

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO
REVISTA DEL MUSEO DE LA PLATA
(NUEVA SERIE)

COMPOSICION NORMATIVA Y CLASIFICACION DE ROCAS PELITICAS

JULIO C. MERODIO Y LUIS A. SPALLETTI *

RESUMEN

Se da a conocer un método normativo de clasificación de rocas pelíticas basado en su composición química mayoritaria (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 y CO_2).

El procedimiento propuesto presenta dos modelos de norma, con o sin esmectita. En ambos modelos los contenidos de K_2O pueden ser asignados a ortosa o a illita.

La clasificación de las pelitas está basada en las proporciones normativas de argilominerales, cuarzo y feldespatos. En ella se reconocen nueve variedades composicionales, las que se pueden representar en un diagrama triangular.

Se discute el valor de los estudios químicos composicionales en la interpretación genética de sucesiones y rocas pelíticas.

Pelitas, Clasificación, Composición normativa.

ABSTRACT

NORMATIVE CLASSIFICATION OF PELITIC ROCKS. — A normative classification of pelitic rocks based on the proportion of major components (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 and CO_2) is presented in this paper.

The proposed procedure includes two models of norm calculation: smectite present and smectite absent. In both models the content of K_2O can be used to determinate orthoclase or illite.

* Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata.

The pelitic rock classification is based upon the relative contents in normative clay minerals, quartz and feldspars. Nine compositional rock-types, which are clearly defined in a triangular diagram were recognized.

The importance of chemical composition studies in the interpretation of pelitic rocks is also discussed.

Pelitic rocks, Normative classification.

INTRODUCCION

Una revisión bibliográfica de los trabajos desarrollados en los últimos años en el campo de las investigaciones sedimentológicas, muestra claramente una creciente preocupación por los aspectos químico-composicionales de los materiales en estudio y su posible vinculación con ambientes de depositación y ambientes tectónicos. Es evidente que esta característica metodológica está íntimamente relacionada con el desarrollo en las dos últimas décadas, de técnicas analíticas —tales como la fluorescencia de rayos X, la absorción atómica y más recientemente la espectrometría de emisión de plasma de argón— que han permitido la obtención de datos composicionales caracterizados por una mayor exactitud, precisión y celeridad.

Una característica importante de la problemática sedimentológica es el interés constante que se observa por desarrollar esquemas clasificatorios del material. Dentro del campo de las rocas pelíticas los métodos más tradicionales están basados fundamentalmente en sus características texturales y mineralógicas (Bathia, 1985). Sin embargo, son bien conocidas las serias dificultades con que tropieza la metodología empleada en el análisis cuantitativo de sedimentos de grano fino. Las técnicas más desarrolladas como difracción de Rayos X y análisis térmico diferencial revelan la naturaleza de los principales minerales presentes pero, en el mejor de los casos, sus valores son semicuantitativos. Shaw y Weaver (1965) en un estudio comparativo de técnicas determinativas en pelitas, encuentran por microscopía contenidos sustancialmente deprimidos de cuarzo y feldespatos.

Englund y Jorgensen (1973) proponen para este tipo de rocas una clasificación basada en la composición química y definida en función del contenido de ciertos componentes mayoritarios tales como Al_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O y K_2O . Estos autores ponderan las variaciones de la composición química en términos de índices de meteorización.

Con todo, a diferencia de la geoquímica ígnea, la geoquímica de rocas sedimentarias no se ha distinguido por el desarrollo generalizado de procedimientos vinculados con el estudio e interpretación de las variables químicas que puedan aplicarse a la caracterización de series distintas de un mismo tipo litológico.

El objetivo de la presente contribución es desarrollar un método

de clasificación de rocas pelíticas basado en su composición mineral normativa obtenida, a su vez, del contenido de componentes químicos mayoritarios. Se dispondrá así, sin excesivo esfuerzo, de una herramienta sumamente útil que podrá ser empleada en la comparación química de grupos de muestras, y en la caracterización e interpretación de rocas y sucesiones pelíticas.

ESQUEMA METODOLOGICO

La clasificación de rocas pelíticas que aquí se propone está basada en el siguiente esquema:

A) *Análisis químico*: determinación de los contenidos porcentuales de SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 (total); MgO ; CaO ; Na_2O ; K_2O ; P_2O_5 y CO_2 , eventualmente SO_3 .

B) *Cálculo de la norma*: aplicación del procedimiento de acuerdo a un esquema definido según la real o probable composición mineralógica.

C) *Clasificación de las muestras*: representación de los distintos especímenes en un diagrama triangular construido a partir de los contenidos de arcillas, feldespatos y cuarzo.

A) ANÁLISIS QUÍMICO

(Según Shapiro, 1952; Merodio y Martínez, 1985)

A los efectos del desarrollo de los cálculos normativos solamente se requieren los contenidos de los componentes arriba mencionados. No es necesario disponer de los tenores individuales de Fe_2O_3 y FeO : el dato empleado en la norma es el de hierro total, expresado como Fe_2O_3 . Tampoco figuran los componentes volátiles, con la excepción de CO_2 , ni los minoritarios TiO_2 y MnO . Cuando la muestra contenga sulfatos se incluirá el dato de SO_3 .

B) COMPOSICIÓN NORMATIVA

a) Comentario general

El procedimiento empleado para el cálculo de la composición normativa de las rocas sedimentarias es muy versátil. Su esquema general ha sido desarrollado entre otros por Imbrie y Poldervaart (1959), Nicholls (1962) y Garrels y Mackensie (1971). A partir de esta última propuesta se presenta en este trabajo un esquema más completo que puede adaptarse en función de la identificación mineralógica que previamente ha sido efectuada o de la que se considera como la más probable. La norma no necesariamente tiene que coincidir con la composición modal de la muestra, pero de cualquier manera provee un resul-

tado más o menos ajustado a la realidad, permitiendo la comparación de rocas sobre bases mineralógicas estandarizadas. Diferencias y modelos evolutivos en la mineralología normativa de un tipo a otro de roca, según variaciones de los contenidos de sus componentes químicos, provee indicios importantes respecto de la génesis e historia del material que se estudia.

b) Características mineralógicas estructurales y fórmulas promedio

Un primer aspecto a considerar en la determinación de la composición normativa de las rocas pelíticas consiste en la definición de las fórmulas químicas promedio de los principales minerales de las arcillas.

Si se intenta desarrollar un procedimiento de cálculo normativo cuyos resultados resulten estrechamente coincidentes con la composición modal, es imprescindible contemplar las posibles sustituciones diadómicas que caracterizan a muchos argilominerales. De éstos solamente la caolinita no muestra una tendencia manifiesta a dicho fenómeno lo que conduce a una estrecha coincidencia entre su fórmula teórica y real. La illita, clorita y esmectitas, por el contrario, se caracterizan por una gran capacidad de sustitución catiónicas en sus enrejados cristalinos, tanto en sus posiciones tetrahédricas como octahédricas, acompañados de fenómenos de intercambio iónico surgidos como consecuencia de desequilibrios de cargas que sufren las distintas estructuras. Todo ello exige un estudio detallado de las características estructurales de cada uno de estos minerales, el cual se expondrá a continuación.

Illita

Weaver y Pollar (1973) han calculado a partir de la composición química, la fórmula estructural promedio de 24 illitas aplicando el método de Ross y Hendricks (1945). Sus resultados son los siguientes:

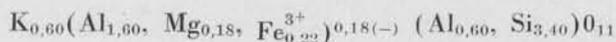
Al octahédrico:	1,531
Fe(3+) octahédrico:	0,225
Fe(2+) octahédrico:	0,035
Mg octahédrico:	0,283
Al tetrahédrico:	0,600
Si tetrahédrico:	3,405
Ca entre capas:	0,046
Na entre capas:	0,032
K entre capas:	0,615

Componente	Contenido (%) (Base anhidra)
SiO ₂	54,75
Al ₂ O ₃	28,90
K ₂ O	7,70
Fe ₂ O ₃ (total)	5,50
MgO	3,00
Na ₂ O	0,27
CaO	0,69

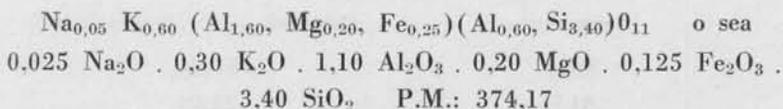
La carga negativa de la posición tetrahédrica provocada por la sustitución de Al por Si es compensada con la incorporación de K entre capas, en tanto que la carga negativa octahédrica (Mg por Al) determina la adsorción de Fe(3+), Mg, K, Ca y/o Na. Estos autores también señalan que la meteorización de feldspatos en ambientes continentales conduce a la formación de illitas con bajos tenores de MgO (entre 1 y 1,50 %), en tanto que las arcillas de ambientes marinos se caracterizan por valores más elevados de dicho componente (3 a 3,50 %).

Nadeau y Bain (1986) efectuaron el análisis químico y calcularon las fórmulas estructurales de 13 arcillas illíticas provenientes de bentonitas cretácicas, devónicas y ordovícicas, así como de areniscas jurásicas y pérmicas. Encontraron que las cargas tetrahédricas variaron entre 0,4 y 0,8, en tanto que de acuerdo a las cargas octahédricas las illitas fueron divididas en dos tipos: fengítico (con valores entre 0,2 y 0,4), y muscovítico (menores de 0,12). Los contenidos de K₂O de las muestras analizadas variaron de 4 % a 9 %, los de MgO desde trazas a 4 %, con promedio de 1,95 %, y los de Fe₂O₃ total desde trazas a 7 %. Estos autores señalan un valor promedio de 1,75 átomos de Al en posición octahédrica, cifra sensiblemente más elevada que la presentada por Weaver y Pollard (op. cit.). Los contenidos atómicos de Al tetrahédrico aportados por ambos grupos de investigadores, en cambio, son totalmente coincidentes (0,60). El Mg siempre ubicado en posiciones octahédricas mostró una variabilidad muy marcada, desde ausencia total (una muestra) hasta 0,38 átomos, en estrecha correlación con sus contenidos porcentuales en peso sumamente dispersos.

En función de los valores aquí señalados se puede estimar una fórmula promedio de la illita que pretende ser lo más representativa posible:



Las cargas negativas (0,18) producto de la sustitución de Mg por Al son compensadas por el mismo Mg, el Fe(3+) y el Na definiendo así la siguiente fórmula final:



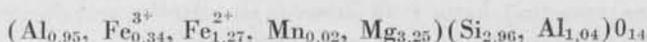
Los contenidos de los componentes de acuerdo a esta expresión son los siguientes:

SiO_2 (%):	54,58
Al_2O_3 (%):	29,97
K_2O (%):	7,55
Fe_2O_3 (%):	5,33
MgO (%):	2,16
Na_2O (%):	0,41

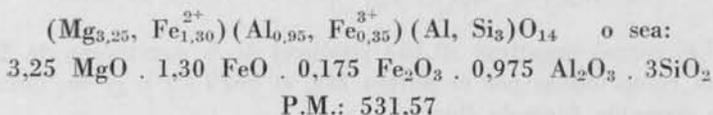
Clorita

Foster (1962) calculó las fórmulas estructurales de numerosas cloritas y encontró que el contenido de Si varía entre 2,34 a 3,20 por cada 4 posiciones tetrahédricas, siendo reemplazado por Al. Este autor también concluyó que el Al octahédrico que compensa el desequilibrio de cargas de las posiciones tetrahédricas, puede alcanzar valores menores que el tetrahédrico. En tal caso la deficiencia se anula con la incorporación de Fe(3+). Con todo, en la mayoría de los resultados aportados por Foster (op. cit.) el Al octahédrico predomina sobre el Fe(3+).

Ball (1966) calculó las fórmulas estructurales de 26 cloritas de grano fino (fracción arcilla) provenientes de distintos suelos y encontró que el Al tetrahédrico varió de 1,0 a 1,7. Por su parte el Fe octahédrico total, esto es el Fe(2+) que sustituye al Mg y el Fe(3+) que lo hace con el Al, alcanzó cifras comprendidas entre 0,8 y 2,4 con prevalencia de valores menores de 1,6. El análisis químico efectuado por este autor produjo la siguiente fórmula estructural (base anhidra):



A los fines del cálculo práctico de la norma y respondiendo a una estructura semejante, se postula la siguiente fórmula estructural de la clorita:



Su composición porcentual es:

SiO ₂ (%)	33,90
MgO (%)	24,65
Al ₂ O ₃ (%)	18,70
FeO (%)	17,50
Fe ₂ O ₃ (%)	5,26
(Fe ₂ O _{3(T)} (%))	24,69

Esmectita

De acuerdo a Grim y Kulbicki (1961) existen dos tipos de montmorillonitas que difieren primordialmente en la cantidad de Mg octahédrico que poseen sus estructuras: el tipo Cheto que tiene aproximadamente el 25 % del Al reemplazado por Mg (promedio 0,55 del total de 2,00 de posiciones octahédricas) y el tipo Wyoming con mucho menos Mg octahédrico (promedio 0,19 del total de 2,00).

Por otra parte, el análisis químico y estructural promedio de 101 montmorillonita-beidellitas ha definido los siguientes valores de su fórmula estructural (Weaver y Pollard, op. cit.):

Si tetrahédrico	3,837
Al tetrahédrico	0,158 (aprox. 4 % del total de posiciones tetrahédricas)
Al octahédrico	1,492
Mg octahédrico	0,354
Fe (total) octahédrico	0,194
Ca adsorbido (intercambiable)	0,007
Na adsorbido (intercambiable)	0,010
K adsorbido (intercambiable)	0,004

Puede observarse que el valor del Mg (0,354) es ligeramente menor que el promedio de los dos tipos de montmorillonita arriba citados (0,37) y que el Fe total octahédrico (0,194) representa alrededor del 10 % del total de posiciones. Además importante es señalar que el Al que reemplaza al Si tetrahédrico no supera el 4 % del total de esa posición. En este sentido, Nadeau y Bain (op. cit.) encuentran valores semejantes en 12 esmectitas provenientes de bentonitas cretácicas.

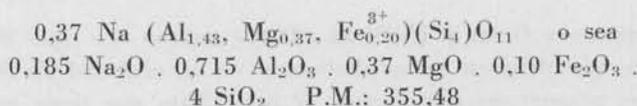
En función de estos resultados pueden arribarse a algunas conclusiones a los efectos de definir la fórmula química promedio de las esmectitas:

1. — Despreciando el valor de Al tetrahédrico y en honor a la simplificación, se computa todo el Al como octahédrico.

2. — Se consideran las siguientes proporciones de los distintos cationes involucrados en las posiciones octahédricas:

Al	1,43
Mg	0,37
Fe	0,20

3. — De acuerdo a lo anteriormente expresado se define la siguiente fórmula química para las esmectitas:



La composición porcentual es la siguiente:

SiO ₂ (%):	67,58
Al ₂ O ₃ (%):	20,50
Fe ₂ O ₃ (%):	4,49
MgO (%):	4,20
Na ₂ O (%):	3,23

En esta expresión se ha contemplado la neutralización de la carga negativa de la estructura octahédrica (0,37), incorporando al elemento Na como componente adsorbido entre capas.

En la naturaleza, este fenómeno tiene existencia real y las partículas de arcilla eléctricamente cargadas se neutralizan a través de procesos de adsorción de diferentes cationes tales como Ca, Mg, Na, K, H, etc. En ambientes de agua dulce el Ca es el catión intercambiable dominante (Keller, 1964), en tanto que el Mg predomina en arcillas dispersas de ambientes marinos (Carroll y Starkey, 1960). Experiencias efectuadas en 1964 por Hanshaw mostraron que en arcillas compactadas de ambientes marinos el Na reemplazaba a Mg.

Este comportamiento tan particular hace sumamente dificultoso establecer un modelo para el proceso de adsorción. Sin embargo sobre la base de cálculos tentativos efectuados con muestras de composición química y mineralógica conocidas, y buscando soluciones simplificadas, se ha optado por elegir al Na como elemento de ajuste.

c) Cálculo de la norma

Uno de los atributos esenciales de la norma propuesta es que permite seguir diversas alternativas de acuerdo a la composición mineralógica cualitativa de la roca pelítica. Se desarrollan así dos modelos de

norma: el *Modelo A* aplicado a muestras caracterizadas por la ausencia de esmectita, y el *Modelo B* que contempla la presencia de arcillas expansivas. Además en ambos casos existen dos posibilidades de transformar el contenido de K_2O : en ortosa (Modelos A-1 y B-1) o en illita (Modelos A-2 y B-2).

Un aspecto importante en la definición del modelo normativo es establecer las proporciones de MgO que han de ser destinadas a la conformación de la illita, clorita y esmectita, una vez que ha sido constituida la molécula de magnesita si la hubiere.

Si la muestra se encuadra en el Modelo A-1 (ausencia de esmectita y de illita), está claro que todo el contenido de MgO se destinará a la clorita y el problema queda así fácilmente resuelto.

Para los otros tres modelos, en cambio, es necesario establecer mecanismos que conduzcan a soluciones factibles y coherentes.

Si la muestra responde al Modelo A-2 (con clorita e illita) el procedimiento a seguir consiste en comenzar asignando MgO a la illita teniendo en cuenta su relación con K_2O , el cual es totalmente destinado a este mineral. El MgO remanente es entonces empleado en armar la molécula de clorita.

En el Modelo B-1 (con clorita y esmectita), un ajuste normativo sumamente práctico consiste en asignar a cada mineral partes iguales de MgO . Generalmente esta es una solución que responde a la realidad composicional de la roca, teniendo en cuenta que la proporción mayor del MgO en la clorita respecto a la esmectita (5 a 6 veces, según contenidos de sus fórmulas promedios), es compensada en la mayoría de los casos por contenidos de clorita mucho menores que los de arcillas expansivas en la roca pelítica. Sin embargo si se desea un ajuste normativo más real deberá conocerse mediante un ensayo rápido por difracción de rayos X la relación existente entre los contenidos de estos dos minerales, y proceder en consecuencia, teniendo siempre presente que $MgO \%$ (clorita)/ $MgO \%$ (esmectita) alcanza valores promedios entre 5 y 6.

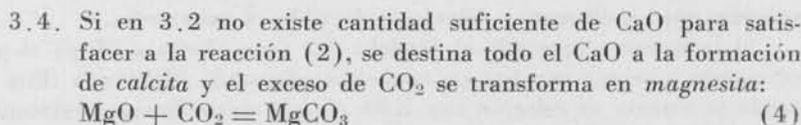
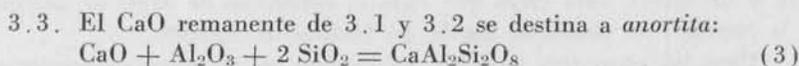
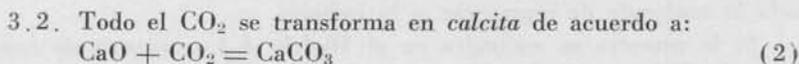
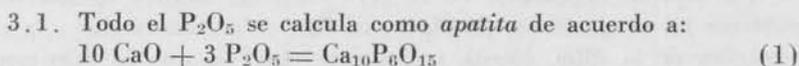
En el caso extremo en que la muestra responde al Modelo B-2 (con clorita, illita y esmectita), se comienza asignando MgO a la illita de acuerdo al contenido de K_2O destinado a este mineral. La proporción remanente de MgO se distribuye entre clorita y esmectita de acuerdo al esquema descripto anteriormente.

Modelo A-1: Ausencia de esmectita y con ortosa normativa

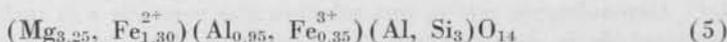
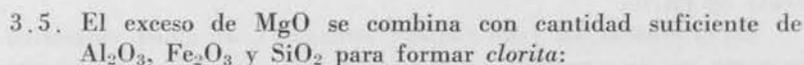
1. — Se recalcula el análisis químico llevando a 100 % la suma de los siguientes componentes (base anhidra): SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 (total); MgO ; CaO ; Na_2O ; K_2O ; P_2O_5 y CO_2 (eventualmente SO_3).

2. — Los contenidos porcentuales de los óxidos así obtenidos, se transforman en sus contenidos molares porcentuales dividiendo cada óxido por su peso molecular.

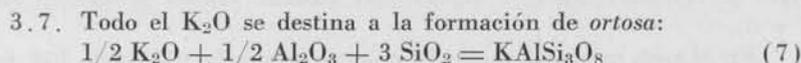
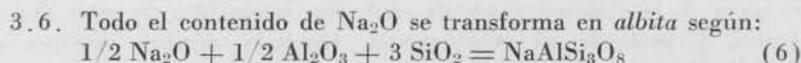
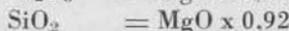
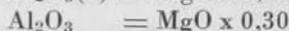
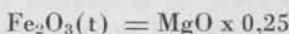
3. — Los contenidos molares son luego distribuidos entre minerales normativos del modo siguiente:



No existe en la roca anortita normativa.

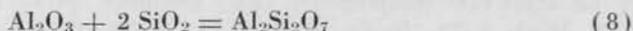


Las proporciones son:



3.8. Con el Al_2O_3 remanente después de contabilizar el consumido en las etapas 3.3, 3.5, 3.6 y 3.7, pueden seguirse dos caminos:

3.8.1. Si el contenido de SiO_2 remanente (obtenido por diferencia entre el total y el consumido en las etapas 3.3, 3.5, 3.6 y 3.7) supera en dos veces al de Al_2O_3 , se convierte todo el Al_2O_3 que no ha reaccionado en las etapas anteriores en *caolinita*:



3.8.2. Si el contenido remanente de SiO_2 es inferior a dos veces el de Al_2O_3 , se transforma toda la SiO_2 en *caolinita* y el exceso de Al_2O_3 se lo expresa como *corindón*.

3.9. Si se ha procedido según 3.8.1. el exceso de SiO_2 se lo expresa como *cuarzo*.

3.10. El Fe_2O_3 remanente es transformado en *hematita*.

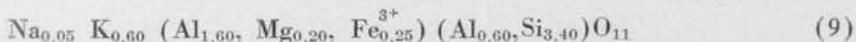
4.— Finalmente se obtienen los contenidos porcentuales en peso de los minerales normativos multiplicando el contenido molar de uno de los componentes de cada mineral (SiO_2 para los silicatos, CO_2 para los carbonatos y P_2O_5 para apatita) por un coeficiente característico de cada mineral, y que figura en la penúltima columna de la tabla de procedimiento de cálculo (Cf. Tabla 1). Este coeficiente se obtiene dividiendo el P.M. del mineral por el número de moles interviniente del componente seleccionado.

La tabla 1 muestra este procedimiento de cálculo para el modelo arriba desarrollado, aplicado a la pelita promedio de Clarke (1924).

Modelo A-2: Ausencia de esmectita y con illita normativa

Se procede de acuerdo al Modelo A1 hasta la etapa 3.4 inclusive. Se continúa según el siguiente esquema:

3.5. Todo el K_2O se destina a la formación de *illita*, combinándose con cantidades definidas de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O y SiO_2 de acuerdo a la fórmula siguiente:



Las proporciones son:

$$\text{Na}_2\text{O} = \text{K}_2\text{O} \times 0,08$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{K}_2\text{O} \times 3,66$$

$$\text{MgO} = \text{K}_2\text{O} \times 0,66$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{K}_2\text{O} \times 0,42$$

$$\text{SiO}_2 = \text{K}_2\text{O} \times 11,33$$

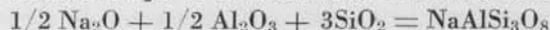
3.6. El contenido remanente de MgO se destina a la *clorita*, combinándose con cantidades de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y SiO_2 , de acuerdo a:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) = \text{MgO} \times 0,25$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{MgO} \times 0,30$$

$$\text{SiO}_2 = \text{MgO} \times 0,92$$

3.7. Todo el Na_2O se transforma en *albita* de acuerdo a:



3.8, 3.9, 3.10 y 4 son etapas comunes al Modelo A-1.

Modelo B-1: Presencia de esmectita y ortosa normativa

Se procede de acuerdo al Modelo A-1 hasta la etapa 3.4 inclusive. Se continúa según el siguiente esquema:

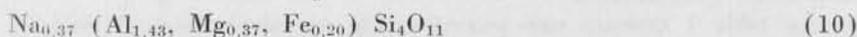
3.5. La mitad del contenido remanente de MgO (o la proporción definida por la relación clorita/esmectita en la muestra, si se conociera), se destina a la formación de *clorita*, combinándose con cantidades de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y SiO_2 de acuerdo a:

$$Fe_2O_3 = MgO \times 0,25$$

$$Al_2O_3 = MgO \times 0,30$$

$$SiO_2 = MgO \times 0,92$$

3.6. El remanente de MgO es empleado para formar *esmectita*, de acuerdo a la siguiente fórmula:



Las proporciones de cada componente son:

$$Na_2O = MgO \times 0,50$$

$$Al_2O_3 = MgO \times 1,93$$

$$Fe_2O_3 = MgO \times 0,27$$

$$SiO_2 = MgO \times 10,81$$

3.7. El remanente de Na_2O se destina a la formación de *albita*:



Se continúa según el Modelo A-1 desde 3.7 hasta la etapa final.

Modelo B-2: Presencia de esmectita e illita normativa

Se procede de acuerdo al Modelo A-1 hasta la etapa 3.4 inclusive. Se continúa según el siguiente esquema:

3.5. Todo el contenido de K_2O se destina a la formación de *illita*, combinándose con cantidades de Al_2O_3 , MgO, Fe_2O_3 , Na_2O y SiO_2 según las siguientes proporciones:

$$Na_2O = K_2O \times 0,08$$

$$Al_2O_3 = K_2O \times 3,66$$

$$MgO = K_2O \times 0,66$$

$$Fe_2O_3 = K_2O \times 0,42$$

$$SiO_2 = K_2O \times 11,33$$

3.6. La mitad del contenido remanente de MgO (o la proporción definida por la relación clorita/esmectita en la muestra, si se la conociera), se destina a la formación de *clorita*, combi-

nándose con cantidades de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y SiO_2 de acuerdo a:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{MgO} \times 0,25$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{MgO} \times 0,30$$

$$\text{SiO}_2 = \text{MgO} \times 0,92$$

- 3.7. El remanente de MgO es empleado para formar *esmeclita*, combinándose con cantidades de Na_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y SiO_2 de acuerdo a:

$$\text{Na}_2\text{O} = \text{MgO} \times 0,50$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{MgO} \times 1,93$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{MgO} \times 0,27$$

$$\text{SiO}_2 = \text{MgO} \times 10,81$$

- 3.8. El remanente de Na_2O se destina a la formación de *albuja*:
 $1/2 \text{Na}_2\text{O} + 1/2 \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{SiO}_2 = \text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Se prosigue de acuerdo al Modelo A-1 desde 3.8 hasta el final.

La Tabla 2 presenta un ejemplo de cálculo empleando este modelo y aplicado a la determinación de la composición normativa de la muestra promedio de la Pelita Pierre (Great Plain, USA) analizada por Tourtelot (1962).

d) Ejemplos

A los efectos de verificar el funcionamiento de la norma propuesta se ha procedido a aplicarla a diferentes rocas pelíticas de composiciones química y mineralógica conocidas. Se han ensayado tres grupos de cuatro muestras cada uno, seleccionando las mismas según el criterio de abarcar la máxima dispersión composicional entre ellas. La Tabla 3 presenta los resultados generales obtenidos. Un análisis de los mismos muestra algunos aspectos importantes de destacar:

1) Se observa especialmente en los dos últimos ejemplos de la Pelita Pierre contenidos normativos de arcillas, sensiblemente menores que los modales, con valores correlacionablemente mayores de cuarzo y feldspatos. Puede explicarse este resultado si se tiene en cuenta que parte del CaO y del Na_2O que fueron destinados a feldspatos en la norma, formaban parte de la illita y/o esmeclita, con un contenido de Na_2O superior al establecido en la norma (Tourtelot, op. cit.). Además, seguramente las proporciones de SiO_2 de las arcillas de estas muestras fueron superiores a las destinadas en la norma.

2) Las pelitas Pi5 Paso del Sapo y Pi25 de Lefipán muestran valores normativos de feldspatos superiores a la moda, lo que conduce a suponer a las composiciones de las arcillas presentes (especialmente illita) con contenidos importantes de CaO y Na_2O .

3) Las pelitas carboníferas presentan valores modales y normativos muy semejantes, observándose la eficiencia de la norma aplicada a una arcilla prácticamente pura (N° 20).

C) CLASIFICACIÓN PROPUESTA

La clasificación normativa de rocas pelíticas que se propone en este trabajo se basa en las características composicionales definidas en un triángulo constituido por los contenidos de *arcillas* (clorita, illita, caolinita y esmectita), *feldespatos* (anortita, albita y ortosa) y *cuarzo*.

La Figura 1 muestra este triángulo composicional en el que líneas límites definen tres campos principales (1; 2 y 3) y sus correspondientes subdivisiones. El campo 1 corresponde a pelitas en las que las *arcillas* constituyen los minerales normativos mayoritarios. El campo 2 está asignado a aquellas pelitas con *cuarzo* normativo en mayor proporción. Las pelitas con contenidos mayoritarios de *feldespatos* se ubican en el campo 3.

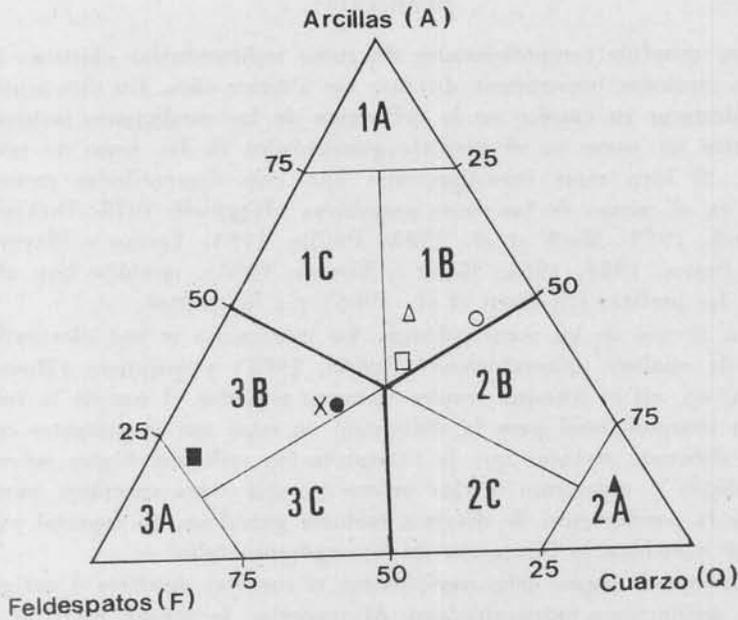
Con la figura se incluye la nomenclatura general de la clasificación propuesta, y la ubicación en el diagrama de diferentes tipos de pelitas, según norma Modelo A, illita u ortosa normativas.

Si la muestra no posee *cuarzo* normativo el cálculo correspondiente determina exceso de Al_2O_3 libre. La norma queda representada a lo largo de la línea arcillas-feldespatos del triángulo composicional y la pelita puede calificarse como *aluminosa*. En el caso que la alúmina en exceso supere el 15 % la roca se denominará *pelita aluminosa*.

Toda vez que el análisis muestre valores de Fe_2O_3 , CaO como carbonato y P_2O_5 superiores al 15 %, las pelitas podrán denominarse *feruginosas*, *calcáreas* y *fosfáticas*, respectivamente.

Si el método se aplica con la exclusiva finalidad de proceder a una clasificación del material puede prescindirse del empleo del triángulo composicional: el resultado de la norma llevando a 100 % la suma de los componentes mineralógicos involucrados en la clasificación, define directamente el tipo de roca pelítica. No obstante, la ubicación en el gráfico de los distintos especímenes analizados provee una información muy útil para definir trenes evolutivos o modelos de variación.

Un aspecto interesante de mencionar es que en aquellas pelitas en las que se asegura que la fracción más fina es coincidente con su tenor de argilominerales, este procedimiento permite dividir estas rocas en los conocidos tipos limolita, fangolita y arcilita, caracterizados por los valores de arcilla normativa: menores de 33 %, entre 33 % y 67 % y mayores de 67 %, respectivamente (Bathia, 1985). De este modo, la norma puede brindar una buena orientación en cuanto a la definición texturo-composicional de la roca pelítica, hecho que en las sedimentitas con alto grado de consolidación resulta de difícil apreciación.



Ejemplos

Modelo A.1 (Ortosa normativa)

- Pelita promedio Clarke (1924) según norma propuesta.
- X Pelita promedio Clarke (1924) según dicho autor
- Pelita potásica

Modelo A.2 (Illita normativa)

- △ Arcillas rojas
- Arcillas terrígenas
- Arcillas neríticas
- ▲ Pelita silíceas

NOMENCLATURA

- 1A - Pelitas arcillosas ($A > 75\%$)
- 1B - Pelitas arcillo-cuarzosas ($A < 75\%$; $A > Q > F$)
- 1C - Pelitas arcillo-feldespáticas ($A < 75\%$; $A > F > Q$)
- 2A - Pelitas cuarzosas ($Q > 75\%$)
- 2B - Pelitas cuarzo-arcillosas ($Q < 75\%$; $Q > A > F$)
- 2C - Pelitas cuarzo-feldespáticas ($Q < 75\%$; $Q > F > A$)
- 3A - Pelitas feldespáticas ($F > 75\%$)
- 3B - Pelitas feldespático-arcillosas ($F < 75\%$; $F > A > Q$)
- 3C - Pelitas feldespático-cuarzosas ($F < 75\%$; $F > Q > A$)

FIGURA I

DISCUSION

Los estudios composicionales de rocas sedimentarias clásticas han tomado creciente importancia durante los últimos años. En este sentido, es de destacar su empleo en la definición de las condiciones tecto-sedimentarias así como en el carácter geotectónico de las áreas de procedencia. Si bien estas investigaciones han sido desarrolladas esencialmente en el campo de las rocas psamíticas (Ingersell, 1978; Dickinson y Suczek, 1979; Mack et al., 1983; Bathia, 1983; Yerino y Maynard, 1985; Potter, 1984, 1986; Roser y Korsch, 1986), también han abarcado a las psefitas (Spalletti et al., 1986) y a las pelitas.

En el caso de las rocas pelíticas, las inferencias se han efectuado a partir de análisis mineralógicos (Bathia, 1985) y químicos (Roser y Korsch, op. cit.). Aunque resulta bastante tentador el uso de la información composicional para la definición de estas tan importantes cuestiones, debemos destacar que la interpretación sedimentológica sobre la mineralogía y quimismo de las pelitas es una tarea compleja porque implica la ponderación de diversos factores genéticos, en especial aquellos que controlan la formación de los argilominerales.

En primer lugar, debe considerarse el carácter detrítico o autógeno de las asociaciones mineralógicas. Al respecto, la mayor parte de los constituyentes de la fracción limosa es de origen detrítico; en cambio, los de la fracción más fina (predominantemente minerales de las arcillas) pueden constituir asociaciones detrítica, autógena o mixta.

Las arcillas detríticas tienen por su parte una triple dependencia: a) tipo de roca madre, b) clima-relieve y c) procesos de transporte a la cuenca. El tipo de roca madre, en particular su composición, es un factor condicionante del o los argilominerales que se aporten a la cuenca. Sin embargo, un mismo tipo de roca fuente puede generar distintas arcillas según el carácter e intensidad de la meteorización que la haya afectado, la que a su vez está controlada por el par clima-relieve en el área de procedencia.

Asimismo, en razón de que los argilominerales poseen diversa granulometría según su composición, los procesos de transporte pueden ejercer un control adicional sobre su dispersión en la cuenca sedimentaria.

El panorama de la composición de las arcillas se complica aún más cuando se considera su susceptibilidad a la autigénesis y neoformación en los ambientes deposicionales y en condiciones diagenéticas.

Por todo ello, se entiende que la composición —y particularmente el quimismo— de las pelitas debe ser considerada con cautela, en especial cuando se trata de atribuirle un significado sedimentológico específico, desconociéndose la influencia simultánea de otros factores condicionantes.

En cambio, se cree que estas investigaciones resultan de gran valor en el estudio de problemas particulares. Así, el análisis composicional de una sucesión de estratos pelíticos o de las pelitas de una determinada unidad litoestratigráfica brinda información básica sustancial para la mejor inferencia de los fenómenos geológicos.

En síntesis se ha encontrado una excelente aplicación de los datos químicos en la interpretación de depósitos pelíticos. En el caso de las sedimentitas cretácico-terciarias de las formaciones Paso del Sapo y Lepipán en la provincia del Chubut (Iñiguez et al., 1986), se ha podido definir la procedencia y los procesos de meteorización que afectaron a las rocas proveedoras de arcillas detríticas. Por otra parte, los estudios químicos sobre pelitas marinas profundas de las formaciones Portezuelo del Tontal y Alcaparrosa (Ordovícico de la Precordillera occidental) han permitido discriminar entre turbiditas de grano fino y hemipelagitas-pelagitas, que de otra forma no hubieran podido ser definidas (Spalletti et al., en preparación).

CONCLUSIONES

1.— Se ha desarrollado un método normativo de clasificación de rocas pelíticas basado en el conocimiento de su contenido en componentes químicos.

2.— El procedimiento normativo propuesto presenta dos modelos según que la muestra contenga proporciones importantes de esmectitas o carezca de estas arcillas. En ambos modelos los contenidos de K_2O pueden asignarse ya sea a ortosa o a illita, según el mineral que predomine.

3.— Un estudio comparativo de composiciones modales y normativas, muestra significativa correlación entre ambas, con tendencia manifiesta de la norma a asignar mayor proporción de feldspatos y menor de arcillas con ambos modelos de cálculo.

4.— La clasificación propuesta se basa en las características composicionales de minerales normativos descriptas en un triángulo constituido por los contenidos de arcillas, feldspatos y cuarzo. Quedan así definidas tres áreas principales, cada una de ellas conteniendo a su vez, tres subáreas. Para todos estos campos se propone una nomenclatura específica.

5.— Se discute el valor sedimentológico de la composición química de las rocas pelíticas y se destaca su importancia en la interpretación de problemas específicos.

BIBLIOGRAFIA

- BALL, D. F., 1966. Chlorite clay minerals Ordovician pumice tuff and derived soils in Snowdonia, North Wales. *Clay Miner.* 6: 195-209.
- BATHIA, M. R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.* 91, 6: 611-627.
- 1985. Composition and classification of Paleozoic flysch mudrocks of eastern Australia. Implications in provenance and tectonic setting interpretation. *Sediment. Geol.* 41: 249-268.
- CARROLL, D. y STARKEY, H. D., 1960. Effect of sea water on clay minerals. *Proc. Natt. Conf. Clays Miner.*, 7th Natt. Acad. Sci. Natt. Res. Counc., 1958: 80-101.
- CLARKE, F. W., 1924. Data of geochemistry. *U.S. Geol. Surv. Bull.* 770.
- DICKINSON, W. R. y SUZCEK, C. A., 1979. Plate tectonics and sandstone composition. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 63: 2164-2182.
- ENGLUND, J. O. y JORGENSEN, P., 1973. A chemical classification system for argillaceous sediments and factors affecting their composition. *Geol. Fören. Stockh. Förh.* 95: 87-97.
- FOSTER, M. D., 1962. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 414-A.
- GARRELS, R. M. y MACKENSIE, F. T., 1971. *Evolution of sedimentary rocks*. W. W. Noreton & Co. N. York.
- GRIM, R. E. y KULBICKI, G., 1961. Montmorillonite. High temperature reactions and classification. *Am. Mineral.* 46: 1329-1369.
- HANSHAW, B. B., 1964. Cation-exchange constants for clays from electrochemical measurements. *Clay Clay Miner., Proc.* 12: 397-422.
- IMBRIE, J. y POLDERVAART, A., 1959. Mineral compositions calculated from chemical analyses of sedimentary rocks. *J. Sediment. Petrol.* 29: 558-595.
- INGERSOLL, R. V., 1978. Petrofacies and petrologic evolution of the Late Cretaceous fore-arc basin, northern and central California. *J. Geol.* 86: 335-352.
- ISIGUEZ, A. M., MERODIO, J. C. y SPALLETI, L. A., 1986. Estudio mineralógico y geoquímico de las rocas pelíticas de las formaciones Paso del Sapo y Lefipán (Cretácico-Terciario), provincia del Chubut, Argentina. *Asoc. Geol. Argent. Rev.* (en prensa).
- KELLER, W. D., 1964. Process of origin alteration of clay minerals. En: *Soil clay mineralogy*. Univ. North Carolina Press.
- MACK, G. H., THOMAS, W. A. y HORSEY, C. A., 1983. Composition of Carboniferous sandstones and tectonic framework of southern Appalachian-Ouachita orogen. *J. Sediment. Petrol.* 53: 931-947.
- MERODIO, J. C. y MARTÍNEZ, J. M., 1985. Análisis químico de componentes mayoritarios en rocas silicatadas. *Asoc. Argent. Mineral. Petrol. y Sediment. Rev.* 16 (1-4): 7-16.
- NADEAU, P. H. y BAIN, D. C., 1986. Composition of some smectites and diagenetic illitic clays and implications for their origin. *Clays Clay Miner.* 34: 455-464.
- NICHOLLS, G. D., 1962. A scheme for recalculating the chemical analyses of argillaceous rocks for comparative purposes. *Am. Mineral.* 47: 34-46.
- POTTER, P. E., 1984. South American modern beach sand and plate tectonics. *Nature* 311: 645-648.

- 1986. South America and a few grains of sand: part 1-beach sands. *J. Geol.* 94: 301-319.
- ROSER, B. P. y KORSCH, R. L., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO_2/Na_2O ratio. *J. Geol.* 94: 635-650.
- SHAPIRO, L., 1952. Rapid Analysis of silicate, carbonate and phosphate rocks. *U.S. Geol. Surv., Bull.* 1401.
- ROSS, C. S. y HENDRICKS, S. D., 1945. Minerals of the montmorillonite group. *U.S. Geol. Surv., Prof. Paper* 205-13.
- SHAW, D. M. y WEAVER, C. E., 1965. The mineralogical composition of shales. *J. Sediment. Petrol.* 35: 213-222.
- SPALLETTI, L. A., BLASI, A. M. y MATHEOS, S. D., 1986. Estudio composicional de pefitas actuales de la Argentina y su significado tectónico. *Asoc. Geol. Argent. Rev.* (en prensa).
- SPEARS, D. A. y SEZGIN, N. I., 1985. Mineralogy and geochemistry of the subrenatum marine band and associated coal-bearing sediments, Lang sett, South Yorkshire. *J. Sediment. Petrol.* 55 (4): 570-578.
- TOURTELOT, H. A., 1962. Preliminary investigation of the geologic setting and chemical composition of the Pierre Shale, Great Plains Region. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 390.
- WEAVER, C. E. y POLLARD, L. D., 1973. *The chemistry of clay minerals*. Elsevier Sci. Publ. Co. Amsterdam.
- YERINO, L. N. y MAYNARD, J. B., 1984. Petrography of modern marine sands from the Peru-Chile Trench and adjacent areas. *Sedimentology* 31: 83-89.

Manuscrito recibido el 18 de mayo de 1987.

Manuscrito revisado recibido el 8 de enero de 1988.

TABLA I. — NORMA ROCAS PELITICAS (Modelo A-1)

MUESTRA: Pelita Promedio de Clarke

Componentes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	Oxido x factor	Norma
Peso (%)	62,40	16,54	7,22	2,62	3,34	1,40	3,48	0,18	2,82	—		
P. M. óxido	60,06	101,94	159,68	40,32	56,08	61,99	94,19	141,94	44,01	80,06		
Moles (%)	1,0390	0,1622	0,0452	0,0650	0,0596	0,0226	0,0369	0,0013	0,0641	—		
Cuarzo	0,4587	—	—	—	—	—	—	—	—	—	SiO ₂ x 60,06	27,55
Anortita	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	SiO ₂ x 139,11	—
Albita	0,1356	0,0226	—	—	—	0,0226	—	—	—	—	x 87,38	11,85
Ortosa	0,2214	0,0369	—	—	—	—	0,0369	—	—	—	x 92,78	20,54
Clorita	0,0517	0,0169	0,0141	0,0562	—	—	—	—	—	—	SiO ₂ x 180,78	9,35
Illita	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x 110,05	—
Caolinita	0,1716	0,0858	—	—	—	—	—	—	—	—	x 111,07	19,06
Esmectita	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x 88,87	—
Hematita	—	—	0,0311	—	—	—	—	—	—	—	Fe ₂ O ₃ x 159,58	4,97
Calcita	—	—	—	—	0,0553	—	—	—	0,0553	—	CO ₂ x 100,09	5,53
Magnesita	—	—	—	0,0088	—	—	—	—	0,0088	—	x 84,33	0,74
Apatita	—	—	—	—	0,0043	—	—	0,0013	—	—	P ₂ O ₅ x 328,87	0,43
Yeso	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	SO ₃ x 136,14	—

TABLA 2. — NORMA ROCAS PELITICAS (Modelo: B-2)

MUESTRA: Pelita Pierre Promedio

Componentes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃ (T)	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	Oxido factor	Norma
Peso (%)	66,47	17,15	6,26	2,35	1,69	1,21	2,77	0,17	0,97	0,95		
P. M. óxido	60,06	101,94	159,68	40,32	56,08	61,99	94,19	141,94	44,01	80,06		
Moles (%)	1,1067	0,1682	0,0392	0,0583	0,0301	0,0195	0,0294	0,0012	0,0220	0,0119		
Cuarzo	0,5019										SiO ₂ x	60,06
Anortita											SiO ₂ x	139,11
Albita	0,0558	0,0093				0,0093					x	87,38
Ortosa											x	92,78
Clorita	0,0143	0,0047	0,0039	0,0156							SiO ₂ x	180,78
Illita	0,0331	0,1076	0,0123	0,0194		0,0024	0,0294				x	110,05
Caolinita	0,0330	0,0165									x	111,07
Esmeclita	0,1686	0,0301	0,0042	0,0156		0,0078					x	88,87
Hematita			0,0196								Fe ₂ O ₃ x	159,58
Calcita					0,0142				0,0142		CO ₂ x	100,09
Magnesita				0,0078					0,0078		x	84,33
Apatita				0,0040			0,0012				P ₂ O ₅ x	328,87
Yeso				0,0119						0,0119	SO ₂ x	136,14

TABLA 3. — COMPOSICIONES MODALES Y NORMATIVAS DE DIFERENTES ROCAS PELITICAS

	Cuarzo		Feldespatos		Arcillas		Otros	
	Moda	Norma	Moda	Norma	Moda	Norma	Moda	Norma
Pelita Pierre C870 (1) 0	30	29	3	1	56	58	11 •	12 •
Pelita Pierre C871 (1) 0	18	26	5	4	71	61	6 x	9 xx
Pelita Pierre C878 (1) 0	33	43	1	8	63	47	3	2
Pelita Pierre Promedio (1) 0	20	30	2	5	74	58	4	7
Pelita Carbonifera 3 (2) 0	15	13	3	0	75	77	7 xxx	10 xxx
Pelita Carbonifera 7 (2) 0	16	9	3	0	72	88	9 xxxxx	9 xxxxx
Pelita Carbonifera 10 (2) 0	15	20	2	<1	78	75	5 xxx	5 xxx
Pelita Carbonifera 20 (2) 0	2	0	1	<1	97	99	0	0
Pelita P. del Sapo (3) P15 00	60	59	Vest.	4	40	37	0	<1
Pelita P. del Sapo (3) 2P3 00	55	52	Vest	1	40	43	5	4
Pelita Lefipán (3) P19 00	45	44	Vest.	1	15	21	40 x	34 x
Pelita Lefipán (3) P25 00	60	60	Vest.	5	40	35	0	<1

(1) Tonrlet (1962).

(2) Spears y Szegín (1985).

(3) Iñiguez et al. (1986).

0 Composición normativa según modelo B-2.

00 Composición normativa según modelo A-2.

• Dolomita.

x Yeso.

xx Yeso (6) y Hematita (3).

xxx Pirita y calcita.

xxxx Apatita, pirita, calcita.