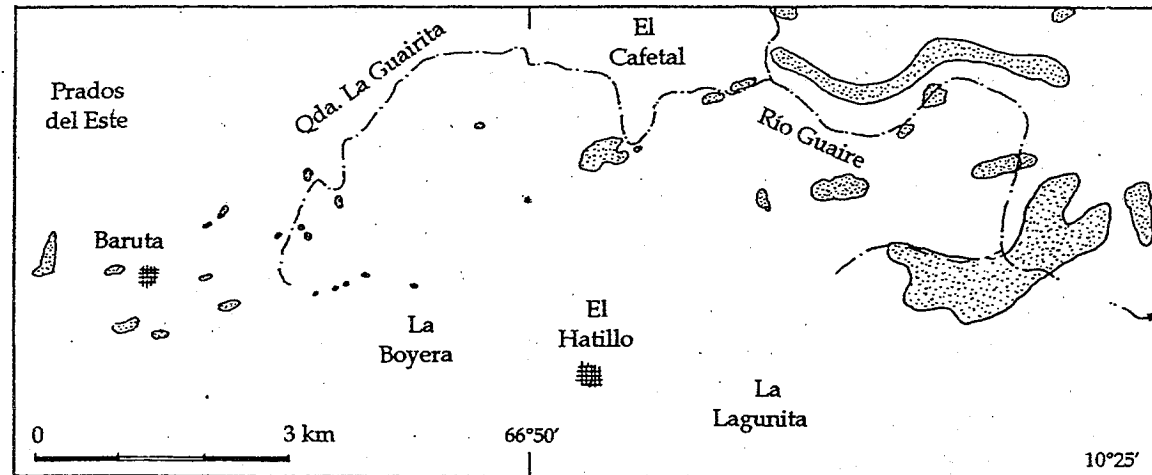


ZENDA, Mármol de. (Esquisto de Las Brisas).
[VALIDO. MESOZOICO]

valido



Mapa tomado de Urbani et al. (1997), a su vez compilado por Dengo (1951), Laubscher (1955), Wehrmann (1972) e información inédita de la Sociedad Venezolana de Espeleología

CARACTERIZACIÓN DE MINERALES DE ARCILLA SOMETIDOS A DIAGÉNESIS
AVANZADA O ANCHIMETAMORFISMO

Herbert FOURNIER

Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Dpto. de Geología, Caracas 1053. Venezuela. Correo-e: hfournier@cantv.net

RESUMEN

Se expone la metodología empleada para caracterizar minerales de arcilla sometidos a diagénesis avanzada y anchimetamorfismo, utilizando para ello la técnica de difracción de rayos X y utilizando diferentes parámetros como cristalinidad de la illita (CI), cristalinidad de la caolinita y de la clorita (Cao/CI), estimación del grado de expansibilidad de la illita (Ir), identificación de politipos de filosilicatos, caracterización del mineral illita/esmectita, composición química de las cloritas así como el cálculo del parámetro b_0 de las micas blancas, el cual sirve para estimar de manera cualitativa la presión. Para la calibración de los dos primeros parámetros, se usan muestras de patrones internacionales obteniéndose con ello sus valores verdaderamente comparables con los resultados publicados en trabajos internacionales.

Palabras clave: Minerales de arcilla, cristalinidad de la illita, difracción de rayos X, anchimetamorfismo.

ABSTRACT

Characterization of clay minerals that had undergone advanced diagenesis or anchimetamorphism

The methodology for the characterization of clay minerals from rocks that had undergone advanced diagenesis or anchimetamorphism is presented. The techniques used are those of X ray diffraction such as the determination of illite crystallinity (IC), kaolinite and chlorite crystallinity (Kao/ChC), estimation of Srodon intensity ratio (Ir) or expansibility index, identification of phyllosilicate politipes, characterization of illite/smectite interstratifications, determination of the chemical composition of the chlorites and the b_0 parameter of white micas which is employed to estimate the pressure. For the calibration of the first two parameters a set of international rock standards were used to obtain determinations comparable with those published in international works.

Key words: Clay minerals, illite crystallinity, x ray diffraction, anchimetamorphism.

1. INTRODUCCIÓN

En Venezuela existen diversas regiones que pueden haber estado sometidas a diagénesis avanzada y anchimetamorfismo. Algunas de estas zonas son la franja piemontina de la Cordillera de la Costa, al sur de la Faja de Villa de Cura, igualmente en el Surco de Barquisimeto. En los minerales de arcilla queda registrada la historia geológica del sedimento, por ello su estudio detallado permite dilucidarla en esta etapa transicional entre los procesos sedimentarios y metamórficos. El objetivo de este trabajo es el establecimiento de las metodologías de laboratorio necesarios para tal caracterización, como ejemplo se presentan algunos resultados parciales obtenidos en las formaciones de la Faja Piemontina, Guárico.

La illita ha sido utilizada extensamente en el estudio de rocas con un avanzado grado de diagénesis o de metamorfismo de muy bajo grado. Desde la década de los años 60 se ha utilizado el índice de Kubler o cristalinidad de la illita (CI) (EBERL & VELDE, 1989). Sin embargo, existen dificultades en aplicar el índice, debido a que éste es estrictamente empírico. Algunas de estas dificultades incluyen problemas en la comparación de mediciones realizadas entre diferentes laboratorios, debido fundamentalmente a leves diferencias en la

preparación de las muestras (KISCH, 1983; KISCH & FREY, 1987) y cualquier pequeña variación en el procedimiento analítico. La solución a estas dificultades es la estandarización de los laboratorios mediante el uso de muestras patrones con CI conocida y la uniformización de la metodología de preparación de las muestras. El procedimiento fue desarrollado por WARR & RICE (1994) bajo los auspicios del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP), con el Proyecto 294 titulado "Metamorfismo de muy Bajo Grado" (VLGM), dedicándose entre otras cosas, a la uniformización de la metodología analítica para la caracterización de minerales de arcillas, con especial énfasis en la cristalinidad de la illita (CI). Estos autores suministran las muestras patrones e indican el procedimiento para la preparación de muestras y las condiciones a las cuales se debe ajustar el equipo de difracción de rayos X (DRX).

2. PARÁMETROS PARA LA
CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS

2.1. Cristalinidades de la illita, caolinita y clorita

La medición de la cristalinidad de estos minerales de arcilla es un método empírico que ha sido extensamente

usado para evaluar las condiciones de metamorfismo de muy bajo grado en rocas pelíticas. Las mediciones se realizan en picos selectos de los minerales como illita, clorita, caolinita y pirofilita. KISCH (1991) menciona que la medición de la CI es válida mientras que no existan arcillas de capas mixtas dioctaédricas del tipo illita/esmectita (I/S) con más del 10% de capas expansivas.

El mayor problema en usar estas técnicas es que una simple variación en el procedimiento analítico, puede conducir a diferencias significativas en los resultados. Tales variaciones provienen tanto de las condiciones instrumentales como en la forma de preparación de las muestras.

En tal sentido surgió la necesidad internacional de uniformizar los métodos usados en los laboratorios y en particular con la cristalinidad de la illita. Por ello los laboratorios involucrados en este tipo de trabajos deben acogerse a una calibración con muestras de patrones aceptados internacionalmente cuyo valor CI se conoce. Esta estandarización está respaldada por el proyecto sobre metamorfismo de muy bajo grado del IGCP. El Laboratorio de Difracción de Rayos X de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV cuenta con estas muestras y están disponibles en pequeñas cantidades para otros laboratorios venezolanos que las requieran.

WARR & RICE (1994) obtuvieron estas muestras patrones a lo largo de una sección NE-SW perteneciente al cinturón metamórfico de muy bajo grado del Variscano al norte de Cornwall, en el suroeste de Inglaterra. Las características se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características geológicas de los patrones internacionales.

Patrón	Litología	Mineralogía en la fracción <2μ	Zona a que pertenece
SW1	Arcilita limosa	Illita/esmectita, clorita rica en Mg y trazas de albita y cuarzo	Diagenética
SW2	Arcilita	Illita/esmectita, caolinita y esmectita	Diagenética cercana a la anchizona
SW4	Pizarra	Illita/mica, Fe-clorita, paragonita, cuarzo y feldespato	Anchizona
SW6	Pizarra	Illita/mica 2M ₁ , Fe-clorita, trazas de cuarzo, albita y algo de esmectita	Epizona
MF1	---	Cristal euédrico de muscovita 2M ₁	Epizona

2.2. Índice de Srodon o de expansibilidad

El índice de Srodon (Ir; SRODON, 1984) de una muestra orientada se define con los picos de DRX con máximas intensidades del mineral illita:

$$Ir = [I_{(001)}/I_{(003)}]_{\text{aire seco}} / [I_{(001)}/I_{(003)}]_{\text{glicolado}}$$

Este índice es muy sensible a la presencia de capas expansivas en el mineral illita. Si el Ir > 1, el mineral illita tiene expansibilidad en algún grado; si el Ir ≤ 1, el mineral no tiene una tendencia detectable de expansibilidad, lo cual es casi desconocido.

2.3 Cálculo del parámetro b₀

Las micas blancas tienen como la gran mayoría de los minerales de arcilla un hábito hojoso y un perfecto clivaje (001), esto es debido a su estructura atómica dispuesta en forma de capas. Las rocas ricas en minerales de arcilla tienden a tener planos de fisibilidad que en la mayoría de los casos son paralelos a los planos de estratificación, por esto a medida que aumenta la presión las direcciones a y b de la celda unitaria tienden a aumentar en tamaño mientras que la dirección c disminuye. SASSI & SCOLARI (1974) proponen el parámetro b₀ de las micas blancas medido en el plano (060) como un indicador barométrico de rocas con metamorfismo de bajo grado, el valor del parámetro aumenta en proporción directa con la presión.

Para el cálculo del parámetro b₀ de las micas blancas y de cloritas se procede obteniendo el valor de la reflexión (060) correspondiente a cada mineral, para las micas blancas el valor debe estar alrededor de los 1,499 - 1,51 Å y para las cloritas cerca de 1,53 Å. El parámetro b₀ en ambos minerales se calcula mediante la siguiente ecuación: $b_0 = 6d_{(060)}$

Contenido de Fe de las cloritas

Para obtener la composición química de las cloritas se procede de la siguiente manera:

- Con el valor del parámetro b₀ se calcula el contenido de hierro total en % con la siguiente ecuación (BRINDLEY, 1961):

$$(Fe^{2+} + Mn) = (b_0 - 9,210\text{Å}) / 0,037$$

- En base al valor obtenido en los análisis con muestra orientadas de la reflexión d₍₀₀₁₎ (Å) de las cloritas se calcula el contenido de aluminio total en % con la siguiente ecuación (ALBEE, 1962):

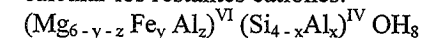
$$Al^{\text{Total}} = (14,52\text{Å} - d_{(001)}) / 0,14$$

- Para distinguir el aluminio tetraédrico (Al^{IV}) del octaédrico (Al^{VI}) se utilizan las siguientes ecuaciones (NIETO, 1982):

$$Al^{\text{IV}} = (Al^{\text{Total}} / 2) + 0,07Fe^{\text{Total}}$$

$$Al^{\text{VI}} = (Al^{\text{Total}} / 2) - 0,07Fe^{\text{Total}}$$

- Finalmente con la siguiente fórmula base se pueden calcular los restantes cationes:



$$Si = 4 - Al^{\text{IV}}$$

$$Mg = 6 - y - z$$

Donde x, y, z son subíndices o moles de fórmulas químicas no daltónicas.

Cabe destacar que en muestras con la presencia del mineral interestratificado I/S no es posible determinar con precisión la fórmula química de la clorita ya que existe la interferencia de la reflexión que ocurre en la región angular entre 5 y 6°2θ del mineral I/S. Debido a esto, en el presente trabajo la composición química de la clorita se determinó sólo en aquellas muestras que no contenían I/S.

3. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Existen dos formas de preparación para un estudio completo de los minerales de arcilla en una roca por medio de DRX. La primera de ellas es la denominada montura desorientada, esta preparación se realiza para el análisis en roca total, es decir, que se toma en cuenta toda la mineralogía presente en la roca. La otra preparación es exclusivamente para el análisis de los filosilicatos y consiste en una montura orientada según los planos (001) de estos minerales. La fracción de tamaño internacionalmente aceptada para estudiar los minerales de arcilla autígenicos es la fracción <2μ, ya que esta fracción está libre de micas detríticas las cuales poseen una mejor cristalinidad que las autígenicas (KISCH, 1983: 351), por ello el efecto que puedan tener las micas detríticas en la medición de la CI es despreciable.

3.1. Montura desorientada para su análisis en roca total

Este tipo de análisis sirve para identificar la mineralogía total de la roca, los politipos de minerales de arcilla, distinguir entre filosilicatos dioctaédricos y trioctaédricos por medio del valor del plano (060), evaluar el parámetro b₀ y estimar el contenido de Fe en cloritas.

En este proceso se siguen los siguientes pasos:

Se obtiene un trozo de la roca no meteorizado de unos 5 cm³, el cual se lava con agua desmineralizada para la remoción de partículas y posteriormente se deja secar. Luego se disgrega mediante un mortero de ágata o porcelana, obteniendo un polvo fino el cual se pasa por un tamiz de 200 mallas.

El polvo del paso anterior se monta en el portamuestras siguiendo las recomendaciones hechas por MOORE & REYNOLDS (1989: 197).

- Se coloca un vidrio portamuestras de 2x2 cm esmerilado y limpio a una plaquita portamuestras de aluminio (especial para DRX) por el lado de incidencia de los rayos x, el vidrio se ajusta con cinta plástica y se voltea el conjunto vidrio - plaquita.

- Se agrega el polvo fino con una espátula cuidando que ésta se mantenga perpendicular a la superficie del aluminio para lograr la máxima desorientación.

- Se llena el espacio de la plaquita con el polvo y se tapa con un vidrio normal ajustándolo también con cinta plástica teniendo cuidado de no hacer mucha presión.

- Se voltea el conjunto y se retira el vidrio esmerilado cortando las cintas. De esta manera la cara de incidencia de los rayos x queda desorientada por efecto de la superficie esmerilada.

3.2. Montura orientada para su análisis con la fracción <2μ

Esta etapa está sujeta a las recomendaciones de KISCH (1991) para la medición de la **cristalinidad de la illita (CI)** medido en el plano (001) de este mineral y la **cristalinidad de la caolinita y clorita (CCao/CCI)** medido en el plano (001) de la caolinita y (002) de la clorita, los cuales se superponen en una sola reflexión debido a su posición en 2θ muy cercana, dichas recomendaciones se resumen como sigue:

- La trituración por medio de molinos puede afectar la CI por lo que no es recomendable usarlos, o usarlos por muy poco tiempo.

- El tratamiento con ultrasonido posiblemente causa un deterioro en el mineral illita por lo cual también se debe usar por períodos cortos de tiempo. En este trabajo se utilizó en períodos de 2 minutos.

- La densidad de las monturas en los vidrios portamuestras debe ser mayor de 3 mg cm⁻² para la medición correcta de la CI, lo cual se traduce en un peso de 40 mg por cada muestra. Esta se controla pesando la lámina antes y después de la montura.

El procedimiento de montura de muestras es como sigue:

- Un fragmento de unos 5 cm³ de muestra fresca. Se disgrega (sin moler) en un mortero de ágata por períodos limitados no mayores de 30 segundos, es recomendable utilizar unos 0,5 g para lutitas y 1 g para areniscas o calizas.

- La muestra se coloca en un beaker de 50 ml identificado.

- Para eliminar los carbonatos se vierte un volumen de 40 ml de acetato de sodio preparado a pH = 5,1, se agita con un removedor de vidrio y se disgrega con ultrasonido por 2 minutos.

- La muestra se deja en reposo en un Baño de María a 80°C por 12 h.

- La muestra se trasvasa a un tubo de centrifuga y se equilibra su peso con agua destilada.
- Se centrifuga a 2000 rpm por espacio de 15 minutos.
- Se descarta el líquido sobrenadante.
- La materia orgánica se elimina añadiendo entre 5 y 10 ml de peróxido de hidrógeno al 35%, a una temperatura de 60 a 70 °C, luego se agita con un removedor de vidrio hasta que deje de efervecer.
- Se añade agua destilada equilibrando su peso y se centrifuga a 2000 rpm por 15 minutos.
- Se descarta el líquido sobrenadante.
- La muestra se pasa a un beaker de 50 ml y se procede a la eliminación de los óxidos de hierro, para lo cual se añade un volumen de 40 ml de citrato de sodio preparado a pH = 7,5. La mezcla se agita con un removedor de vidrio y se dispersa con ultrasonido por 2 minutos.
- Se calienta en Baño de María hasta que la mezcla alcance la temperatura de 80°C. Este valor debe controlarse introduciendo un termómetro hasta el fondo del beaker.
- Se agrega 1 gr de ditionito de sodio e inmediatamente se agita manualmente por 1 minuto.
- Se deja reposar 2 minutos y se repite dos veces más el paso anterior.
- Se pasa la muestra en solución a tubos de centrifuga, equilibrando su peso con agua destilada.
- Se procede a "lavar" las muestras, centrifugando a 2000 rpm por 15 minutos.
- Se descarta el líquido sobrenadante.
- Se añade de nuevo citrato de sodio, repitiendo los 3 pasos anteriores dos veces más.
- La separación final de la fracción <math>< 2 \mu</math> se obtiene siguiendo la Ley de Stokes que relaciona la temperatura, la altura del menisco, la distancia del menisco al eje de la centrifuga y la cantidad de material (MOORE & REYNOLDS, 1989: 188 y 189). En base al tipo de centrifuga y a las relaciones anteriores en nuestro trabajo se centrifugó a 850 rpm por espacio de 3,3 minutos.
- Para garantizar la fracción requerida se aplica el siguiente método: se agrega agua destilada a la muestra contenida en el tubo de centrifuga y se agita con un removedor de vidrio. Se preparan dos beakers, de 50 ml identificados con las letras A y B.
- La muestra equilibrada en su peso con agua destilada se centrifugó por 3,3 minutos y a 850 rpm. El líquido sobrenadante se vierte en el beaker A, esta operación debe realizarse con cautela, ya que es posible que el fondo del tubo conteniendo fracciones mayores a la requerida no este del todo compactado por la centrifugación, en este caso proceda a descartar el líquido sobrenadante observando siempre el fondo del tubo y sin perder de vista el cambio de tonalidad del agua, si esto ocurriese pare de verter inmediatamente el líquido y vuelva a centrifugar.

- El paso anterior se repite dos veces más sin desechar el residuo depositado en el fondo del tubo, siempre llenando con agua destilada y agitando con un removedor de vidrio sin dejar grumos en las paredes internas del tubo.
- A continuación el líquido contenido en el beaker A se deja en reposo por 2 minutos, y con el líquido sobrenadante se procede a llenar el beaker B, para ello se vierte éste en otro tubo de centrifuga.
- Se centrifuga la muestra equilibrando su peso con agua destilada, por 3,3 minutos y a 850 rpm, el líquido sobrenadante se vierte en el beaker B.
- El paso anterior se repite dos veces más siempre llenando con agua destilada el tubo de centrifuga y agitando con un removedor de vidrio sin dejar grumos.
- Una vez completada esta operación el líquido sobrenadante del beaker B se deja en reposo por 5 minutos hasta pasar al filtrado.

Una vez culminados estos pasos en el líquido sobrenadante del beaker B se tendrá la fracción <math>< 2 \mu</math>, y se procede a la filtración usando una membrana o filtro de <math>< 2 \mu</math>, en un kitasato con portamembrana y una bomba (manual o mecánica) (Fig. 1). El líquido sobrenadante se vierte en el vaso del aparato de filtración y se pone en funcionamiento la bomba.

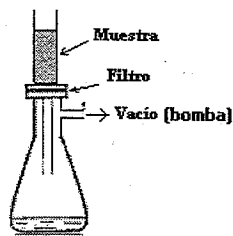


Figura 1. Aparato de filtración.

Terminada la filtración de la muestra, se retira el vaso del aparato de filtración y se procede a sacar la membrana con la fracción <math>< 2 \mu</math> retenida, la cual se coloca en el portamuestras de vidrio, teniendo precaución de no dejar burbujas de aire entre el vidrio y la fracción retenida y de no hacer mucha presión con los dedos (Fig. 2). A continuación, se deja en reposo hasta que se seque la película arcillosa y se retira con cuidado el filtro.



Figura 2. Aplicación de la película húmeda arcillosa sobre la superficie del vidrio.

3.3. Tratamiento de muestras con etilenglicol (EG) a la fracción <math>< 2 \mu</math>

Después de analizar las muestras orientadas en condiciones atmosféricas normales que en la literatura se denomina Aire Seco (AS), las mismas muestras deben ser sometidas a una atmósfera de etilenglicol (EG) para verificar la existencia de arcillas expansivas. El tratamiento es el siguiente:

- Se colocan 200 ml de EG en la cacerola de cierre hermético de vidrio Pyrex.
- Se colocan las muestras en una plataforma dentro de la cacerola.
- Debe anotarse en un papel los números de las muestras ya que los vapores de EG pueden borrar las identificaciones hechas en el portamuestra.
- Se coloca la cacerola cerrada dentro de un horno a 60 °C por 12 horas.
- Las muestras se retiran de la cacerola, volviéndola a identificar.
- Si existe un exceso de etilenglicol este puede ser removido cuidadosamente con un papel absorbente.

4. CONDICIONES ANALÍTICAS

En todos los casos se utilizó un equipo de difracción de rayos X marca Philips PW 3020 con tubo de Cu y ajustado a 40 kV y 30 mA y se usaron ranuras divergentes y receptoras de 1° y 0,1° respectivamente. Las condiciones analíticas son las siguientes:

4.1. Montura desorientada

Aquí se cuantifica la reflexión (060), la cual sirve para distinguir entre filosilicatos dioctaédricos y trioctaédricos, ya que la dimensión del parámetro b_0 es muy sensible al tamaño de los cationes y del sitio que ocupan en la red octaédrica que en los parámetros a_0 y c_0 . Por ende sirve también para la medición del parámetro b_0 de la illita y de la clorita y para determinar el contenido de hierro total en este último mineral.

Condiciones: intervalo de barrido 2θ : 58,3 - 62,5°, tamaño del paso: 0,005° 2θ , tiempo de conteo en cada paso: 2,5 segundos, velocidad: 0,002° 2θ /seg, tiempo de duración: 35 minutos.

Para determinar todos los minerales presentes así como los politipos de los filosilicatos.

Condiciones: intervalo de barrido 2θ : 3 - 60°, tamaño del paso: 0,02° 2θ , tiempo de conteo en cada paso: 1,25 segundos, velocidad: 0,016° 2θ /seg.

4.2. Montura orientada de la fracción <math>< 2 \mu</math> con o sin tratamiento con EG

Con esta se determina la cristalinidad de la illita (CI), cristalinidad de la caolinita y clorita (CCao/CCI), determinación del índice de \square rodo \square o grado de expansibilidad y se estima el % de esmectita en el I/S. Estos valores son los básicos para la caracterización de los filosilicatos.

Condiciones: intervalo de barrido 2θ : 2 - 50°, tamaño del paso: 0,01° 2θ , tiempo de conteo en cada paso: 1 segundo, velocidad: 0,01° 2θ /seg, tiempo de duración: 1 hora con 20 minutos.

5. IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES MINERALES

5.1. En montura desorientada

Para la identificación se realizan los siguientes pasos:

- Usando la corrida de muestra total, se utilizan las tablas del JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) para un reconocimiento de los minerales presentes en la roca.

- Utilizando la corrida de cuantificación de la reflexión (060) se interpretan los resultados comparando con los valores de MOORE & REYNOLDS (1989: 224) (Tabla 2).

Tabla 2. Valores del plano (060) en Å de diferentes filosilicatos. Tomado de MOORE & REYNOLDS (1989).

Mineral	$d_{(060)}$ (Å)	2θ (Cu K α)
Illita (Muscovita)	1,499	61,90
Glauconita	1,511	61,35
Caolinita	1,49	62,31
Esmectitas	1,492 - 1,504	62,22 - 61,67
Cloritas	1,538 - 1,549	60,16 - 59,69
Sepiolita	1,540 - 1,550	60,07 - 59,65

- Interpretada la reflexión (060) se reinterpreta de nuevo la corrida de roca total con el objeto de identificar los politipos de filosilicatos, principalmente de los minerales illita, caolinita y clorita, esto se realiza comparando las tablas que según MOORE & REYNOLDS (1989: 226 y 227) distinguen a estos politipos. (Tablas 3 y 4).

5.2. En montura orientada

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Se debe comenzar interpretando el difractograma en AS, para lo cual se recomienda escribir en el difractograma la posición angular y el valor $d(\text{Å})$ de cada pico.

- Se comparan los valores obtenidos de los planos $d(\text{Å})$ con aquellos aportados en obras como la de MOORE & REYNOLDS (1989: 209 a 244) cuyos datos corresponden a muestras orientadas, y no con las fichas de la JCPDS que corresponden a muestras desorientadas.

Tabla 3. Reflexiones diagnósticas para la determinación de politipos de clorita por el método de polvo desorientado.

Tipo Ia		Tipo Ib ($\beta=90$)		Tipo Ib ($\beta=97$)		Tipo IIb	
$d(\text{Å})$	I	$d(\text{Å})$	I	$d(\text{Å})$	I	$d(\text{Å})$	I
2,65	M	2,69	MB	2,47	F A	2,66	B
2,39	F	2,65	B			2,59	F
		2,51	F			2,55	F
		2,15	MF			2,45	F
						2,39	F
						2,26	F

Abreviaturas: I= Intensidad del pico expresado en forma cualitativa, A= Ancho, M= Moderado, F= Fuerte, B= Bueno. Tomado de MOORE & REYNOLDS(1989).

- Conviene comenzar desde el valor 2θ más bajo que es donde ocurren las reflexiones (001).

- En cada pico del difractograma escribir el (los) nombre(s) del (los) filossilicato(s) que los puede haber generado, se debe recordar que las reflexiones siguen un patrón uniforme ya que la muestra está orientada según los planos basales (001) es decir que:

$[\text{valor } d(\text{Å}) \text{ del plano } (002)] = [\text{valor } d(\text{Å}) \text{ del plano } (001)]/2$ y

$[\text{valor } d(\text{Å}) \text{ del plano } (003)] = [\text{valor } d(\text{Å}) \text{ del plano } (001)]/3$

- Identificados los minerales en AS, se prosigue con la interpretación con el difractograma en EG, lo que permite la identificación de filossilicatos expansivos, que su mayoría pertenecen al grupo de la esmectita, siendo su principal miembro la montmorillonita. También existe otro grupo de mineralés expansivos llamados interstratificados, que pueden ser la combinación de hasta tres especies distintas, aunque es más común la

alternancia de dos, estos en su mayoría poseen un miembro del grupo de la esmectita. El más común de estos minerales es la *ilita/esmectita* (I/S).

- El tratamiento con EG produce un difractograma distinto que el de AS si existen minerales expansivos, esto se traduce en desplazamientos de picos hacia menores valores 2θ es decir en un aumento en el valor $d(\text{Å})$ o también en el afinamiento en la forma de los picos.

Tabla 4. Reflexiones diagnósticas para la determinación de politipos de caolinita y de micas blancas por el método de polvo desorientado.

Politipos de la caolinita				Politipos de micas blancas		
C	D	N	M	1Md y 1M	1M	2M ₁
$d(\text{Å})$ -I	$d(\text{Å})$ -I	$d(\text{Å})$ -I	$d(\text{Å})$ -I	$d(\text{Å})$ -I	$d(\text{Å})$ -I	$d(\text{Å})$ -I
3,842 - 45	3,262 - 10	3,44 - 40	4,45 - 100	2,450 - 11	4,35 - 15	4,29 - 10
3,12 - 55	3,097 - 10	3,09 - 30	2,57 - 40	2,405 - 4	4,12 - 10	4,09 - 10
2,750 - 35	2,937 - 10	2,927 - 10	2,22 - 5	2,156 - 20	3,66 - 50	3,88 - 30
2,340 - 90	2,795 - 10	2,41 - 100	1,685 - 20		3,07 - 50	3,72 - 30
2,290 - 80	2,324 - 95	2,27 - 10			2,93 - 10	3,49 - 30
2,184 - 30	2,211 - 15	2,09 - 20			2,69 - 20	3,20 - 30
1,99 - 50	1,974 - 40	1,92 - 45				2,98 - 35
1,839 - 40	1,860 - 15	1,67 - 20				2,86 - 30
1,619 - 60		1,62 - 15				2,79 - 25

Abreviatura: C= Caolinita, D= Dickita, N= Nacrita, M= Metahalloysita, I= Intensidad relativa en %. Tomado de MOORE & REYNOLDS(1989).

- Al igual que en el caso anterior en el difractograma de EG se escribe la posición angular y el valor $d(\text{Å})$ a cada pico.

- Se comparan los dos difractogramas, el de AS y el de EG con la información escrita de los picos para verificar si existe algún desplazamiento, se debe tener precaución en los cambios de la forma de los mismos, es decir en afinamientos, simetría y cambios en la intensidad relativa.

- Si se observan estos cambios entre los dos difractogramas, se procede a identificar el tipo de

filossilicato expansivo, utilizando un manual de mineralogía de arcillas ejm. (MOORE & REYNOLDS, 1989: 220, 244, 249, 252, 253, 255, 256, 258 y 259).

Minerales interstratificados I/S

La nomenclatura de los minerales de arcilla interstratificados como el *ilita-esmectita* siguen la siguiente regla:

- Primero se denomina la especie mineral con la reflexión menor $d(\text{Å})$ del plano (001) y separado por una barra el segundo mineral.

- De esta manera el interstratificado *ilita-esmectita* se escribe I/S, debido a que la *ilita* produce una reflexión $d(001)$ de 10Å la cual es menor a la de la *esmectita* que produce una reflexión $d(001)$ de 16Å.

- Una reflexión de este mineral producida por la superposición de los picos (002) de la *ilita* y (003) de la *esmectita* se escribe como 002/003.

- Cuando se trata de muestras tratadas con EG el mineral se denota como *ilita/EG-esmectita*.

- Para la caracterización de este mineral se deben tener en cuenta que los picos (001) de estos minerales no tienen la misma anchura, y las reflexiones no tienen un espaciado uniforme o racional.

La Figura 3 muestra un difractograma de un interstratificado *ilita/EG-esmectita*, desordenado con 50% de *ilita*.

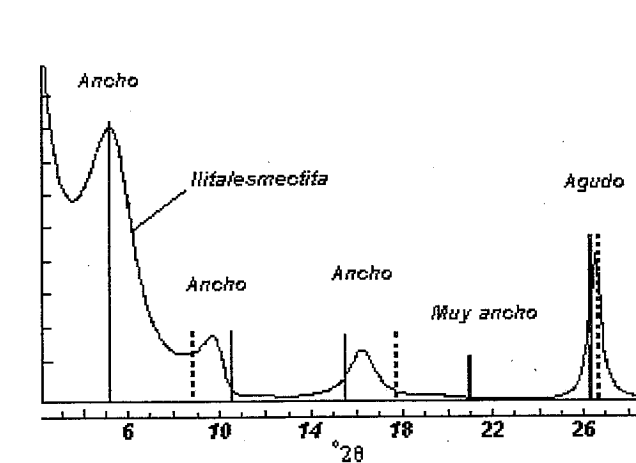


Figura 3. Interstratificado desordenado *ilita/EG-esmectita* con 50% de *ilita* y la ubicación de las reflexiones (001) de los minerales puros (barras verticales continuas = *esmectita* y barras verticales discontinuas = *ilita*). Nótese las diferencias en los anchos de las reflexiones del mineral I/EG-S.

Tomado de MOORE & REYNOLDS(1989).

Los pasos a seguir para la caracterización del mineral interstratificado I/S son los siguientes:

- Para la determinación de la existencia de este mineral expansivo se analizó para una misma muestra la corrida en AS y luego la corrida en EG, este último

tratamiento altera significativamente el difractograma y provee la información necesaria para la cuantificación del % de *ilita* (%) en el mineral *ilita/esmectita* (I/S). El I/S se reconoce de la siguiente manera:

- Cuando existan diferencias entre los difractogramas de AS y el de EG, tales como:

- Picos asimétricos en el análisis AS mientras que en el EG son simétricos. Esta asimetría/simetría se observa sobre todo en el pico de $8,8^\circ 2\theta$.

- Cambio en la posición angular de los picos, por lo general el desplazamiento es hacia menores valores de 2θ .

- Disminución en la intensidad de los picos.

- Si existe una reflexión entre los 5 y $6^\circ 2\theta$ y otra en la región angular cercana a los 16 y $17,7^\circ 2\theta$ el interstratificado es I/S

- Si por las observaciones anteriores se concluye que existe I/S se procede a corroborar su presencia, la muestra se coloca por 1 hora a 375°C en un horno. El resultado del tratamiento térmico produce un patrón igual al de la *ilita* pura, ya que la *esmectita* colapsa a esta temperatura. La Figura 4 muestra un ejemplo de la presencia de este mineral, note la simetría y la disminución de intensidad del pico cercano a los $8,8^\circ 2\theta$ con el tratamiento en EG, note también el aumento de intensidad de este mismo pico en el tratamiento térmico así como el patrón igual al de la *ilita*.

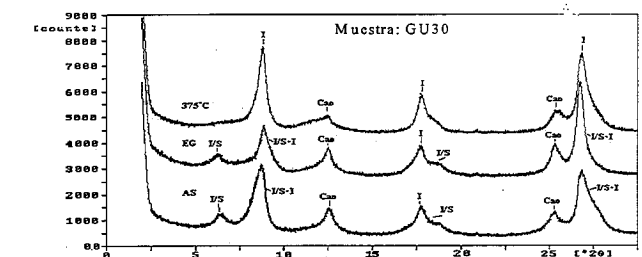


Figura 4. Tres tratamientos efectuados a la muestra GU30, mostrando la presencia del mineral I/S en el AS, EG y el colapso de la *esmectita* a 375°C . Abreviaturas: I = *ilita*, Cao = *Caolinita*, I/S = *ilita/esmectita*.

6. CALIBRACIÓN

Los valores aceptados de CI y de CCao/CCI de las muestras patrones se resumen en la Tabla 5.

WARR & RICE (1994) se extienden de manera amplia en la estandarización de la CI entre los laboratorios de difracción de rayos x, y son los que proponen el uso de muestras estándares con CI conocida con el objetivo de disminuir los errores analíticos y de la preparación. El proceso de calibración de la CI con las muestras estándares en el difractómetro de la UCV fue el siguiente (FOURNIER, 1999):

- Para cada patrón se realizaron tres monturas por separado de manera orientada, a estas muestras no se les

realizó el tratamiento de eliminación de carbonatos, materia orgánica y óxidos de hierro, sólo se obtuvo la fracción $\lt; 2\mu$, con la forma previamente indicada en la sección 3.2.

- Cada montura de los patrones se corrió tres veces por DRX con el programa de filosilicatos indicado en la sección 4.2.

- Se trataron con EG y se volvieron a correr otras tres veces.

- Para ajustar los picos de 10 y 7Å se procedió de la manera que sigue:

- A los datos digitales producidos automáticamente por el difractómetro se realizó el ajuste de perfiles, seleccionando la región de 4 a 14° 2θ.

- En el ajuste de perfiles existen tres modalidades para hacerlo, referidas a la tendencia del fondo o "background", a saber: parabólico, lineal y constante. Todos los ajustes de los picos se hicieron en las tres modalidades.

Tabla 5. Resultados del índice de cristalinidad de los patrones internacionales de los picos de 10 Å y de 7 Å de la ilita/mica y caolinita/clorita respectivamente. Según WARR *et al.* (1994).

Estándares	SW1		SW2		SW4		SW6		MF1
	AS	EG	AS	EG	AS	EG	AS	EG	AS
Preparación									
CI (°Δ2θ de 10Å)	0,63	0,57	0,47	0,44	0,38	0,38	0,25	0,25	0,11
Espaciado d(Å) del pico de 10Å	10,146	10,103	10,101	10,072	10,081	10,071	10,082	10,080	9,946
CCao/CCI (°Δ2θ de 7Å)	0,34	0,34	0,30	0,33	0,32	0,32	0,25	0,25	--
Espaciado d(Å) del pico de 7Å	7,131	7,140	7,198	7,217	7,124	7,123	7,106	7,104	--

Abreviaturas: cps: cuentas por segundo. °Δ2θ: ancho a media altura de la reflexión en °2θ.

- Los ajustes se hicieron también de manera individual para cada pico (10 y 7Å) y también ajustando los dos picos simultáneamente tanto para los análisis en AS como para los de EG. Esto se efectuó con el objetivo de prevenir muestras con carencia de un mineral, por ejemplo si una muestra no posee caolinita ni clorita pero posee ilita, podemos obtener el valor de la CI de esta muestra y correlacionarla con los patrones internacionales por medio del mejor ajuste realizado al pico de 10Å. De igual manera si la muestra carece de ilita pero posee caolinita o clorita podemos obtener el valor de la CCao/CCI de esta muestra y correlacionarla con los patrones internacionales por medio del mejor ajuste realizado al pico de 7Å.

- El procedimiento para los ajustes de picos se ejemplifica a continuación con las Figura 5, con la muestra estándar SW1 ajustando los dos picos (10 y 7Å) utilizando para ello el fondo lineal.

- Hechos los ajustes de picos para cada corrida y para cada montura el programa calculaba los valores de anchos en °2θ a media altura de cada pico ajustado.

- Luego se procedió a calcular las ecuaciones de las rectas por mínimos cuadrados para los resultados

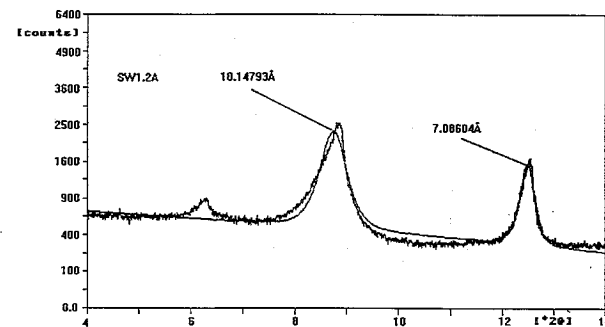


Figura 5. Diffractograma de la muestra SW1 mostrando el ajuste de los dos picos (10Å y 7Å) con el fondo lineal.

obtenidos con las muestras patrones y sus correspondientes coeficientes de correlación para cada uno de los ajustes tanto en AS como en EG. La Figura 6 muestra un ejemplo de la recta con el mejor ajuste para la CI ajustando los dos picos y con el fondo lineal.

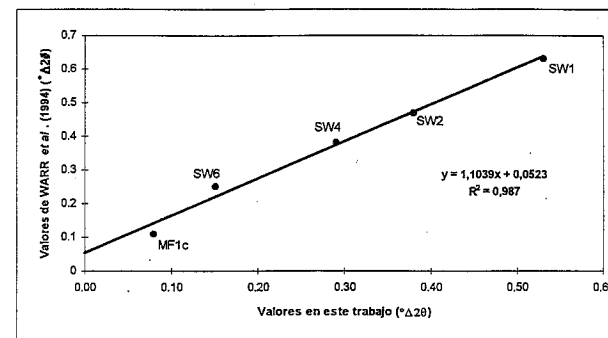


Figura 6. Recta de mejor tendencia de la CI ajustando los picos de 10 y 7Å con el fondo lineal en AS.

Para los efectos de los trabajos que involucren la medición de la CI y de la CCao/CCI, las mejores ecuaciones obtenidas por FOURNIER (1999) son con el fondo lineal y se muestran a continuación:

Para medir la CI y la CCao/CCI simultáneamente:

- Si se presentaba una muestra con los tres minerales (ilita, caolinita y clorita) se prefirieron las ecuaciones con el ajuste de ambos picos, las cuales son:

$$y = 1,1039x + 0,0523 \text{ para AS}$$

$$y = 1,1296x + 0,0514 \text{ para EG}$$

Para medir la CI únicamente:

- Si se presentaba una muestra sólo con ilita se prefirieron las ecuaciones con el ajuste del pico de 10Å, las cuales son:

$$y = 1,1757x + 0,0467 \text{ para AS}$$

$$y = 1,1855x + 0,0511 \text{ para EG}$$

Donde x es el valor de CI y de CCao/CCI de una muestra cualquiera sometida a las condiciones indicadas en este trabajo, mientras que y es el valor final calibrado.

7. CUANTIFICACIÓN

7.1. Muestras orientadas

Para la cuantificación con este tipo de montura se utilizan los diffractogramas de EG, para evitar cualquier efecto o interrupción de los minerales expansivos hacia los que no lo son. Se realizan los cálculos que se indican a continuación:

- Para la cuantificación de la clorita se deben conocer el valor de la intensidad del pico (004) en cps y para la cuantificación de la caolinita se utiliza la intensidad del pico (002) en cps. Ambos valores por separado se dividen por la constante 2,31 la cual tiene la función de corregir la respuesta a los rayos x relativamente grande de estos dos minerales. Esta constante varía según las

condiciones experimentales y el utilizado en este trabajo es el determinado en el Laboratorio de DRX de PDVSA de El Chaure, Puerto La Cruz.

- Las cantidades sin normalizar a 100% de la clorita (A) y caolinita (B) se obtienen por las ecuaciones:

$$A = I_{(004)Cl} / (2,31)$$

$$B = I_{(002)Cao} / (2,31)$$

- Para la cuantificación de la ilita se debe conocer el valor de la intensidad del pico (003) en cps de tal manera se tiene: $C = I_{(003)Ili}$, donde C es el valor sin normalizar a 100% de la ilita.

- El % de cada mineral resulta de las siguientes ecuaciones, donde $M = A + B + C$: %Cl = $(A/M)100$, %Cao = $(B/M)100$, %Ili = $(C/M)100$

- En caso de detectarse la presencia de cuarzo en la fracción $\lt; 2\mu$, lo más común es que el pico (003) de la ilita se encuentre solapado con el pico (101) del cuarzo. En este caso se debe sustraer la intensidad que ocasiona la reflexión (101) del cuarzo a la reflexión (003) de la ilita. Dado que la intensidad del pico (101) del cuarzo es aproximadamente 4,3 veces la reflexión del pico de (100), de esta manera se debe restar 4,3 veces la intensidad obtenida por el pico (100) del cuarzo a la intensidad obtenida por el pico solapado de las reflexiones (003) de la ilita y (101) del cuarzo. La siguiente ecuación expresa la corrección del valor sin normalizar (C) de la ilita por la presencia de cuarzo:

$$C = I_{(003)Ili} - (4,3 I_{(100)Cuarzo})$$

- Si se tiene la certeza de la presencia de caolinita y clorita en una muestra pero no es posible distinguir entre las reflexiones (002) de la caolinita y (004) de la clorita por solapamiento de ambos, entonces se usan las siguientes ecuaciones:

$$E = I_{(004)Cl} / (2,31) + I_{(002)Cao} / (2,31), \% (Cao + Cl) = (E/M)100$$

Cuantificación del mineral interstratificado I/S

- Identificada la I/S se procede a la verificación del tipo de ordenamiento o parámetro de Reichweite (R) en el análisis con EG. Este parámetro expresa la probabilidad de que una capa de ilita se encuentre después de una capa de esmectita o viceversa de esta manera ISISI... Así cada componente (I o S) tiene 50% de probabilidad (P) de aparecer.

El parámetro R, varía como sigue según el tipo de alternancia entre cada mineral

R = 0 corresponde a ISISISIISI, R = 1 a ISISIS y R = 3 a IISISII

En la práctica el parámetro R es determinado por la posición de la reflexión entre 5 y 9°2θ (001)/(002), una reflexión cercana a 5,2°2θ con un valor de d(Å) ≈ 16,9Å indica que el ordenamiento de las capas perpendiculares a la línea (001) es desordenado o aleatorio lo que implica un R = 0, si por el contrario existe una reflexión cercana a 6 y 6,5°2θ con un valor de d(Å) = 13,3 Å y 14Å las capas se encuentran de manera ordenada o con un R = 1 y por lo general con un porcentaje mayor de capas de illita.

- Para estimar cualitativamente el %I en el mineral I/S, se procede de la siguiente manera se compara gráficamente el difractograma del análisis con EG de la muestra y los patrones obtenidos por computadora por REYNOLDS & HOWER (1970: 35-40), estos patrones muestran la variación del %I en el mineral I/S así como el grado de ordenamiento. Se debe prestar mucha atención en la reflexión cercana a 5-6°2θ y la de 16-17,7°2θ y comparar la forma de los picos con los patrones de los autores anteriores. Estos autores muestran ejemplos de muestras orientadas con mezclas del mineral illita y del mineral I/S con diferentes %I para su comparación (Fig. 7).

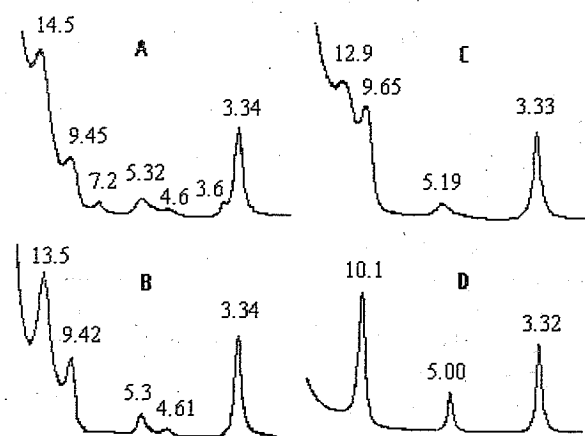


Figura 7. Patrones de difracción glicoladas de muestras con illita e I/S ordenadas. %Illita: A = 65%, B = 70%, C = 80% y D = 100%. Números en Å. Tomado y modificado de REYNOLDS & HOWER (1970).

- Para determinar el % del mineral I/S, se procede de la siguiente manera: por lo general el mineral I/S se presenta junto con el mineral illita, por lo que la reflexión de (001) de la illita queda interferida con la reflexión (001)/(002) del I/S, para poder cuantificar los dos minerales se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = (C/M)100 = \%Illita + \%I/S$$

luego para poder cuantificar los dos minerales se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\%Illita = (I_{(001)Illita} / C)D$$

$$\%I/S = \%Illita - D$$

- Algunas veces, existen complicaciones al aplicar estas fórmulas y es cuando el valor del plano $I_{(001)Illita}$ sea mayor que el valor de C, en estos casos no es posible discriminar la cantidad de estos dos minerales, por lo que es más conveniente proporcionar un resultado como %Illita + %I/S es decir en base a la ecuación D.

8. UN EJEMPLO DE CARACTERIZACIÓN DE MINERALES DE ARCILLA

A continuación se muestran algunos resultados parciales (tablas 6 y 7) de muestras de rocas pelíticas pertenecientes a las formaciones Garrapata y Guárico, que afloran en la sección de Agua Blanca-Altigracia de Orituco, estados Miranda y Guárico, obtenidos por FOURNIER (1999). Nótese que la Formación Garrapata posee más clorita, mientras que la Formación Guárico posee más illita, caolinita y el interstratificado I/S y por ende un mayor índice de expansibilidad. Los aspectos interpretativos de este estudio será objeto de otro trabajo. Según la tabla 7 las muestras GU-18 y GU-52 pertenecientes a las formaciones Garrapata y Guárico respectivamente, pertenecen a la anchizona que de acuerdo con WARR *et al.* (1991) implica que la temperatura alcanzada por estas rocas está entre 200 y 300°C, pero el resto pertenece a la zona diagenética.

9. CONCLUSIONES

La metodología para un estudio completo de los minerales de arcilla por la técnica de DRX implica dos fases: la primera, es su estudio en roca total, analizando la roca con todos los minerales presentes en la misma, incluyendo los politipos de los filosilicatos. La segunda, es la orientación de los minerales de arcilla, en esta fase se identifican los minerales cuya fracción es menor de 2 μ considerados como autigénicos y libre de detritos, en ella se miden las cristalinidades de la illita, caolinita y de la clorita. Si la CI se ubica en el intervalo entre 0,25°Δ2θ y 0,42°Δ2θ indica que la muestra ha estado sujeta a condiciones de anchimetamorfismo, para determinar dichos valores es necesario que la metodología analítica esté debidamente calibrada con patrones internacionales.

10. AGRADECIMIENTOS

Al amigo y Profesor Franco Urbani, quién generosamente revisó y corrigió este trabajo y a todos aquellos que me sirvieron de inspiración.

Tabla 6. Mineralogía en la fracción <2μ en algunas muestras de la sección Guatopo- Altigracia de Orituco.

Muestras- Formación	Arcillosos (% en peso)						% I en I/S	Ir
	I/S	I	Cao	Cl	Cao +Cl	Pa		
Garrapata								
GU18-Ga	0	28	0	72	0	0	0	1,56
GU20-Ga	0	37	0	0	63	0	0	1,17
GU33-Ga	12	69	0	0	19	0	*	2,07
GU36-Ga	0	54	0	0	46	0	0	1,38
GU38-Ga	30	0	0	40	0	30	70	1,32
GU39-Ga	0	70	0	30	0	0	0	0,91
Guárico								
GU52-Gu	0	75	0	0	25	0	0	1,17
GU50-Gu	0	100	0	0	0	0	0	1,40
GU46B-Gu	3	96	3	0	0	0	*	0,94
GU46-Gu	0	94	6	0	0	0	0	1,11
GU41-Gu	30	47	0	0	23	0	90	2,44
GU31-Gu	48	41	0	0	11	0	90	3,37
GU30-Gu	41	46	13	0	0	0	70	2,43
GU23-Gu	0	66	0	0	34	0	0	1,21
GU9-Gu	0	100	0	0	0	0	0	1,25
GU6-Gu	0	100	0	0	0	0	0	0,53

Abreviaturas: Formación Guárico, Mineralogía arcillosa: I/S: Illita/esmectita, I: Illita, Cao: Caolinita, Cl: Clorita, Cao+Cl: Caolinita + Clorita (sin diferenciar), Pa: Paragonita. Ir: Índice de \square rodo \square o de expansibilidad (adimensional), *: no determinable.

Tabla 7. Cristalinidades de la illita y de la caolinita/clorita.

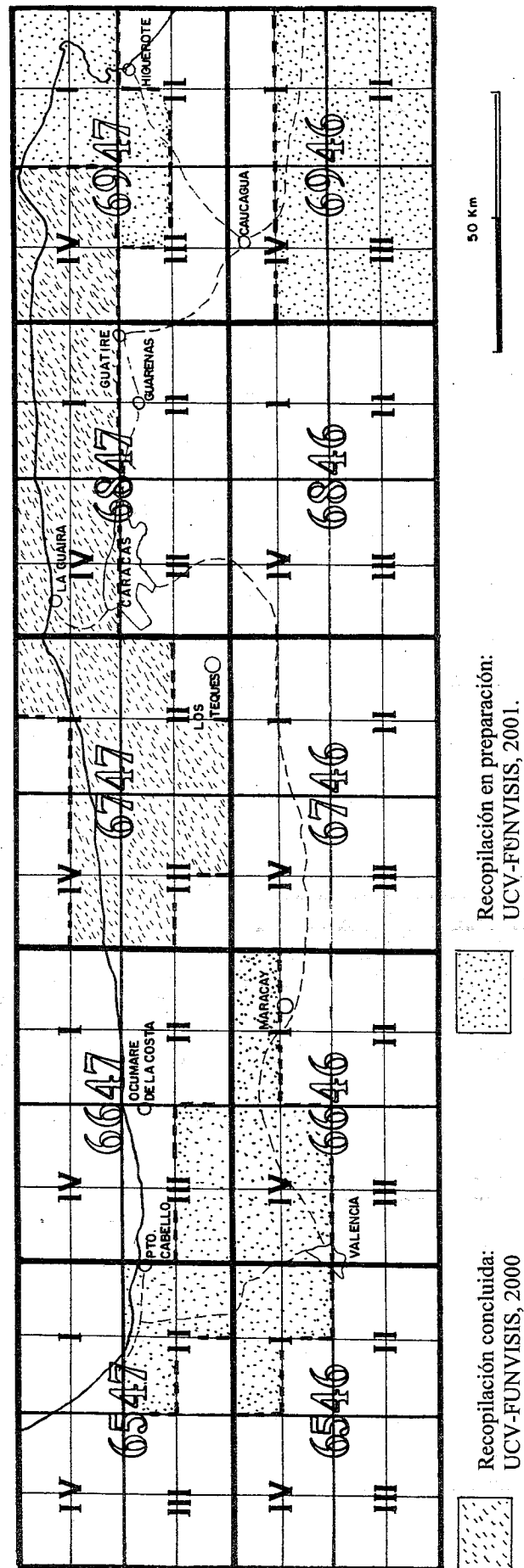
Muestras- Formación	Cristalinidades (°Δ2θ)			
	Illita		Caolinita/Clorita	
	AS	Glicolada	AS	Glicolada
Fm.				
Garrapata				
GU18-Ga	0,27	0,26	0,32	0,33
GU20-Ga	0,66	0,48	0,39	0,42
GU33-Ga	0,93	0,65	0,64	0,64
GU36-Ga	0,71	0,51	0,39	0,39
GU38-Ga			0,51	0,50
GU39-Ga	0,80	0,49	0,39	0,41
Guárico				
GU52-Gu	0,35	0,33		
GU50-Gu	0,62	0,61		
GU46B-Gu	0,56	0,52		
GU46-Gu	0,49	0,48		
GU41-Gu			0,35	0,35
GU31-Gu			0,39	0,37
GU30-Gu			0,73	0,72
GU23-Gu	0,74	0,55	0,41	0,39
GU9-Gu	0,70	0,65		
GU6-Gu	0,77	0,61		

Abreviaturas: Unidades: Ga: Formación Garrapata, Gu: Formación Guárico, Preparación: AS: Aire Seco, °Δ2θ: ancho a media altura en unidades °2θ. Muestras con resultados en negritas representan a la anchizona.

11. BIBLIOGRAFÍA

- ALBEE, A. L. 1962. Relationships between the mineral chemical composition and physical properties of the chlorites series. *American Mineralogist*, 47: 851-870.
- BRINDLEY G. W. 1961. Chlorite minerals. En: *The x-ray identification and crystal structure of clay minerals*. Mineralogical Society, Spec. Pub. 6: 242-296.
- EBERL D. D. & B. VELDE. 1989. Beyond the Kubler index. *Clay Minerals*, 24: 571-577.
- FOURNIER H. 1999. *Estudio de los minerales de arcilla en la sección Agua Blanca - Altigracia de Orituco*. Estados Guárico y Miranda. U.C.V. Dep. Geol. Trabajo Especial de Grado, Inédito, 182 pp.
- KISCH H. J. & M. FREY. 1987. Effect of sample preparation on the measured 10- \square peak width of illite (illite "crystallinity"). En: *Low Temperature Metamorphism*. Blackie & Son, Glasgow. 301-304.
- KISCH, H. J. 1983. Mineralogy and petrology of burial diagenesis (burial metamorphism) and incipient metamorphism in clastic rocks. En: G. LARSEN & G. CHILINGAR. 1983. *Diagenesis in sediments and sedimentary rocks*, 2. Elsevier, Amsterdam, 572 pp.
- KISCH H. J. 1991. Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, X-ray diffraction settings, and interlaboratory samples. *Journal Metamorphic Geology*, 9: 665 - 670.
- MOORE D.M. & R. C. REYNOLDS JR. 1989. *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford Univ. Press, Oxford, 332 pp.
- NIETO F. 1982. *Las cloritas de las Cordilleras Béticas*. Univ. Granada, Tesis Doctoral, Inédito, 249 pp.
- REYNOLDS JR. R. C. & J. HOWER. 1970. The Nature of Interlayering in Mixed-Layer Illite-Montmorillonites. *Clays and Clay Minerals*, 18: 25-36.
- SASSI F. P. & A. SCOLARI. 1974. The b_0 value of the potassic white micas as a barometric indicator in Low - Grade Metamorphism of pelitic schists. *Contrib. mineralogy and Petrology*, 45: 143-152.
- \square RODO \square J. 1984. X-ray diffraction of illitic materials. *Clays and clay minerals*, 17: 23-39.
- WARR L. N. & H. N. RICE. 1994. Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. *Journal Metamorphic Geology*, 12: 141 - 152.

MAPA INDICE DE HOJAS A ESCALA 1:25.000, CORDILLERA DE LA COSTA



GEOS

Es una publicación científica serial de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.

GEOS aparece indizado en:

- Publicaciones Seriales
 - Geological Abstracts (Elsevier Science Publishers Ltd., Inglaterra).
 - Bibliography and Index of Geology (American Geological Institute, Virginia, USA).
 - Geographical Abstracts: Physical Geography and International Development Abstracts (Elsevier Geo Abstracts, Inglaterra).

- Bases de datos computarizados y/o CD-Rom
 - Georef (Silver Platter Information Retrieval System, Mass., USA).
 - Geobase (Elsevier Geo Abstracts, Inglaterra)

IMPRESO EN FEBRERO 2001
 EN LOS TALLERES DE
 GRUPO IMPREGRAFICAS C.A.
 TELF.: 232.50.77
 CARACAS-VENEZUELA