

Métodos de Estudio de los Minerales del Grupo de la Clorita

Carlos Alberto García Ramírez
Universidad Industrial de Santander

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende mostrar una serie de métodos mineralógicos y petrográficos de investigación, aplicados a los minerales del grupo de las cloritas.

Este estudio está basado en las observaciones y análisis hechos por el autor (GARCIA C. et. al., 1990; GARCIA C. 1991).

El objetivo principal es presentar una metodología de estudio de las cloritas basada en la conjugación de métodos petrográficos y mineralógicos, los cuales se complementan entre sí. Inicialmente se ha aplicado esta metodología al estudio de las cloritas metamórficas, pudiéndose utilizar también en cloritas hidrotermales y sedimentarias.

La metodología planteada permite la caracterización química, mineralógica, estructural y petrográfica de las cloritas: determinándose de esta manera sus propiedades tipomórficas, las cuales pueden encontrar aplicación en la solución de problemas estratigráficos y de metamorfismo como delimitación de subfacies.

RESUMEN

La aplicación de métodos mineralógicos (Espectroscopía infrarroja, difracción de rayos X, y análisis térmicos) y petrográficos (Microscopía óptica, determinación de los índices de refracción por inmersión), permitieron la caracterización de la ripidolita, turingita, turingita-afrosiderita.

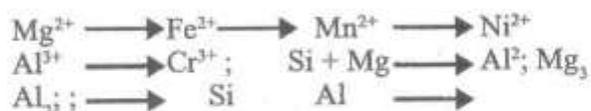
Los resultados obtenidos muestran una buena correlación entre los distintos métodos, los cuales permiten la identificación de los minerales del grupo de la clorita.

El modo del cambio de las características químicas y estructurales pueden emplearse en la solución de problemas estratigráficos y de metamorfismo.

GENERALIDADES

La familia de las cloritas la conforman un grupo de minerales pertenecientes a los aluminosilicatos monoclinicos estratificados de hierro y magnesio que contienen a veces níquel y cromo. En la estructura cristalina de las cloritas los paquetes de tres capas del tipo de talco $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ se alternan con las capas del tipo de brucita $Mg(OH)_2$ o de hidrargilita $Al(OH)_3$. Para las cloritas de 14Å se han establecido 12 politipos.

La diversidad de la composición química de las cloritas está determinada por las amplias sustituciones isomórficas (en los paquetes tetraédricos y octaédricos) de los elementos principales:



Las cloritas forman también minerales de capas mixtas, que se caracterizan por la alternación de paquetes cloríticos con caolinita, montmorillonita, fengita o illita.

Los minerales cloríticos forman agregados hojosos, escamosos, masas enteras; para la chamosita, son característicos agregados criptocristalinos y oolitos. Presentan clivaje perfecto según {001}. Dureza 2-3. Densidad 2,5-2,7.

De acuerdo a la composición y las particularidades estructurales se distinguen cloritas magnesianas (pennina, clinocloro); magnesiano-ferruginosas (ripidolita o proclorita) y ferruginosas (chamosita, turingita, afrosiderita).

METODOLOGÍA

Se estudiaron las cloritas metamórficas de los esquistos y cuarcitas de baja ley; rocas encajantes de los depósitos de hierro en los yacimientos Zelionovsky y Shimanovsky, localizados en la parte sur de la cuenca precámbrica ferruginosa de Krivoy Rog (banded Iron Formation) en el Escudo Ucraniano.

La etapa inicial consistió en la obtención de fracciones monominerales de clorita con alto grado (96-98%) de pureza; para esto se realizó un análisis petrográfico y mineralógico de los esquistos y cuarcitas; determinándose de esta forma la génesis de las cloritas; las muestra de mano (1/4 parte) correspondientes a las rocas analizadas fueron trituradas y tamizadas.

El material escogido fue el comprendido entre -310 y +250 micras, el cual por métodos

magnéticos (separadores magnéticos) fue dividido en dos fracciones (magnética y no magnética). En lo sucesivo se trabajó con la fracción no magnética, en donde aún coexistían con la clorita, cuarzo, granate, grunerita, biotita, carbonatos. Para separar la clorita de estos minerales se utilizó el método gravitacional de beneficio (mesa gravitacional) se completó el proceso con una limpieza «a mano» con ayuda del microscopio.

En total se obtuvieron 30 fracciones monominerales de clorita, a los cuales se les realizó un análisis de espectroscopia infrarroja en el aparato Specord 75 IR con prisma de KBr en la región de 400-4000 cm^{-1} .

Como resultado fueron escogidas 5 muestras, las cuales eran las más representativas, correspondiendo a las variedades: Ripidolita (muestras Z-9, Z-22); Turingita (Z -38) y Turingita-afrosiderita (Z-36), pertenecientes al yacimiento Zelionovsky y una muestra de Turingita (Sh-26) del yacimiento Shimanovsky.

A estas 5 muestras se le realizaron una serie de análisis en conjunto: Microscopía óptica utilizando microscopios MBC-9, MP-3, NU-2E, Polam-311; determinación de los coeficientes de refracción en el microscopio POLAM-311, utilizando líquidos de inmersión y el refractómetro IRF-454. Los análisis térmicos fueron efectuados por calentamiento al aire desde 20 hasta 1100°C en un aparato UTA-1M. La difracción por rayos X se realizó en un aparato DRON-1 utilizando ánodo de hierro.

RESULTADOS

Dadas las particularidades estructurales (Tabla 1) y el carácter de los difractogramas (Figura 1), los minerales estudiados pertenecen a las cloritas normales (distancia basal aproximadamente igual a 14Å). Las fórmulas cristalóquímicas de las cloritas (Tabla 2), fueron calculadas por la metodología de Brindley G. (1965) con base en el parámetro b, la intensidad de la línea 001 y la correlación lineal entre el parámetro b y el contenido de hierro (Deer W. et. al. (1962); Mijeev V. (1953)).

A juzgar por los reflejos de las series 060 y 20 L (202, 208), el grado de ordenamiento de estas cloritas es alto, correspondiendo al politipo II b. La cantidad de Al y Fe en las cloritas fue determinada por los reflejos d001 y d060.

En el diagrama de Deer W. et. al. (1962) d001 Vs Al (Figura 2), se nota claramente la diferencia entre la ripidolita y turingita, reflejada por un mayor grado de isomorfismo (Si \rightarrow Al) en las turingitas o sea mayor cantidad de Al

reemplaza al Si en las posiciones tetraédricas del mineral. Otra relación muy clara e informativa nos da la Figura 3, la cual está basada en las observaciones de Mijeev (1953) acerca de la relación existente entre la distancia interbasal d060 y la cantidad de Fe²⁺ en la estructura del mineral. El contenido de Fe²⁺ también está en proporción directa con el valor de los coeficientes de refracción de las cloritas (Figura 4).

hkl	Ripidolita Z-9		Ripidolita Z-22		Turingita Afrosiderita Z-36		Turingita Z-38		Turingita SH-26	
	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n
001	7	14.13	4	14.13	4	14.10	5	14.10	4	14.10
002	10	7.10	10	7.08	10	7.09	10	7.08	10	7.08
003	5	4.72	5	4.70	9	4.72	5	4.71	5	4.71
004	9	3.24	9	3.54	10	3.54	10	3.54	9	3.54
005	--	2.32	3	2.82	4	2.82	3	2.83	--	2.82
202	1	2.40	1	2.40	1	2.40	2	2.40	1	2.40
060	2	1.553	2	1.553	2	1.556	3	1.555	1	1.555
208	1	1.390	2	1.393	2	1.393	2	1.393	2	1.393
0.0.12	1	1.179	1	-----	1	1.177	--		1	1.137
PARAMETROS DE LA CELDA UNIDAD										
Csen β	14.16Å	14.13Å	14.13Å	14.14Å	14.13Å	14.13Å	14.13Å	14.13Å	14.13Å	14.13Å
a	5.43Å	5.40Å	5.40Å	5.40Å	5.40Å	5.40Å	5.40Å	5.40Å	5.40Å	5.40Å
b	9.32Å	9.32Å	9.32Å	9.32Å	9.32Å	9.32Å	9.34Å	9.34Å	9.34Å	9.34Å
c	14.30Å	14.25Å	14.25Å	14.26Å	14.25Å	14.25Å	14.25Å	14.25Å	14.25Å	14.25Å
β	98° 9'	97° 30'	97° 30'	97° 32'	97° 30'	97° 30'	97° 30'	97° 30'	97° 33'	97° 33'

Tabla 1. Particularidades estructurales de las cloritas.

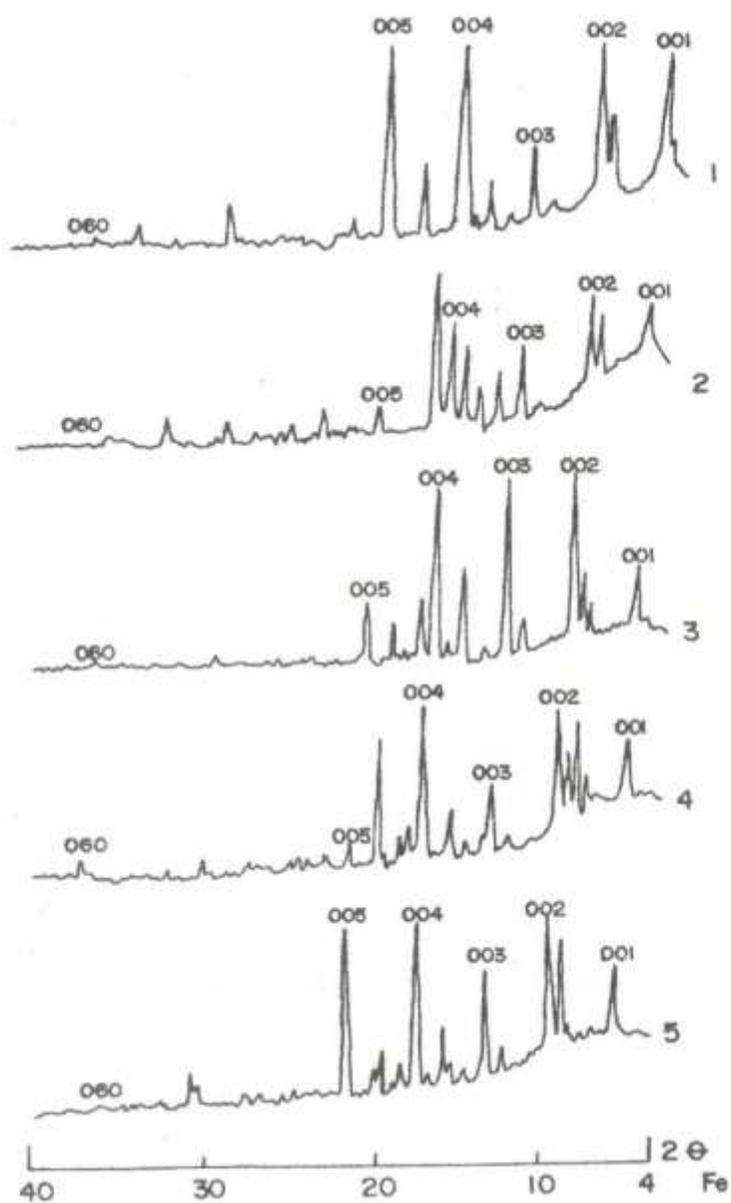


Figura 1. Diffractogramas de las cloritas:
 1.- Ripidolita (Z-9).
 2.- Ripidolita (Z-22).
 3.- Turingita - afrosiderita (Z-36).
 4.- Turingita (Z-38).
 5.- Turingita (Sh-26)

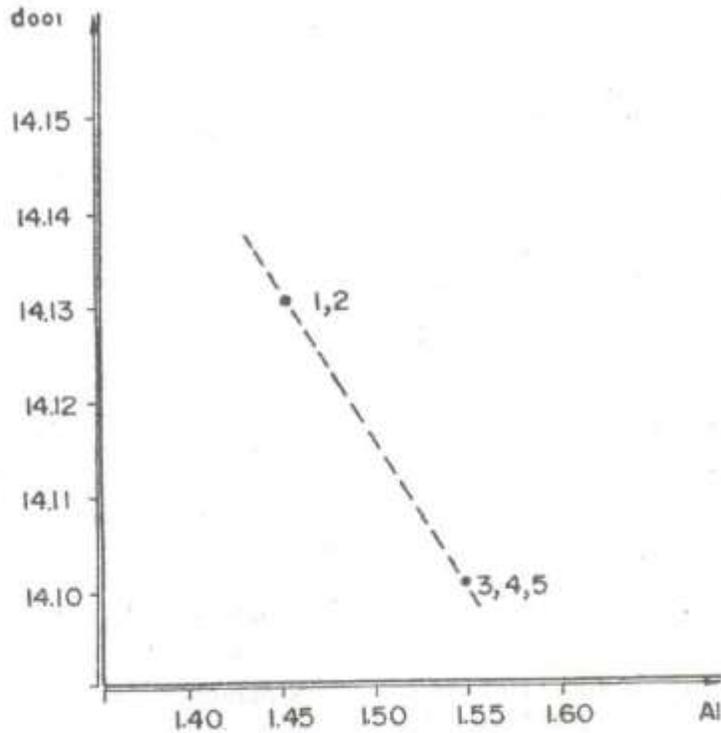


Figura 2. Posición de las muestras de clorita en el gráfico dooi vs Al de DEER, W. et al. (1964). 1.- Ripidolita (Z-9); 2.- Ripidolita (Z-22); 3.- Turingita-afrosiderita (Z-36); 4.- Turingita (Z-38); 5.- Turingita (Sh-26).

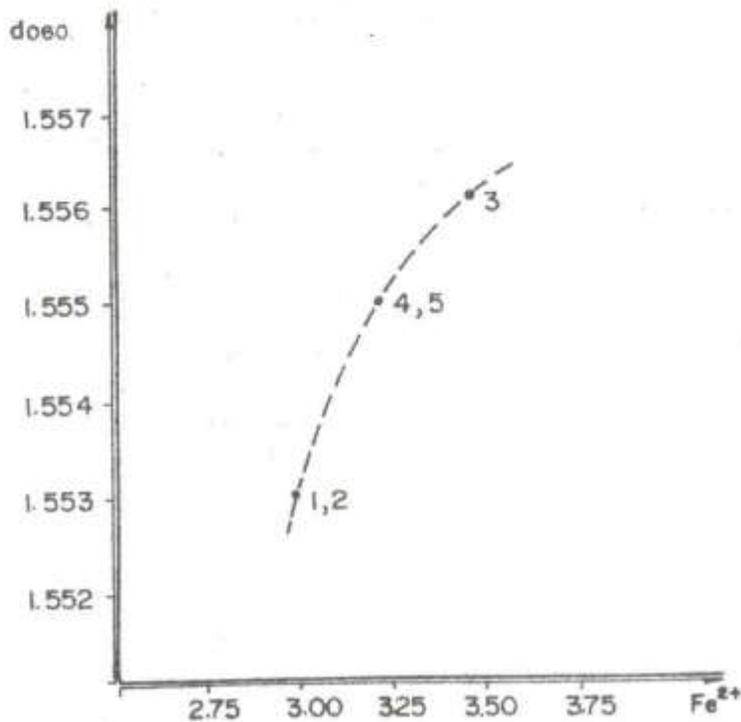


Figura 3. Posición de las muestras de clorita en el gráfico d060 vs Fe²⁺ de MIJEEV, V. (1953). Los números de las muestras son los mismos de la figura 2.

RIPIDOLITA

En el microscopio presenta un color verde claro ($N_x = N_y$) hasta incoloro con matices amarillentos (N_x). N_z-N_x varía desde 0.002 (Z-9) hasta 0.004 (Z-22) el coeficiente de refracción por N_y fluctúa entre 1.646 y 1.648.

Los espectros infrarrojos fueron interpretados con base a los trabajos publicados por Stubichan (1964), Arjipienko et. Al. (1970), Shirozu (1985). Según esto, las regiones vibratorias de absorción en la ripidolita corresponden a los enlaces Si-O-Mg; Si-O; O-H.

En la región 400-500 cm^{-1} se destaca una banda de absorción correspondiendo a la vibración del enlace Si-O-Mg (Figura 5).

En la ripidolita se observan dos bandas de igual (Z-9) y diferente (Z-22) intensidad en el intervalo 500-800 cm^{-1} y 800-1100 cm^{-1} , correspondiendo al enlace Si-O. Estas dos últimas bandas se mantienen estables (sin desplazamientos).

Las bandas de absorción en el diapasón 550-800 cm^{-1} están influenciadas por la correlación que existe entre el Al^{IV} y Al^{VI} en la estructura del mineral. El termograma (Figura 6) de la ripidolita (Z-9) es el típico de las variedades magnésiano-ferruginosas. Se observan dos efectos endotérmicos con temperaturas 550-560 y 760 °C. El primer endoeffecto está relacionado con el desprendimiento del agua de cristalización de la capa de brucita y el segundo la de talco. A los 840 °C. aparece un efecto exotérmico condicionado, según parece por la destrucción de la estructura cristalina del mineral. La deshidratación ocurre en tres etapas:

1. Pérdida del 65% de agua (9,3% pérdida de masa)
2. Pérdida del 15,3% de agua (2,18 % pérdida de masa) a la temperatura de 750°C.
3. Pérdida del 19,5% de agua (2,78% pérdida de masa) a los 840°C.

García C. (1991) analiza la distribución de la ripidolita y llega a las siguientes conclusiones: La ripidolita del yacimiento Zelionovsky se presenta formando agregados laminares y escamosos en los esquistos y cuarcitas de los horizontes de esquisto 3, 4 y 5 de la serie productiva Saksagan. Las asociaciones minerales más comunes en estas rocas según este autor son:

- Ripidolita + almandino + biotita + grunerita + cuarzo \pm magnetita.
- Ripidolita + almandino + grunerita \pm cuarzo, magnetita.

En el yacimiento Shimanovsky se presenta la ripidolita en los horizontes 1 y 2 de esquistos, pero asociándose a los mismos minerales que en el yacimiento Zelionovsky.

Las mencionadas paragénesis minerales corresponden a la zona de granate de la facies de esquistos verdes.

La distribución de la ripidolita y el granate fuera de ser indicadores del grado de metamorfismo, pueden utilizarse en correlaciones estratigráficas en depósitos precámbricos ferruginosos, caracterizados por la disposición zonada, rítmica y monótona de los estratos como intercalaciones de cuarcitas ferruginosas y esquistos (García C. 1991).

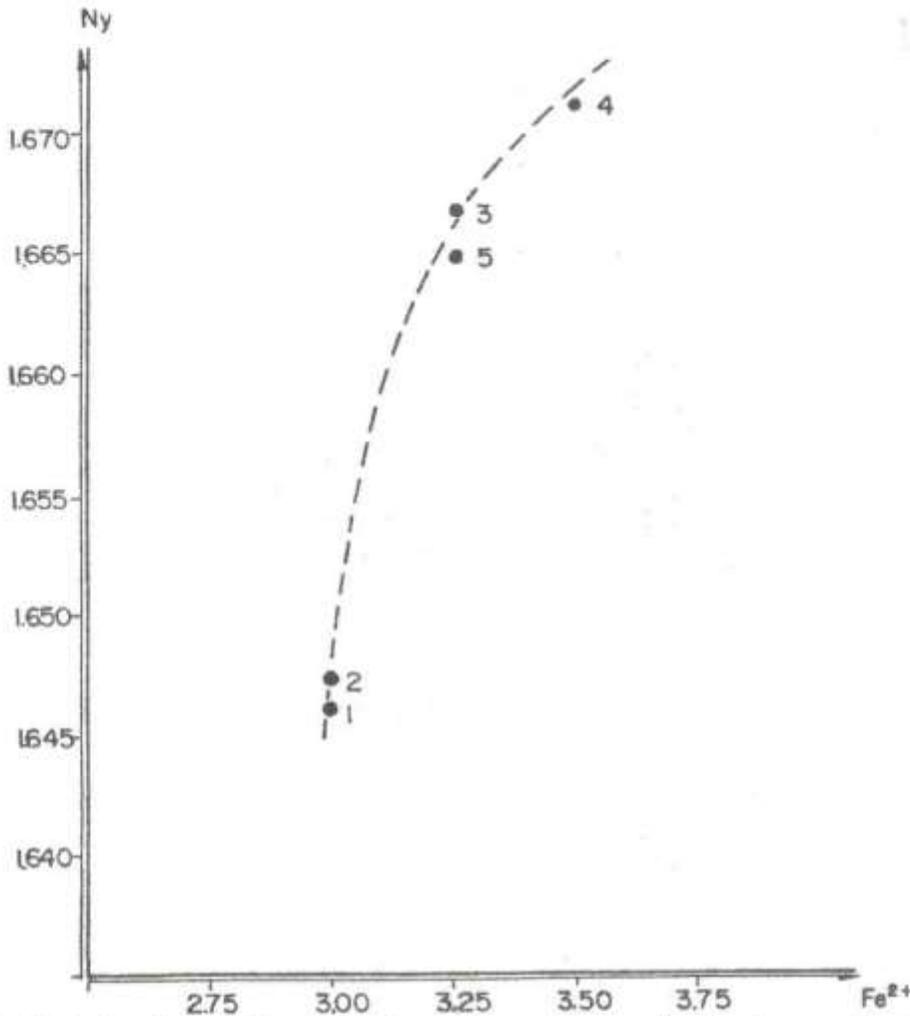


Figura 4. Variación del coeficiente de refracción por N_y con relación al contenido de Fe^{2+} en las cloritas. 1.- Ripidolita (Z-9); 2.- Ripidolita (Z-22); 3.- Turingita (Z-38); 4.- Turingita-afrosiderita (Z-36); 5.- Turingita (Sh-26).

TURINGITA

Presenta color verde oscuro en nicols paralelos, pleocrómica: Verde oscura ($N_x = N_y$) y verde claro (N_z). $N_z - N_x = 0,004 - 0,006$. El coeficiente de refracción (por N_y) varía desde 1,664 hasta 1,667.

Los espectros infrarrojos de absorción (Figura 5) presentan las siguientes particularidades: De dos a 5 bandas en el diapason 600-800 cm^{-1} , una banda en la región 800-1100 cm^{-1} , todas ellas corresponden a la vibración del enlace Si-O. El desplazamiento notable de la banda en la región 800-1100 cm^{-1} hacia frecuencias más bajas indica el aumento del reemplazamiento isomórfico del Mg^{2+} por el Fe^{2+} . Igualmente se presenta dos bandas en la región 3200-3600 cm^{-1} , que caracterizan la vibración del enlace O-H.

Los termogramas de las turingitas de los yacimientos Zelionovsky y Shimanovsky se diferencian por la intensidad y posición de los efectos endotérmicos en el intervalo de temperatura 700-745 °C (Figura 6). Esto se debe al distinto grado de isomorfismo ($Mg^{2+} \rightarrow Fe^{2+}$), fenómeno reflejado por la absorción de rayos infrarrojos, y la cual es más fuerte en la turingita (Z-38) del yacimiento Zelionovsky.

La pérdida de agua ocurre casi en una sola etapa a 550°C. (3,64% pérdida de masa). Las turingitas presentan las mismas asociaciones minerales que la turingita-afrosiderita, por lo cual estas se analizarán en conjunto.

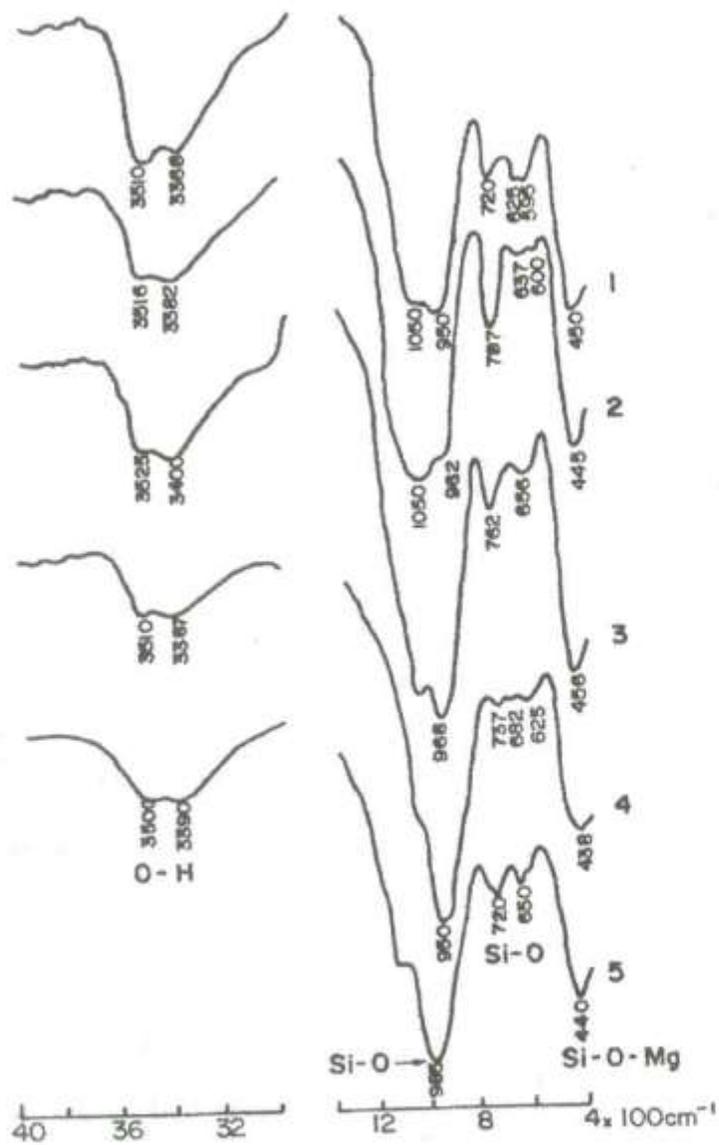


Figura 5. Espectros infrarrojos de absorción de las cloritas.

- 1.- Ripidolita (Z-9);
- 2.- Ripidolita (Z-22);
- 3.- Turingita (Z-38);
- 4.- Turingita-afrosiderita (Z-36);
- 5.- Turingita (Sh-26).

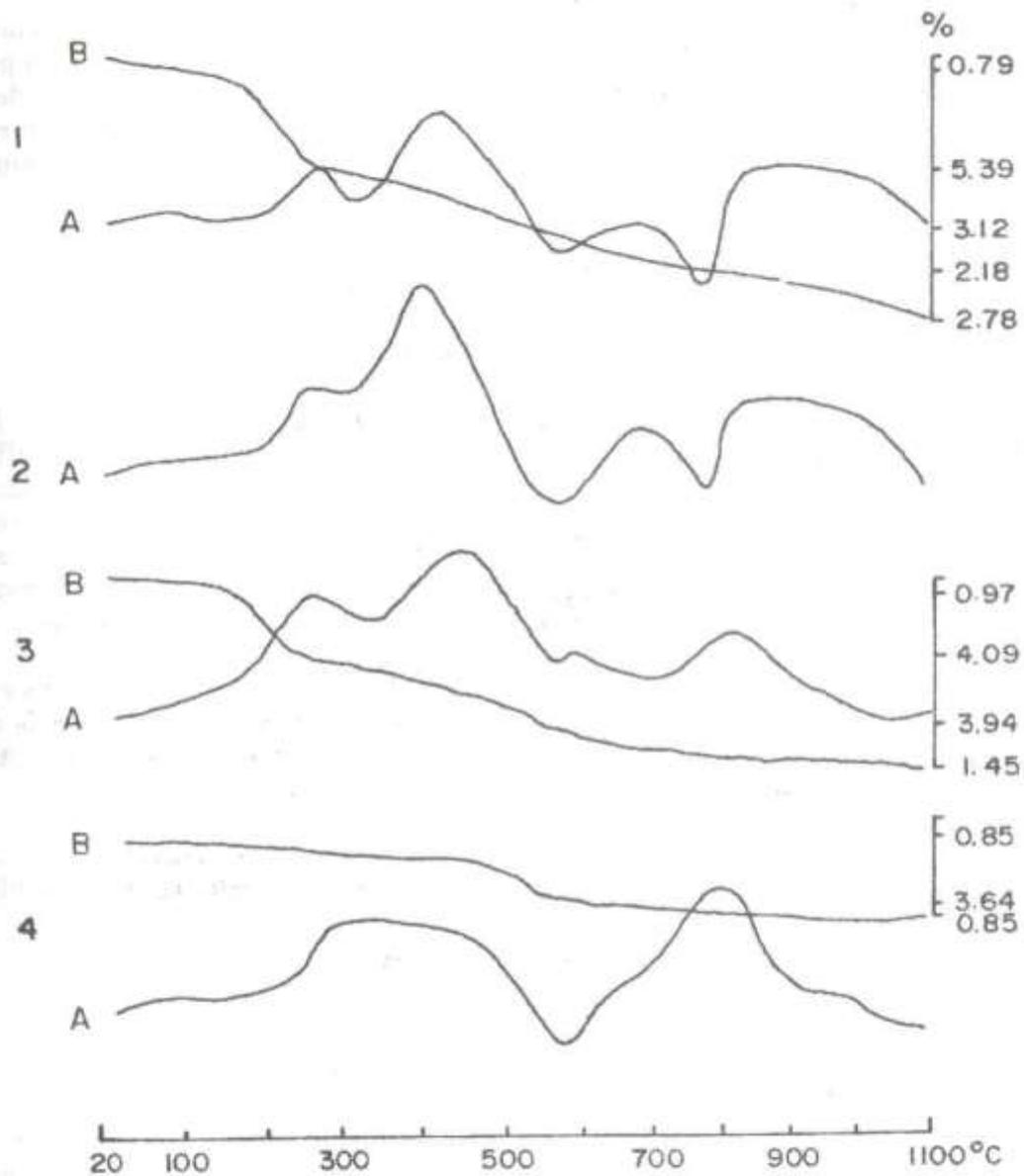


Figura 6. Termogramas de las cloritas.

A.- Curva diferencial-analítica.. B.- Curva termogravimétrica.

1.- Ripidolita (Z-9);

2.- Turingita (Sh-26);

3.- Turingita-afrosiderita (Z-36);

54- Turingita (Sh-38).

TURINGITA - AFROSIDERITA

De color verde oscuro con matices marrones (Nz-Ny) y verde oliva (Nx). Nz - Nx = 0,005-0,006. Coeficiente de refracción por Ny es de 1,670-1,672. La alta ferrosidad del mineral se confirma por difracción (Figura 1) y la espectroscopia infrarroja (Figura 5). Los espectros infrarrojos muestran en el diapásón 600-800 cm⁻¹ tres bandas de absorción, esto indica un alto contenido de hierro (Arjipienko et al, 1970).

En el termograma (Figura 6) el segundo endoeffecto (700-770°C) casi por completo está siendo absorbido por un efecto exotérmico, el cual probablemente esté relacionado con la oxidación del hierro. La deshidratación de este mineral ocurre en una etapa, a la temperatura de 550°C; con pérdidas de masa de 3,94%.

La pérdida de agua en una sola etapa en las turingitas está relacionada con el alto contenido de hierro y una menor solidez de los enlaces de este elemento que del Mg con el grupo O-H (Rode E. et al, 1953; Ivanova, 1949).

Las turingitas se localizan en los horizontes 1 y 2 de esquistos (yacimientos Zelionovsky) y 3, 4 y 5 (yacimientos Shimanovsky en la serie Saksagan) (García C., 1991).

Las asociaciones minerales de las turingitas son:

- Turingita + biotita + grunerita ± cuarzo, actinolita;
- Turingita + grunerita + cuarzo + magnetita ± actinolita
- Turingita + biotita + cuarzo + magnetita ± sericita
- Turingita + biotita + cuarzo

CONCLUSIONES

- Los métodos de investigación utilizados se complementan entre sí lográndose caracterizar los más importantes aspectos de las cloritas, facilitándose así su estudio.
- Las propiedades tipomórficas de las cloritas pueden ser utilizadas en correlaciones estratigráficas.

- Las cloritas debido a su composición química variable, deben ser tenidas en cuenta para delimitar cambios durante el metamorfismo en límites de una zona.

- Las variedades ferruginosas (turingita, turingita-afrosiderita y chamosita) presentan interés económico como menas de hierro. Actualmente se explotan yacimientos de chamosita en Francia, Alemania y otros países.

ABSTRACT

The application of mineralogical (Infrared spectroscopy, x-ray diffraction, Differential thermal investigation) and petrographical methods (optical microscopy, microscopical methods for determining refractive index by immersion) permitted to characterize ripidolite, thuringite, thuringite-aphrosiderite.

The obtained results were shown a good correlation between different methods, which let the identification of some minerals of the chlorites group.

Mode of change of chemical and structural characteristics in chlorites can be applicated in the stratigraphical and metamorphical questions.

BIBLIOGRAFÍA

- ARJIPIENKO A., KEPEZHINSKAS K. Acerca de la correlación de los espectros infrarrojos de las cloritas con su composición química y estructural. En: Estudio de las particularidades estructurales de los minerales por métodos modernos físico-químicos. Novosibirsk, 1970. pp 3-13
- BRINDLEY G. Minerales cloríticos. En: Métodos de difracción de rayos X y la estructura de minerales arcillosos (en ruso) Moscú, edit. Mir, 1965. pp. 284-344.

DEER W. HOWIE R. ZUSMAN. Rock forming minerals. Vol. 3 New York, John Willey and Sons. 1962 p. 317

GARCÍA C. A. et al. Acerca de las cloritas de los yacimientos de hierro Zelionovsky y Shimanovsky de la cuenca ferruginosa de Krivoy Rog (Ucrania) (en Ruso). Compendio Mineralógico, 1990. Vol. 1 No 44 pp. 45-50

-----Petrografía de la serie productiva Saksagan en la parte sur de la cuenca ferruginosa de Krivoy Rog (Ucrania). Tesis Doctoral. Moscú 1991. p. 200

IVANOVA V.P Las cloritas. Instituto de Ciencias Geológicas. Moscú, 1949. Vol. 120 No 35 p. 126 (en ruso)

MIJEEV V. I. Determinación de los minerales del grupo de la clorita por difracción de rayos X. En: Apuntes de la Sociedad Mineralógica de la URSS. 1953. Vol. 82 No. 3 pp. 214-217. (en ruso)

RODE E. et al. Análisis físico-químico de las cloritas de algunos yacimientos de los Urales. En: Novedades de la Academia de Ciencias de la URSS. Moscú, 1960. pp. 160-181. (en ruso)

SHIROZU H. Infrared spectra of trioctahedral chlorites in relation to chemical composition. En: Clay Sci. 1985 Vol. 6 No. 4 pp. 167-176

STUBICHAN V. ROY R. Reemplazamiento isomórfico y espectros infrarrojos de los silicatos foliáceos. En: Física de los minerales. Moscú, 1964 pp. 364-386. (en ruso)