

## MINERALOGIA Y GENESIS DE LAS ARCILLAS DE LAS UNIDADES DEL CAMPO DE GIBRALTAR. V. UNIDAD DE BOLONIA

P. Rodríguez Jiménez \* y M. D. Ruiz Cruz \*

### RESUMEN

En este trabajo se recogen los resultados obtenidos a partir del estudio mineralógico de la Unidad de Bolonia. De los perfiles estudiados, el del Cabrito, caracterizado por la asociación mineralógica caolinita-ilita, interestratificados I-E, es similar en gran medida a la serie tipo punta Tarifa de la Unidad de Algeciras. El perfil del Pulido, caracterizado por la asociación (caolinita)-ilita-clorita puede interpretarse como la parte más distal del flysch arenoso-micáceo de la Unidad de Algeciras. La diferencia más notable en la mineralogía de la fracción fina entre ambas Unidades se refiere al desarrollo notable, en Bolonia, de cloritas autigénicas, cuya composición indica un medio diagenético rico en Fe y Mg.

Por otra parte, la mineralogía de la fracción fina ha permitido identificar en la Unidad de Bolonia no sólo los niveles de areniscas del Aljibe sino también, intercalaciones arcillosas de esta Unidad que hasta el momento no habían sido citadas.

Estos aspectos mineralógicos y litológicos permiten considerar la Unidad de Bolonia como intermedia entre la Unidad de Algeciras y del Aljibe.

**Palabras clave:** *Caolinita, ilita, clorita, interestratificados. Unidad de Bolonia. Campo de Gibraltar. Cordilleras Béticas.*

### ABSTRACT

The mineralogical results of the Bolonia Unit are analysed in the work. The Cabrito-1 section is characterized by the mineralogical association kaolinite-illite-interestratified I-S, and is similar to the section of Punta Tarifa series of the Algeciras Unit. The Pulido section, characterized by the mineralogical association (kaolinite)-illite-chlorite, may be considered as the most distal zone of the «arenoso-micáceo» flysch of the Algeciras Unit.

The most significant difference between the fine fractions of these Units is the remarkable development, in the Bolonia Unit, of authigenic chlorites, whose composition shows a diagenetic environment rich in Fe and Mg.

On the other hand, the mineralogical composition of the fine fraction has made possible the identification in the Bolonia Unit, not only the «areniscas del Aljibe» levels, but also clay levels of Aljibe Unit, which has not been noticed until now.

These mineralogical and lithological aspects lead to consider the Bolonia Unit as an intermediate Unit between the Algeciras and the Aljibe ones.

**Key words:** *Kaolinite, illite, chlorite, interstratified, clay minerals. Bolonia Unit. Campo de Gibraltar. Betic Cordilleres.*

### Introducción

La Unidad de Bolonia definida por Didon (1969), está caracterizada por una serie estratigráfica similar a la de la Unidad de Algeciras, con la particularidad de presentar intercalaciones de bancos gruesos de areniscas del Aljibe en el flysch margo-arenoso-

micáceo. Además de estos bancos de areniscas, se han encontrado también intercalaciones de niveles arcillosos del Aljibe en el citado flysch. Se trata pues, de una Unidad intermedia entre la de Algeciras y la del Aljibe.

La serie general está constituida de muro a techo por los siguientes tramos: a) arcillas versicolores con

\* Departamento de Química Inorgánica, Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071-Málaga.

calizas micríticas de facies arlequín. Tiene una potencia de unos 40 m y su edad se estima como Cretácico superior, b) calcarenitas en bancos gruesos con frecuentes «convoluted» y laminaciones, con intercalaciones de margas rojas y verdes. Su edad es Cretácico superior-Paleoceno y su potencia es del orden de 70 m, c) alternancia en bancos centimétricos de calcarenitas grises y margas blanquecinas y rojas. Su edad es Eoceno y alcanzan 30 ó 40 m de potencia, d) arcillas rojas con delgados niveles de areniscas. Su potencia es de 50 a 100 m y su edad es Eoceno superior-Oligoceno, y f) flysch margo-areniscoso-micáceo similar al de la Unidad de Algeciras con varias intercalaciones de 2 a 8 m de espesor de areniscas del Aljibe. Su potencia visible es inferior a los 200 m y su edad es Oligoceno-Aquitaniense (Esteras, 1982).

### Localización de los perfiles y materiales estudiados

Se han muestreado dos perfiles denominados Cabrito-1 y Pulido (fig. 1).

#### A) Perfil del Cabrito-1

Está situado en la ladera occidental de la Sierra del Cabrito. Se accede por el camino forestal de la Sierra de Ojén, que se inicia en el km 91 de la carretera nacional n.º 340 (hoja topográfica n.º 1077). Se han muestreado 260 m de materiales pertenecientes al Eoceno calcáreo, arcillas rojas y flysch areniscoso-micáceo.

#### Descripción de las muestras

En la figura 2 se indica la situación de las muestras, que a continuación se describen:

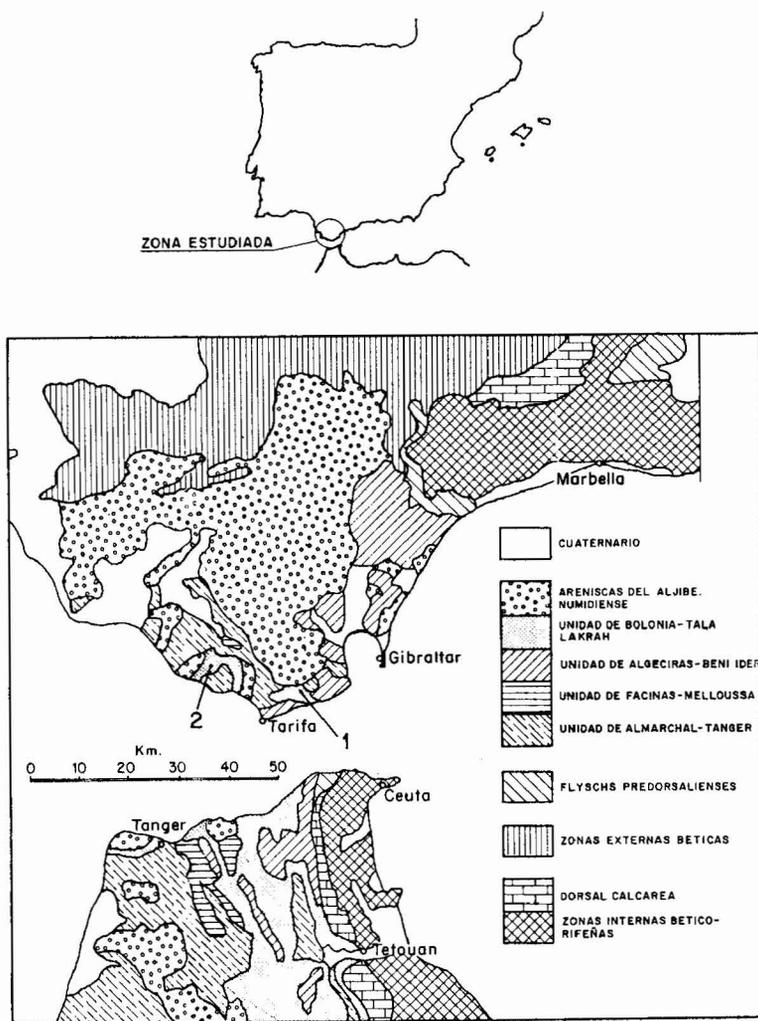


Fig. 1.—Mapa de situación general, esquema geológico simplificado de las orillas del Estrecho de Gibraltar (Didon, Durand-Delga y Kornprobst, 1973) y posición de los perfiles estudiados. 1. Cabrito-1. 2. El Pulido.

- CR-251. Arcillas rojas muy deleznales, en alternancia con niveles delgados de calcarenitas. Presentan concentraciones superficiales de carbonatos.
- CR-252. Nivel del orden de 10 cm de espesor de calcarenita verdosa, con venillas rellenas de calcita.
- CR-253. Arcillas rojas similares a CR-251.
- CR-254. Arcillas rojas.
- CR-255. Arcillas rojas muy deleznales, de características similares a las anteriores. Corresponden a un tramo potente, arcilloso.
- CR-256. Arcillas rojas. Tomadas en la parte media del tramo arcilloso.
- CR-257. Arcillas rojas.
- CR-258. Arcillas verdes, deleznales, con concentraciones locales de limonita.
- CR-259. Arcillas gris-verdosas, compactas, con laminación fina. A la lupa se observan gran cantidad de laminillas de mica.
- CR-260. Arenisca micácea de grano fino, en niveles del orden de 25 cm de espesor.
- CR-261. Margas gris-verdosas, en un banco de unos 3 m de potencia.
- CR-262. Arenisca parda con «flute cast», con características litológicas que recuerdan ciertos niveles de areniscas del Aljibe.
- CR-263. Nivel de arcillas gris-verdosas, muy deleznales.
- CR-264. Banco de unos 3 m de potencia de areniscas micáceas de color gris-verdoso y grano grueso.

**B) Perfil del Pulido**

Está situado en la cortijada del mismo nombre, a 1,5 km al oeste del puerto de Bolonia (hoja topográfica n.º 1077). Se accede por el camino de la ensenada de Bolonia que se inicia en el km 69 de la carretera nacional n.º 340. Se han muestreado dos afloramientos, en continuidad estratigráfica. La serie basal de esta secuencia, aflora en un pequeño barranco situado unos 500 m al norte de la cortijada del Pulido; está constituida por 20 m de arcillas rojas con niveles verdes y algunas intercalaciones delgadas de areniscas calcáreas. Está invertida y su edad es Oligoceno. En el resto del perfil se han reconocido 100 m del flysch areniscoso-micáceo de edad Oligoceno-¿Aquitaniense?, que presenta una intercalación de un banco de areniscas del Aljibe de 8 m de espesor en su base.

**Descripción de las muestras**

Las muestras estudiadas cuya posición se ha representado en la figura 2 presentan las siguientes características:

- CR-491. Arenisca calcárea de grano muy fino, intercalada en arcillas rojas. Nivel de 5 cm de espesor.
- CR-492. Arcillas rojas, superficialmente presentan recristalizaciones de carbonatos.
- CR-493. Nivel de arcillas verdes muy compactas, con fractura concoide. A la lupa se observan gran cantidad de lami-

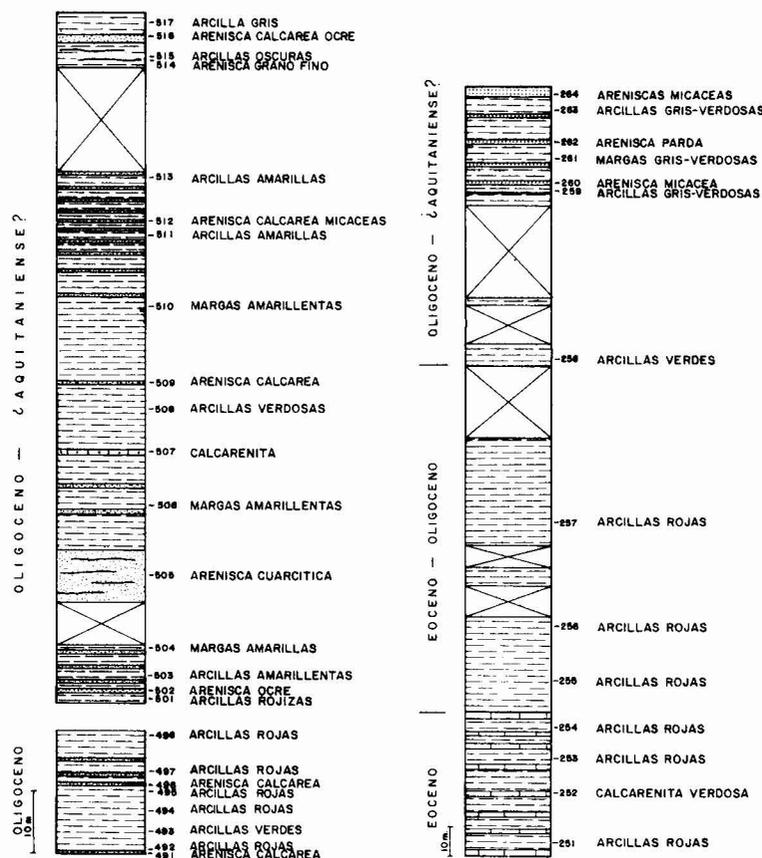


Fig. 2.—Columnas estratigráficas. Cabrito-1 (Dcha.) y El Pulido (Izda.).

- nillas de mica de pequeño tamaño y concentraciones locales de óxidos de hierro así como recristalizaciones superficiales de carbonatos.
- CR-494. Arcillas rojas, compactas, con textura muy homogénea. Son visibles a la lupa las laminillas de mica blanca. Presentan, al igual que las anteriores, recristalizaciones locales de carbonatos.
- CR-495. Arcillas rojas, muy compactas, de características similares a las anteriores.
- CR-496. Nivel de 10 cm de areniscas calcáreas de color ocre y grano fino.
- CR-497. Arcillas rojas de características similares a las anteriores.
- CR-498. Arcillas rojas.
- CR-501. Nivel de arcillas rojas (amarillentas en superficie), muy compactas, con fractura concoide. Son abundantes las menas metálicas, formando concentraciones del orden del mm.
- CR-502. Nivel de 15 cm de arenisca ocre, de grano fino. En superficie aparece limonitizada.
- CR-503. Arcillas amarillentas muy compactas y con fractura concoide.
- CR-504. Margas de color amarillo y fractura en lascas. En superficie aparecen limonitizadas.
- CR-505. Banco de areniscas del Aljibe de 8 m de potencia.
- CR-506. Margas amarillentas, muy deleznales.
- CR-507. Nivel de 40 cm de espesor de calcarenitas de grano fino.
- CR-508. Arcillas verdosas, muy compactas con fractura concoide.
- CR-509. Nivel de 25 cm de areniscas calcáreas con «convolutada». Son areniscas de grano fino, con abundantes laminillas de mica blanca.
- CR-510. Margas amarillentas, muy deleznales. A la lupa son visibles las láminas de mica y numerosos granos de cuarzo de tamaño grueso.
- CR-511. Arcillas amarillo-verdosas muy compactas, con fractura concoide.
- CR-512. Nivel de 10 cm de espesor de areniscas calcáreas micáceas, de color ocre y grano fino.
- CR-513. Arcillas amarillo-verdosas muy compactas, con textura muy homogénea.
- CR-514. Nivel de 3 cm de areniscas de grano fino, muy compactas. En superficie tiene aspecto de nivel ferruginoso, debido a la alteración superficial de las menas metálicas.
- CR-515. Nivel de 2 m de arcillas oscuras, bastante deleznales.
- CR-516. Areniscas calcáreas de color ocre, con abundantes laminillas de mica blanca, banco de un metro de espesor.
- CR-517. Arcillas de color gris claro, muy deleznales.

## Características mineralógicas

### *Composición mineralógica de las muestras totales*

Se ha determinado mediante el estudio al microscopio petrográfico (MP), difracción de rayos X (DRX) y estudio al microscopio electrónico de barrido (MEB).

### Estudio al microscopio petrográfico

Se han estudiado al microscopio petrográfico varios tipos de rocas que, de forma general pueden clasificarse en dos grandes grupos: Calcarenitas y areniscas.

### Calcarenitas

Están constituidas, en el perfil del Pulido, por fragmentos de fósiles y, más escasos, de rocas carbonatadas, de tamaño de grano

medio, incluidos en un cemento espático. Como accesorios presentan cuarzo, biotita, turmalina y menas metálicas. En el perfil del Cabrito, las calcarenitas son rocas de grano fino, constituidas por fragmentos de rocas carbonatadas, cuarzo, en granos muy angulosos, feldespatos, no determinable al microscopio y, en menor proporción, micas, clorita y menas metálicas, cementadas por calcita. Ambos tipos de rocas pueden clasificarse respectivamente como: Calcarenitas y areniscas carbonáticas (Malesani y Manetti, 1970).

### Areniscas

Se han determinado diversos tipos de areniscas, en función de su composición y caracteres texturales. Se diferencian los siguientes grupos:

1. Areniscas calcáreas con tamaño de grano variable. Mineralógicamente están formadas por cuarzo, con diferentes grados de redondeamiento, en granos generalmente monocristalinos, plagioclasa sódica muy poco alterada, fragmentos de rocas carbonatadas, rocas metamórficas y laminares (moscovita, clorita y biotita). Como accesorios, menas metálicas, circón y turmalina. El porcentaje de cemento calcáreo y de matriz detrítica es variable de unas muestras a otras, por lo que pueden clasificarse como: Areniscas calcáreas o areniscas calcáreas lutíticas (Vatan, 1967).

Dentro de este mismo grupo de areniscas podría incluirse la muestra CR-502, clasificada como: Arenisca lutítica (Vatan, 1967), caracterizada por no presentar cemento y por la presencia de una serie de huecos rellenos de materia amorfa y óxidos de hierro, que le confiere un aspecto bastante similar al de las «areniscas del Aljibe».

2. Areniscas feldespáticas. Corresponden a las areniscas más altas de la secuencia del Cabrito-1. Presentan un tamaño de grano notablemente mayor. Están constituidas por cuarzo, en granos monocristalinos, generalmente con grado de redondeamiento bajo y excepcionalmente en granos con características eólicas. Son también frecuentes los granos policristalinos de contornos suturados. Los feldespatos son fundamentalmente términos sódicos de la serie de las plagioclasas, poco alterados, y feldespatos potásicos, muy alterados a minerales arcillosos. De los laminares el más abundante es la clorita, que aparece en grandes láminas o como producto de alteración de las láminas de biotita, muy frecuente también en estas rocas. La mica blanca está en menor proporción. Son escasos los fragmentos de rocas metamórficas. Como accesorios aparecen turmalina, circón, titanita, epidota, glauconita y menas metálicas. Este tipo de rocas puede clasificarse como: Arcosa (Pettijohn, 1957).

3. Areniscas del Aljibe. Corresponden al perfil del Pulido. Presentan características mineralógicas y texturales similares a las descritas en la citada Unidad (Rodríguez Jiménez y Ruiz Cruz, 1988a). Estas rocas se clasifican como: Subgrauwaca-Ortoquarcita (Pettijohn, 1957).

### Estudio por difracción de rayos X

En la tabla 1, se recogen los resultados de los análisis semicuantitativos determinados para las muestras analizadas.

La figura 3, presenta la variación de la mineralogía a lo largo de la columna estratigráfica del Cabrito-1.

Los niveles de arcillas tienen una composición mineralógica bastante homogénea: Cuarzo (10-20 %), plagioclasa (3-9 %) y filosilicatos (60-80 %). El contenido en carbonatos (0-30 %) es el que presenta mayor variación, correspondiendo los valores mayores, a los niveles intercalados en las areniscas.

Los niveles duros tienen una composición mineralógica muy heterogénea debido sobre todo a la proporción muy variable de feldespato: Cuarzo (29-46 %), plagioclasa (17-40 %), carbonatos (0-12 %) y filosilicatos (31-43 %). Hay que señalar el alto contenido en Q + Fd y filosilicatos de las calcarenitas.

Tabla 1.—Composición mineralógica de las muestras totales.

Muestra	Q	Pl	C	D	S	F	
Perfil del Cabrito-1	CR-251	11	3	12	—	—	74
	CR-252	25	9	49	—	—	15
	CR-253	13	4	—	—	—	83
	CR-254	16	5	—	—	—	79
	CR-255	16	4	2	—	—	78
	CR-256	15	5	—	—	—	80
	CR-257	20	5	—	—	—	75
	CR-258	18	4	—	—	—	78
	CR-259	13	9	—	—	—	78
	CR-260	40	17	—	—	—	43
	CR-261	10	3	30	—	—	57
	CR-262	46	9	2	10	—	33
CR-263	17	6	9	8	—	60	
CR-264	29	40	—	—	—	31	
Perfil del Pulido	CR-491	34	8	5	21	—	32
	CR-492	16	7	—	11	—	66
	CR-493	20	9	—	5	2	64
	CR-494	20	7	—	9	1	63
	CR-495	22	7	—	10	1	60
	CR-496	37	7	7	20	—	29
	CR-497	21	6	—	6	1	66
	CR-498	29	7	—	7	2	55
	CR-501	20	6	—	5	2	67
	CR-502	57	9	—	—	—	34
	CR-503	21	6	—	11	2	60
	CR-504	26	5	32	9	—	28
	CR-505	97	3	—	—	—	Tr
	CR-506	21	3	18	19	—	37
	CR-507	5	—	84	11	—	—
	CR-508	19	6	—	10	2	62
	CR-509	38	7	13	18	—	24
	CR-510	20	5	12	12	2	49
	CR-511	20	6	—	7	2	65
	CR-512	35	9	9	17	Tr	30
CR-513	24	7	—	8	2	59	
CR-514	37	8	—	5	2	48	
CR-515	14	2	—	—	—	84	
CR-516	39	4	23	17	—	17	
CR-517	15	5	21	7	Tr	52	

Q = Cuarzo; Pl = Plagioclasa; C = Calcita; D = Dolomita; S = Siderita; F = Filosilicatos.

Como característica más significativa, se puede señalar la escasez de carbonatos de origen químico, únicamente representados, de forma apreciable en el tramo de areniscas.

En el diagrama triangular de composición, figura 5, se observa una acumulación de puntos próxima al vértice de los filosilicatos que corresponden a los niveles arcillosos a excepción de los que contienen más carbonatos, que se sitúan en el campo de las margas. Las muestras de areniscas, a pesar de ser diferentes, se sitúan agrupadas, debido a que se considera la suma de Q + Fd.

La figura 4, presenta la variación de la mineralogía a lo largo de la columna estratigráfica del Pulido.

La serie basal presenta una composición mineralógica muy homogénea. Los niveles arcillosos se caracterizan por los siguientes porcentajes: Cuarzo (16-29 %), plagioclasa (6-9 %), dolomita (5-11 %) y filosilicatos (55-66 %). En las areniscas los porcentajes son los siguientes: Cuarzo (34-37 %), plagioclasa (7-8 %), calcita (5-7 %), dolomita (21-20 %) y filosilicatos (29-32 %). Esta homogeneidad en los niveles arcillosos por un lado y las areniscas

por otro se refleja en la figura 5, del diagrama triangular de composición.

Para el resto del perfil las composiciones son mucho más variables, sobre todo en lo que se refiere al contenido en carbonatos: La calcita oscila de 0 a 84 %, la dolomita de 0 a 21 %, siendo en general, más frecuente y abundante que la calcita. La siderita aparece en proporción baja en la mayoría de las muestras. También hay que señalar la presencia de yeso y otros sulfatos, aunque en proporciones no cuantificables. Por último, aparecen de forma casi continua un conjunto de menas metálicas, fundamentalmente magnetita y hematites. Estas variaciones originan que las muestras aparezcan ampliamente dispersas en el diagrama triangular de composición, abarcando rocas arcillosas, próximas al vértice de los carbonatos, areniscas s.s., próximas al vértice del Q + Fd y una serie de rocas intermedias: margas, areniscas carbonáticas y areniscas lutíticas.

Tabla 2.—Composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras.

Muestra	K	I	I-E	Int. Cl	Cl	
Perfil del Pulido	CR-251	20	32	48	—	—
	CR-252	32	50	Tr	18	—
	CR-253	30	27	40	—	—
	CR-254	29	38	28	—	5
	CR-255	11	36	23	30	—
	CR-256	27	46	27	—	—
	CR-257	9	59	32	—	—
	CR-258	24	44	32	—	Tr
	CR-259	14	60	26	—	—
	CR-260	6	94	—	Tr	—
	CR-261	18	56	26	—	—
	CR-262	13	45	19	13	—
	CR-263	4	79	Tr	17	—
	CR-264	—	17	Tr	—	83
Perfil del Cabrito-1	CR-491	8	63	—	—	29
	CR-492	13	62	—	—	25
	CR-493	13	55	—	—	32
	CR-494	10	62	—	—	28
	CR-495	14	58	—	—	28
	CR-496	7	69	—	—	24
	CR-497	10	64	—	—	26
	CR-498	18	57	—	—	25
	CR-501	4	62	—	20	14
	CR-502	7	81	—	12	—
	CR-503	9	64	—	15	12
	CR-504	12	66	—	22	Tr
	CR-505	60	31	9	—	—
	CR-506	11	60	4	15	10
CR-507	10	90	Tr	—	—	
CR-508	2	70	—	28	—	
CR-509	4	65	—	31	—	
CR-510	5	71	—	14	10	
CR-511	7	70	—	23	—	
CR-512	6	72	—	22	—	
CR-513	12	69	Tr	10	9	
CR-514	7	64	—	24	—	
CR-515	51	23	26	—	—	
CR-516	12	69	—	19	—	
CR-517	12	70	—	18	—	

K = Caolinita; I = Illita; I-E = Illita-Esmectita; Int. Cl. = Interstratificados con clorita; Cl = Clorita.

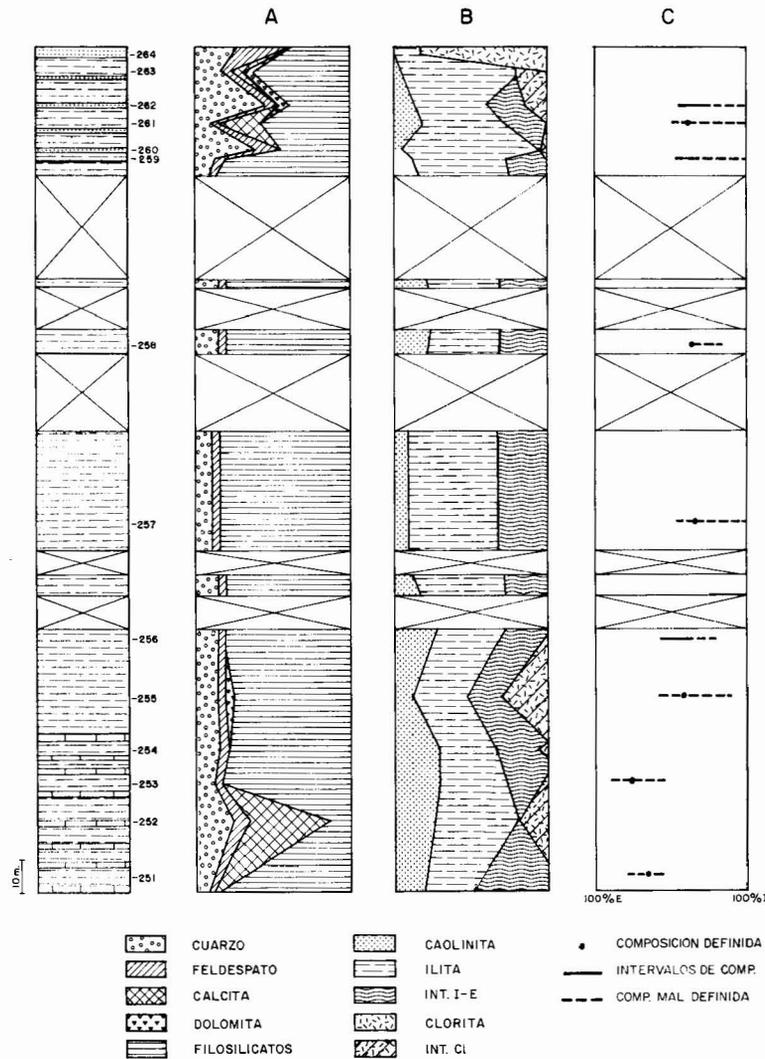


Fig. 3.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A), de la fracción menor de 2 micras (B) y de la composición de los interestratificados (C). Perfil del Cabrito-1.

### Composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras

El estudio de la fracción menor de 2 micras se ha basado fundamentalmente en los resultados de difracción de rayos X y, en menor medida, en los datos obtenidos mediante análisis térmico diferencial, termogravimetría y microscopio electrónico de barrido. Se han realizado asimismo análisis químicos puntuales mediante EDAX.

### Estudio por difracción de rayos X

La tabla 2 muestra la composición mineralógica y el análisis semicuantitativo correspondiente a la fracción menor de 2 micras de las muestras estudiadas.

En la figura 3, se ha representado la variación de la composición mineralógica a lo largo del perfil del Cabrito-1. Los minerales de la arcilla determinados han sido: Caolinita, dickita, ilita, in-

terestratificados I-E, interestratificados con clorita (Cl-I y, en menor proporción, Cl-V), y clorita. Puede observarse, que en el tramo inferior existen variaciones en la mineralogía que no guardan relación con la litología, especialmente en lo que se refiere a la composición y porcentaje de los interestratificados I-E. Las mayores diferencias mineralógicas corresponden al tramo superior o flysch arenoso-micáceo, donde la caolinita disminuye hasta llegar a desaparecer, coincidiendo con el mayor desarrollo de la clorita.

La figura 6 representa el diagrama triangular de composición de estas muestras, y la mayoría se sitúan en una banda poco amplia de composiciones. Sólo algunas muestras, especialmente las del flysch arenoso-micáceo se ubican fuera de esta banda, debido a la proporción notable de clorita o interestratificados con clorita.

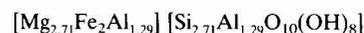
En la figura 4, se ha representado la variación de la composición mineralógica en el perfil del Pulido. En la serie basal hay una gran uniformidad en la mineralogía de la fracción fina, caracterizada por la asociación de caolinita, ilita y clorita. En el resto del perfil, la mineralogía es algo más variada, desapareciendo prácticamente la clorita en favor de los interestratificados Cl-I y Cl-V.



Tabla 4.—Relación de intensidades basales en las ilitas. El Pulido.

	I(002)/I(001)	E (tamaño crist.)
CR-491	0,45	129
CR-492	0,41	111
CR-493	0,48	57
CR-494	0,54	98
CR-495	0,44	88
CR-496	0,43	154
CR-497	0,54	98
CR-498	0,47	79
CR-501	0,40	217
CR-502	0,34	298
CR-503	0,37	191
CR-504	0,30	154
CR-505	0,30	—
CR-506	0,28	—
CR-507	0,26	—
CR-508	0,50	368
CR-509	0,29	298
CR-510	0,34	140
CR-511	0,28	170
CR-512	0,41	192
CR-513	0,33	170
CR-514	0,34	117
CR-515	0,28	—
CR-516	0,45	140
CR-517	0,41	192

de la clorita, por DRX, obteniéndose la siguiente fórmula estructural aproximada:



Esta clorita corresponde, en la clasificación de Hey (1954) a una ripidolita y a clinocloro según la AIPEA (1980).

En el perfil del Pulido es el mineral más característico sobre todo en la serie basal, donde aparece en proporciones muy constantes (24-32 %). Los parámetros determinados para estas cloritas se recogen a continuación:

En la serie basal la composición química de las cloritas es muy homogénea siendo muy próxima al límite clinocloro-chamosita. Las del tramo superior son términos más magnesianos.

Los interestratificados con clorita, Cl-I y Cl-V, que aparecen de forma esporádica en El Cabrito-1, son los minerales más característicos del tramo superior del Pulido, donde reemplazan en gran medida a la clorita.

### Estudio por ATD y TG

Las curvas superiores representadas en la figura 7, corresponden a las muestras del perfil del Cabrito-1. Las tres primeras curvas presentan un sistema de endotérmicos a baja temperatura, de 95 y 170° C, especialmente claro en la curva 251, correspondientes al interestratificado I-E, que, en estas muestras tiene una composición muy próxima a esmectita y un segundo endotérmico, muy débil, a 685° C, más visible en la primera curva, donde el porcentaje de este mineral es mayor. La temperatura de este endotérmico indicaría la presencia de montmorillonita (MacKenzie, 1982), ya que tanto en la nontronita como en la beidellita este efecto se produce entre 550 y 600° C (Weir y Greene Kelly, 1962, in MacKenzie, 1982). Estas curvas reflejan también la presencia de cao-

Tabla 5.—Clasificación de las cloritas.

	Al <sup>IV</sup>	Fe <sup>VI</sup>	Fe <sup>2+</sup> /R <sup>2+</sup>	Clasificación (Hey, 1954)	AIPEA (1980)
CR-491	1,29	2,05	0,43	Ripidolita	Clinocloro ferroso
CR-492	1,29	1,86	0,39	Ripidolita	Clinocloro ferroso
CR-493	1,29	2,50	0,53	Dafnita	Chamosita magnésiana
CR-494	1,22	2,30	0,48	Ripidolita	Clinocloro ferroso
CR-495	1,36	2,05	0,44	Ripidolita	Clinocloro ferroso
CR-496	1,22	2,28	0,48	Ripidolita	Clinocloro ferroso
CR-497	1,29	2,80	0,59	Dafnita	Chamosita magnésiana
CR-498	1,36	1,57	0,33	Ripidolita	Clinocloro ferroso aluminico
CR-501	1,8	0,8	0,19	Corundofilita	Clinocloro magnes. aluminico
CR-503	1,6	0	0	Corundofilita	Clinocloro magnes. aluminico

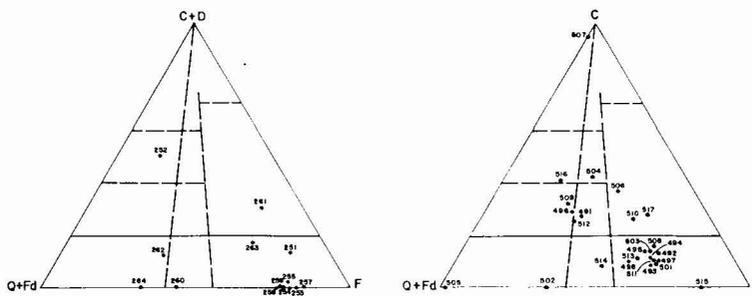


Fig. 5.—Diagramas triangulares de composición de las muestras totales. Cabrito-1 (Izda.) y El Pulido (Dcha.). Q: Cuarzo, Fd: Feldespato, C: Calcita, D: Dolomita, F: Filosilicatos.

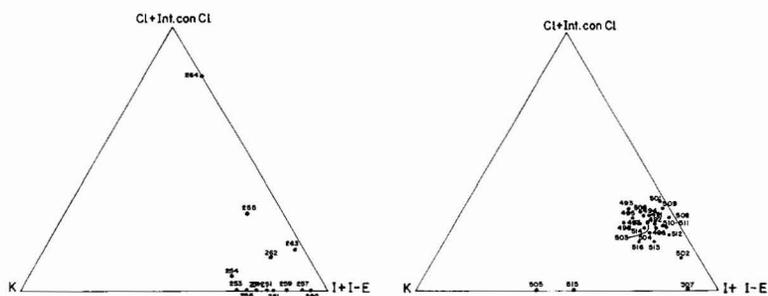


Fig. 6.—Diagramas triangulares de composición de la fracción menor de 2 micras. Cabrito-1 (Izda.) y El Pulido (Dcha.). K: Caolinita, Cl: Clorita, Int.: Interstratificados, I: Ilita, I-E: Interstratificados ilita-esmectita.

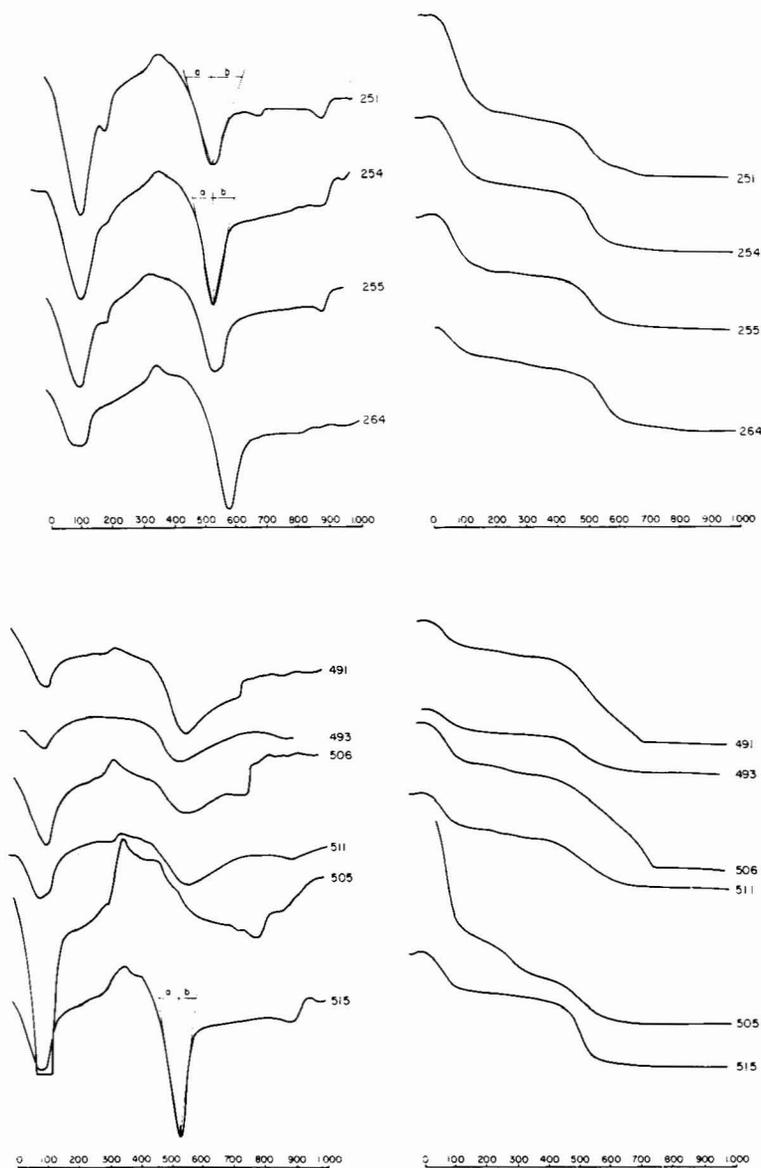
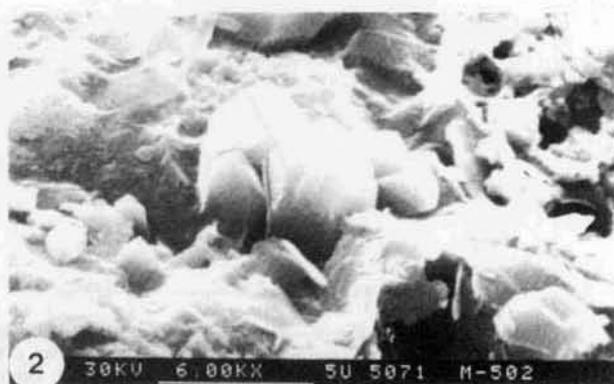


Fig 7.—Diagramas de ATD (Izda.) y TG (Dcha.) realizados a la fracción menor de 2 micras. Cabrito-1 (Sup.) y El Pulido (Inf.).



Albita y cloritas autigénicas.



Cuarzos autigénicos.



Plagioclasa sódica y cloritas en abanico.



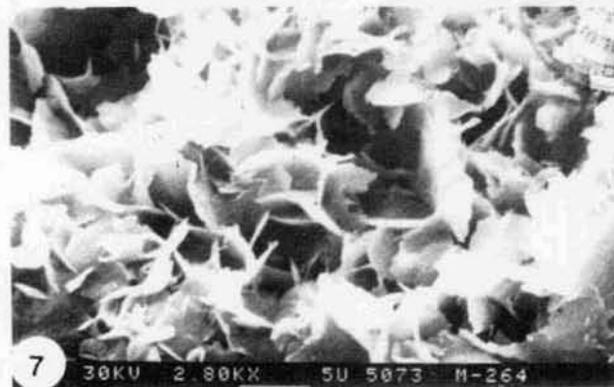
Disolución de plagioclasa sódica.



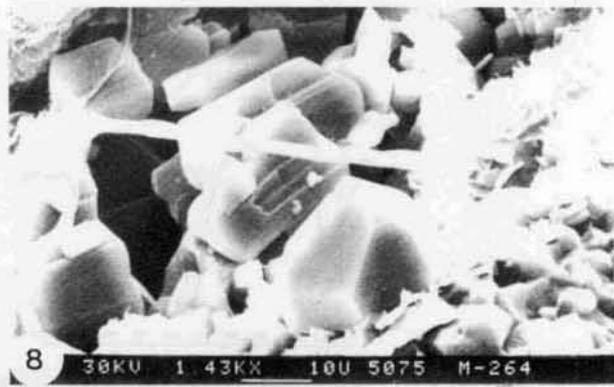
Cloritas con morfología cara borde.



Cloritas detríticas.



Cloritas en panel.



Cemento syntaxial de cuarzo y cloritas autigénicas.

linita, en un endotérmico a 525° C, especialmente claro en la muestra 254. El valor de la asimetría va de 0,81 a 1, indicando la presencia de caolinitas Tc (Robertson *et al.*, 1954, in MacKenzie, 1982).

La curva 264 corresponde a una muestra que contiene un 83 % de clorita, determinada a partir de los diagramas de difracción de rayos X como una ripidolita (Hey, 1954) y a partir del análisis químico, por EDAX como brunsvigita-diabantita (Foster, 1962). Esta curva muestra un efecto endotérmico débil a baja temperatura, seguido de otro mucho más intenso a 565° C, más otro pequeño endotérmico alrededor de 800° C. En conjunto es bastante similar, excepto por la ausencia del exotérmico a 750° C a la curva presentada por Caillère y Héin (1957, in MacKenzie, 1982) para la fracción menor de 2 micras de una ripidolita.

Las curvas inferiores representadas en la figura 7, corresponden a muestras del perfil del Pulido constituidas por caolinita en proporción muy baja, illita, en proporción elevada y clorita. La composición muy similar de todas ellas hace que las curvas sean, a su vez, muy parecidas. Los efectos que aparecen son debidos fundamentalmente a illita y, en menor proporción a clorita o interestratificados Cl-I. En todas las curvas aparece un primer endotérmico a temperaturas muy bajas de 70 a 96° C, debido a la presencia de una pequeña proporción de materia amorfa. En la curva 506, la presencia de un exotérmico a 316° C parece indicar la existencia de geles de hierro (MacKenzie y Meldau, 1959, in MacKenzie, 1982). El segundo endotérmico, alrededor de 550° C podría corresponder a illita o bien ser debido a este mineral más la clorita, ya que aparece a una temperatura idéntica en la muestra 264, constituida esencialmente por clorita. Un doble efecto endo-exotérmico, muy poco marcado de 730 a 760° C, cabe asignarlo a la clorita, si bien no está presente en todas las curvas.

Las curvas 505 y 515 corresponden a dos niveles del Aljibe, el primero un banco de areniscas y el segundo un nivel de lutitas arcillosas. Si bien los diagramas de DRX de ambas muestras son muy similares, en ATD son bastante diferentes, ya que la muestra 505 refleja fundamentalmente la presencia de material amorfo, muy abundante en los niveles porosos. El principal endotérmico se sitúa a 670° C y corresponde a dickita. Por el contrario, la curva 515 presenta un endotérmico muy bien definido a 520° C así como un sistema endo-exotérmico poco importante de 900 a 950° C, propio de caolinitas Tc (Glass, 1954, in MacKenzie, 1982). La asimetría de 1,13 de este endotérmico, indica más bien la presencia de caolinita intermedia entre Tc y Md (Robertson *et al.*, 1954, in MacKenzie, 1982).

### Estudio al microscopio electrónico de barrido

De los dos perfiles estudiados se han seleccionado algunas de las areniscas más características (areniscas calcáreas, areniscas lutíticas y areniscas micáceas) para su estudio al microscopio electrónico de barrido. Los resultados obtenidos se exponen a continuación.

El cuarzo es uno de los componentes más importantes de estas rocas. Su origen es fundamentalmente detrítico, además se ha desarrollado cuarzo autigénico como cemento sintaxial (Lám. 1, 2 y Lám. 2, 8). Las plagioclasas, en su mayor parte detríticas (Lám. 1, 3), presentan a veces procesos de disolución a favor de las líneas de exfoliación (Lám. 1, 4). También aparecen cristales de plagioclasa autigénicos relacionados con minerales arcillosos neoformados (Lám. 1, 1). Los carbonatos se encuentran como cemento dolomítico en las areniscas calcáreas. Los minerales de hierro aparecen en forma de nódulos constituidos por pequeños cristallitos de óxidos de hierro; otras veces se desarrollan geles de hierro sin morfología definida. Las micas de procedencia detrítica, con morfología laminar, están frecuentemente transformadas en los bordes a illitas fibrosas.

De los minerales arcillosos, la clorita es el mineral autigénico mejor representado. En su mayoría son cloritas neoformadas, que en ciertos casos constituyen un «pore lining» de cristales con morfología en abanico (Lám. 1, 3), recubriendo granos de plagioclasa detrítica. Otras veces son cloritas con morfología en panal, que

han crecido junto con el cemento silíceo sintaxial (Lám. 2, 7 y 8), y en ciertos casos, proceden de la alteración de micas detríticas, presentando en este caso morfologías cara con borde (Lám. 2, 5). Además existen también cloritas detríticas de morfología laminar de bordes alabeados y contornos irregulares (Lám. 2, 6). A continuación se exponen tres análisis determinados mediante EDAX correspondientes a cloritas con orígenes diferentes:

% en peso	1. detrítica	2. «pore lining» plagioclasa	3. autigénica + Q sintaxial
Si	28,08	23,75	22,51
Al	5,98	10,42	12,53
Mg	5,19	4,82	6,34
Fe	6	7,88	10,8
Ca	8,28	7,78	1,14
K	0,59	0,39	1,8
O	45,87	44,95	44,88
Fe/Mg	1,10	1,63	1,70

En los análisis 1 y 2 existe un exceso de Ca, debido en el primer caso a la presencia de carbonatos, pues se trata de una arenisca calcárea y en el segundo, probablemente originado por el fondo de plagioclasas sobre las que se desarrolla la clorita. Comparando los tres análisis, se observa que la relación Fe/Mg va aumentando de 1.1 a 1.7. Esta evolución de la composición química de las cloritas (Ruiz Cruz *et al.*, 1987) indica que en general, las cloritas heredadas son más ricas en Mg, y a medida que se van transformando o incluso neofормando en la cuenca, se enriquecen en Fe.

### Discusión y conclusiones

La génesis de los minerales de la arcilla determinada en esta Unidad se resume a continuación:

*La caolinita* es un mineral fundamentalmente heredado y se encuentra en proporción variable en ambos perfiles a excepción de los niveles intercalados del Aljibe, donde su proporción es alta y aparecen caolinitas autigénicas.

*La dickita* aparece únicamente como mineral autigénico, en el nivel de areniscas del Aljibe.

*La illita* es un mineral, en general, heredado y otras veces originado en la cuenca, a partir de micas e illitas detríticas. El gran desarrollo y la elevada cristalinidad de este mineral, junto con la escasez de interestratificados I-E en el perfil del Pulido, puede relacionarse con una meteorización poco avanzada en el área fuente, mientras que en el perfil del Cabrito-1, el menor desarrollo y cristalinidad de este mineral, junto con la aparición del interestratificado I-E, indican una meteorización más intensa en el área fuente.

*La clorita y los interestratificados con clorita* tienen también diversos orígenes. El estudio al MEB pone de manifiesto la existencia de cloritas magnesianas heredadas, así como la presencia de cloritas que, a medida que se desarrollan en la cuenca, bien por

transformación o neoformación, se enriquecen en hierro, y adquieren una composición intermedia que las sitúa en un campo alrededor del límite clinocloro-chamosita.

Existen algunas diferencias en la mineralogía de los dos perfiles estudiados. En lo que respecta a las muestras totales, se refieren fundamentalmente al contenido en carbonatos, mejor representados en el caso del Pulido. Las diferencias más notables se encuentran en la composición mineralógica de la fracción fina, puesta de manifiesto en el cuadro siguiente, donde se exponen las composiciones mineralógicas medias para ambos perfiles y también para la serie tipo Punta Tarifa de la Unidad de Algeciras (Rodríguez Jiménez y Ruiz Cruz, 1988b).

	K	I	I-E	Int. Cl +Cl
Perfil del Cabrito 1	16	49	22	12
Perfil del Pulido	13	63	2	22
Serie tipo Punta Tarifa	9	47	27	17

Las diferencias observadas entre los dos perfiles de esta Unidad están relacionadas con la posición paleogeográfica y cronoestratigráfica de las mismas.

El perfil del Cabrito-1, presenta una mineralogía de la fracción fina bastante similar a la serie tipo Punta Tarifa de la Unidad de Algeciras, con un contenido mayor en caolinita.

Por el contrario el perfil del Pulido presenta una composición de la fracción fina que no puede asimilarse a la citada serie tipo de la Unidad de Algeciras. Las diferencias están relacionadas con las características químicas del medio diagenético, que se pone de manifiesto por un desarrollo notable de dolomita (yeso en menor proporción) y de cloritas autigénicas de composición intermedia. Estas diferencias también pueden explicarse (Esteras, com. pers.) suponiendo que el perfil del Pulido representa la parte más distal progradante del flysch arenoso-micáceo de la serie tipo Punta Tarifa de la Unidad de Algeciras, lo cual coincidiría con las edades generalmente admitidas para ambas.

Por último, la semejanza por un lado de la litología y de la mineralogía con la Unidad de Algeciras y por otro las intercalaciones de niveles de la Unidad del Aljibe, sitúan a la Unidad de Bolonia como intermedia entre ellas.

## Referencias

- AIPEA (1980). Summary of recommendations of AIPEA. Nomenclature Committee. *Clays Clay Miner*, 28, 73-78.
- Brindley, G. W. y Robinson, K. (1946). The structure of kaolinite. *Mineralog. Mag.*, 27, 242-253.
- Didon, J. (1969). *Etude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne meridionale)*. These Fac. Sc. París, 539 págs.
- Didon, J.; Durand-Delga, M. et Kornprobst, J. (1973). Homologies géologiques entre les deux rives du Déroit de Gibraltar. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 15, 77-105.
- Esteras, M. (1982). Geología de la orilla europea del Estrecho de Gibraltar. Col. Inter. sobre la factibilidad de una comunicación fija a través del estrecho de Gibraltar. SECEGSA, Madrid, I, 305-334.
- Esquevin, J. (1969). Influence de la composition chimiques des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau. SNPA*, 3, 147-154.
- Foster, M. D. (1962). *Interpretation of the composition and classification of the chlorites*. Geol. Surv. Prof. Paper, 414-A, 33 págs.
- Galán, E. y Espinosa de los Monteros, J. (1974). *Caolines españoles, geología, mineralogía y génesis*. Soc. Esp. Cerám. Vidrio, Madrid, 159 págs.
- Hey, M. H. (1954). A new review of the chlorites. *Mineralog. Mag.*, 30, 277-292.
- MacKenzie, R. C. Ed. (1982). *Differential Thermal Analysis*. vol. I. Academic Press, London, 775 págs.
- MacKenzie, R. C. (1982). Simple Phyllosilicates Based on Gibbsite and Brucite-like Sheets. In: R. C. MacKenzie Ed: *Differential Thermal Analysis*, vol. I. Academic Press, London, 497-455.
- Malesani, P. y Manetti, E. (1970). Proposta di classificazione di sedimenti clastici. *Mem. della Soc. Geol. Ital.*, 9, 55-63.
- Pettijohn, F. J. (1957). *Sedimentary rocks*. Ed. Harper, New York, 718 págs.
- Rodríguez Jiménez, P. y Ruiz Cruz, M. D. (1988a). Mineralogía y génesis de las arcillas del Campo de Gibraltar. I. Areniscas del Aljibe. *Estudios geol.*, 44, 31-46.
- Rodríguez Jiménez, P. y Ruiz Cruz, M. D. (1988b). Mineralogía y génesis de las arcillas del Campo de Gibraltar. III. Unidad de Algeciras. *Estudios geol.*, 44, 159-172.
- Ruiz Cruz, M. D.; Rodríguez Jiménez, P. y Carrasco, F. (1987). Relación entre composición química y génesis de cloritas de la fracción fina en las turbiditas del Campo de Gibraltar (SW de España). *II Congres. Geoquímica España*, 187-191.
- Vatan, V. M. (1967). *Manual de sedimentología*. Ed. Technip, París, 397 págs.
- Weber, F.; Dunoyer de Segonzac, G. y Economou, C. (1976). Une nouvelle expression de la «cristallinité» de l'illite et des micas. Notion «d'épaisseur apparent» des cristallites. *C. R. Som. Soc. Geol. Fr.*, 5, 225-227.

Recibido el 6 de marzo de 1989  
Aceptado el 20 de marzo de 1990