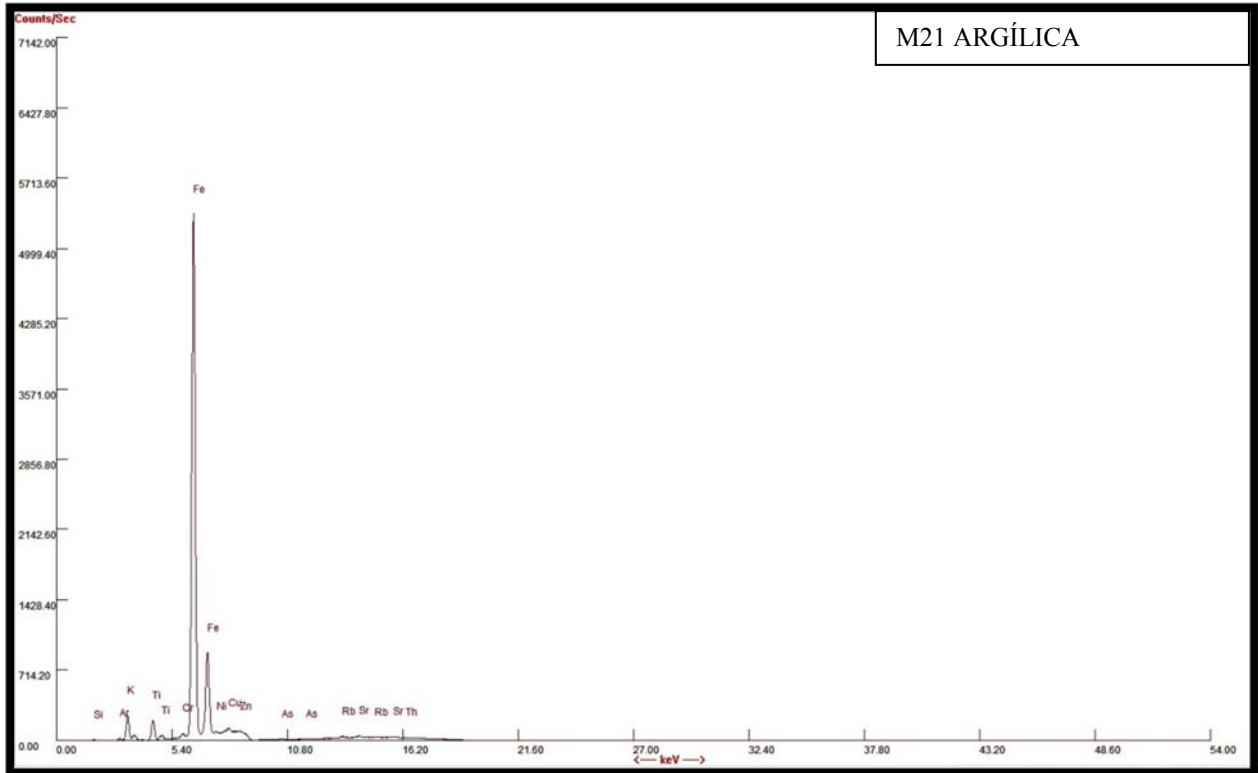


Figura 21.- M21 ARGÍLICA

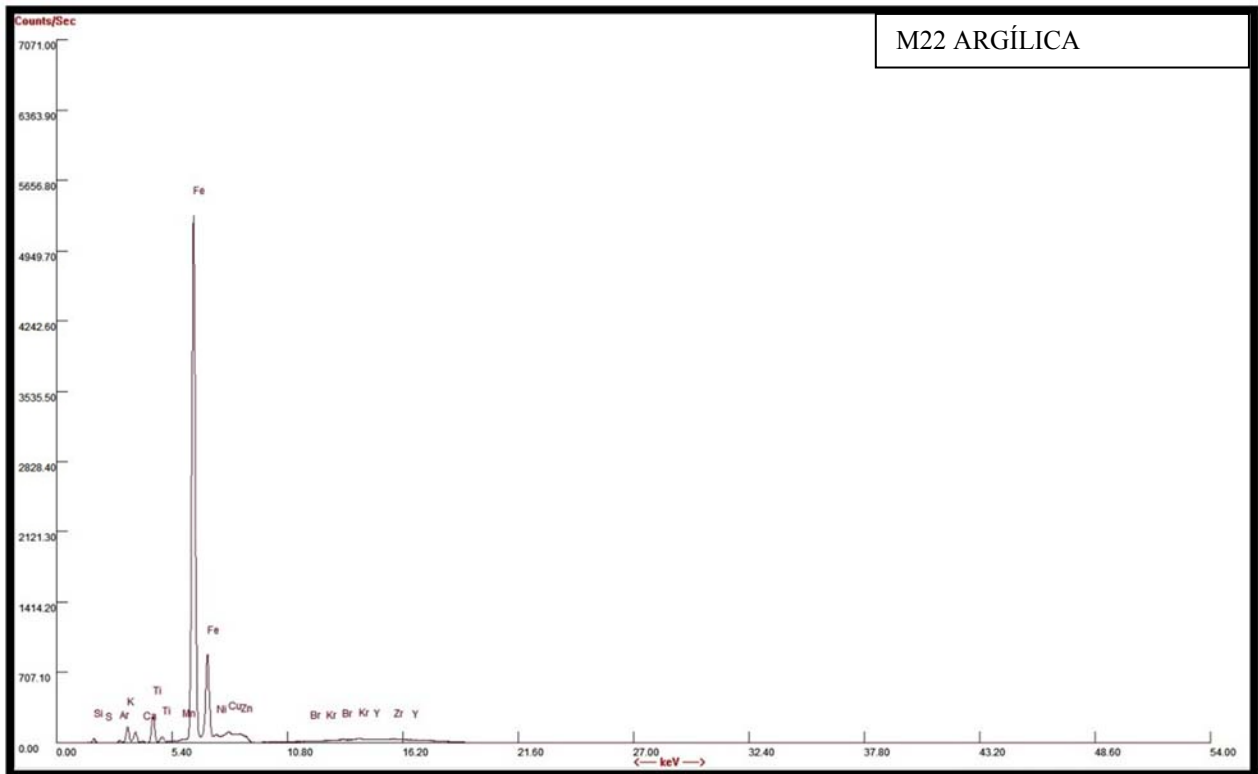


Figura 22.- ARGÍLICA

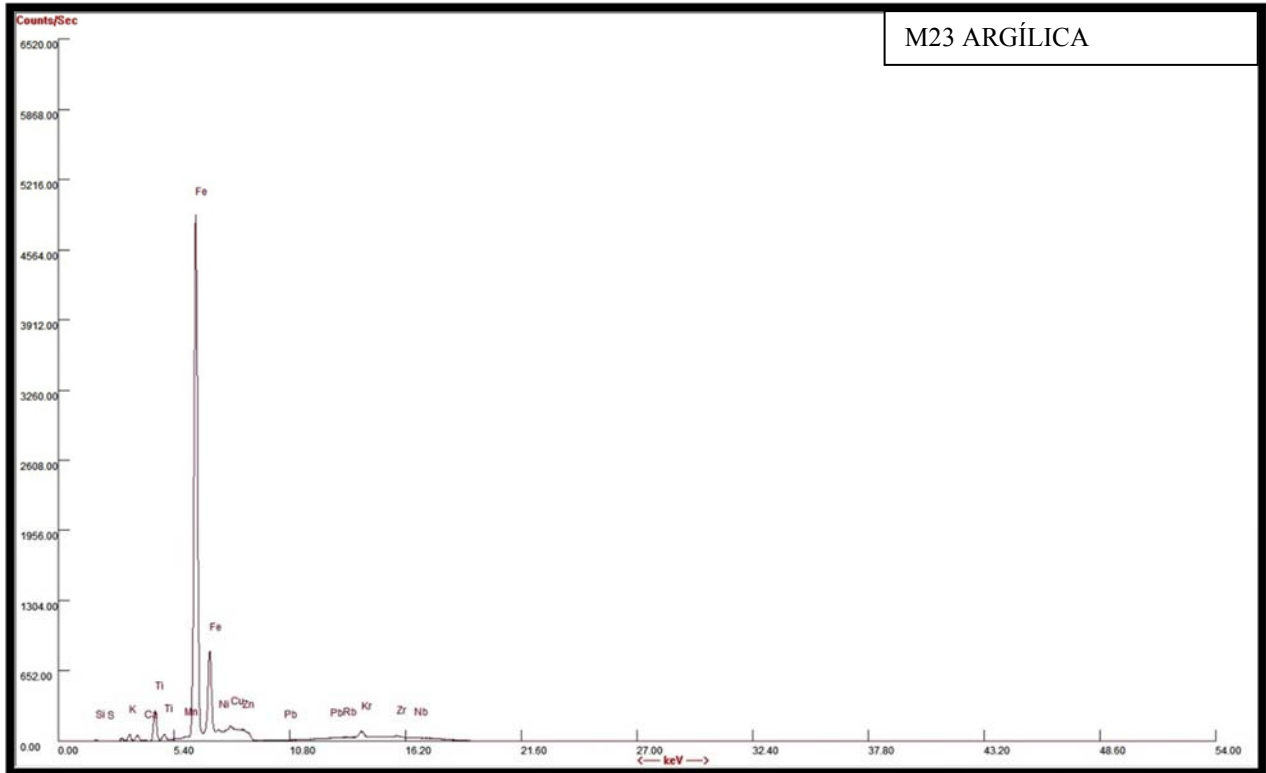


Figura 23.- M23 ARGÍLICA

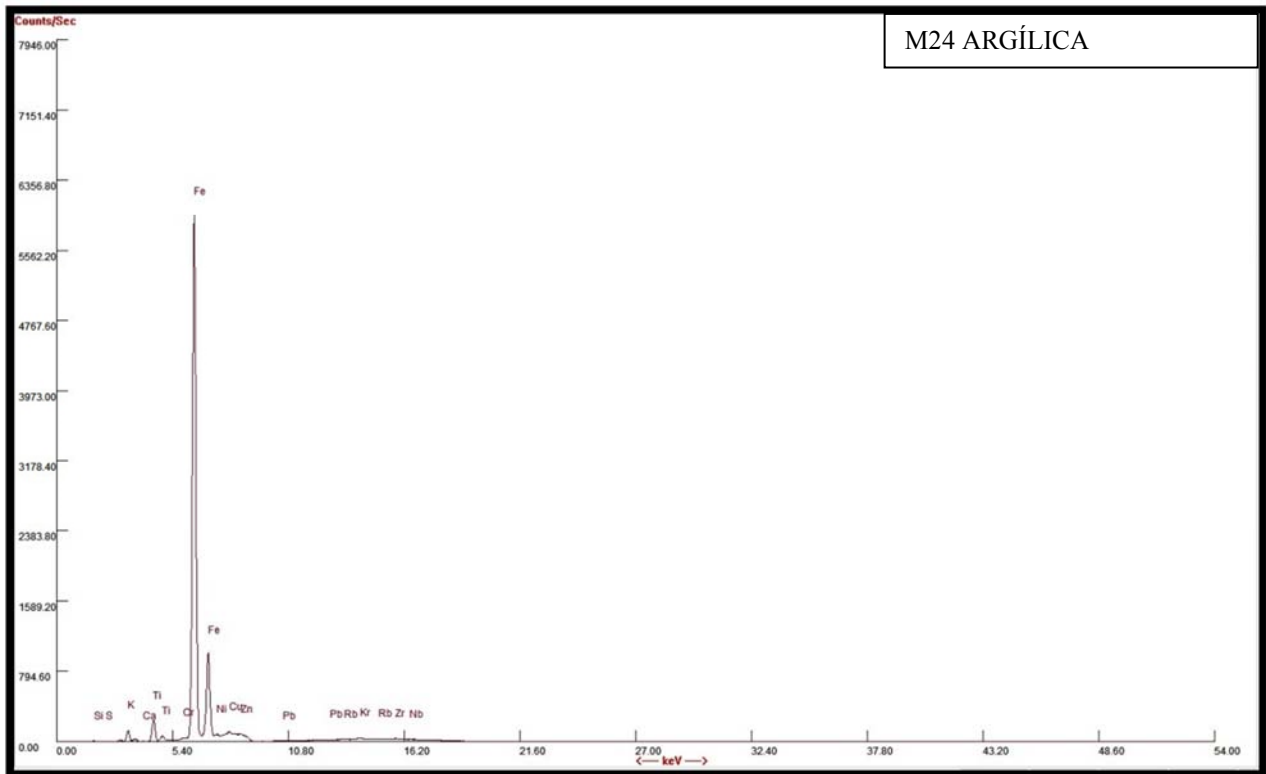


Figura 24.- M24 ARGÍLICA

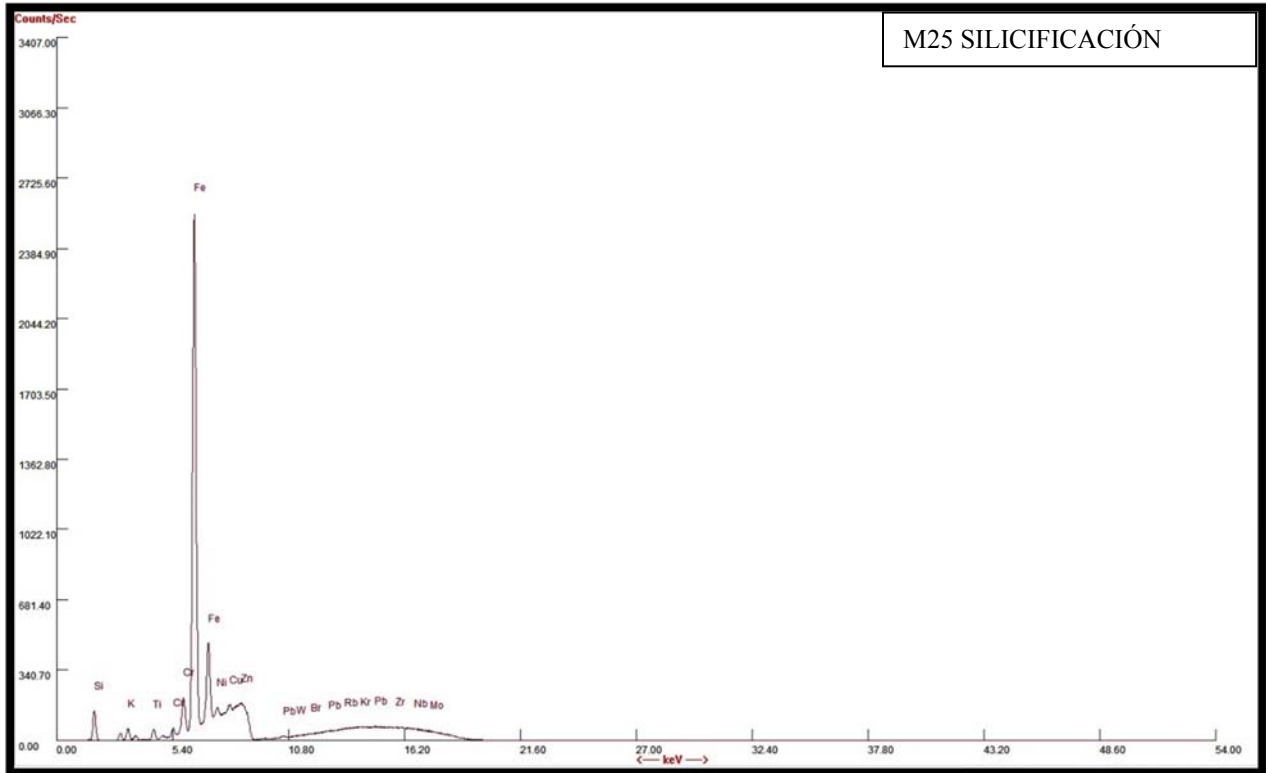


Figura 25.- M25 SILICIFICACIÓN

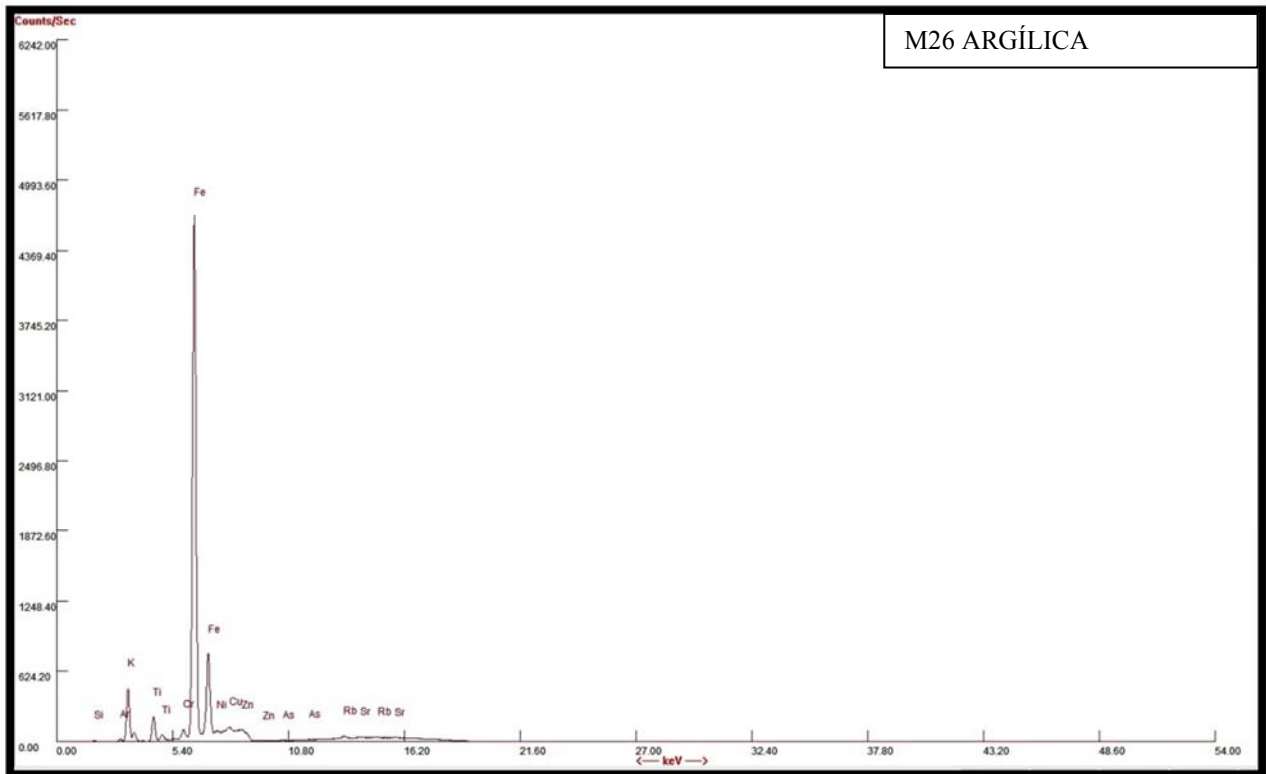


Figura 26.- M26 ARGÍLICA

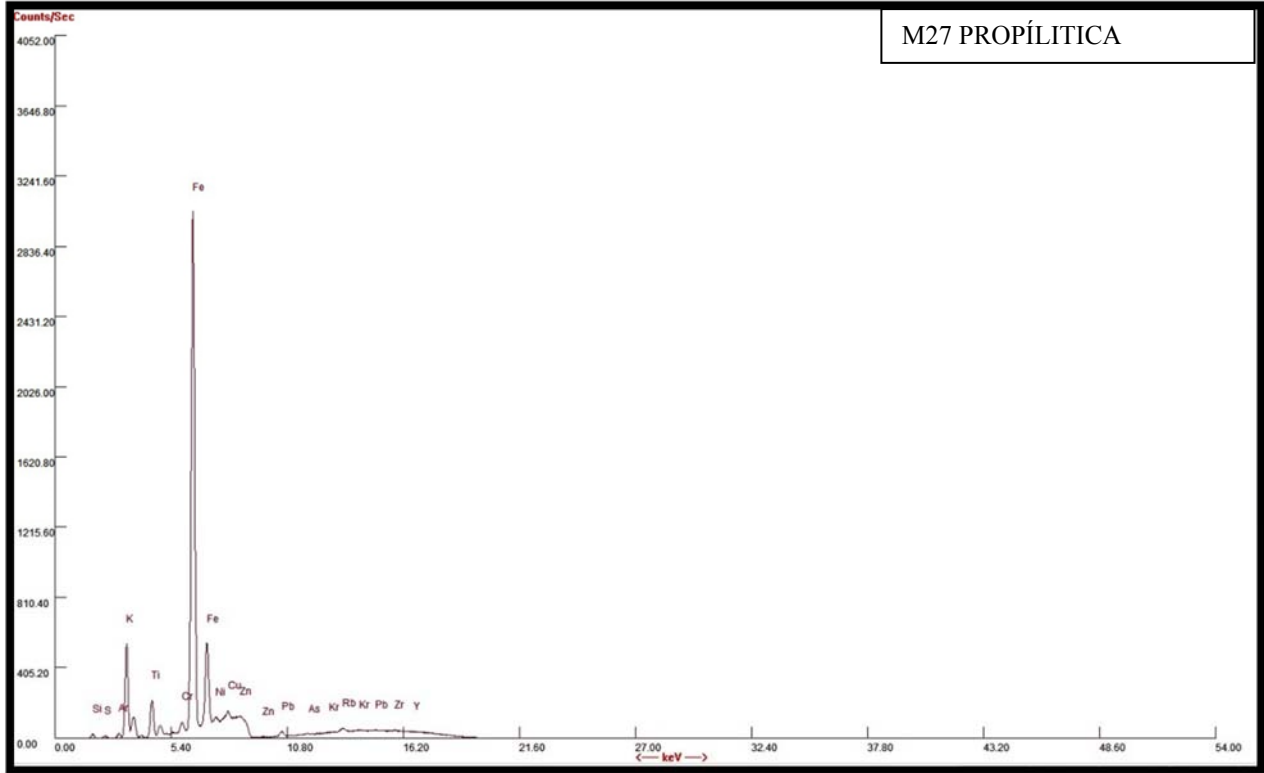


Figura 27.- M27 PROPÍLITICA

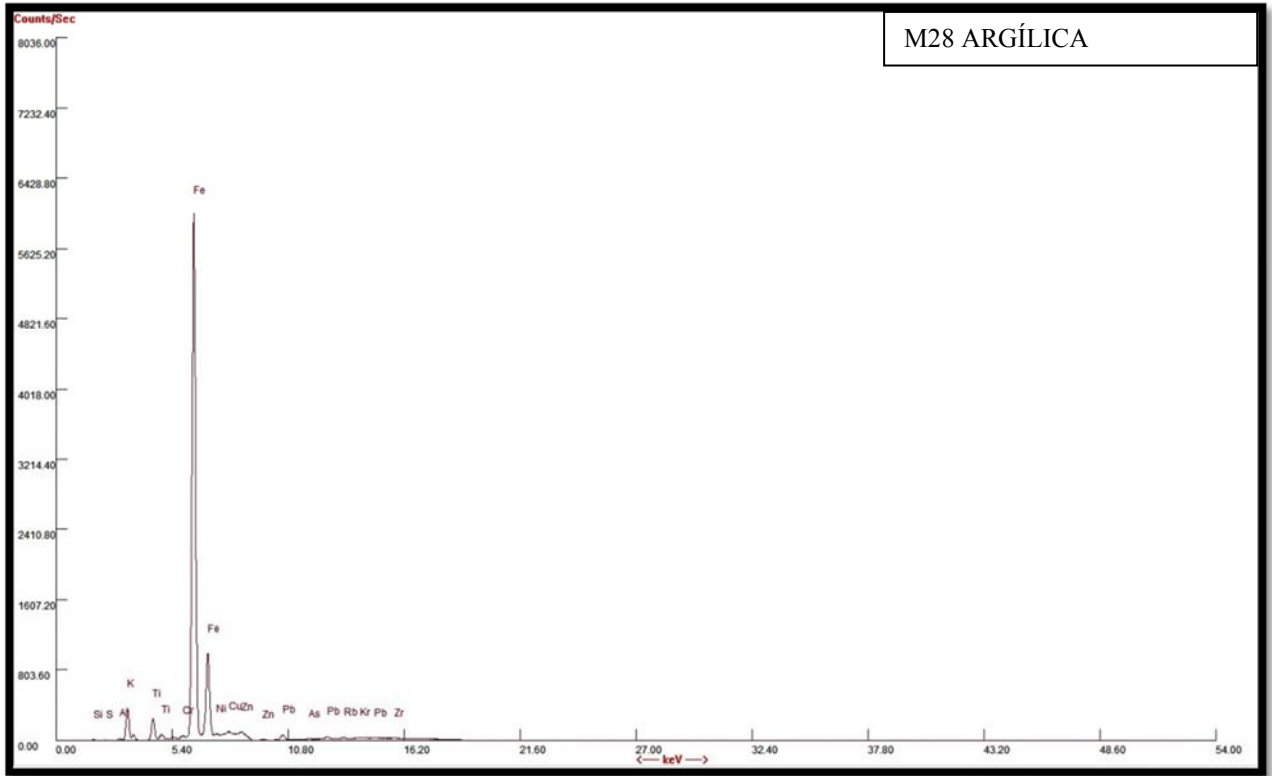


Figura 28.- M28 ARGÍLICA

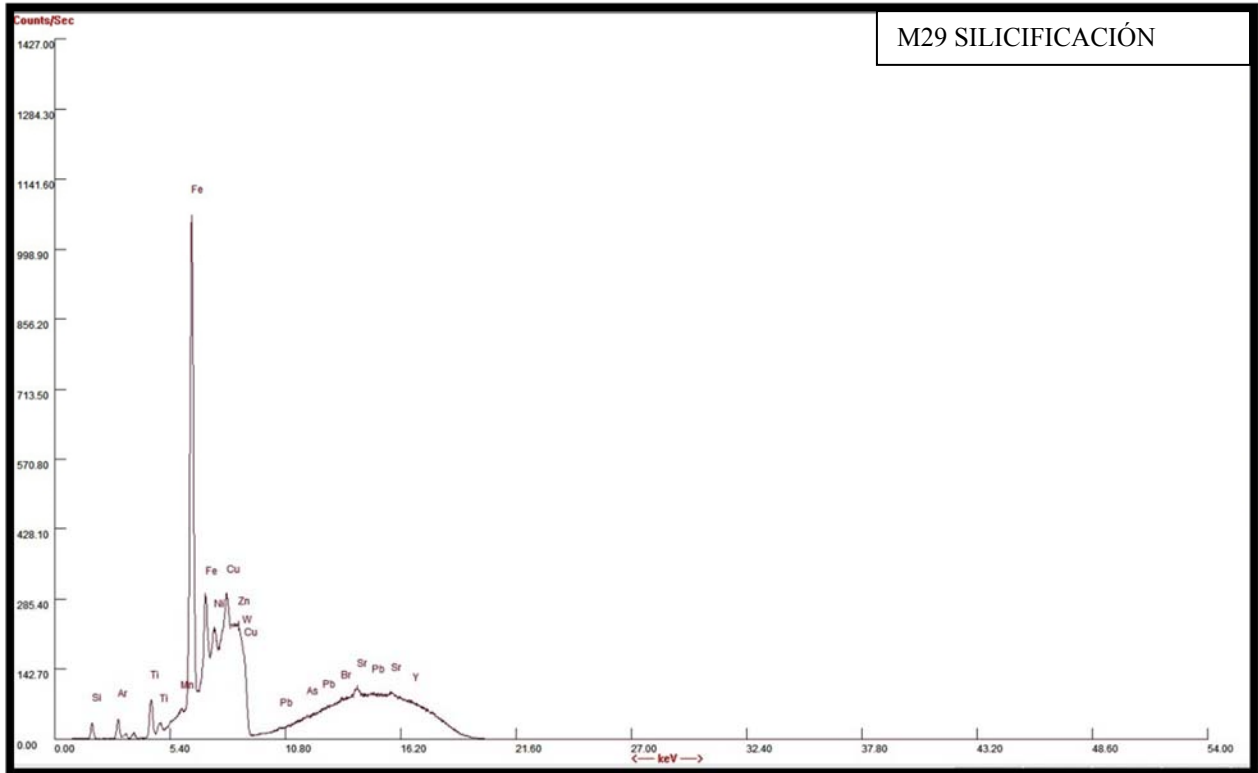


Figura 29.- M29 SILICIFICACIÓN

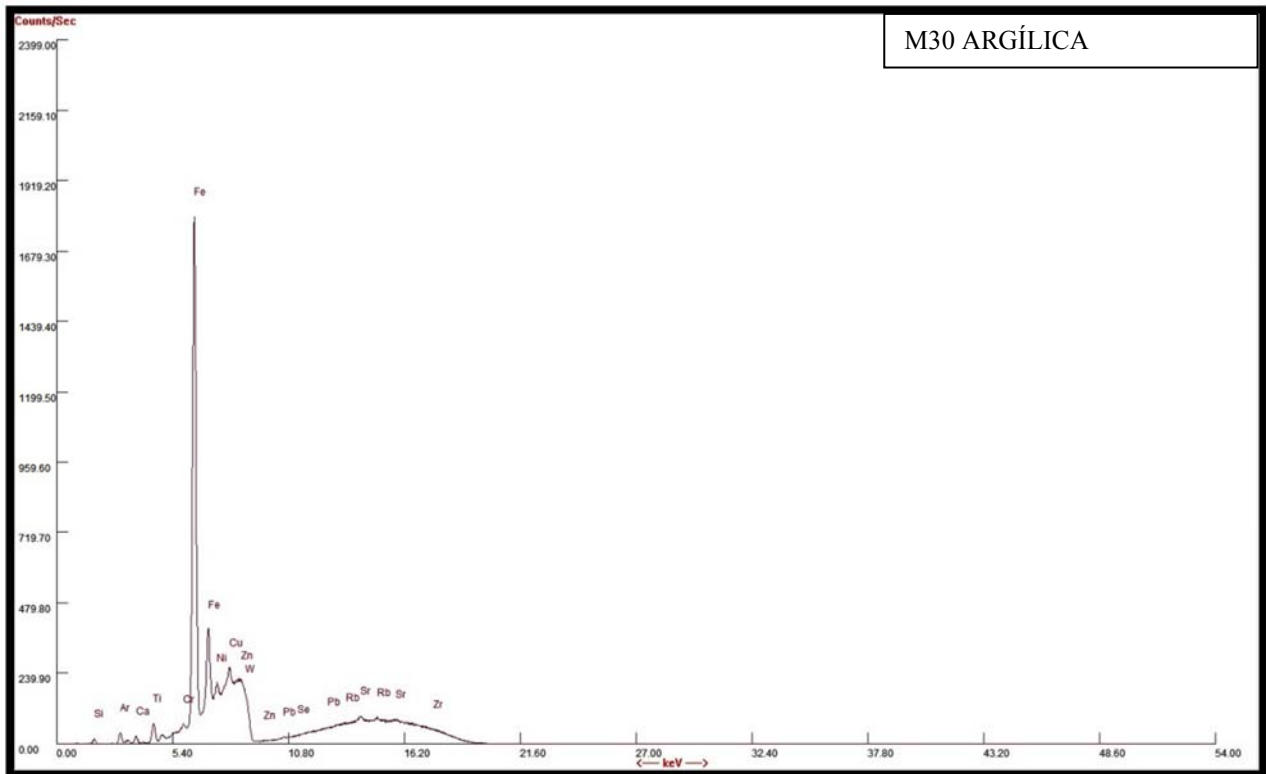


Figura 30.- M30 ARGÍLICA

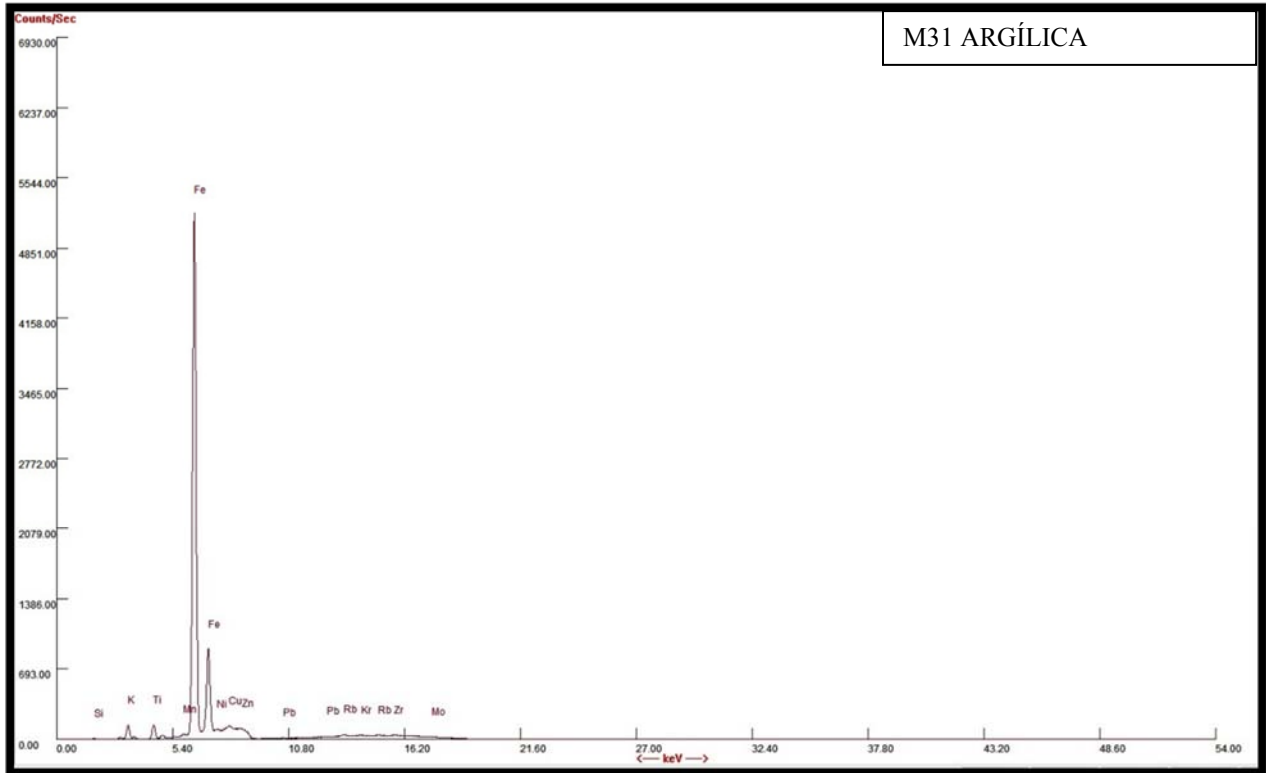


Figura 31.- M31 ARGÍLICA

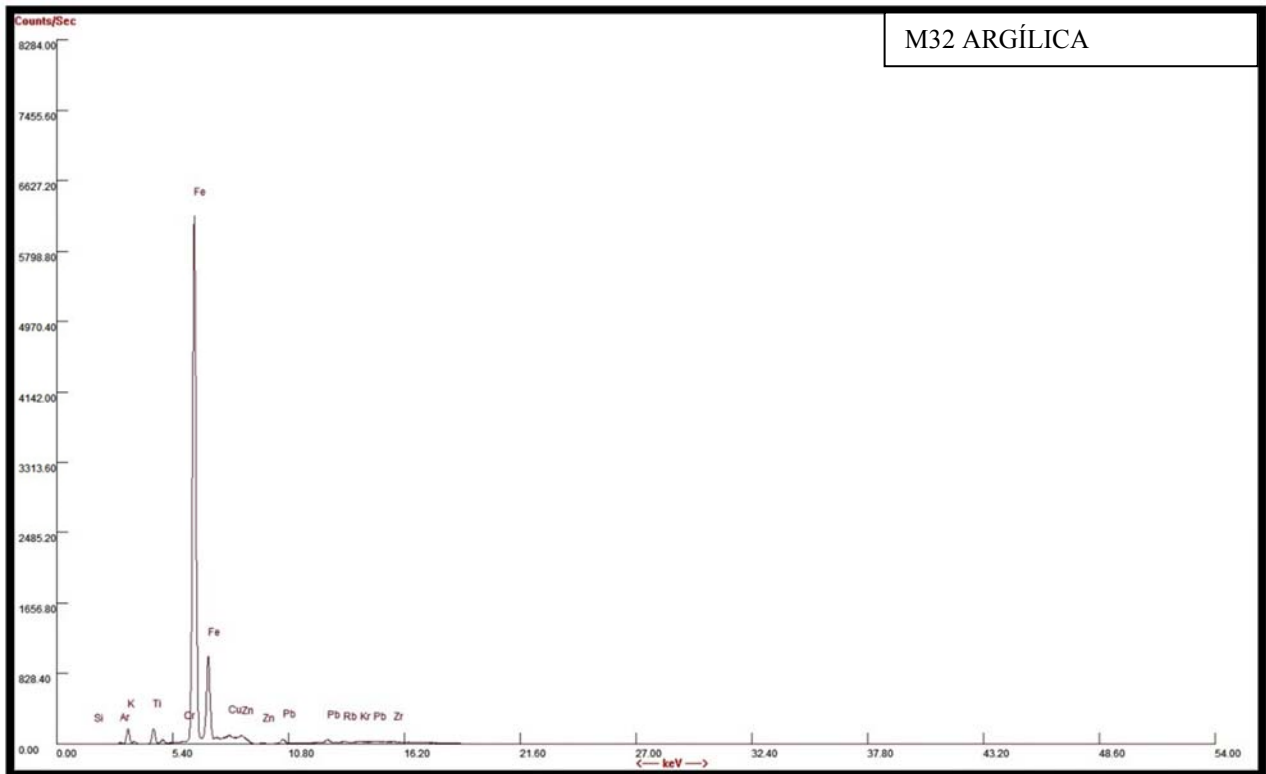


Figura 32.- M32 ARGÍLICA

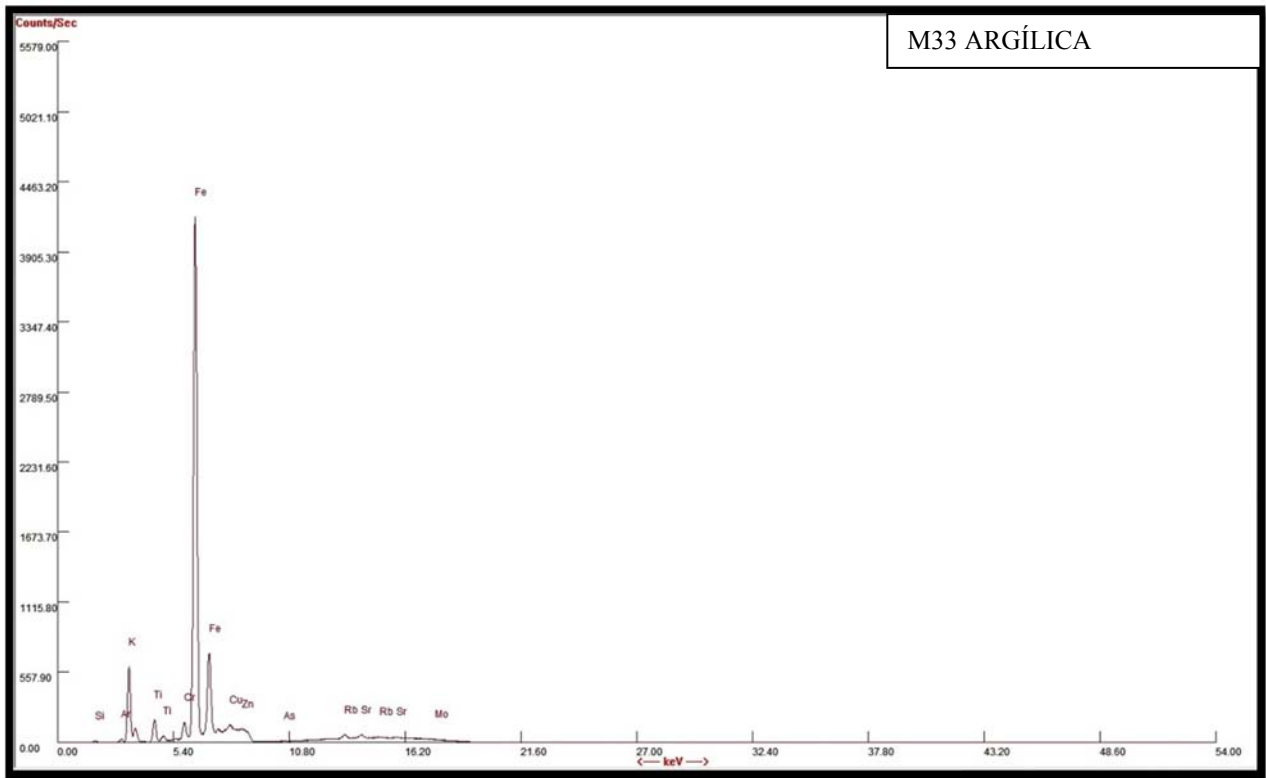


Figura 33.- M33 ARGÍLICA

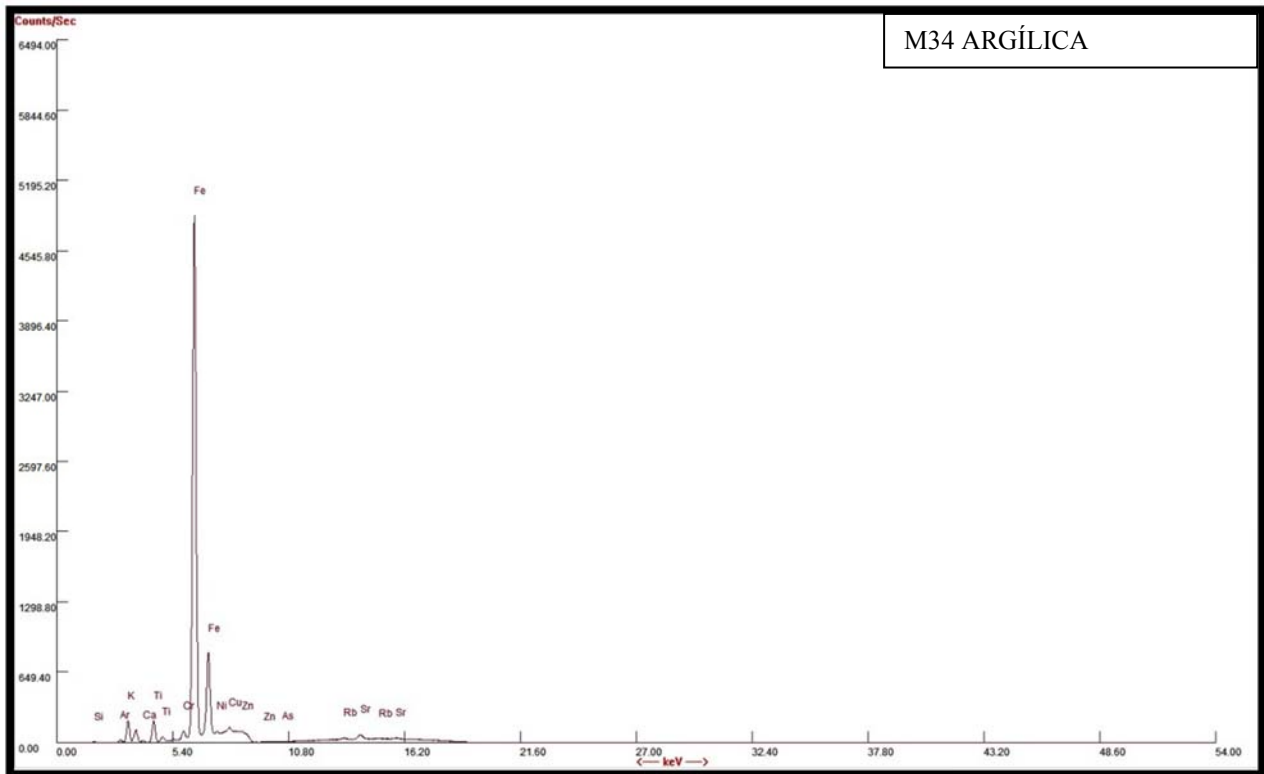


Figura 34.- M34 ARGÍLICA

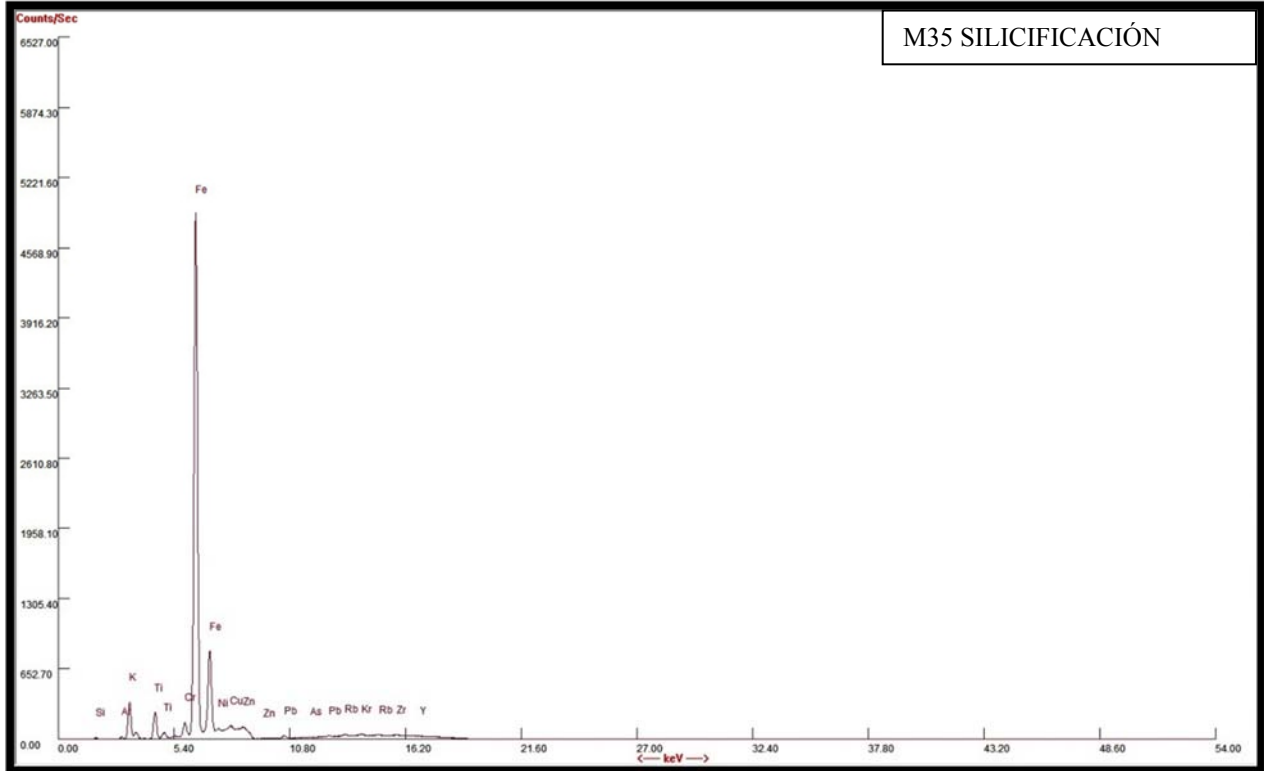


Figura 35.- M35 SILICIFICACIÓN

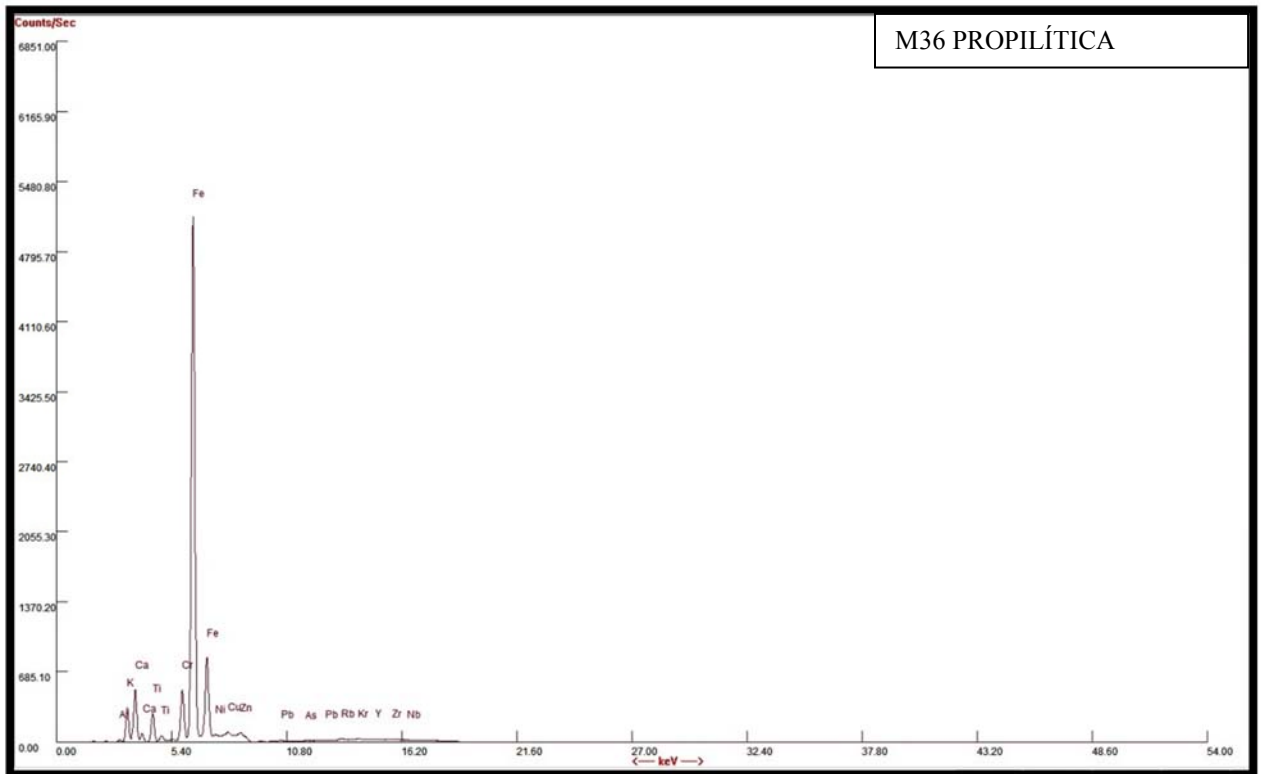


Figura 36.- M36 PROPILÍTICA

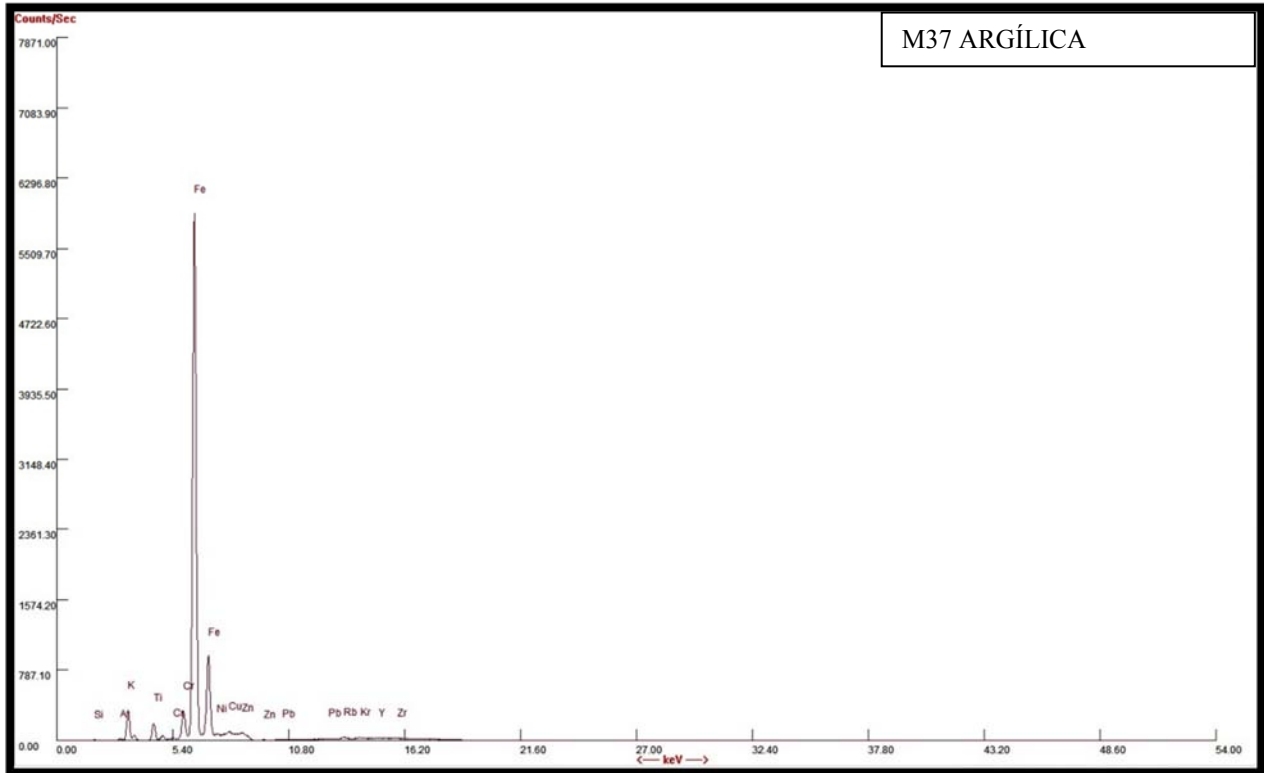


Figura 37.- M37 ARGÍLICA

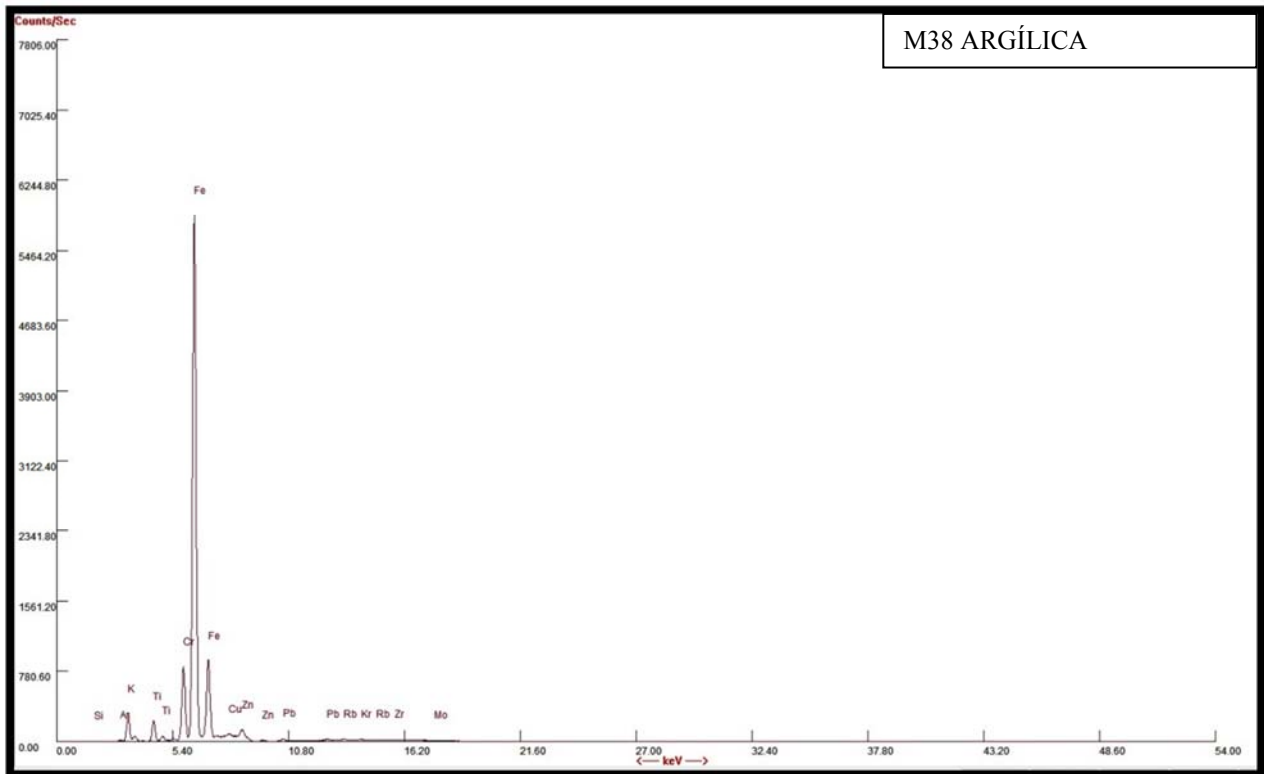


Figura 38.- M38 ARGÍLICA

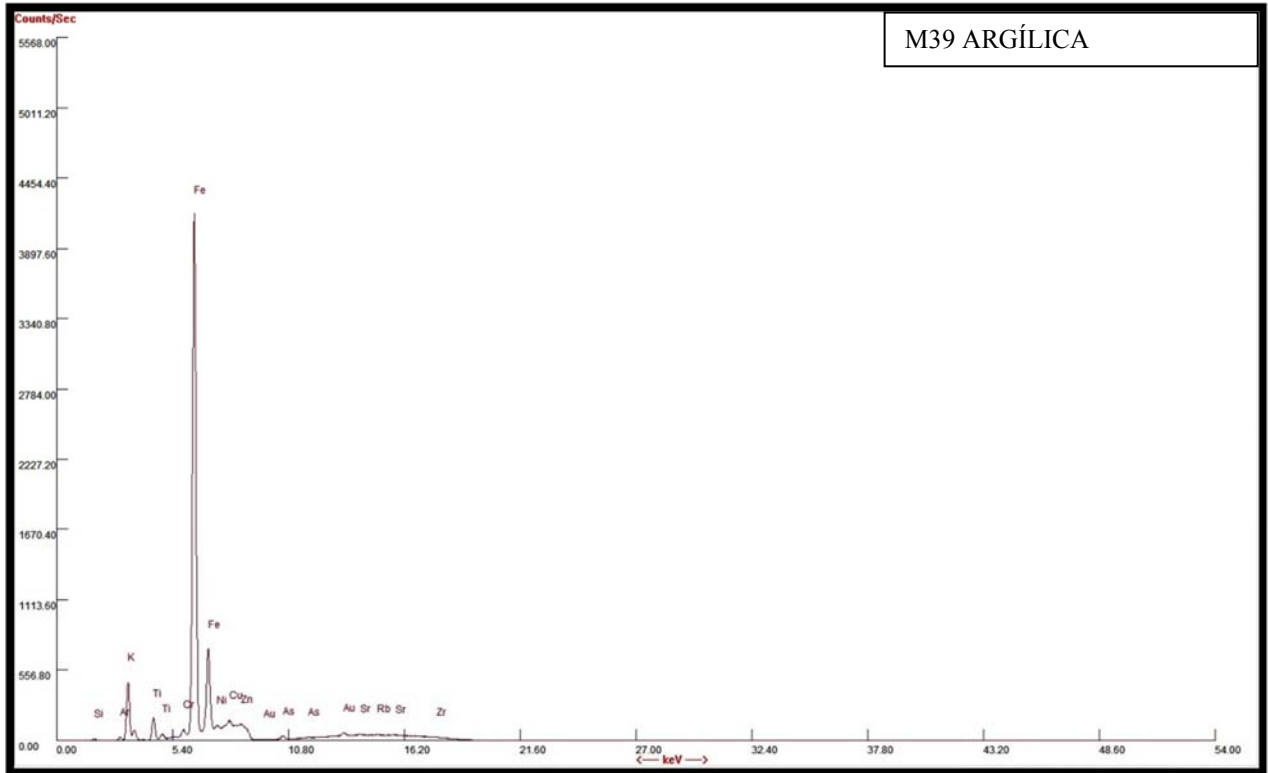


Figura 39.- M39 ARGÍLICA

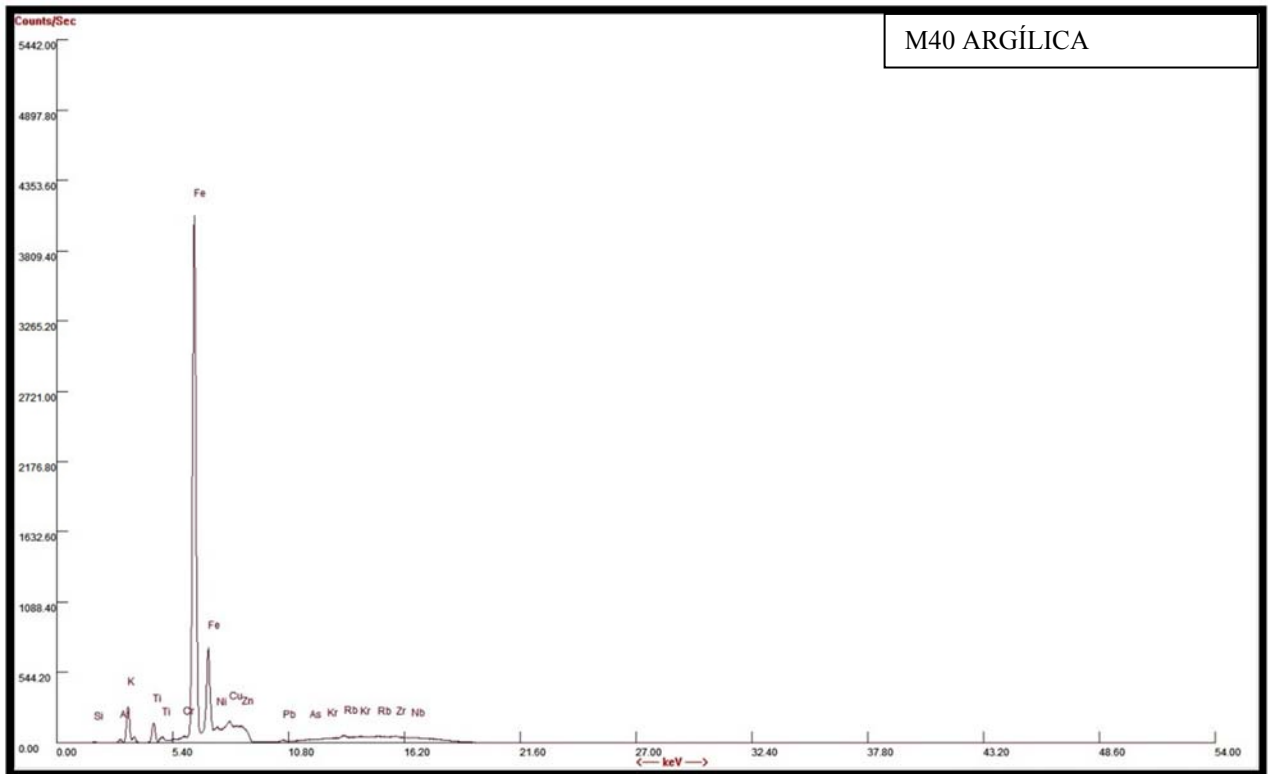


Figura 40.- M40 ARGÍLICA

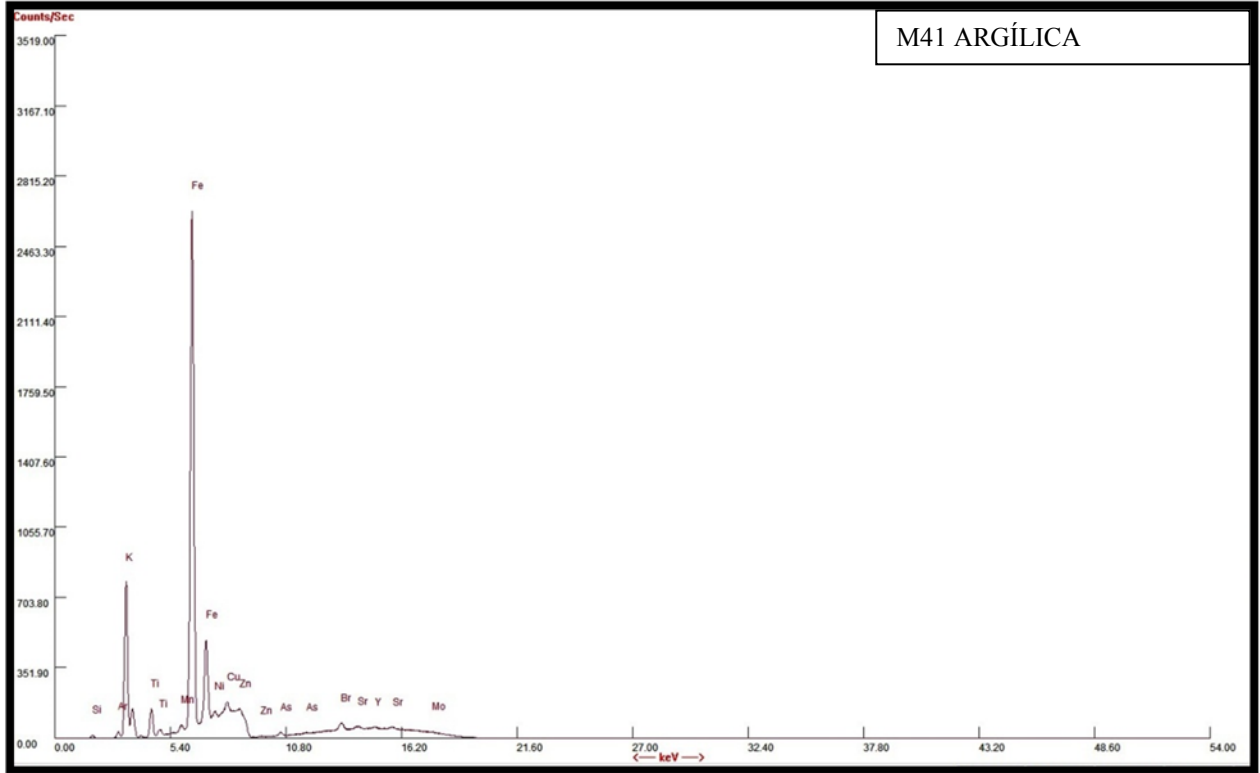


Figura 41.- M41 ARGÍLICA

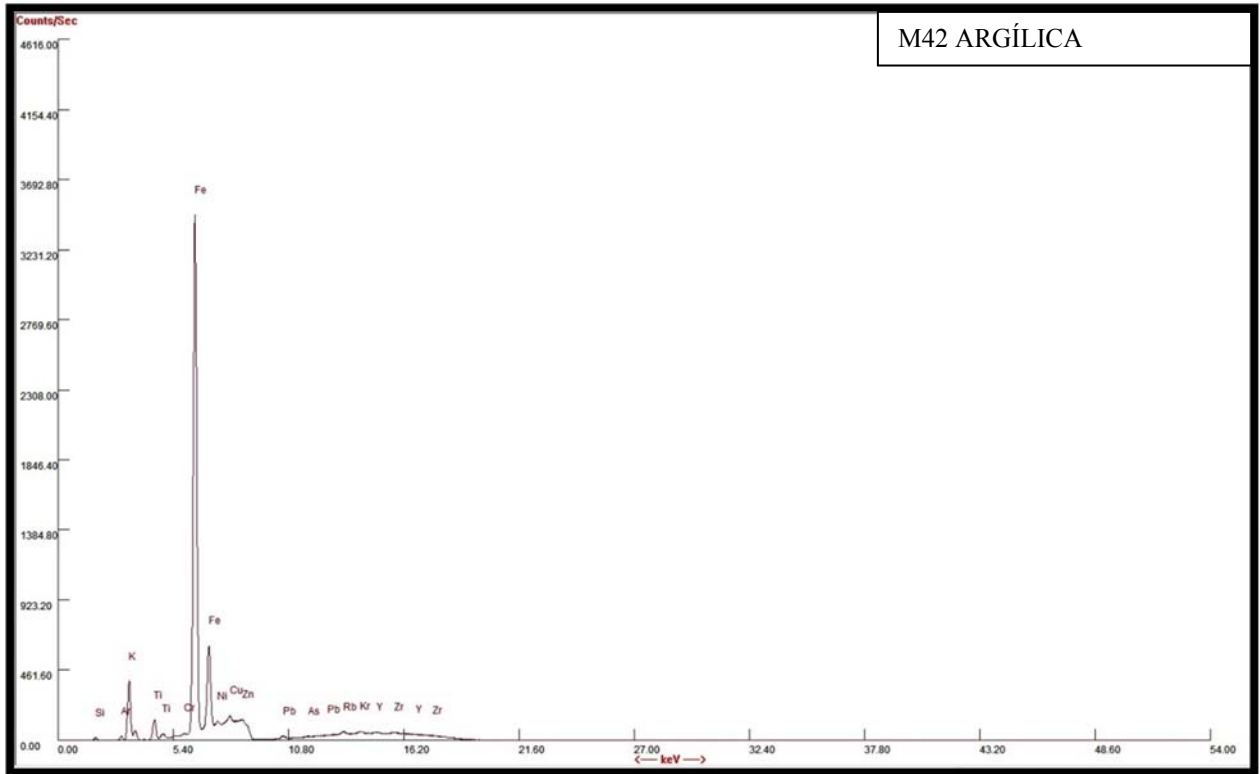


Figura 42.- M42 ARGÍLICA

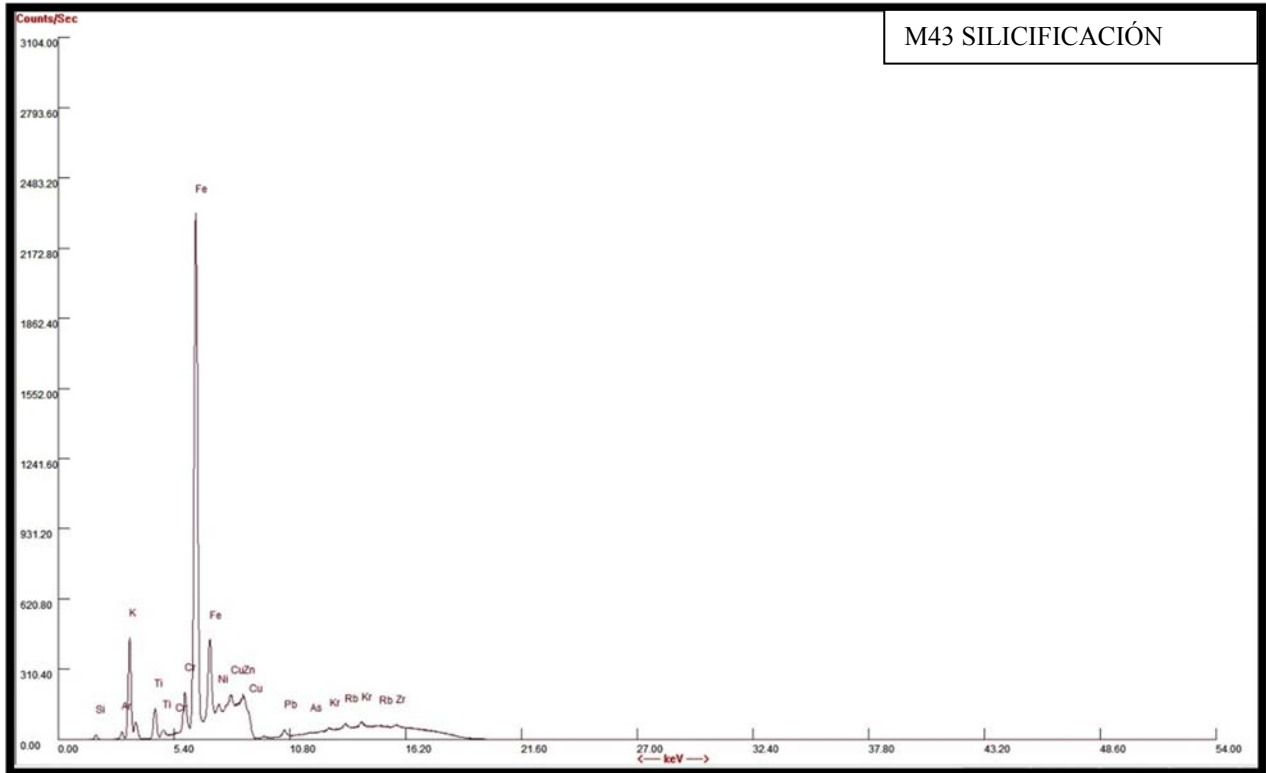


Figura 43.- M43 SILICIFICACIÓN

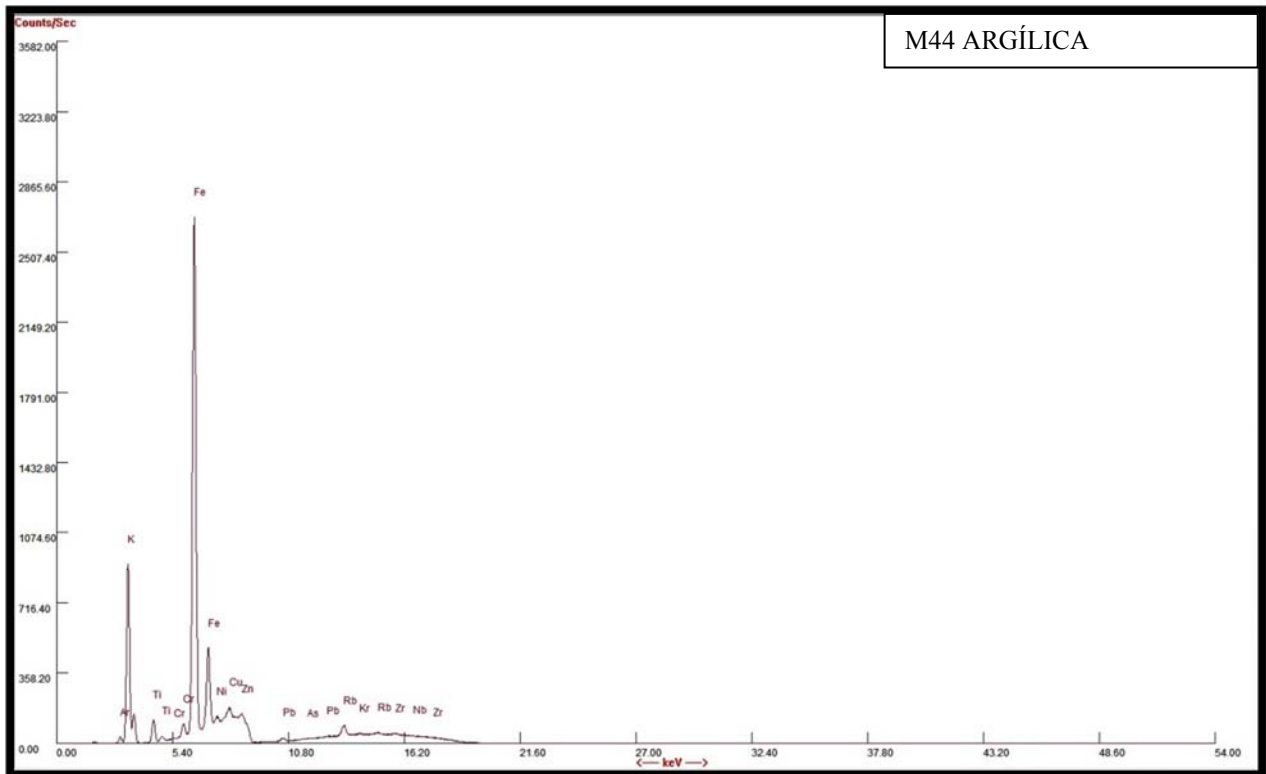


Figura 44.- M44 ARGÍLICA

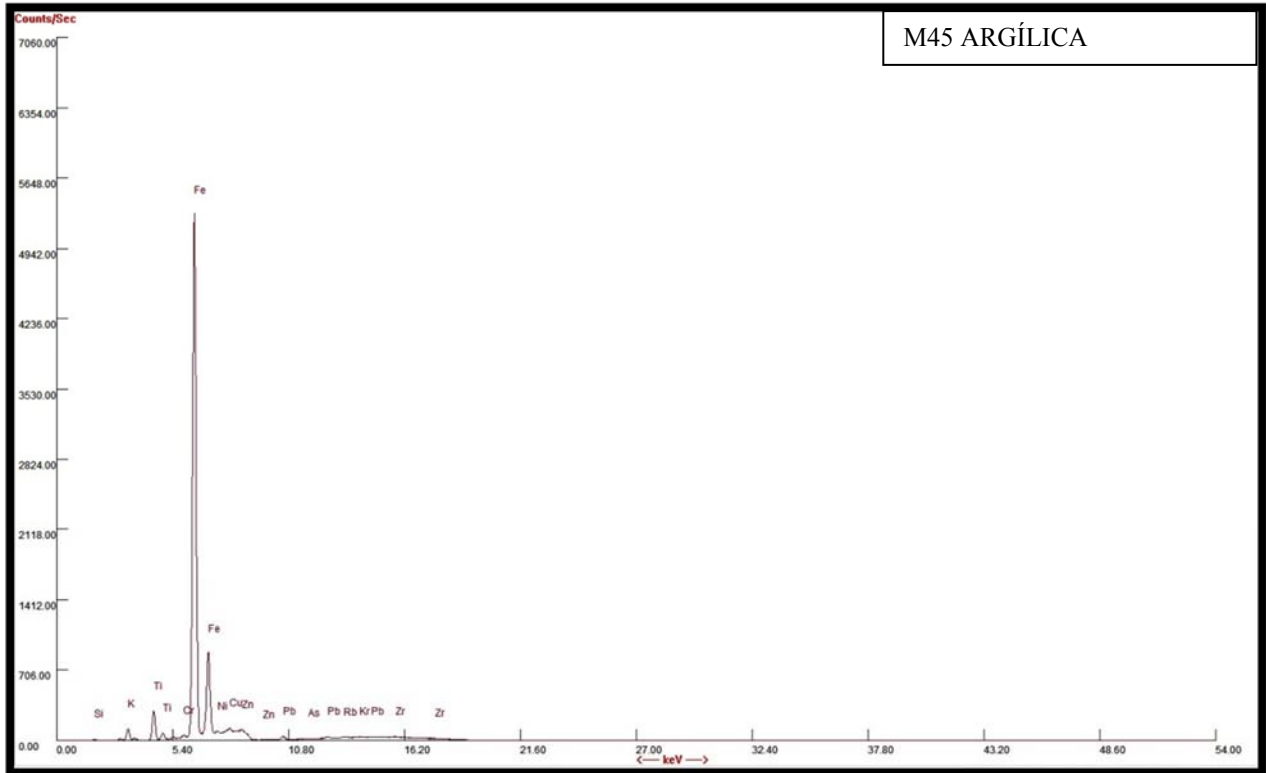


Figura 45.- M45ARGÍLICA

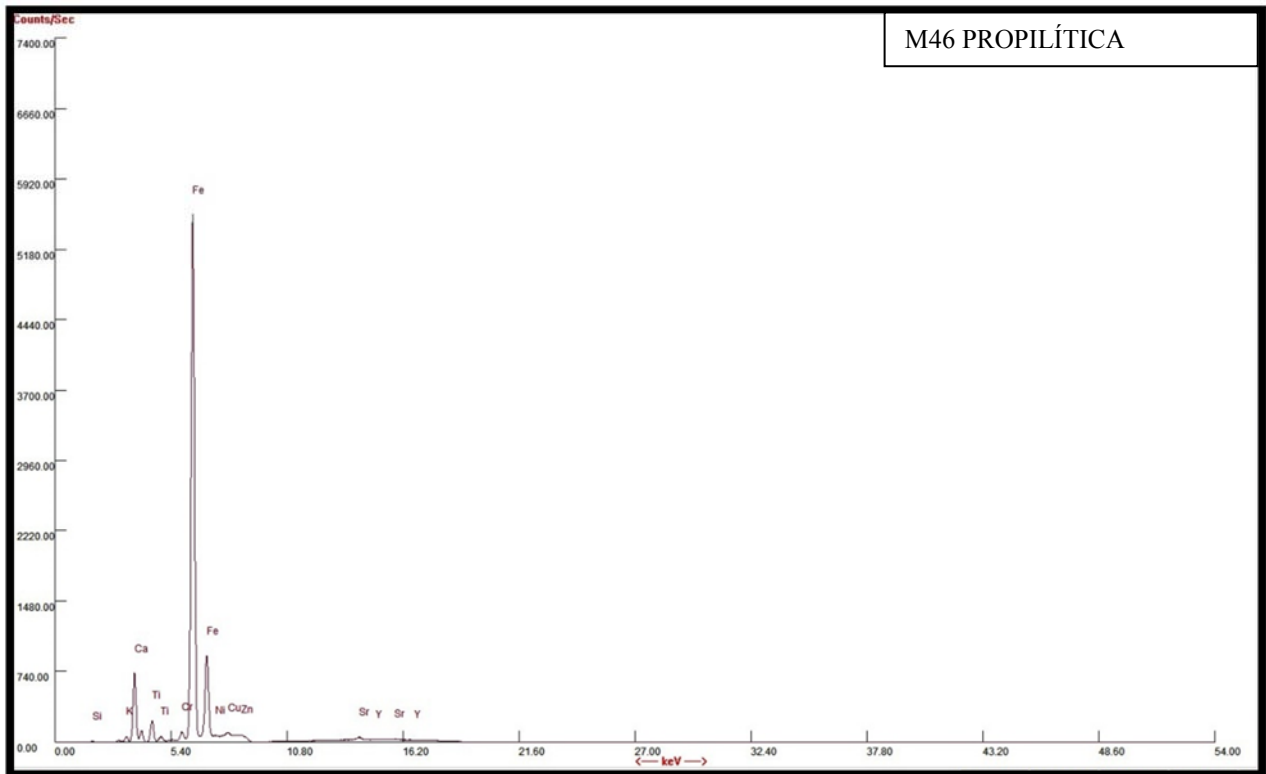


Figura 46.- M46 PROPILÍTICA

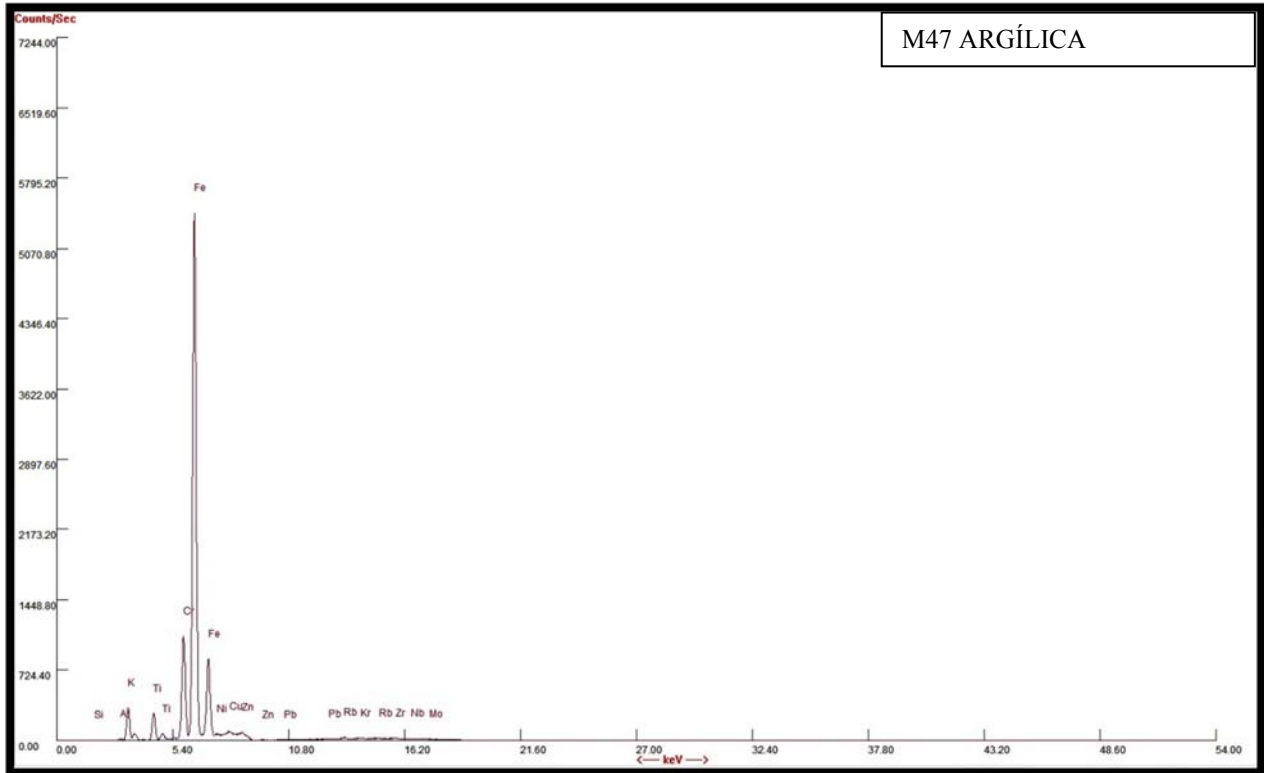


Figura 47.- M47 ARGÍLICA

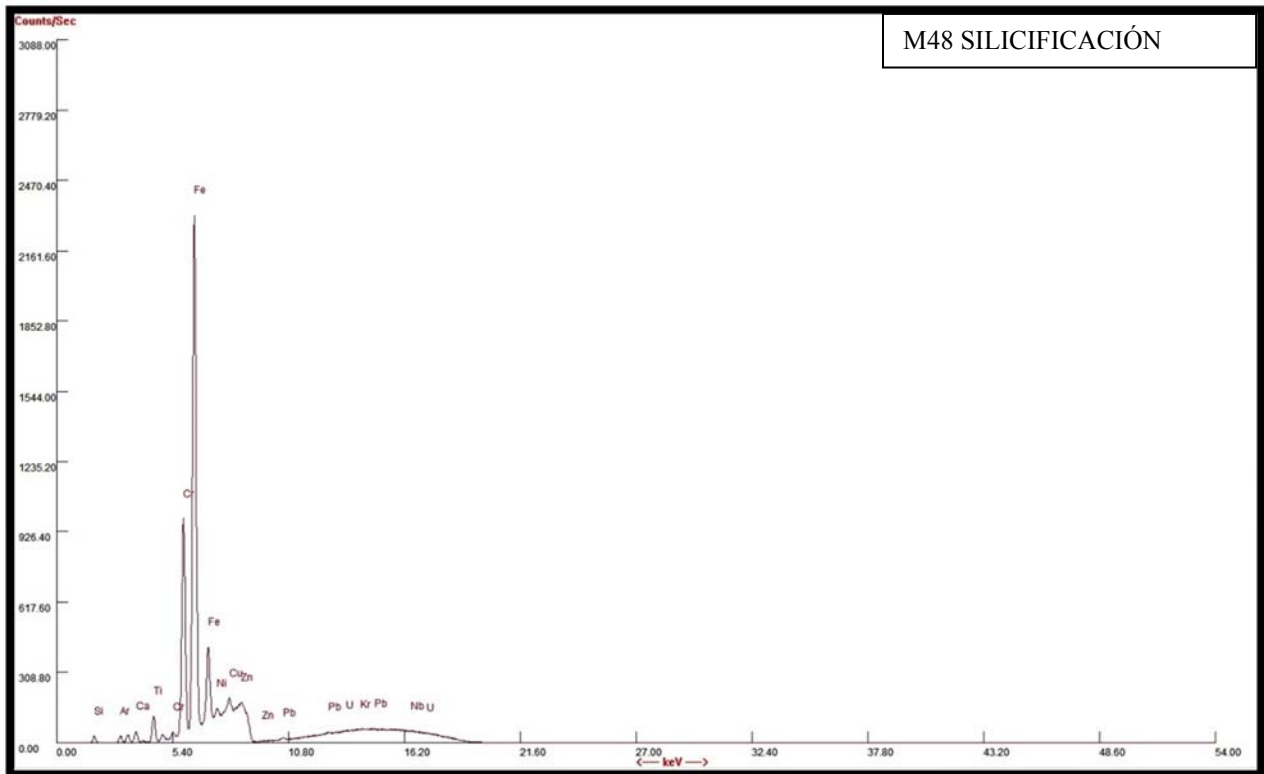


Figura 48.- M48 SILICIFICACIÓN

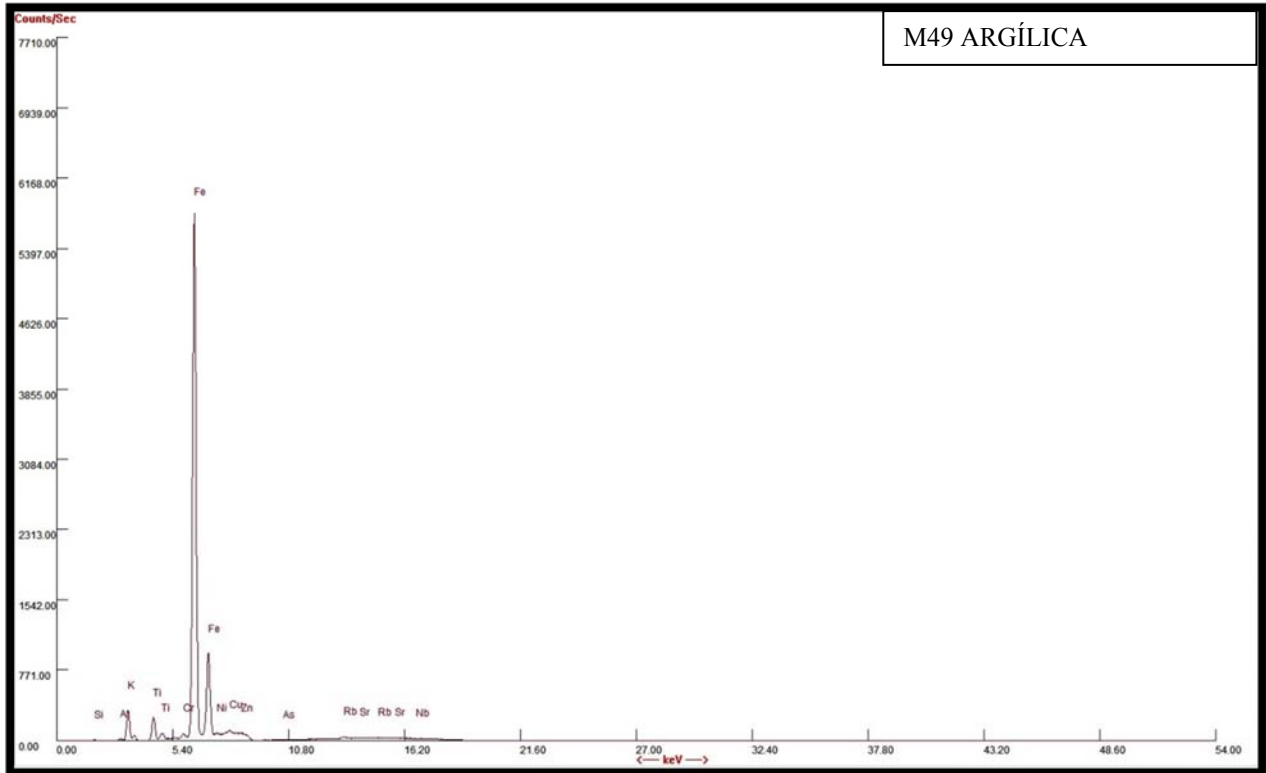


Figura 49.- M49 ARGÍLICA

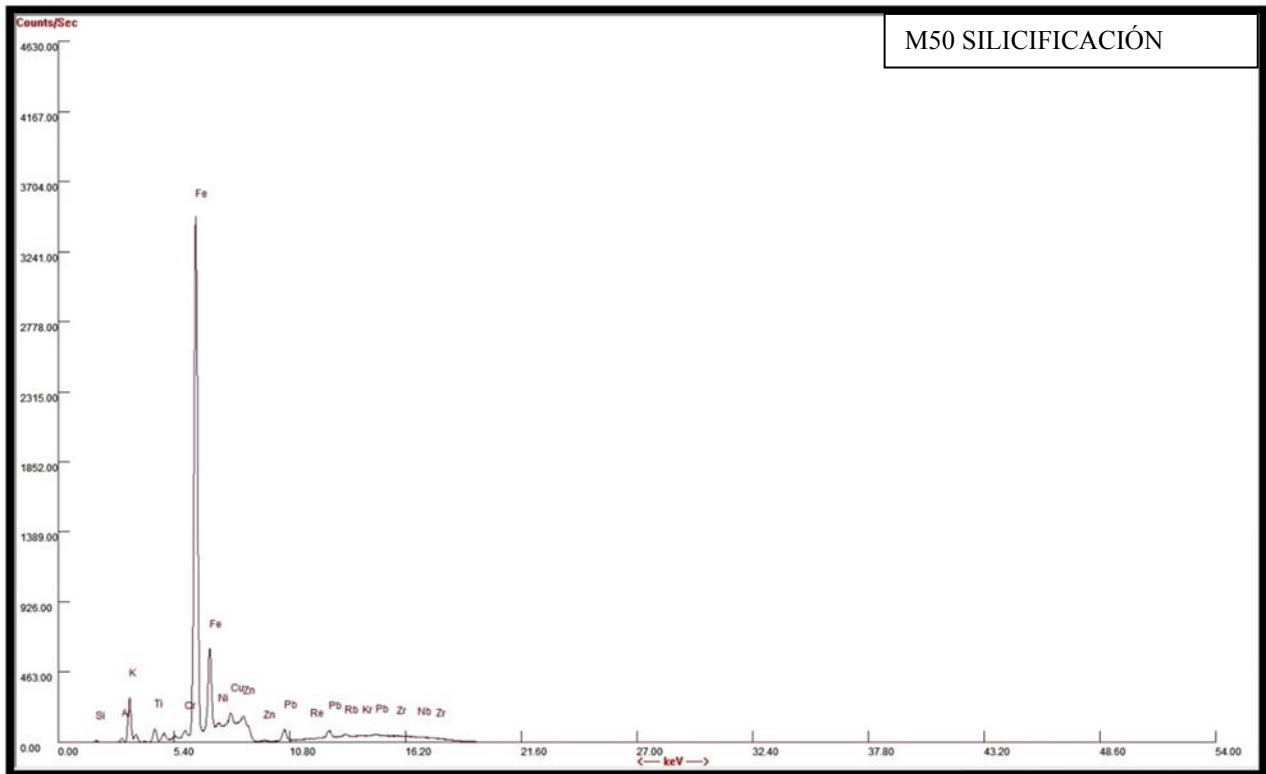
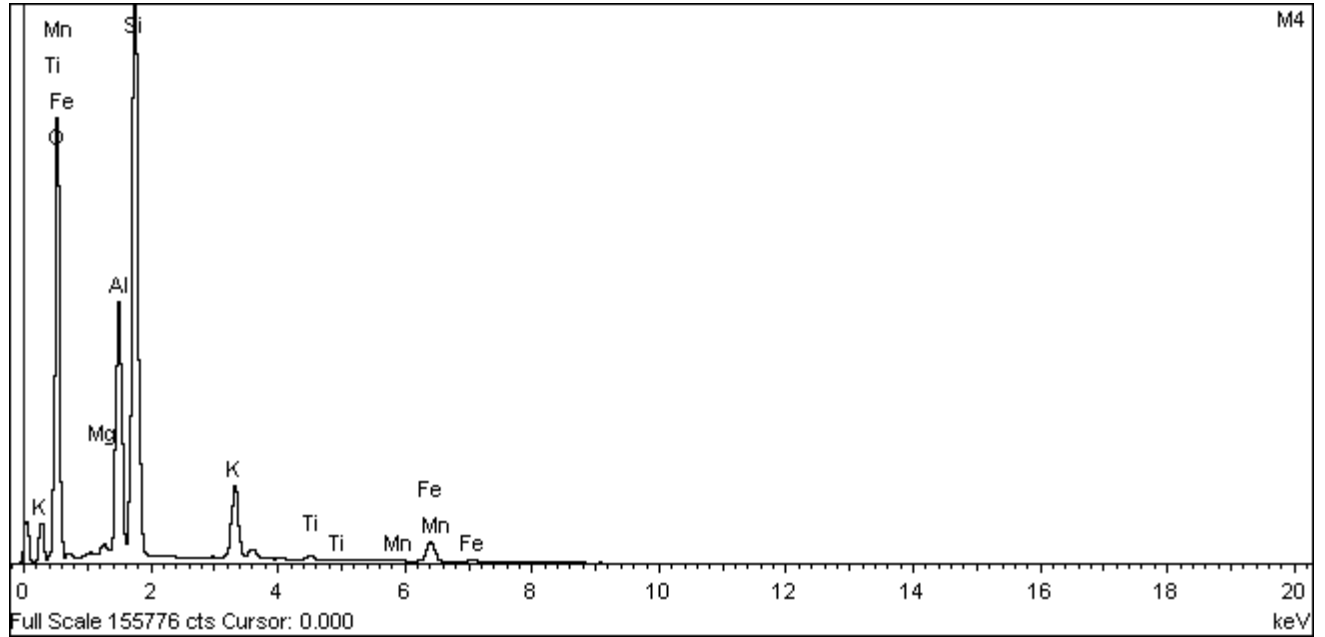


Figura 50.- M50 SILICIFICACIÓN

ANEXO IV

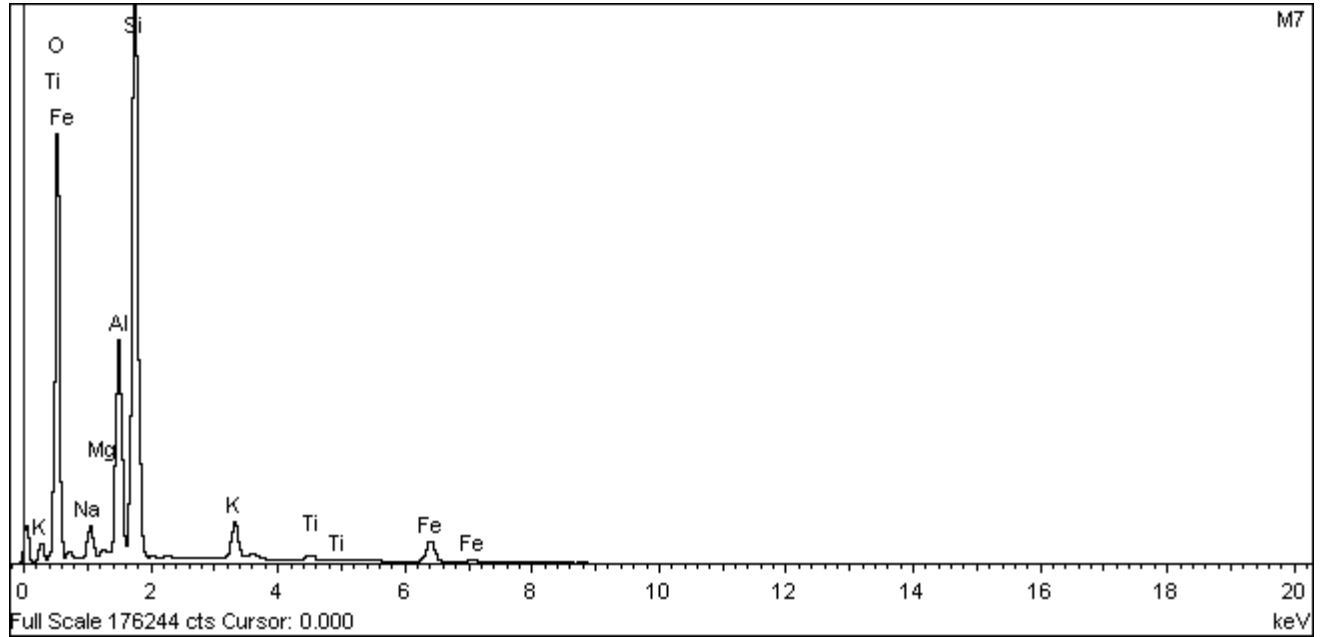
Microscopio electrónico de barrido (SEM - EDS)



ESPECTROGRAMA DE LA M4 PROPILÍTICA

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE M4 PROPILÍTICA

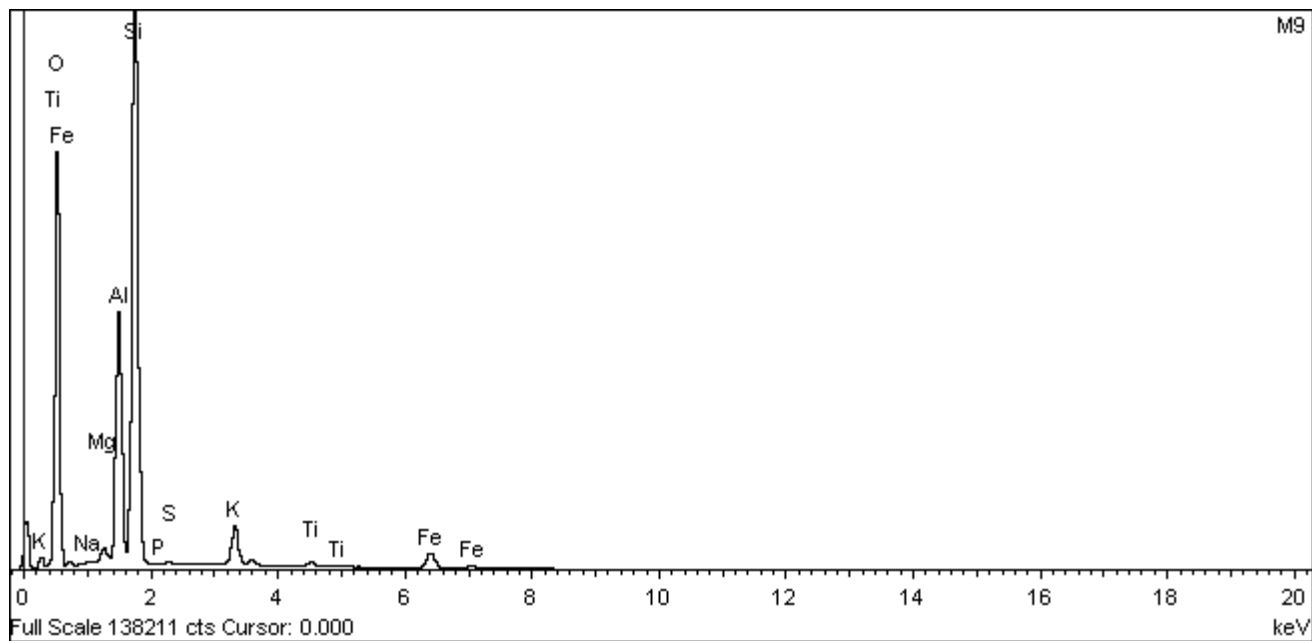
M4			
Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Mg	0.49	MgO	0.81
Al	11.91	Al ₂ O ₃	22.51
Si	29.86	SiO ₂	63.87
K	5.58	K ₂ O	6.72
Ti	0.39	TiO ₂	0.64
Mn	0.08	MnO	0.1
Fe	4.15	FeO	5.34
O	47.54		
Total	100		100



ESPECTROGRAMA DE LA M7 ARGÍLICA

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE M7 ARGÍLICA

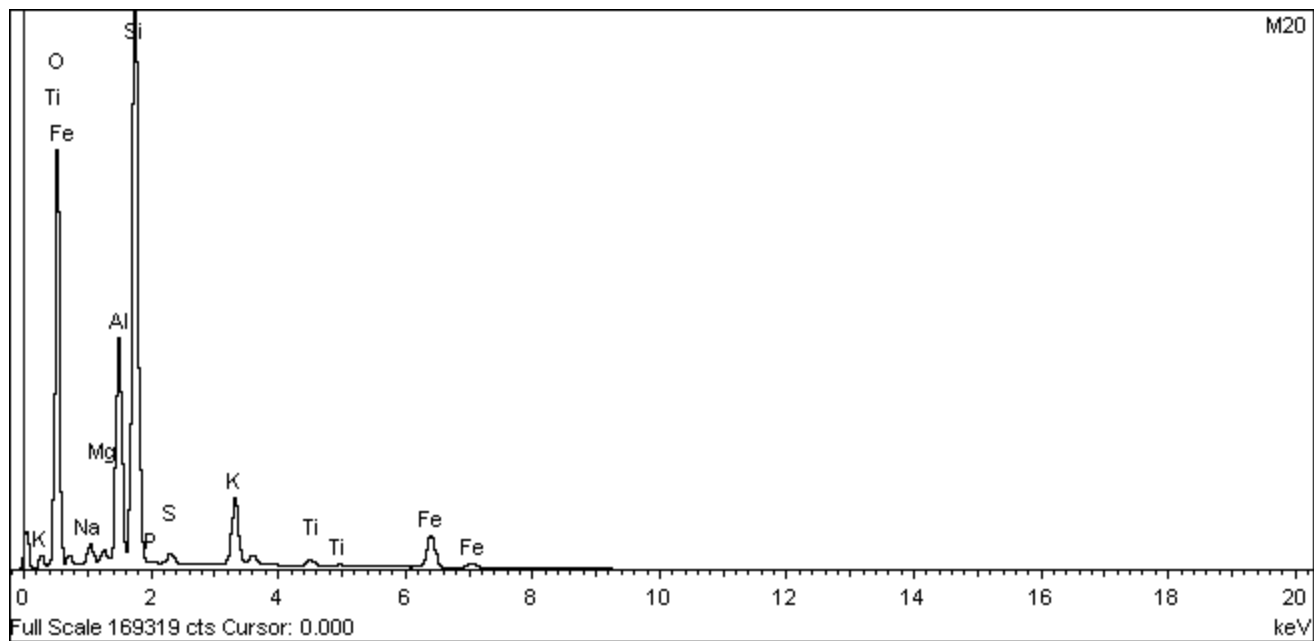
M7			
Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Na	2.66	Na ₂ O	3.59
Mg	0.34	MgO	0.56
Al	10.67	Al ₂ O ₃	20.16
Si	30.69	SiO ₂	65.66
K	2.85	K ₂ O	3.43
Ti	0.59	TiO ₂	0.98
Fe	4.37	FeO	5.62
O	47.83		
Total	100		100



ESPECTROGRAMA DE M9 PROPILÍTICA

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE M9 PROPILÍTICA

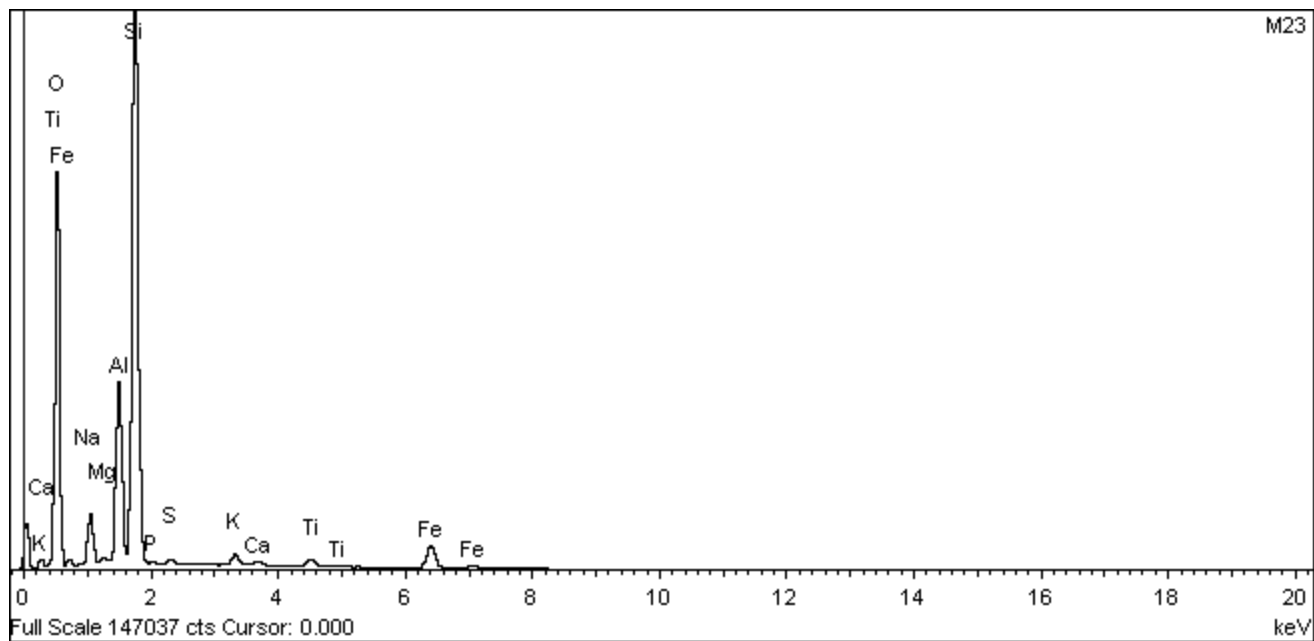
M9			
Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Na	0.16	Na ₂ O	0.22
Mg	0.76	MgO	1.26
Al	12.17	Al ₂ O ₃	23
Si	31.04	SiO ₂	66.41
P	0.11	P ₂ O ₅	0.25
S	0.15	SO ₃	0.37
K	3.03	K ₂ O	3.64
Ti	0.47	TiO ₂	0.79
Fe	3.15	FeO	4.05
O	48.95		
Total	100		100



ESPECTOGRAMA DE M20 ARGÍLICA

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE M20 ARGÍLICA

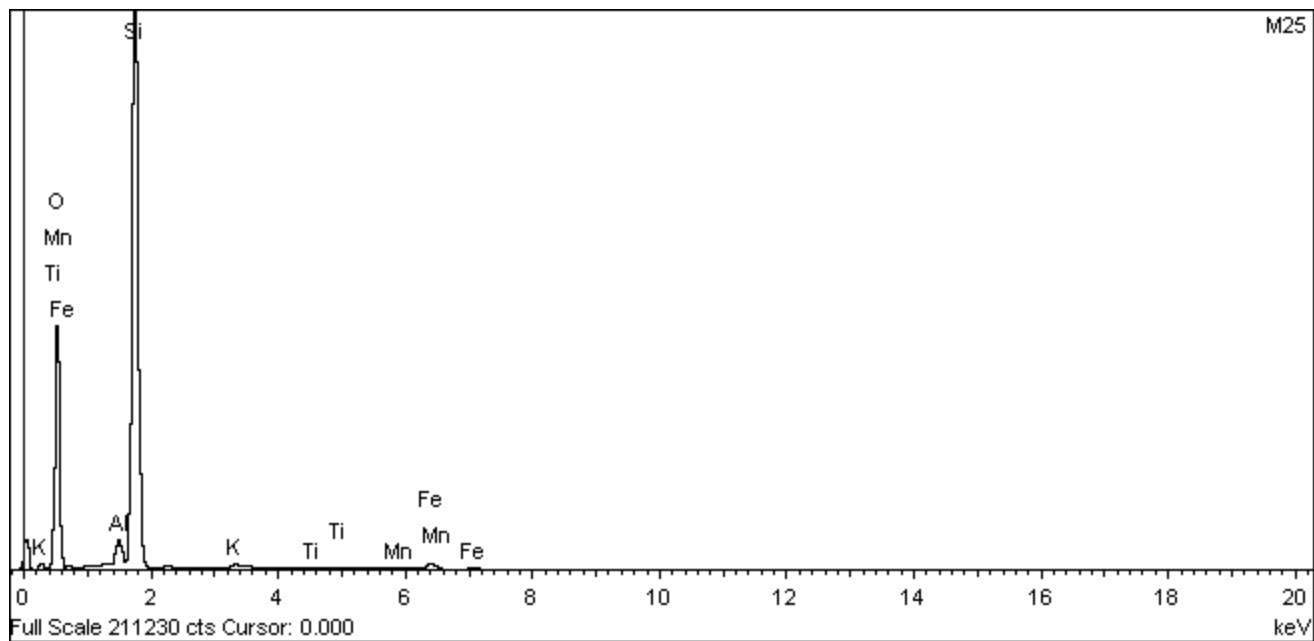
M20			
Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Na	1.58	Na ₂ O	2.13
Mg	0.56	MgO	0.93
Al	10.35	Al ₂ O ₃	19.56
Si	28.3	SiO ₂	60.54
P	0.24	P ₂ O ₅	0.55
S	0.7	SO ₃	1.75
K	4.67	K ₂ O	5.63
Ti	0.59	TiO ₂	0.99
Fe	6.16	FeO	7.92
O	46.84		
Total	100		100



ESPECTROGRAMA DE M23 ARGÍLICA

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE M23 ARGÍLICA

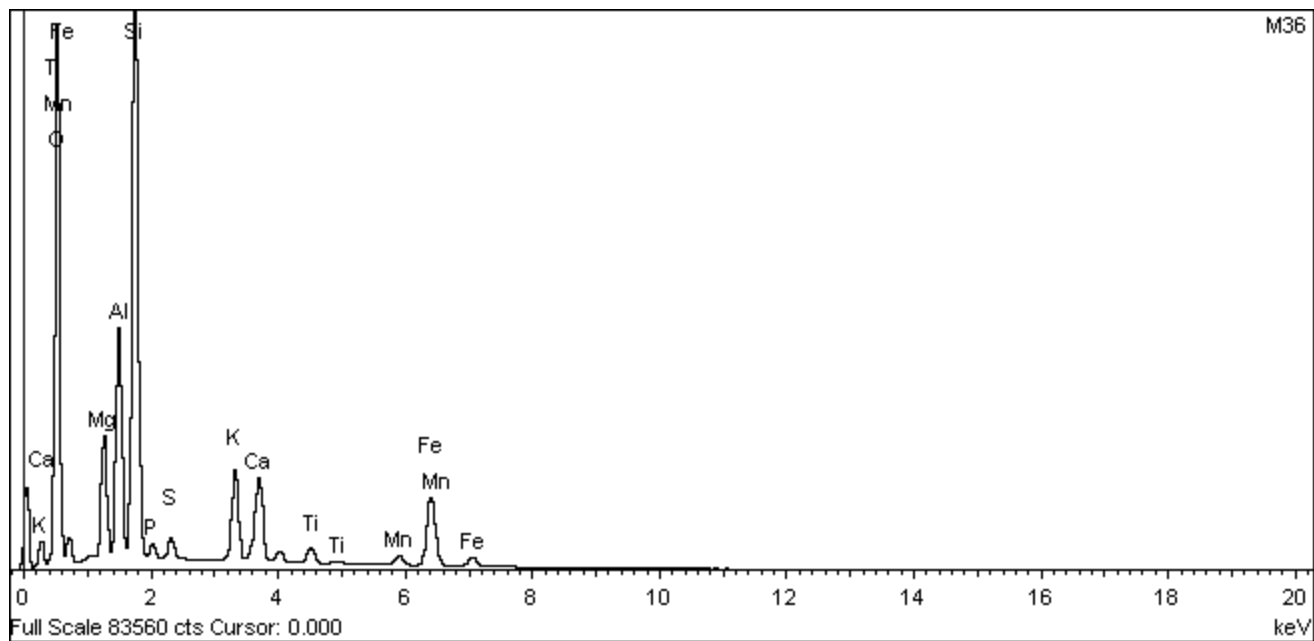
M23			
Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Na	4.28	Na ₂ O	5.77
Mg	0.27	MgO	0.44
Al	9.26	Al ₂ O ₃	17.5
Si	30.73	SiO ₂	65.73
P	0.29	P ₂ O ₅	0.65
S	0.41	SO ₃	1.03
K	0.82	K ₂ O	0.99
Ca	0.34	CaO	0.48
Ti	0.77	TiO ₂	1.28
Fe	4.76	FeO	6.12
O	48.08		
Total	100		100



ESPECTROGRAMA DE M25 SILICIFICACIÓN

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE M25 SILICIFICACIÓN

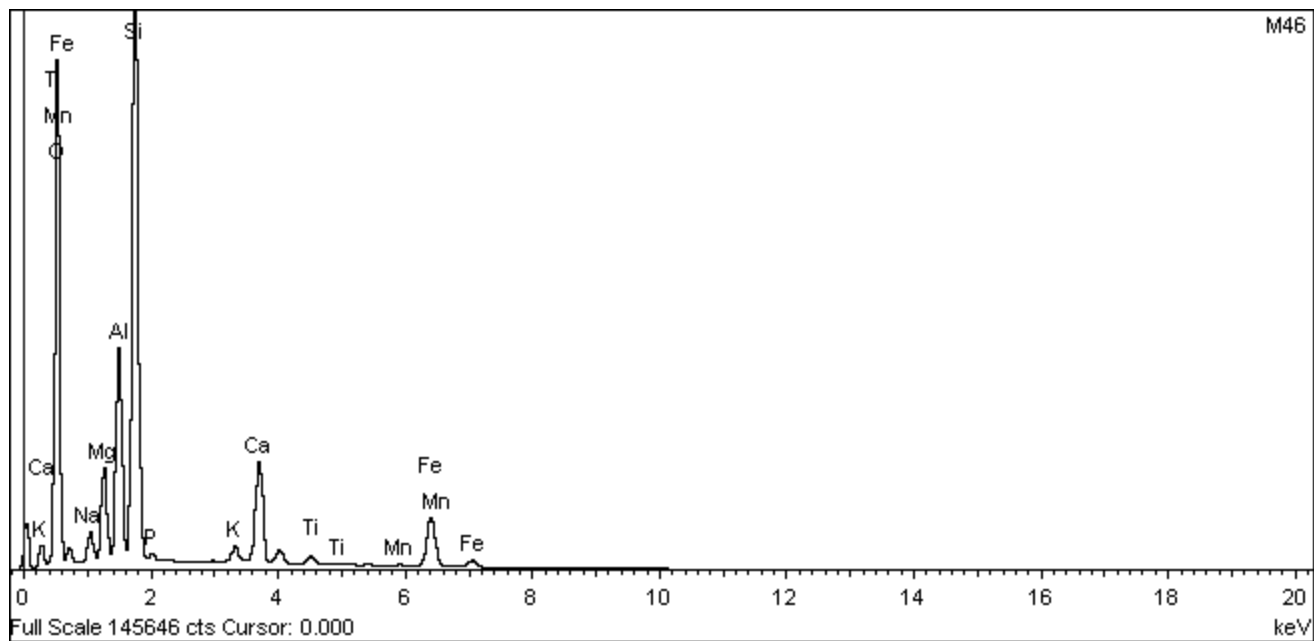
M25			
Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Al	1.92	Al ₂ O ₃	3.62
Si	43.43	SiO ₂	92.9
K	0.31	K ₂ O	0.37
Ti	0.09	TiO ₂	0.15
Mn	0.21	MnO	0.28
Fe	2.09	FeO	2.69
O	51.96		
Total	100		100



ESPECTROGRAMA DE M36 PROPILÍTICA

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE M36 PROPILÍTICA

M36			
Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Mg	5.13	MgO	8.51
Al	8.38	Al ₂ O ₃	15.83
Si	20.71	SiO ₂	44.3
P	0.79	P ₂ O ₅	1.82
S	1.03	SO ₃	2.58
K	4.45	K ₂ O	5.36
Ca	4.51	CaO	6.31
Ti	1.13	TiO ₂	1.88
Mn	1.07	MnO	1.38
Fe	9.36	FeO	12.04
O	43.45		
Total	100		100



ESPECTROGRAMA DE M46 PROPILÍTICA

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE M46 PROPILÍTICA

M46			
Elemento	% Peso	Formula del oxido	% Oxido
Na	1.9	Na ₂ O	2.56
Mg	4.4	MgO	7.29
Al	8.79	Al ₂ O ₃	16.62
Si	23.99	SiO ₂	51.33
P	0.47	P ₂ O ₅	1.08
K	0.87	K ₂ O	1.04
Ca	6.27	CaO	8.77
Ti	0.67	TiO ₂	1.12
Mn	0.18	MnO	0.23
Fe	7.74	FeO	9.96
O	44.72		
Total	100		100