

MINERALOGIA Y GENESIS DE LA FRACCION FINA DE LA SERIE DE EL RINCONCILLO (FORMACIONES FLYSCH DEL CAMPO DE GIBRALTAR, SW DE ESPAÑA)

M.D. Ruiz Cruz*, P. Rodríguez* y F. Carrasco*

RESUMEN

La serie de El Rinconcillo, atribuida a la Unidad de Algeciras, presenta variaciones mineralógicas notables respecto a las series "tipo" definidas en esta Unidad tanto en el norte de Africa como en el suroeste de España. Aunque en gran parte la mineralogía es común con otras series de esta Unidad (ilita, caolinita, clorita, interestratificados I-E), se diferencia no obstante, por la elevada proporción de esmectita Fe-Al y la presencia esporádica de palygorskita.

Ilita, caolinita y clorita, se consideran minerales heredados. La esmectita y los interestratificados I-E son también heredados en las turbiditas, procedentes de la transformación de la ilita en el área fuente bajo diferente grado de meteorización. Finalmente, la formación de palygorskita en las turbiditas calcáreas del Eoceno medio acompañada por esmectita y la ausencia de caolinita en este tramo, es difícil de explicar en relación con los materiales turbidíticos. Parece más probable que las corrientes de turbidez hayan arrastrado sedimentos arcillosos preexistentes en los que ha podido tener lugar la transformación y/o neoformación de estos minerales.

Palabras clave: *Ilita, caolinita, clorita, smectita, palygorskita, interestratificados, Campo de Gibraltar.*

ABSTRACT

The stratigraphic sequence of El Rinconcillo belong to the Algeciras Unit. Illite, kaolinite, chlorite and interstratified illite-smectite are common minerals for materials of this Unit, but a high proportion of Fe-Al smectites and sporadic presence of palygorskite is characteristic of the series of El Rinconcillo in relation to the others studied in Northern Africa and Southwestern Spain.

Illite, kaolinite and chlorite are considered to be inherited minerals. Smectites and interstratified illite-smectite are also inherited in the turbidites but they were formed in the source area by transformation from illite under different weathering degree. Finally, the formation of palygorskite in the Middle Eocene carbonatic turbidites accompanied by many smectite, and no kaolinite, is difficult to explain in relation with turbiditic materials. It is more feasible to suppose a removal process that implicates the existence of a previous clay sediment in which such association —palygorskite + smectite— took place by transformation and/or by neoformation.

Key words: *Illite, kaolinite, chlorite, palygorskite, smectite, interstratified, Campo de Gibraltar.*

Introducción

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos del estudio de la fracción fina (<2

micras) de sedimentos arcillosos y no arcillosos de la serie de "El Rinconcillo" atribuida a la Unidad de Algeciras, una de las formaciones del flysch de El Campo de Gibraltar.

* Dpto. de Química Inorgánica, Cristalografía y Mineralogía. Fac. de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

Esta zona ha sido objeto de estudios bioestratigráficos, estructurales y sedimentológicos (Didon, 1969; Bourgois, 1978; Pendon, 1978; Esteras, 1984, entre otros), pero son escasos los datos mineralógicos existentes (Pendon y Polo, 1975; Ortega y col., 1983). Sin embargo es sumamente interesante un estudio mineralógico de las Unidades que constituyen la zona, dados los numerosos problemas que plantea.

El estudio de la mineralogía de la fracción fina de los sedimentos de la zona, es objeto de la Tesis Doctoral de uno de los firmantes (P. Rodríguez), y este trabajo representa solo un avance de una parte de los resultados obtenidos hasta el momento.

Situación geográfica

Se han estudiado dos cortes muy cercanos: Corte del Rinconcillo y Corte de Las Farolas, atribuidos a la Unidad de Algeciras. Los cortes quedan situados en la hoja topográfica de escala 1:50.000 n.º 1078 (La Línea).

El corte del Rinconcillo se ha realizado sobre un pequeño acantilado que existe al norte de la ciudad de Algeciras, de manera que el muestreo se efectuó a lo largo de la playa. Tiene una dirección norte-sur, con los materiales más antiguos en su parte norte. Su longitud es de algo más de 1 km y se extiende desde un bunker (La torre del Almirante) hasta la desembocadura al mar del encauzamiento del río de la Miel. Está situado en las inmediaciones del Cementerio de la citada localidad.

El corte de Las Farolas está localizado a lo largo de un talud realizado para urbanizar un sector, al oeste del Cementerio; precisamente las farolas instaladas en el acerado nos han servido de referencia para el muestreo.

Situación geológica

Los materiales de la serie del Rinconcillo dentro de las Unidades del Campo de Gibraltar, se atribuyen, a la Unidad de Algeciras.

Las unidades del Campo de Gibraltar son de tipo flysch con series cuya edad se extiende desde el Cretácico al Mioceno, y, clásicamente, se las considera estructuradas en mantos de corrimiento.

La Unidad de Algeciras ocupa una posición intermedia en el edificio tectónico de los diferentes mantos de corrimiento. Está colocada sobre la Unidad de Almarchal, paraautóctono del conjun-

to y debajo de la Unidad de Aljibe, que es la que corona todo el complejo.

La serie tipo de la Unidad de Algeciras se caracteriza principalmente por los siguientes términos:

— *Cretácico superior-Paleoceno*: Constituido por arcillas versicolores con bancos potentes, de hasta 1 m de espesor, de calcarenitas.

— *Eoceno*: Alternancia de niveles de calcarenitas de unos 10 cm. de espesor y arcillas rojas.

— *Oligoceno*: Flysch areniscoso-micáceo, potente serie que a veces sobrepasa los 1.000 m. de espesor, de características turbidíticas, en la que alternan margas y arcillas marrones con potentes bancos de areniscas pardas que contienen abundantes micas.

Para la realización de este trabajo hemos contado con la ayuda del equipo de geología de SE-CEG (Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho de Gibraltar), que nos ha facilitado la columna estratigráfica y referido la edad de los materiales.

Corte de El Rinconcillo:

Los materiales muestreados en la serie de El Rinconcillo ofrecen ciertas particularidades respecto a la serie clásica de la Unidad de Algeciras y su equivalente africana de BENI-IDER, fundamentalmente por lo que respecta a la edad de los diferentes tramos litológicos: las pelitas rojas tienen una edad Oligocena terminal y el flysch areniscoso-micáceo es Aquitaniense desde su base.

La serie está invertida; los materiales más antiguos afloran en el sector norte del corte, con la siguiente sucesión (fig. 1):

— Alternancia de calcarenitas grises en bancos de hasta 1 m. de espesor, con un ordenamiento interno de convoluted y arcillas verdes oscuras satinadas, con delgados niveles de arcillas rojas. Afloran con una potencia de unos 20 m. y su estructura está afectada por pliegues-falla que rompen la continuidad estratigráfica. Su edad es Paleoceno y a este tramo pertenecen las muestras CR-201 a CR-205.

— Arcillas pardas y verdes con algunos bancos de calcarenitas grises de 10 a 20 cm. de espesor; los niveles más gruesos presentan convoluted. Su edad es Paleoceno. Su potencia es de unos 20 m. y corresponden las muestras CR-206 a CR-208.

— Alternancia de calcarenitas grises en niveles de 10 a 20 cm. de espesor y arcillas rojas, de edad Eoceno. Existe un ligero predominio de los bancos calizos. Su potencia es de unos 30 m. y pertenecen a este tramo las muestras CR-209 a CR-212.

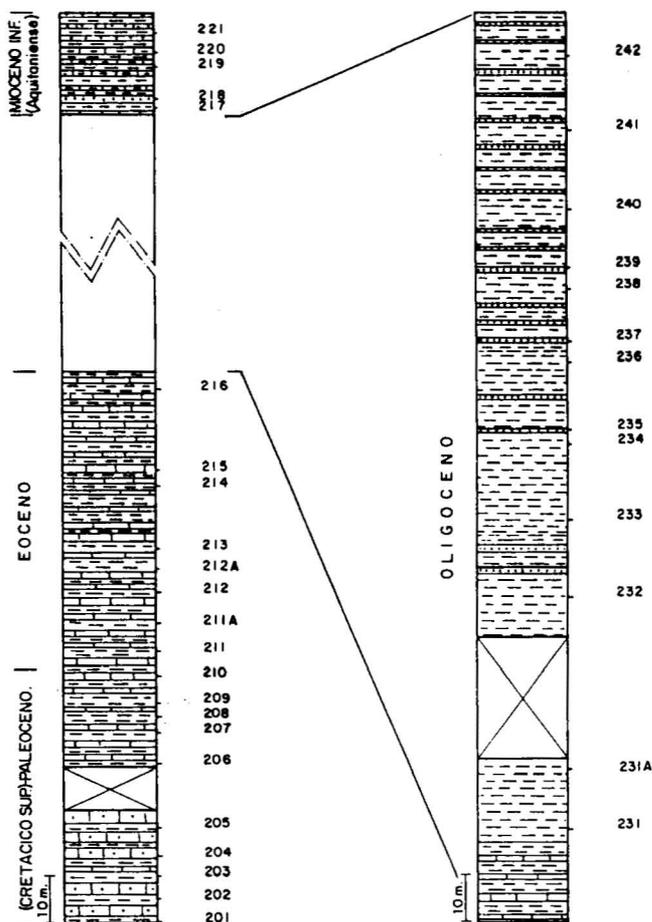


Fig. 1.—Columnas estratigráficas de los cortes de El Rinconcillo y de Las Farolas (Unidad de Algeciras).

- Arcillas rojas con delgados niveles de calcarenitas, de edad Eoceno. Tramo similar al anterior, con mayor predominio de arcillas. Su potencia es de 40 a 50 m. Corresponden a este tramo las muestras CR-213 a CR-216.
- Tramo cubierto por derrubios.
- Serie del flysch "areniscoso micáceo", formada por bancos de areniscas micáceas de 1 m. de espesor con niveles de arcillas grises y pardas y margocalizas grises, de edad Aquitaniense. Su potencia visible es del orden de 50 m. Comprende las muestras CR-217 a CR-221.

Corte de las Farolas:

Corresponde al tramo cubierto por derrubios del corte de El Rinconcillo, y complementa así el corte estratigráfico de esta serie.

Consta de 200 m. de arcillas rojas (fig. 1), de edad Oligoceno, en cuyo techo comienzan a aparecer niveles delgados, de unos 10 cm. de espesor

de areniscas y margocalizas grises. La serie está invertida. A este corte pertenecen las muestras CR-231 a CR-242.

Descripción de las muestras

Las muestras estudiadas, cuya posición se representa en la fig. 1, presentan las facies siguientes:

Corte de El Rinconcillo

- CR-201. Arcillas verdosas con brillo satinado, en paquetes de 10 m. de espesor.
- CR-202. Arcillas rojas y verdes (intercaladas en calcarenitas).
- CR-203. Arcillas verdes de características similares a CR-201.
- CR-204. Calcarenita gris con convoluted en bancos gruesos.
- CR-205. Arcillas rojas en niveles finos.
- CR-206. Arcillas pardo-verdosas con recristalizaciones similares a CR-201.
- CR-207. Arcillas pardo-amarillentas en niveles de unos 20 cm. con concentraciones de óxidos de hierro.
- CR-208. Arcillas verde-grisáceas. Nivel de pocos cm.
- CR-209. Arcillas verdes y rojas en niveles de 10 cm. de espesor.
- CR-210. Calcarenita en bancos de 10 a 30 cm. de espesor con laminaciones y filoncillos rellenos de calcita.
- CR-211. Arcillas versicolores con recristalizaciones y concreciones de calcita, en niveles delgados.
- CR-211A. Idem.
- CR-212. Arcillas rojas en niveles muy finos con abundantes concreciones de calcita.
- CR-212A. Idem.
- CR-213. Margocalizas de colores variados.
- CR-214. Arcillas rojas.
- CR-215. Calcarenitas grises en bancos de unos 40 cm. con abundantes venillas rellenas de calcita.
- CR-216. Arcillas rojas.
- CR-217. Arcillas negras.
- CR-218. Arenisca calcárea parda de grano muy fino en banco de 1 m. de espesor.
- CR-219. Margocaliza gris de fractura concoidea.
- CR-220. Idem.
- CR-221. Idem.

Corte de Las Farolas

- CR-231. Arcillas rojas. Presentan intercalaciones de calcarenitas de unos 10 cm.
- CR-232. Arcillas rojas con fractura concoidea. Son frecuentes las manchas de limonita.
- CR-233. Arcillas rojas similares a las anteriores, con fisuras rellenas de carbonatos.
- CR-234. Arcillas rojas muy compactas de fractura concoidea.
- CR-235. Arenisca grisácea de grano muy fino en un nivel de unos 10 cm. de espesor.
- CR-236. Similar a CR-234.
- CR-237. Arenisca dolomítica de grano muy fino en un nivel de unos 10 cm. de espesor. Se observan romboedros e impregnaciones de carbonatos.
- CR-238. Arcillas rojas en alternancia con niveles muy finos de areniscas.
- CR-239. Arenisca calcárea micácea de grano muy fino y color gris amarillento, en un nivel de 25 cm. de espesor.
- CR-240. Arcillas rojas similares a las anteriores en alternancia con niveles más finos y mucho más abundantes de areniscas.
- CR-241. Arcillas rojas de características similares al resto de la serie.
- CR-242. Arcillas rojas.

Métodos de estudio

En todas las muestras se ha efectuado el reconocimiento y la estimación semicuantitativa de los principales constituyentes minerales (cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, calcita, dolomita y filosilicatos) por difracción de rayos X sobre polvos desorientados.

La estimación semicuantitativa se ha efectuado mediante el empleo de los poderes reflectantes de Schultz (1964).

Las muestras compactas (areniscas y calcarenitas fundamentalmente) se han estudiado además al microscopio petrográfico.

Se han realizado diagramas triangulares del tipo Q (cuarzo + feldespatos), C (carbonatos), F (filosilicatos) para caracterizar los principales tipos litológicos a partir de su composición mineralógica (Malesani y Manetti, 1970).

La composición mineralógica cualitativa y semicuantitativa de la fracción arcilla (<2 micras) se ha efectuado por vía difracción sobre polvos no orientados y sobre agregados orientados. Se han realizado sistemáticamente tratamientos de glicolación a temperatura controlada (Brunton, 1955), tratamientos térmicos (Brindley, 1961) y tratamientos ácidos (Martín Vivaldi y Rodríguez Gallego, 1961). En ciertos casos las muestras han sido tratadas también con dimetilsulfóxido (Martín Vivaldi y col., 1972).

Para la estimación semicuantitativa se han utilizado los poderes reflectantes Martín Pozas y col., 1969 y Barahona, 1974.

Mediante los difractogramas de polvos desorientados se han determinado el politipo de las illitas (Velde y Hower, 1963; Maxwell y Hower, 1967) y el parámetro b_0 de las cloritas (Brindley, 1961).

A partir de los diagramas obtenidos sobre agregados orientados se ha determinado el contenido en hierro y aluminio de las illitas a partir de la relación de intensidades I_{002}/I_{001} (Wiegmann y Kranz, 1961), la cristalinidad de las illitas (Kubler, 1966) y el tamaño de cristalito (Weber y col., 1966), cuando ello ha sido posible, ya que en la mayoría de las muestras la reflexión de la illita aparece englobada en la de las esmectitas o interstratificados de tipo illita-esmectita.

El contenido en hierro y en aluminio de las cloritas se ha calculado siguiendo las ecuaciones de Brindley (1961).

El grado de cristalinidad de las esmectitas, expresado por el índice v/p (Biscaye, 1965) se ha determinado en las muestras glicoladas.

La composición mineralógica de la fracción fina se ha representado asimismo en diagramas triangulares del tipo esmectita + interstratificados, clorita + caolinita, illita.

Las técnicas de ATD y TG se han utilizado en un cierto número de muestras, seleccionadas a partir de los diagramas de rayos X, fundamentalmente para la caracterización de las esmectitas y de los interstratificados hinchables.

Otro conjunto de muestras, fundamentalmente aquellas que contenían paligorskita y esmectita han sido examinadas al microscopio electrónico de barrido (M.E.B.) y analizadas con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X.

Resultados analíticos

Corte de El Rinconcillo:

En esta sucesión turbidítica están representados varios tipos litológicos y la variación de composición es notable. La representación de la composición mineralógica de estos minerales en un diagrama triangular (fig. 2) muestra una acumulación de puntos próxima al vértice de los laminares (arcillas), unas pocas muestras se sitúan en la proximidad del vértice de los carbonatos (calcarenitas) y otro conjunto importante de muestras cae

en el campo de las margas. No obstante, y dado que los carbonatos son en su mayor parte detríticos, cabe pensar que el componente químico es escaso en la mayoría de las muestras.

Como puede observarse en la fig. 3*, la com-

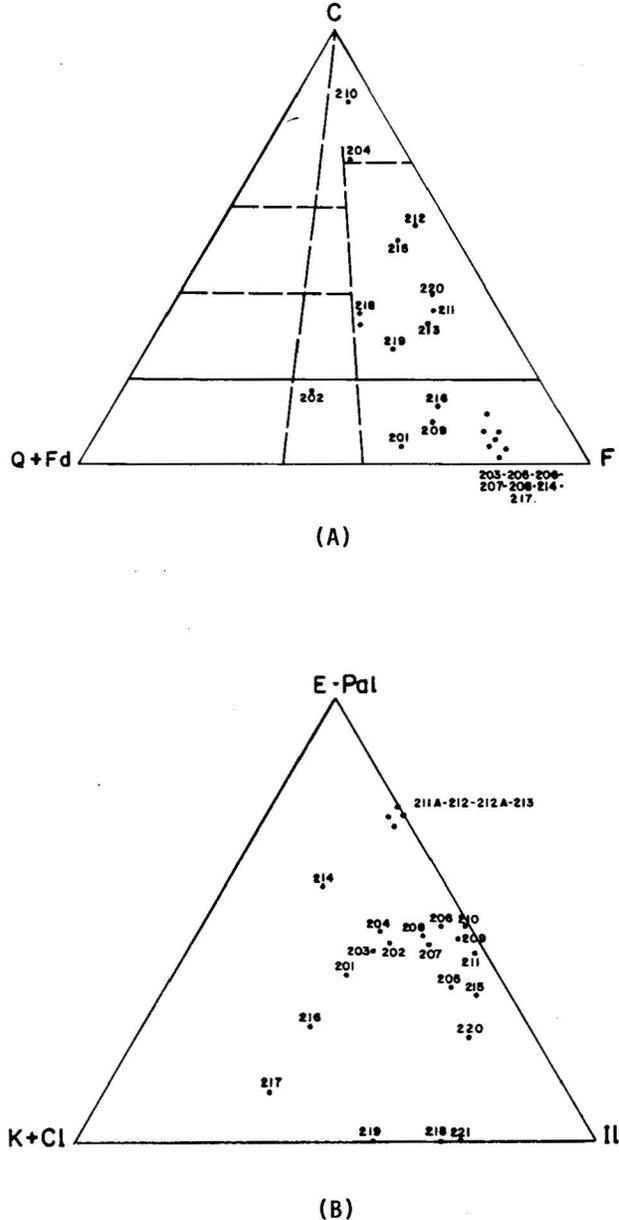


Fig. 2.A.—Composición mineralógica de las muestras globales, (diagrama Q-C-F) para el corte de El Rinconcillo. B.—Composición mineralógica de la fracción <2 μ (Esmectitas+Paligorskita, Caolinita+Clorita, Illita).

* En esta figura sólo se han representando algunos de los niveles de calcarenitas y de areniscas.

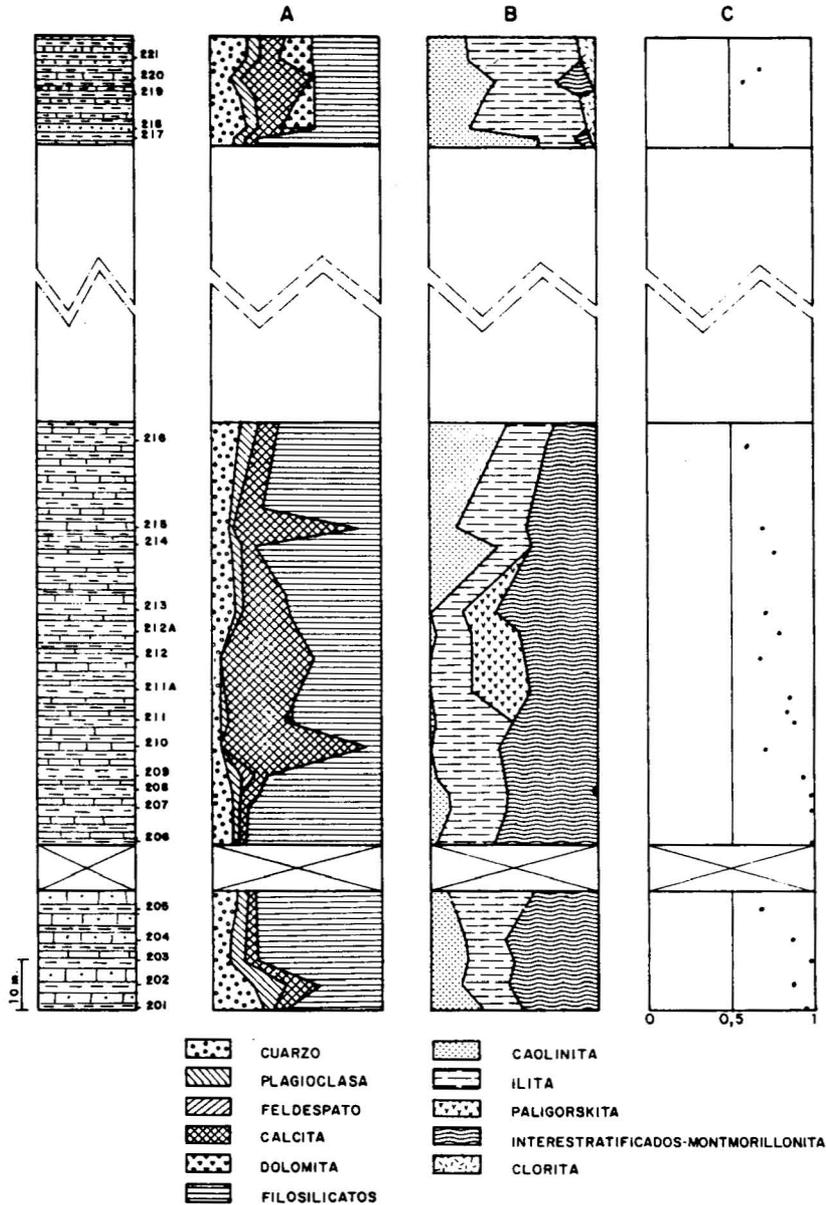


Fig. 3.—Columna de El Rinconcillo. A.—Variación de la composición mineralógica global. B.—Variación de la composición mineralógica de la fracción <math>< 2 \mu</math>. C.—Variación del índice v/p.

posición es cualitativamente homogénea pero cuantitativamente hay notables variaciones, dependiendo de la litología de la roca (tabla 1): La proporción de cuarzo oscila de 5 a 30%, la de plagioclasa de 2 a 20% y los laminares del 10 al 80%. No obstante, pueden hacerse las siguientes apreciaciones:

— El porcentaje de cuarzo aumenta claramente en el flysch arenoso-micáceo.

— Algo similar ocurre con la dolomita que, en las turbiditas calcáreas solo aparece de forma esporádica.

— El feldespato potásico solo aparece en dos muestras y en pequeña proporción.

El estudio difractométrico de la fracción arcillosa ha puesto de manifiesto la existencia de los siguientes minerales: caolinita, ilita, paligorskita, esmectitas, interestratificados hinchables y clorita (Tabla 2).

La caolinita aparece desigualmente repartida a lo largo de la columna (fig. 3). En el tramo inferior de la serie el porcentaje de caolinita oscila entre 15 y 20%. Decece a continuación hasta casi desaparecer y de nuevo aumenta en la zona

Tabla 1.—Composición mineralógica global.
Corte de El Rinconcillo

Muestra	Q	Pl.	Micr.	Cal.	Dol.	Fil.
201	31	4	—	4	—	61
202	26	19	—	17	—	37
203	11	3	4	7	—	75
204	11	Tr	—	70	—	19
205	15	4	—	3	—	78
206	12	4	—	3	—	81
207	12	5	—	5	—	78
208	11	4	—	11	—	74
209	18	4	4	6	4	63
210	5	—	—	83	Tr	11
211	10	3	—	31	5	51
212	7	—	—	54	—	39
213	13	3	—	29	3	52
214	12	4	—	6	—	78
215	9	2	—	73	—	16
216	17	6	—	13	—	64
217	13	3	—	2	—	82
218	22	6	—	15	19	38
219	18	6	—	8	7	59
220	8	3	—	49	—	40
221	20	8	—	9	14	49

Q=Cuarzo, Plag.=Plagioclasa, Micr.=Minoclima, Cal.=Calcita, Dol.=Dolomita, Fil.=Filosilicatos.

Tabla 2.—Composición mineralógica de la fracción <2 μ
Corte de El Rinconcillo

Muestra	Caol.	Il.	Palig.	Min.Hinch.	Cl.
201	32	25	—	43	—
202	19	30	—	51	—
203	23	27	—	50	—
204	21	24	—	55	—
205	12	46	—	42	—
206	6	35	—	59	—
207	12	35	—	53	—
208	12	34	—	51	3
209	4	42	—	54	—
210	Tr	43	—	57	—
211	4	47	—	49	—
211A	Tr	xx	xxx	xx	—
212	Tr	xx	xxx	xx	—
212A	Tr	xx	xxx	xxx	x
213	Tr	xx	xx	xxx	—
214	42	24	Tr	34	—
215	8	53	—	39	—
216	41	31	—	28	—
217	64	25	—	11	—
218	24	71	—	—	5
219	33	57	—	—	10
220	40	33	—	27	Tr
221	22	70	—	—	8

Caol.=Caolinita, Il.=Ilita, Palig.=Paligorskita, Min.Hinch.=Minerales hinchables, Cl.=Clorita.

superior llegando a alcanzar hasta un 60% de la fracción arcilla en la base de la transición al flysch arenoso-micáceo. Cristaloquímicamente presenta una buena ordenación de las hojillas y una elevada cristalinidad.

La ilita muestra una distribución similar a la caolinita, aumentando sensiblemente en la zona alta de la columna (flysch arenoso-micáceo). El estudio de los parámetros cristaloquímicos de las ilitas de este serie es muy difícil dado que la reflexión a 10 Å aparece en la mayoría de las muestras englobada en la de los interstratificados y esmectitas, en general más abundantes, mostrándose en el agregado orientado solo como una pequeña inflexión. Solo se individualiza claramente en las muestras glicoladas, ya que el pico de las esmectita se desplaza ampliamente. Su determinación se complica aún más en las muestras que contienen paligorskita siendo imposible en estos casos hacer una estimación cuantitativa de estos minerales. Solo en el flysch arenoso-micáceo la composición de ciertas muestras (ilita-caolinita-clorita) permite estudiar este mineral.

Muestra	d_{060}	b_0	tamaño crist.	I_{002}/I_{001}
CR-218	1,495	8,950	153,5 Å	0,52
CR-221	1,514	9,014	104,12 Å	0,51

Los politipos presentes en estas muestras son 1Md y 2M.

Las paligorskita aparece exclusivamente en la turbiditas calcáreas en el tramo medio de la serie (muestras CR-211 a CR-214), habiéndose identificado por difracción de rayos X. Las muestras conteniendo este mineral han sido examinadas además al microscopio electrónico (fig. 4).

La clorita solo aparece representada en las muestras del flysch arenoso-micáceo en pequeña proporción y mezclada con caolinita e ilita, lo que dificulta su estudio detallado. Únicamente se ha podido medir con bastante exactitud d_{001} que se sitúa de forma constante a 14,01 Å. Según la ecuación de Bridley (1961) este valor corresponde a $x=1,86$; es decir, el reemplazamiento tetraédrico sería $Si_{2,14}Al_{1,86}$. Presenta por tanto un alto contenido en Al^{IV} .

Las esmectitas junto con los interstratificados ilita-esmectita (ricos en el segundo componente) son, sin duda los minerales mejor representados en esta columna, salvo en el flysch arenoso-micáceo donde su proporción desciende notablemente a favor de ilita y, en menor proporción, de clorita. El estudio de la muestra global pone de manifiesto que se trata en su mayoría de esmecti-

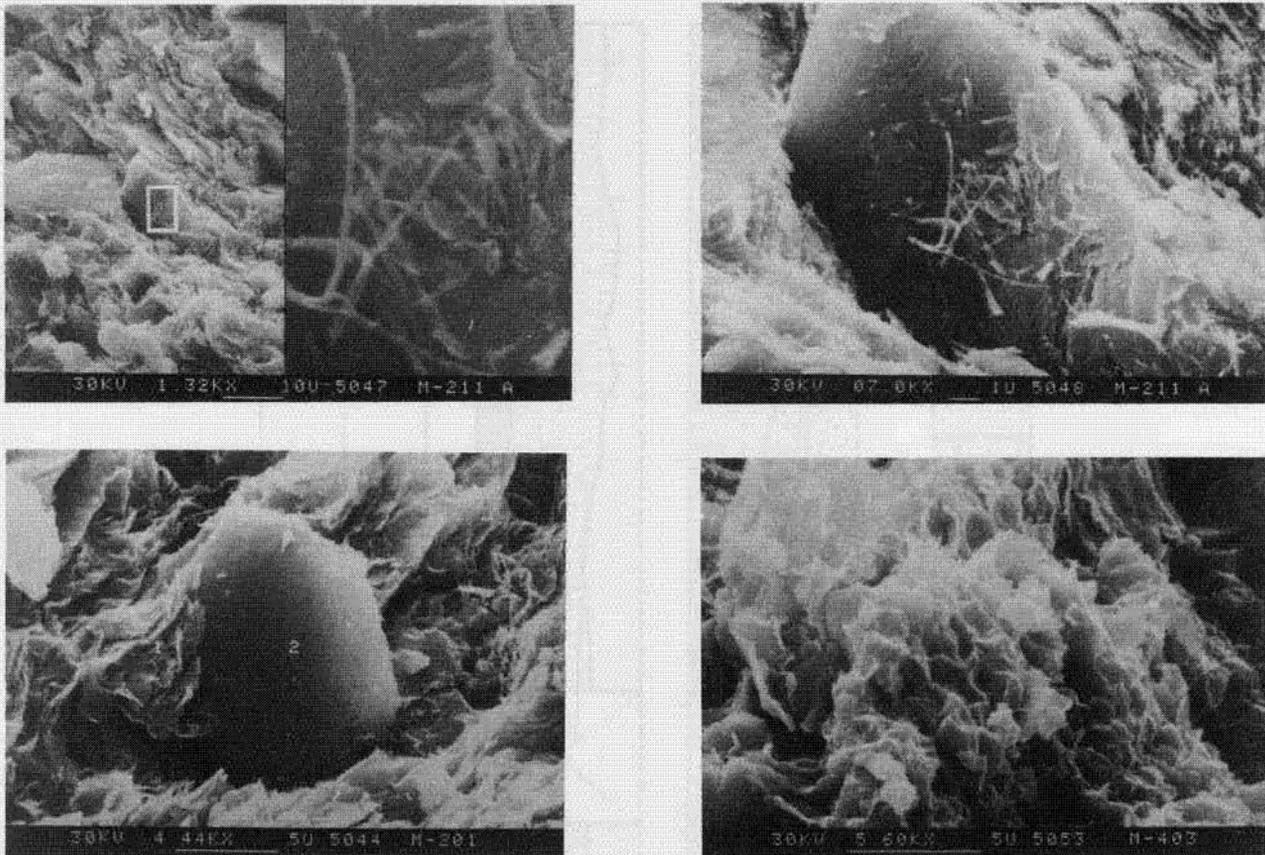


Fig. 4.—Fotografías al M.E.B. Arriba: Crecimiento de paligorskita sobre dolomita. Abajo: Paso de mica detritica (2) a esmectita (Izda.) y morfología de esmectitas (dcha.).

tas cálcicas, que muestran la primera reflexión alrededor de 15 Å. No obstante, en la fracción inferior a 2 micras la composición de las esmectitas es mucho más variada, apareciendo, como ya se ha señalado, además de esmectitas, interestratificados iliraesmectita. La cristalinidad de estas esmecticas (índice de Biscaye) se mantiene bastante alta en las turbiditas calcáreas (0,62-1) y ligeramente inferior en el flysch areniscoso-micáceo, aunque los valores en este tramo son bastante uniformes (0,5-0,67) (fig. 3).

Los diferentes tipos de esmectitas determinados por difracción de rayos X se han estudiado también mediante ATD. Los resultados obtenidos se exponen más adelante.

Corte de Las Farolas:

Tal como aparece representado en la figura 5 esta serie está dividida en dos tramos, separados por una pequeña zona derrubida. El tramo inferior se caracteriza por la ausencia de dolomita y la presencia de calcita. En el tramo superior, mu-

Tabla 3.—Composición mineralógica muestras globales Corte de "Las Farolas"

Muestra	Q	Pl.	Cal.	Dol.	Sid.	Fil.
CR-231	14	5	5	—	—	76
CR-232	19	6	—	7	—	69
CR-233	19	6	3	7	Tr	65
CR-234	25	7	—	10	Tr	58
CR-235	31	6	5	16	—	42
CR-236	27	6	—	14	—	53
CR-237	48	8	6	22	—	16
CR-238	31	6	—	15	—	48
CR-239	24	12	19	13	—	32
CR-240	24	6	—	21	—	50
CR-241	26	8	—	19	—	47
CR-242	24	5	9	12	—	50

Q=Cuarzo, Pl.=Plagioclasa, Cal.=Calcita, Dol.=Dolomita, Sid.=Siderita, Fil.=Filosilicatos.

cho más potente, la mineralogía es bastante homogénea, salvo ligeras variaciones de composición en los niveles duros que corresponden a areniscas calcáreas de grano muy fino (Tabla 3). La

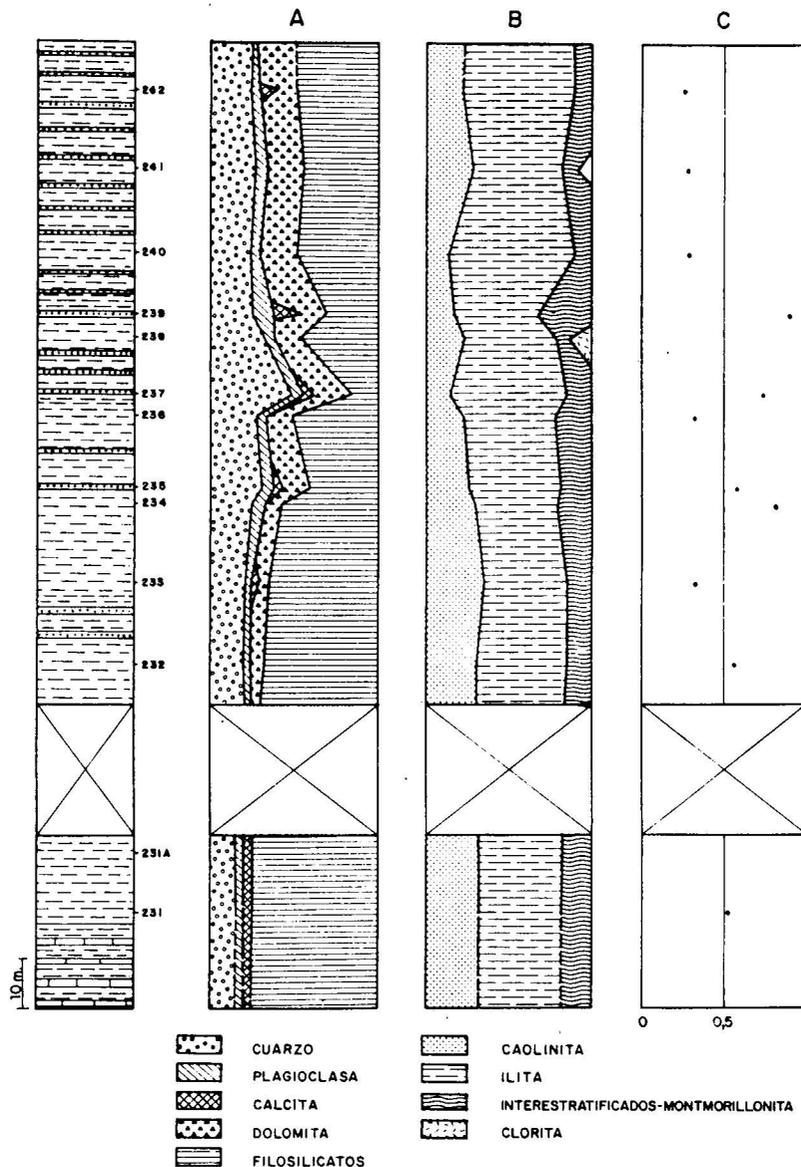


Fig. 5.—Columna de Las Farolas. A.—Variación de la composición mineralógica global. B.—Variación de la composición mineralógica de la fracción $< 2 \mu$. C.—Variación del índice v/p.

proporción del cuarzo oscila del 20 al 30%, la de feldespato de 5 a 10% (se trata exclusivamente de plagioclasa), la de carbonatos de 5 a 20% (excluyendo las areniscas calcáreas donde llega a alcanzar un 30%) y los laminares, con composición muy homogénea, del 40 al 70%, decreciendo notablemente en los niveles areniscosos. Este tramo se caracteriza por la presencia continua de dolomita en tanto que la calcita solo aparece esporádicamente, coincidiendo en su mayor parte con los niveles de areniscas.

La representación de estas muestras en un diagrama Q-C-F (fig. 6) aparece como una nube de

puntos de composición muy próxima que corresponde aproximadamente al límite arcillas-margas-areniscas lutíticas (silt), lo que confirma la uniformidad mineralógica que ya se ha señalado. No obstante, algunas muestras (CR-237) caen claramente en el campo de las areniscas calcáreas.

El estudio difractométrico de la fracción menor de 2μ ha puesto de manifiesto los siguientes minerales: Caolinita, ilita, minerales hinchables y clorita, así como una pequeña proporción de interestratificados conteniendo clorita (Tabla 4, fig. 5).

La caolinita aparece de forma continua a lo lar-

Tabla 4.—Composición mineralógica fracción menor de 2 micras
Corte de "Las Farolas"

Muestra	Caol.	Il.	Min.hinch.	Cl.
CR-231	31	49	20	—
CR-232	30	53	17	—
CR-233	35	50	15	—
CR-234	29	50	21	—
CR-235	27	53	20	Tr
CR-236	24	53	23	Tr
CR-237	14	69	17	Tr
CR-238	22	56	7	15
CR-239	16	49	35	—
CR-240	12	77	11	Tr
CR-241	28	52	9	10
CR-242	21	66	13	—

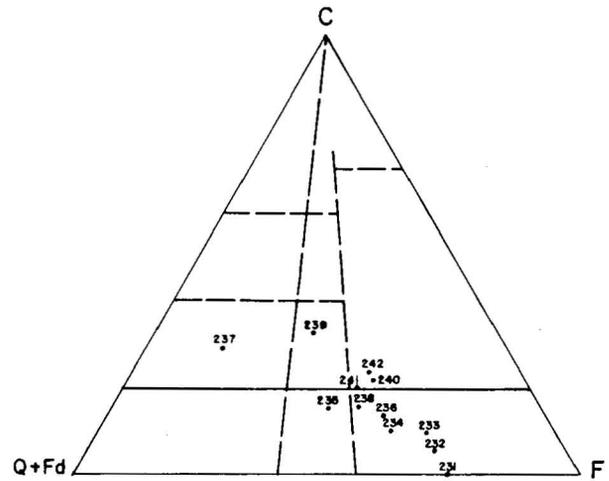
Caol.=Caolinita, Il.=Iilita, Min.hinch.=Minerales Hinchables, Cl.=Clorita.

go de la serie, constituyendo del 30 al 35% en las muestras inferiores y decreciendo ligeramente hacia el techo.

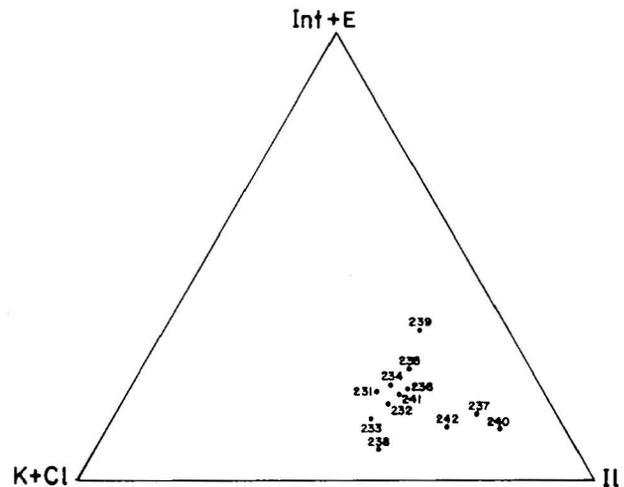
La illita aparece también de forma continua y en un porcentaje bastante elevado (50-70%). En la mayoría de las muestras el pico a 10 Å de la illita aparece englobado en el pico de los minerales hinchables; en otros casos la primera reflexión de la illita está claramente individualizada, pero el pico se abre hacia los pequeños ángulos debido a la presencia de interstratificados illita-esmectita. Dadas las características de las illitas en estas muestras, el único parámetro cristaloquímico que se ha podido medir de una manera sistemática es la relación de intensidades I_{002}/I_{001} .

Los valores de I_{002}/I_{001} son muy homogéneos a lo largo de la columna, lo que indica una gran uniformidad en la composición química de las illitas en lo que se refiere a las capas octaédricas (condiciones similares de meteorización, transporte, depósito, etc.). Sólo en dos de las muestras recogidas en la tabla anterior se ha podido medir el tamaño de cristalino; los valores obtenidos reflejan la baja cristalinidad de la illita. El único politipo determinado en estas muestras ha sido 1Md.

Muestra	I_{002}/I_{001}	Tamaño crist. (Å)
CR-231	0,37	
CR-232	0,25	
CR-233	0,34	
CR-234	0,45	
CR-235	0,41	
CR-236	0,34	
CR-237	0,40	
CR-238	0,36	83
CR-239	0,40	
CR-240	0,38	56
CR-241	0,36	
CR-242	0,42	



(A)

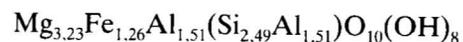


(B)

Fig. 6.A.—Composición mineralógica de las muestras globales (diagrama Q-C-F) para el corte de Las Farolas.

B.—Composición Mineralógica de la fracción < 2 μ (Minerales hinchables, Caolinita+Clorita, Illita).

La clorita aparece en esta serie solo de forma esporádica y en pequeña proporción; únicamente de la muestra CR-239 se ha podido distinguir con cierto detalle el diagrama de polvo desorientado de la fracción arcilla. Aplicando la ecuación de Brindley (1961) se obtiene un valor de $x=1,51$ y de $y=1,26$. La fórmula sintética sería:



lo que correspondería en la clasificación de Foster (1961) a una ripidolita.

Los minerales hinchables comprenden esmectitas a 14 Å, esmectitas a 12 Å y un conjunto de minerales interstratificados ilita-esmectita, ricos en láminas de esmectita. Constituyen un componente continuo de la fracción arcilla (de 10 al 20%) pero no son tan abundantes como en el corte de El Rinconcillo; en conjunto el grado de hinchamiento es bastante elevado excepto en aquellas muestras en que los minerales interstratificados dominan sobre las esmectitas propiamente dichas. Un hecho a hacer notar es que la cristalinidad de estas esmectitas (índice de Biscaie) a diferencia de lo que ocurre en el corte de El Rinconcillo, es muy variable (0,25-0,90) (fig. 5), siendo el valor medio muy inferior a la serie anterior.

Estudio de las esmectitas por ATD

La composición mineralógica de las muestras analizadas mediante ATD puede verse en las tablas 2 y 4. En esencia están constituidas por esmectita, interstratificadas ilita-esmectita, ilita y caolinita. Se han seleccionado estas muestras en base a las diferentes características que presentan las esmectitas en difracción de rayos X (espaciado basal, cristalinidad, grado de hinchamiento), eligiéndose asimismo aquellas muestras en que eran mayores los porcentajes de este mineral (fig. 7).

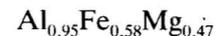
En todos los diagramas (corte de El Rinconcillo y corte de Las Farolas) se observa un endotérmico simple a baja temperatura (80°-100° C) de características bastante similares; la forma, tama-

ño y temperatura de este endotérmico depende fundamentalmente del catión de saturación (Mackenzie, 1978); no obstante hay que hacer notar que, aún siendo en algunos casos esmectitas sódicas y en otros casos cálcicas, las características de este endotérmico así como la pérdida de peso en las curvas TG son bastante constantes. Las curvas presentan un segundo endotérmico de deshidroxilación (506°-547° C) a temperaturas claramente inferiores a las montmorillonitas s. est. La posición de este endotérmino sugiere más bien la presencia de nontronita o beidellita (Mackenzie, 1978). La presencia en alguna de las curvas de un pequeño exotérmico (330°-350° C) es debida posiblemente a la oxidación del Fe²⁺. Este hecho junto con la temperatura ciertamente baja del segundo endotérmico nos hace pensar que en la mayoría de los casos se trata de una esmectita férrica (nontronita). Solo en una muestra (CR-211) en esta zona aparecen dos endotérmicos (547°-683° C) tratándose probablemente de una mezcla de esmectita dioctaédrica y trioctaédrica. Por último, la mayoría de las curvas presentan un sistema endo-exotérmico (850°-950° C) debido a la formación de nuevas fases, fundamentalmente cristobalita y espinela férrica. En la muestra CR-211 aparece además enstatita, confirmando el carácter en parte magnésiano de estas esmectitas.

Estudio de las esmectitas al M.E.B.

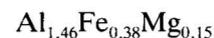
De esta serie se han seleccionado diversas muestras conteniendo esmectitas, estudiando las características morfológicas, químicas y genéticas de estos minerales.

En las calcarenitas, las esmectitas aparecen en gran proporción como minerales heredados presentándose como láminas arrugadas sobre los carbonatos. En ciertos casos, no obstante, las esmectitas parecen ser autigénicas, habiéndose desarrollado en relación con el cemento calcáreo (fig. 4). El análisis químico semicuantitativo realizado a estas esmectitas permite deducir, para las capas octaédricas la siguiente composición aproximada:



que correspondería a un término intermedio en la serie beidellita-nontronita- (montmorillonitas).

En los niveles arcillosos (fig. 3) se han realizado también análisis químicos, obteniéndose una composición aproximada para las capas octaédricas de



correspondiente a una beidellita.

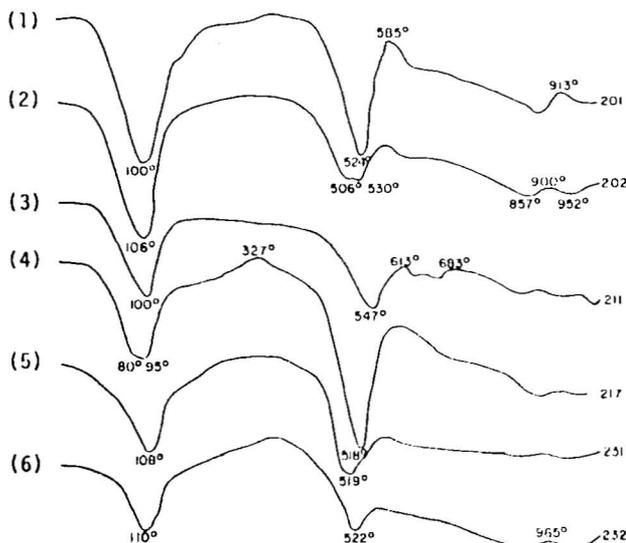


Fig. 7.—Diagramas de ATD para muestra del corte de El Rinconcillo (1, 2, 3, 4) y de Las Farolas (5 y 6).

La clasificación de estas esmectitas realizada en base a los análisis químicos está de acuerdo, en líneas generales, con la clasificación realizada a partir de los diagramas de A.T.D.

Correlación entre ambos cortes

Es difícil correlacionar con exactitud el corte de Las Farolas con el corte de El Rinconcillo, dada la escasez de dataciones concretas en ambos. El intento de correlación que se realiza se basa en gran parte en los datos suministrados por Esteras (comunicación oral) y en el conocimiento de la secuencia general de la serie estratigráfica de la Unidad de Algeciras establecida en los cortes de Punta Carnero y de Punta Tarifa (Esteras, 1984). En base a estas informaciones y a los datos de tipo mineralógico se pueden hacer las siguientes apreciaciones:

— El tramo inferior del corte de Las Farolas puede corresponder a la parte superior del flysch calcáreo del Eoceno del corte de El Rinconcillo.

— El tramo superior del corte de Las Farolas (datado como Oligoceno) podría corresponder estratigráficamente al tramo cubierto por derrubios situado bajo el Aquitaniense en el corte de El Rinconcillo (fig. 1).

Las composiciones mineralógicas medias de la fracción inferior a 2 micras en ambas series son las siguientes:

	Caol.	Il.	Esm.	Cl.
Corte de El Rinconcillo				
Flysch calcáreo	13	36	51	Tr
Flysch arenoso-micáceo	36	52	7	5
Corte de Las Farolas	25	58	17	Tr

La representación de estas composiciones medias en un diagrama triangular (fig. 8) muestra que los materiales del corte de Las Farolas tiene una composición intermedia, entre el flysch calcáreo y el arenoso-micáceo del corte de El Rinconcillo, lo que podría confirmar la correlación efectuada.

Discusión y conclusiones

De los datos expuestos hasta ahora podemos señalar como más significativos los siguientes:

— Mineralogía bastante homogénea en el corte de Las Farolas tanto en lo que se refiere a composiciones globales como a la fracción inferior a 2 micras (fig. 6).

— Composición mineralógica mucho más variada en el corte de El Rinconcillo (fig. 2).

— Predominio claro de calcita en los materiales del Corte de El Rinconcillo y de dolomita en los de Las Farolas.

— Presencia de esmectitas y de gran cantidad de interestratificados hinchables en ambos cortes, a diferencia de otras series de esta misma Unidad de Algeciras, aunque algunas de las características de las esmectitas (v/p, p. ej.) son diferentes en ambos.

— Presencia de paligorskita en los términos medios del corte de El Rinconcillo, mineral que, hasta el momento solo se ha detectado en esta serie.

— Relativa abundancia de clorita en las arcillas y, fundamentalmente, en las areniscas micáceas del tramo superior de la serie del Rinconcillo, no apareciendo en términos inferiores más que de forma esporádica y en trazas.

Interpretación genética de los minerales arcillosos:

La ilita, que consideramos de origen detrítico, en su mayor parte, aparece de forma continua a lo largo de la serie, siendo su porcentaje mínimo en los tramos medios del Eoceno. En el flysch arenoso-micáceo alcanza porcentajes elevados,

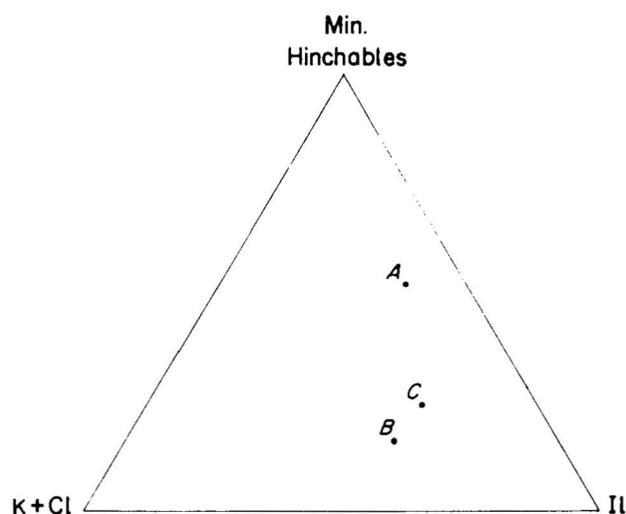


Fig. 8.—Composición mineralógica media de la fracción $< 2\mu$ para las muestras del Eoceno, Oligoceno y Aquitaniense. Series de El Rinconcillo y Las Farolas. A. Composición mineralógica media para el flysch calcáreo. Corte de El Rinconcillo. B. Composición mineralógica media para el flysch arenoso-micáceo. Corte de El Rinconcillo. C. Composición mineralógica media para el corte de Las Farolas.

a la vez que son muy escasos tanto los interestratificados ilita-esmectita como las esmectitas mismas. Esto hace pensar que en este periodo existió una tectónica vigorosa y una erosión activa que evitaría una profunda alteración superficial. Las condiciones de herencia (meteorización y tipo de aportes) parecen ser diferentes en los materiales anteriores al flysch arenoso-micáceo: las ilitas aparecen muy degradadas, con muy baja cristalinidad y presencia constante de interestratificados ilita-esmectita y esmectitas, originadas gracias a transformaciones del tipo.

Ilita → Iilita-esmectita → Esmectita

La caolinita aparece también de forma continua a lo largo de toda la serie estratigráfica aunque desaparece prácticamente, en el flysch calcáreo del Eoceno, siendo mucho más abundante en las arcillas de Las Farolas (Oligoceno) y en el flysch arenoso-micáceo (base del Aquitanense). Para este mineral es lógico suponer un origen heredado de acuerdo con su composición rica en elementos poco solubles.

La clorita, aluminica, se desarrolla preferentemente en el flysch arenoso-micáceo. Hay que pensar en un origen heredado para este mineral presente en la parte superior de la serie probablemente gracias a un cambio en el tipo de aportes.

La paligorskita aparece en la zona central de la serie (flysch calcáreo) coincidiendo con un buen desarrollo de las esmectitas, con la ausencia de caolinita y un decrecimiento notable en el porcentaje de ilita (ambos minerales heredados). Asimismo, las muestras ricas en paligorskita presentan un elevado contenido en calcita.

Las esmectitas aparecen en esta serie en elevadas proporciones y acompañadas frecuentemente por interestratificados ilita-esmectita. Estos últimos son frecuentes en otras series estudiadas en esta zona, cosa que no ocurre con las esmectitas, lo que permite considerar esta serie como "anormal" dentro de la Unidad de Algeciras.

Las esmectitas, férrico-aluminosas, formadas por cationes poco solubles, tendrían en principio pocas probabilidades de formarse en la cuenca, siendo probablemente heredadas a lo largo de toda la columna, procedentes de una intensa degradación de otros minerales arcillosos, fundamentalmente ilitas; no obstante parece evidente un cambio en las condiciones geoquímicas durante el depósito de las rocas que hoy forman parte del Eoceno medio, que pudo dar lugar, entre otras cosas al crecimiento de paligorskita a partir de esmectita (Trauth, 1974) (fig. 4). La disponibilidad de Mg^{2+} para entrar en los huecos de los

minerales arcillosos es consecuencia de su concentración en las soluciones frente a otros cationes; el predominio en estos tramos de la serie de calcita, fase química dominante, puede haber provocado un aumento del contenido en Mg^{2+} en las soluciones que ha podido utilizarse para reconstruir las capas octaédricas de los silicatos.

No obstante, es difícil suponer en materiales turbidíticos las condiciones de depósito adecuadas para la formación de estos minerales. Parece más lógico pensar que las corrientes de turbidez hayan arrastrado sedimentos arcillosos preexistentes en los cuales hayan tenido lugar estos procesos.

Interpretación paleogeográfica

En párrafos anteriores se han señalado ciertas diferencias en la mineralogía de los dos cortes que constituyen esta serie, que permiten hacer algunas apreciaciones:

La naturaleza de la fracción carbonatada (calcita detrítica, dominante en el corte de El Rinconcillo y dolomita, en gran parte neoformada en el corte de Las Farolas), así como la preponderancia de materiales arcillosos en este último corte, podría hacer pensar, bien en un depósito en zonas más abiertas de la cuenca, bien una etapa de sedimentación más tranquila. Los datos aportados por la mineralogía de la fracción fina nos hacen inclinarnos por la segunda posibilidad.

Las características de los minerales de la arcilla, dado que no aparecen evidentes efectos de diagénesis (la cristalinidad de la ilita y en general la composición mineralógica así lo indican), nos aporta otra serie de datos en lo que al depósito los materiales de ambos cortes se refiere. Por una parte, el tipo de minerales hinchables, aunque similares en líneas generales en ambos cortes, presentan ciertas características cristalógicas (la variación de v/p en las esmectitas, por ejemplo) que permiten suponer condiciones diferentes para ambos en lo que se refiere a las características de los aportes. Por otra parte (si excluimos el arenoso-micáceo, bien caracterizado por la presencia de clorita), se observa un porcentaje mucho mayor de ilita y, sobre todo, de caolinita en el corte de Las Farolas y, en consecuencia, un porcentaje muy inferior de minerales hinchables. La caolinita constituye un buen indicador paleogeográfico. Las partículas de caolinita son generalmente de mayor tamaño que las de otros minerales arcillosos; por ello son arrastradas menos lejos en la cuenta de depósito (Dunoyer, 1969). En cambio, un transporte más prolongado haría más efectiva

las transformaciones illita → interestratificados → esmectita. De aquí que pueda suponerse una situación más cercana a la línea de costas durante la sedimentación de los materiales oligocenos.

AGRADECIMIENTOS

A D. Manuel Esteras, quien amablemente revisó y completó este trabajo.

Referencias

- Barahona, E. (1974). *Arcillas de ladrillería de la Provincia de Granada: Evaluación de algunos ensayos de materias primas*. Tesis Doctoral Univ. de Granada. 398 págs.
- Biscaye, P.E. (1965). Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clays in the Atlantic Ocean and adjacent Seas and Oceans. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 76, 803-832.
- Bourgeois, J. (1978). *Le transversale de Ronda. Données géologiques pour un modèle d'évolution de l'arc de Gibraltar*. Tesis Univ. Besançon. (Inédita).
- Brindley, G.M. (1961). Experimental Methods e Chlorite Minerals. In: *The X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals*. (G. BROWN EDITOR). *Min. Soc. London*.
- Brunton, G. (1955). Vapour pressure glycolation of oriented clay minerals. *Amer. Mineral*, 40, 124-126.
- Didon, J. (1969). *Etude géologique du Campo de Gibraltar*. Tesis Univ. París. 539 págs.
- Dunoyer, G. (1969). *Les minéraux argileux dans la diagenèse passage au métamorphisme*. Mém. du Serv. Géol. Als. Lor. Strasbourg, n.º 29. 320 págs.
- Esteras, M. (1984). "Geología del Estrecho de Gibraltar". *Rev. de Obras Públicas*, n.º 3.227, 505-526.
- Foster, M.D. (1962). Interpretation of the composition and classification of the chlorites. *Geol. Surv. Prof. Paper*, 414-A. 33 págs.
- Kubler, B. (1966). La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In: *Colloque sur les Etages Tectoniques*. 105-122.
- Mackenzie, R.C. (1978). *Differential Thermal Analysis*. Vol. 1. Academic. Press. London. 775 págs.
- Malesani, P. y Manetti, E. (1970). Proposta di classificazione di sedimenti clastici. *Mem. della Soc. Geol. Ital.* 9, 55-63.
- Martín Vivaldi, J.L. y Rodríguez Gallego, M. (1961). Some problems in the identification of clay minerals in mixtures by X-ray diffraction photographs. I. Chlorite-Kaolinite mixtures. *Clay Min. Bul.* 4, 288-292.
- Martín Vivaldi, J.L., Pozzuoli, A., Mattias, P. y Galan Huertos, E. (1972). The swelling of layers minerals. I-Interaction with DMSO and NMFA. *Int. Clay Conf. C.S.I.C. Madrid*. 455-468.
- Martín Pozas, J.M.; Rodríguez Gallego, M. y Martín Vivaldi, J.L. (1969). Análisis cuantitativo de filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos X. II. Influencia del cation de cambio sobre la intensidad de la reflexiones. *An. R. Soc. Esp: Fis. y Quim.*, 50, 19-31.
- Maxwell, D. y Hower, J. (1967). High-grade diagenesis and low-grade metamorphism of illite in the Precambrian Belt series. *Am. Mineral*, 52, 843-857.
- Ortega Huertas, M., Sebastian Pardo, E., Rodríguez Gallego, M. y López Aguayo, F. (1983). Mineralogía de arcillas en sedimentos turbidíticos de las Unidades del Campo de Gibraltar. *Tecniterrae*, 51, 43-48.
- Pendon, J.G. y Polo, M.D. (1975). Estudio mineralógico de las areniscas de la serie de Punta Carnero (Unidad de Algeciras) y de las areniscas del Aljibe (Unidad del Aljibe). Campo de Gibraltar. *Acta Geol. Hisp.* 10, (4). 146-149.
- Pendon, J.G. (1978). *Sedimentación turbidítica en las Unidades del Campo de Gibraltar*. Tesis Doctoral. Univ. de Granada. 251 págs.
- Schultz, L.G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. *U.S.G.S. Prof. Paper*. 391-C. 31 págs.
- Trauth, N. (1974). *Argiles évaporitiques dans la sédimentation carbonatée continentale tertiaire. Bassin de París, de Mormouron et de Salinelles (France). Ibel Ghassoul (Maroc)*. Thèse d'Etat. Univ. Louis Pasteur. Strasbourg. 309 págs.
- Velde, B. y Hower, (1963). Petrological significance of illite polymorphism in Paleozoic sedimentary rocks. *Amer. Mineral*, 48, 1.239-1.254.
- Weber, et al. (1966). Une nouvelle expression de la "cristallinité" de l'illite et des micas. Notion d'épaisseur apparente des cristallites. *C.R. somm. Soc. Géol. France*, 5, 227-229.
- Wiegmann, J. y Kranz, G. (1961). Beitrag zur quatitativen mineralanalyse von tonen, kaolinen un ähnlichen gesteinen mittels roentgenographischer methodes. *Ber. Deut. Keram. Ges.* 28, 294-302.

Recibido el 15 de Septiembre de 1986
Aceptado el 17 de Febrero de 1987