

MINERALOGIA Y GENESIS DE LAS ARCILLAS DE LA UNIDAD DE ALMARCHAL (SERIES FLYSCH DEL CAMPO DE GIBRALTAR, S DE ESPAÑA)

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

RESUMEN

El estudio de la fracción fina de la Unidad de Almarchal (series flysch del Campo de Gibraltar) ha permitido poner de manifiesto varias asociaciones mineralógicas relacionadas estrechamente con los tipos litológicos presentes:

1. Caolinita-(ilita)-minerales hinchables, asociación propia de los niveles lutíticos, claramente dominantes en esta Unidad.
2. Iilita-clorita, asociación bien desarrollada en las rocas calcáreas.
3. Clorita y/o bertierina, minerales que caracterizan a los niveles silicificados.

En la mayor parte de las secuencias es posible, por lo tanto, determinar una serie de niveles típicamente turbidíticos y una serie de tramos lutíticos, depósitos probablemente hemipelágicos, en los cuales es notable el desarrollo de materia orgánica. Las diferentes litologías han ejercido un fuerte control sobre la evolución mineralógica, debido a la diferente permeabilidad de los distintos niveles.

En los niveles turbidíticos la mineralogía de la fracción fina ha sufrido importantes transformaciones tras el depósito. La disolución de aluminosilicatos heredados ha sido la causa probable del notable desarrollo de ilitas autigénicas en las calcarenitas. En las rocas silicificadas, las cloritas ricas en hierro parecen haberse desarrollado a expensas de caolinitas detríticas. En los tramos lutíticos se mezclan dos tipos de constituyentes minerales: uno derivado de la llegada de material terrígeno (caolinita, fundamentalmente), y otro, derivado de la evolución postsedimentaria de estos materiales (minerales hinchables). La abundancia de materia orgánica en estos niveles puede relacionarse con los episodios anóxicos que tuvieron lugar durante el Cretácico en el Atlántico Norte.

Palabras clave: *Campo de Gibraltar, minerales de la arcilla.*

ABSTRACT

A study of the fine fraction of the Almarchal unit (Campo de Gibraltar flysch series) revealed several very characteristic mineralogical associations, closely associated with the types of the rocks in this area.

1. Kaolinite-(illite)-swelling minerals, characteristically associated with the lutitic levels, clearly preponderate in this unit.
2. Illite-chlorite, a well-developed association found only in calcareous rocks.
3. Chlorite and/or berthierine, a characteristic association of silicified levels.

Thus, it is possible to determine a group of levels, typically turbiditic and another group of lutitic levels, probably hemipelagic deposits, in which the content of organic material is noteworthy. The control of the mineralogic evolution by lithology is a result of different permeabilities in alternating levels.

In calcareous beds the mineralogy of the fine fraction could result from the diagenetic degradation of aluminosilicates. Diagenetic Fe-rich chlorites, preferably developed in siliceous rocks resulting from the evolution of detrital kaolinites. In lutitic beds, two types of mineral constituents are mixed: Typically detrital mineral species (like kaolinite) and diagenetic materials (swelling minerals). The abundance of organic matter in these levels can be related with oceanic anoxic events in Cretaceous time in North Atlantic basins.

Key words: *Campo de Gibraltar, clay minerals.*

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

** Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

Introducción

Este trabajo se encuadra dentro del estudio mineralógico de las arcillas del Campo de Gibraltar que se está llevando a cabo por los autores del mismo. Aquí se analizan los primeros resultados obtenidos acerca de la Unidad de Almarchal.

Las Unidades del Campo de Gibraltar, con una posición tectónica intermedia entre las zonas Internas y Externas de las Cordilleras Béticas, están constituidos por diversos mantos de corrimiento superpuestos, con materiales que se extienden desde el Cretácico inferior al Mioceno inferior, en su mayor parte con características turbidíticas.

La Unidad de Almarchal fue definida por Didon (1967); en ella agrupó una serie esencialmente margosa y margoesquistosa (serie de Almarchal) y un flysch albo-aptense formado por arcillas con niveles cuarcíticos (arcillas de Facinas), representando ambas al parautóctono relativo de las demás Unidades del flysch del Campo de Gibraltar (Didon, 1969). Posteriormente, las arcillas de Facinas se separan en una unidad tectónica independiente de la de Almarchal (Didon *et al.*, 1973).

La Unidad de Almarchal está datada en su conjunto como Senonense (Didon, 1969, y Esteras, 1984). Localmente, el primero de ellos indica la existencia de materiales de edad inferior (Turonense). Los buenos afloramientos son escasos y generalmente no sobrepasan la veintena de metros, resultando prácticamente imposible reconstruir una columna completa de la Unidad. Ocupa la mayor parte de las depresiones al N de la Sierra de la Plata (laguna de La Janda, Almarchal) y la del Santuario de la Luz (Tarifa), en donde origina una morfología suave de colinas generalmente cultivadas.

Las litologías dominantes son arcillas y margas esquistosas de colores oscuros, localmente ricas en materia orgánica, frecuentemente bioturbadas o laminadas, que alternan con arcillas verdes y grises y plaquetas calizas con abundantes prismas dilacerados de Inoceramus. Superficialmente suelen ser blanquecinas debido a la presencia de eflorescencias de caolinita. A veces existen bancos de hasta 1 m de espesor de calcarenitas de grano muy fino, con estratificación cruzada o laminadas y convolutadas. Son frecuentes las intercalaciones de calizas micríticas con diaclasas rellenas de calcita (calizas «arlequín») que pueden alcanzar hasta 2 m de espesor y que localmente pueden estar silicificadas. Todos los niveles calcáreos son muy ricos en microfauna y nannoplancton. La facies es, según Pendón (1978), característica de llanura abisal, mientras que para Esteras (1984) es típica de plataforma externa.

Materiales y métodos

Las secuencias estudiadas en este trabajo, cuya situación se indica en la figura 1, son las siguientes:

1. Secuencia del sondeo del Puerto de Bolonia.
2. Secuencia de la cortijada de Almarchal.
3. Secuencia del camping de la Peña-Macetón.
4. Secuencia del Santuario de la Luz I.
5. Secuencia del Santuario de la Luz II.

En la figura 2 se han representado esquemáticamente las columnas litológicas de las secuencias estudiadas, así como la situación de las muestras analizadas en cada una de ellas.

1. Secuencia del sondeo del Puerto de Bolonia

Se han estudiado una serie de muestras, facilitadas por SECEGSA¹, pertenecientes al sondeo realizado en el Puerto de Bolonia, situado en la carretera de acceso a la ensenada del mismo nombre, que se inicia en el km 69 de la carretera nacional n.º 340 (Hoja topográfica n.º 1077, a escala 1:50.000). En este sondeo se atraviesan 218 m de arcillas grises con intercalaciones esporádicas de calizas, datadas como Santoniense-Maestrichtiense. Según los datos de SECEGSA, las tres muestras más profundas pertenecerían a la Unidad de Bolonia.

2. Secuencia de la cortijada de Almarchal

Localizada en la cortijada de Almarchal (Hoja topográfica n.º 1077), esta columna abarca 50 m de arcillas grises alternando con bancos de unos 40 cm de calizas silicificadas y calcarenitas grises con laminación. Las condiciones del afloramiento sólo han permitido analizar las arcillas de la base de la columna.

3. Secuencia del camping de la Peña-Macetón

Está situada en la playa de Punta Paloma, en unos niveles que afloran en la zona intermareal. Se accede por el camino al camping de la Peña, que se inicia en el km 72 de la carretera nacional n.º 340 (Hoja topográfica n.º 1077, a escala 1:50.000). Se ha muestreado una serie replegada, subvertical, constituida por arcillas y margas grises con intercalaciones de niveles centimétricos de calizas con gran cantidad de venillas de calcita. Las calizas presentan laminación paralela, «convolutas» y «ripples».

4. Secuencia del Santuario de la Luz I

Se sitúa junto al arroyo de los Molinos, al E del Santuario de la Luz (Hoja topográfica n.º 1077). Se trata de un perfil con escasa potencia que comprende dos bancos de «ftanitas» de algo más de 1 m de espesor, separados por un tramo cubierto de unos 12 m. El banco más alto presenta nódulos carbonatados.

5. Secuencia del Santuario de la Luz II

Se sitúa en el arroyo de los Molinos, muy próxima a la secuencia anterior. Está constituida por arcillas grises con delgadas intercalaciones de calizas micríticas, de 5 a 20 cm de espesor, que presentan laminación y «convolutas». En la base del tramo existe un banco calizo de 70 cm de potencia.

¹ Sociedad española de estudios para la comunicación fija a través del estrecho de Gibraltar. Estebáñez Calderón, 3. Madrid.

El estudio petrográfico de las rocas se ha realizado mediante microscopio de polarización y microscopio electrónico de barrido (MEB), equipado con un espectrómetro de dispersión de energía de Rayos X.

El estudio mineralógico se ha llevado a cabo mediante difracción de Rayos X (DRX), con un difractómetro Siemens, modelo D-501, equipado con un microordenador DACO-MP. Se ha utilizado radiación $\text{CuK}\alpha$ y monocromador de grafito. El análisis de la fracción fina se ha determinado a partir de agregados orientados naturales (AON), tratados con etilen-glicol (AOEG) y calentados a 550°C (AO 550°C). La determinación de la relación cao-

linita/clorita se ha efectuado mediante tratamiento con ácido sulfúrico al 20 % (Martín Vivaldi y Rodríguez Gallego, 1961). La estimación semicuantitativa se ha realizado por media de áreas en difractogramas de polvo y de AO utilizando los poderes reflectantes de Schultz (1964), Biscaye (1965) y Barahona (1974).

Mediante DRX se han determinado una serie de parámetros cristaloquímicos de los minerales de la arcilla: Cristalinidad de la caolinita (Hinckley, 1963), relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeO}+\text{MgO}$ (Esquevin, 1969), parámetro b_0 y relación de intensidades basales en las cloritas (Brown y Brindley, 1980), parámetro b_0 y cristalinidad de las esmectitas (Biscaye, 1965; Brigatti, 1983, y Desprairies, 1983).

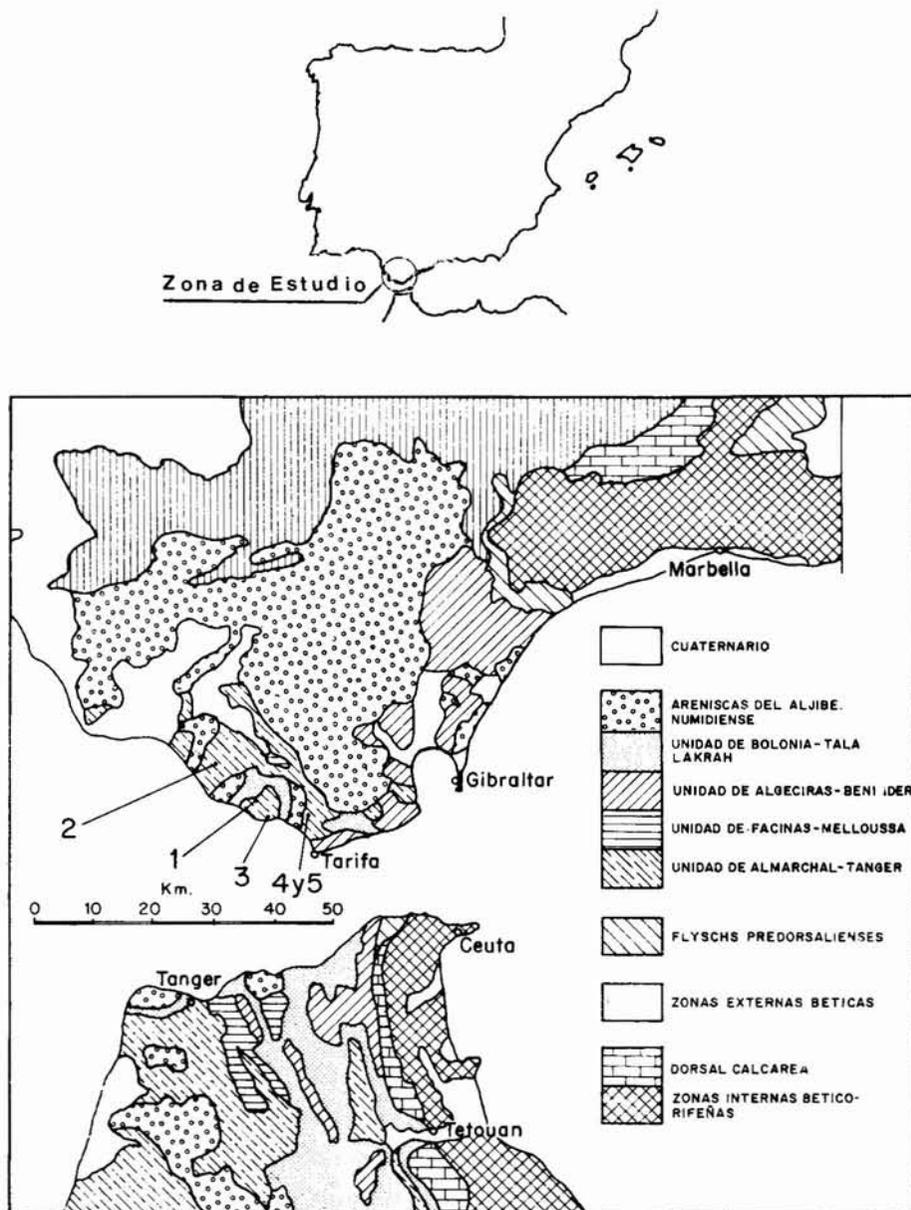


Fig. 1.—Esquema geológico simplificado de los márgenes del Estrecho de Gibraltar (Didon *et al.*, 1973) y situación de las secuencias estudiadas.

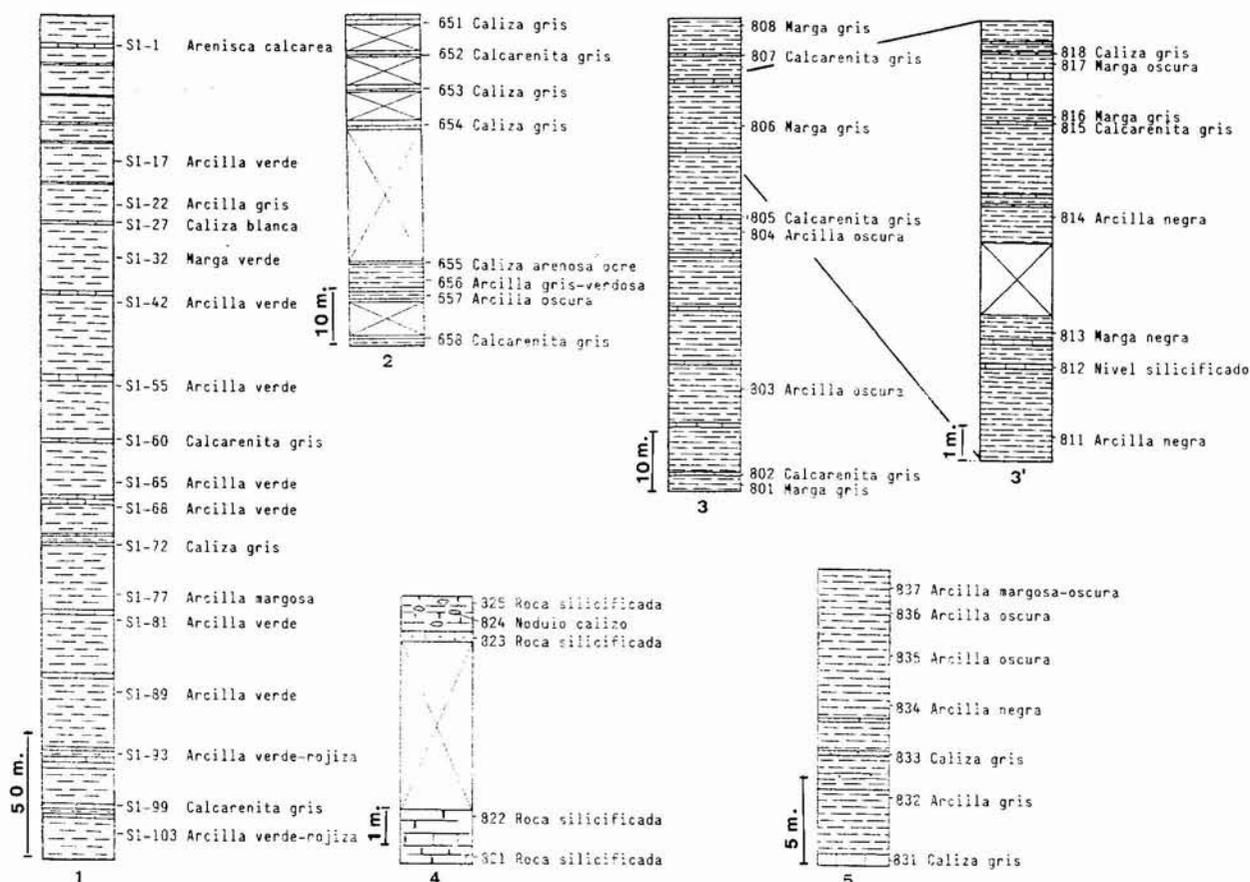


Fig. 2.—Columnas litológicas esquemáticas de las secuencias estudiadas y situación de las muestras. 1. Sondeo del Puerto de Bolonia. 2. Cortijada de Almarchal. 3. Camping de la Peña. 3'. Macetón. 4. Santuario de la Luz I. 5. Santuario de la Luz II.

Características mineralógicas

Composición mineralógica de las muestras totales

Estudio al microscopio petrográfico

Al microscopio petrográfico se han distinguido una serie de litotipos bien representados, en su mayor parte, en la secuencia del sondeo del Puerto de Bolonia.

Areniscas carbonáticas (Malesani y Manetti, 1970).

En algunas de las muestras estudiadas, el porcentaje de cuarzo es bastante alto (48 %) y la roca presenta una alternancia muy fina con capas de distinto contenido en este mineral, lo que origina una laminación bien marcada. Los carbonatos (46 %) son, en su mayor parte detríticos (fragmentos de rocas carbonatadas y de fósiles, a veces muy bien conservados). Presentan una cierta proporción de cemento calcáreo y silíceo, así como numerosos huecos. La matriz es de tipo clorítico.

Calcarenitas (Malesani y Manetti, 1970).

En este tipo de rocas, con tamaño de grano muy variable, dominan los restos fósiles (especialmente globigerínidos). Contienen

además, en pequeña proporción, cuarzo, feldspatos, glauconita, rutilo y epidota. El cemento, fundamentalmente calcáreo, muestra silicificaciones locales (cuarzo microcristalino y calcedonia). La matriz arcillosa es muy escasa.

En ciertos casos, la mayor proporción de cuarzo y de matriz permiten definir estas rocas como grauvacas (Petrijohn, 1957).

Calizas (Vatan, 1967).

Las calizas micríticas presentan a menudo una ligera silicificación, en forma de cuarzo microcristalino y, localmente son muy ricas en microfauna. En este tipo de rocas es muy frecuente el desarrollo de carbonatos de hierro secundarios.

Rocas silíceas.

Bajo esta denominación se incluyen una serie de tipos litológicos bien representados en las secuencias 2 y 4. Generalmente presentan una textura homogénea y están constituidas por ópalo, calcedonia y cuarzo microcristalino. La ausencia de restos de organismos silíceos y la homogeneidad textural indican un proceso de silicificación secundario. Con posterioridad a la silicificación se ha llevado a cabo el desarrollo de carbonatos secundarios que aparecen en forma de romboedros con el núcleo de calcita y un enriquecimiento progresivo en hierro hacia los bordes.

De forma muy localizada (secuencia n.º 3) aparecen también rocas laminadas, constituidas por lechos alternantes de cuarzo y filossilicatos de grano muy fino (limolitas), conteniendo gran cantidad de moldes de radiolarios.

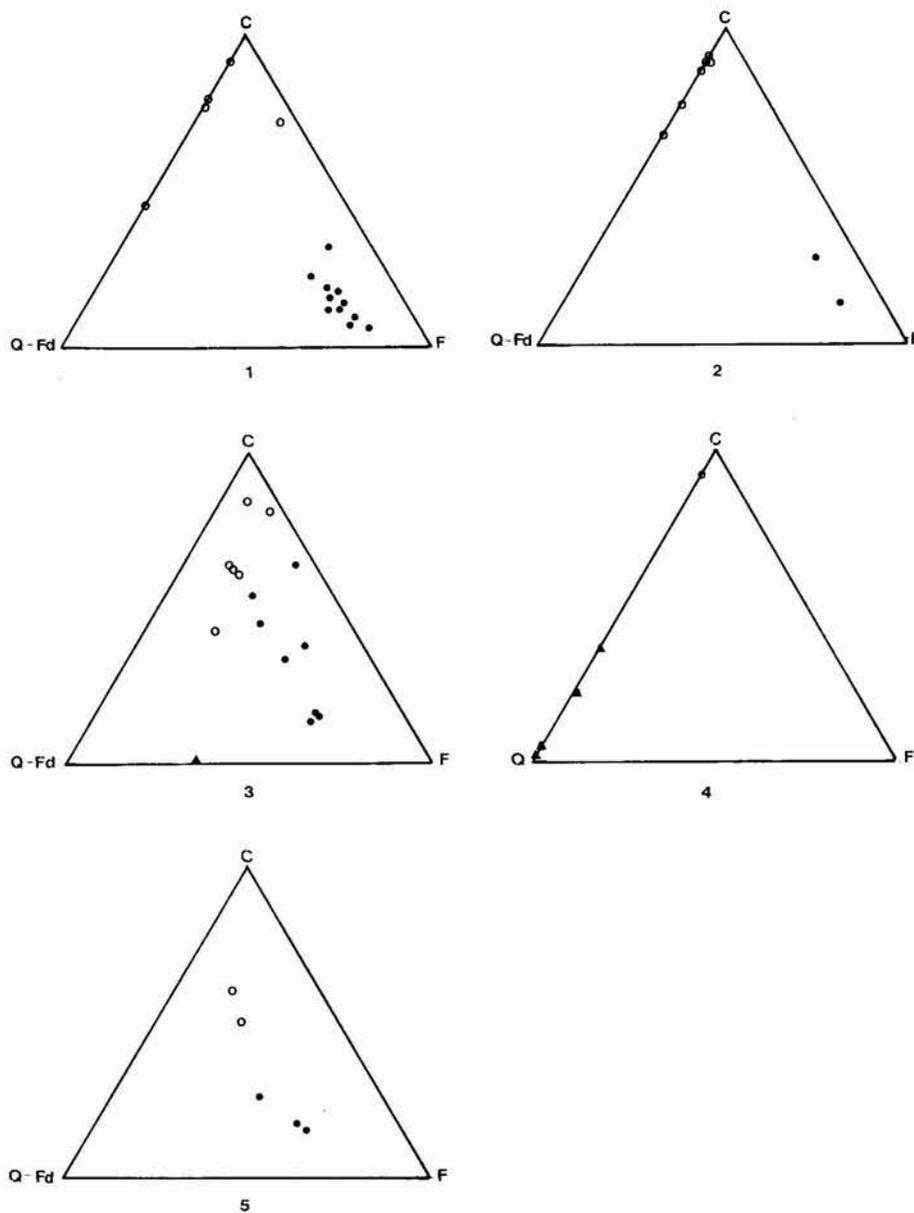


Fig. 3.—Composición mineralógica de las muestras totales. 1. Sondeo del Puerto de Bolonia. 2. Cortijada de Almarchal. 3. Camping de la Peña-Macetón. 4. Santuario de la Luz I. 5. Santuario de la Luz II. C: Carbonatos. Q: Cuarzo. Fd: Feldespato. F: Filosilicatos. Puntos: Arcillas y margas. Círculos: Rocas carbonatadas. Triángulos: Rocas silicificadas.

Estudio por difracción de Rayos X

Los resultados de los análisis semicuantitativos realizados a las muestras totales se han representado en diagramas triangulares (cuarzo + feldespato-carbonatos-filosilicatos) para cada una de las secuencias estudiadas (fig. 3). En ciertos casos (sondeo del Puerto de Bolonia y cortijada de Almarchal) las muestras aparecen agrupadas en el campo de las arcillas y de las calcarenitas, siendo

escasas las rocas de composición intermedia. Por el contrario, en otras secuencias (camping de la Peña y Santuario de la Luz II), las muestras se sitúan preferentemente en el campo de las rocas intermedias, siendo escasas las calcarenitas y las arcillas s.s. Esta diferente distribución depende de la selección llevada a cabo durante el transporte y el depósito de los materiales y puede relacionarse con la posición paleogeográfica de las diferentes secuencias.

Composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras

Estudio por difracción de Rayos X

La composición mineralógica de esta fracción se ha representado (fig. 4) en diagramas triangulares (caolinita-interestratificados I-E/esmectita-ilita + clorita). Las muestras estudiadas presentan composiciones mineralógicas diversas, apareciendo varias asociaciones características:

1. Caolinita-minerales hinchables-(ililita).
2. Ililita-clorita.
3. Clorita y/o bertierina.

Estos grupos aparecen bien diferenciados en ciertas secuencias, observándose una relación estrecha entre los diferentes tipos litológicos y la mineralogía de la fracción fina. Así, la asociación 2 aparece, fundamentalmente, en las rocas calcáreas, y la asociación 1 en los niveles lutíticos. Las rocas de composición intermedia suelen presentar una mineralogía, en la fracción fina, también intermedia. Las rocas silíceas se caracterizan por un desarrollo notable de clorita. Las características más significativas de los minerales de la arcilla se resumen a continuación.

La caolinita aparece bien representada en estas secuencias, si exceptuamos las muestras calcáreas en las que llega a desaparecer. Los valores determinados para el índice de cristalinidad de Hinckley son bajos (0,25-0,45), tratándose, generalmente, de caolinitas desordenadas.

La ililita está mal representada en los niveles lutíticos (19 % de media), aumentando ligeramente el contenido en los niveles calcáreos (25 % de media). En los diagramas de DRX la primera reflexión de este mineral aparece englobada en la del interestratificado I-E o en la de la esmectita (mucho más ancha), no siendo posible por ello, determinar la cristalinidad de la misma. En los AOEG la línea de la ililita se individualiza, pero en este caso, suele venir afectada por la segunda reflexión de la esmectita. Sólo en algunas de las muestras calcáreas es bien observable la primera reflexión de la ililita, que presenta baja cristalinidad. Los valores de I_{002}/I_{001} corresponden a fengitas y moscovitas (Esquevin, 1969).

Los interestratificados ililita-esmectita y las esmectitas s.s. no presentan una distribución homogénea en las secuencias estudiadas. En algunas de ellas sólo aparecen interestratificados (a veces muy próximos a la ililita) o esmectitas y, en otras, aparecen ambos constituyentes. En general es posible poner de manifiesto una relación entre el desarrollo de uno u otro tipo de minerales hinchables y la litología, de modo que las esmectitas sólo aparecen en los niveles lutíticos (30-64 %). De igual forma, el contenido en láminas de esmectita en los interestratificados es siempre más alto en estos mismos niveles, no observándose variaciones mineralógicas importantes en relación con el contenido en materia orgánica.

Las esmectitas muestran la primera reflexión entre 12 y 14 Å, siendo muy variable la cristalinidad: el índice de Biscaye oscila de 0,35 a 0,90. La segunda reflexión, muy abierta, aparece de forma regular, alrededor de 8,5 Å en las muestras glicoladas. El parámetro b_0 ha permitido deducir para el contenido en Fe+Mg valores que oscilan entre 0,19 y 0,52 (Desprairies, 1983). Se trata, pues, de términos eminentemente aluminicos.

La clorita aparece concentrada en las muestras calcáreas y es-

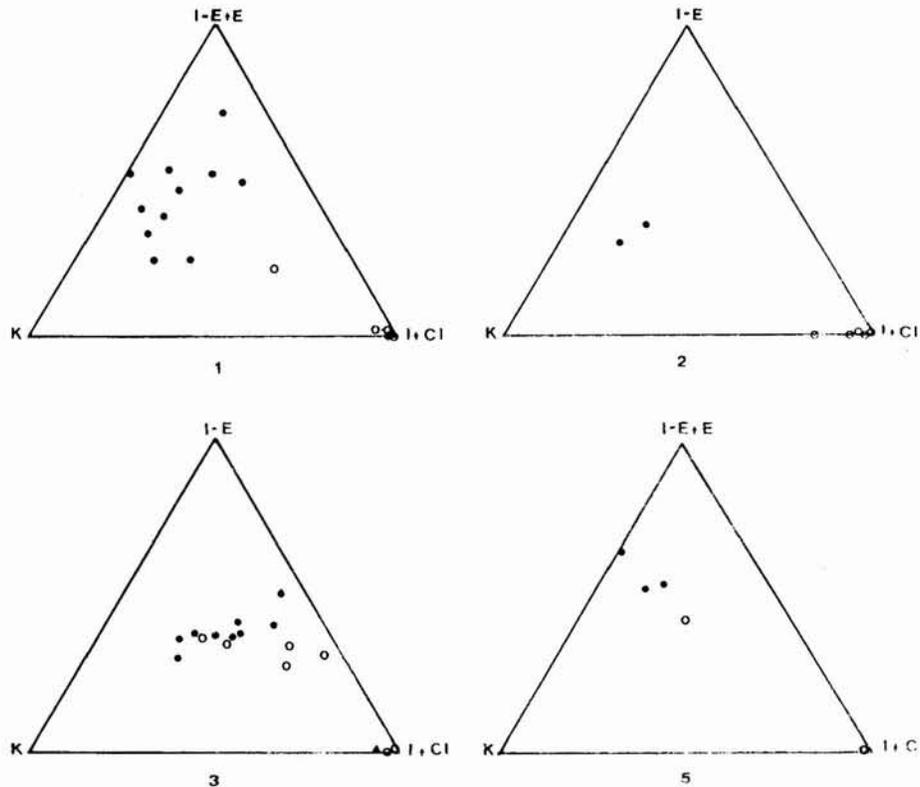


Fig. 4.—Composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras. 1. Sondeo del Puerto de Bolonia. 2. Cortijada de Almarchal. 3. Camping de la Peña-Macetón. 5. Santuario de la Luz II. E: Esmectita. I-E: Interestratificados ililita-esmectita. K: Caolinita. I: Ililita. Cl: Clorita. Puntos: Arcillas y margas. Círculos: Rocas carbonatadas. Triángulos: Rocas silíceas.

pecialmente en las rocas silicificadas. Los valores determinados para el contenido en Al tetraédrico oscilan entre 0,9 y 2,3, y el contenido en Fe octaédrico varía de 3,1 a 6 átomos por fórmula unidad (en base a 10 oxígenos) siendo mucho más frecuentes las cloritas con contenidos elevados en Fe. Los menores contenidos en Fe se han determinado en niveles lutíticos. Los términos analizados abarcan desde chamositas magnesianas a chamositas (AI-PEA, 1980). En los niveles silicificados se han determinado, además de chamositas, minerales que presentan sólo la reflexión a 7 Å (bertierina).

Estudio al microscopio electrónico de barrido

El estudio textural de estas muestras al MEB ha permitido realizar algunas precisiones acerca del origen de los minerales de la arcilla.

En las calcarenitas se han desarrollado ampliamente ilitas autigénicas, en láminas deflecadas o en cintas, similares a las descritas por Wilson y Pittman (1977); Guven *et al.* (1980), y Nadeau *et al.* (1985), que constituyen un «pore filling» posterior incluso a los carbonatos secundarios (lám. 1.1). También muestran un amplio desarrollo de cloritas autigénicas, con textura en panal, semejantes a las citadas por Kantorowicz (1984), y Curtis *et al.* (1985),

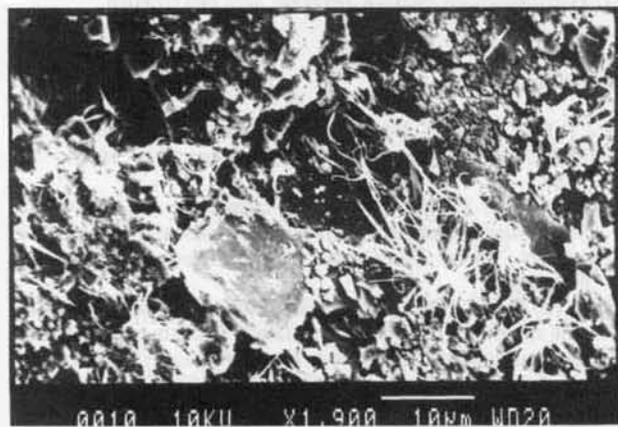
constituyendo un «pore filling» (lám. 1.2). La textura de estas cloritas indica un proceso de neoformación a partir de soluciones y un grado de enterramiento bajo para estas secuencias (Curtis *et al.*, 1985).

En las rocas que han sufrido un proceso de silicificación intenso se observa el desarrollo de cloritas ricas en Fe que aparecen íntimamente intercrecidas con el sílex (lám. 1.3). Las ilitas autigénicas en este tipo de niveles están limitadas a los nódulos calcáreos que se han mantenido sin silicificar (lám. 1.4).

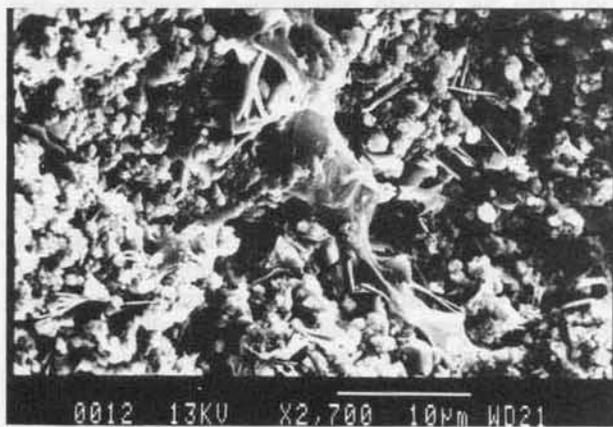
Por último, hay que citar el desarrollo de eflorescencias de caolinita autigénica en ciertos niveles lutíticos, originadas probablemente durante procesos telodiagenéticos.

Discusión y conclusiones

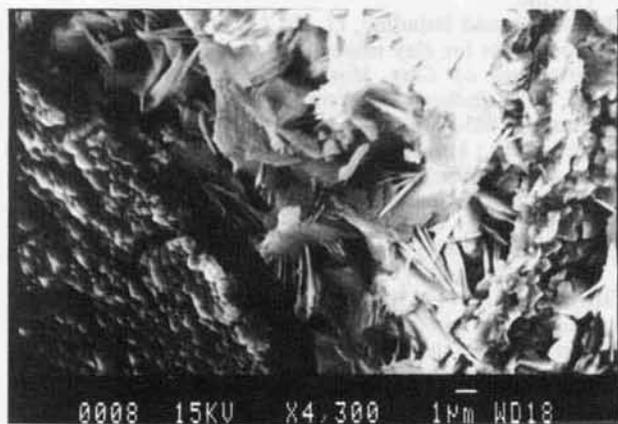
En base a la proporción en que las diferentes litologías descritas aparecen en esta Unidad (fig. 2), puede considerarse que el depósito se llevó a cabo en zonas sólo esporádicamente alcanzadas por corrientes de turbidez. La presencia de bioturbación frecuente, el bajo contenido en carbonatos y la con-



Lám. 1.—Desarrollo de ilitas fibrosas. Muestra CR-652. Calcarenita laminada. Secuencia n.º 2.



Lám. 3.—Crecimiento de cloritas en el sílex. Muestra CR-825. Secuencia n.º 4.



Lám. 2.—Cloritas ricas en hierro relleno poros. Muestra S1-1. Arenisca carbonática. Secuencia n.º 1.



Lám. 4.—Iltas autigénicas deflecadas. Muestra CR-824. Nódulo calcáreo. Secuencia n.º 4.

centración apreciable en materia orgánica en ciertos niveles lutíticos indican su naturaleza fundamentalmente hemipelágica (Rupke, 1975).

Precisamente, las diferencias litológicas controlan en gran medida el contenido y las características de los diferentes minerales de la arcilla:

En los *niveles lutíticos* se mezclan dos tipos de componentes minerales: uno derivado de la llegada de material terrígeno y otro derivado de las transformaciones o neoformaciones producidas en la cuenca. La mineralogía de la fracción fina en estos niveles es bastante homogénea y se caracteriza por la asociación caolinita-minerales hinchables-ilita). La elevada proporción de caolinita y su baja cristalinidad indican claramente su origen detrítico. Las variaciones observadas en la composición de los minerales hinchables están relacionadas probablemente con la posición paleogeográfica de las distintas secuencias y con el grado de diagénesis de las mismas.

En los *niveles turbidíticos* la mineralogía de la fracción fina ha sufrido importantes transformaciones tras el depósito. En las calcarenitas s.s. se han desarrollado especialmente ilitas autigénicas. Este proceso está en relación con el medio químico existente en los poros de las calcarenitas (ya que no se observa en niveles lutíticos): el alto pH y la concentración elevada de alúmina y sílice que se requiere para el desarrollo de este mineral (Harder, 1974) ha sido probablemente el resultado de la disolución de aluminosilicatos heredados (Kastner y Siever, 1979). En las areniscas carbonáticas o en calcarenitas con cierto contenido en cemento silíceo se desarrollan, en cambio, cloritas ricas en hierro que crecen ocupando los últimos poros. La ausencia de caolinita en gran parte de estas rocas, parece indicar que la clorita se ha desarrollado a expensas de caolinitas detríticas, tal como indican Boles y Franks (1979), Ijima y Matsumoto (1982), y Curtis *et al.* (1985). El desarrollo de este tipo de cloritas requiere un medio reductor y más rico en sílice que aquel en que se forman las ilitas (Velde, 1977). La formación de cloritas en rocas con elevado contenido en sílice se pone de manifiesto especialmente en las rocas silicificadas, donde se ha producido un intercrecimiento de cuarzo y clorita.

El control que las diferentes litologías ejercen sobre la evolución mineralógica ha sido señalado por numerosos autores (Chamley, 1989), y se debe en gran medida a la variación de la permeabilidad y, por consiguiente, al distinto grado de migración de fluidos que se produce cuando alternan tipos litológicos diversos.

La abundancia de materia orgánica en determinados niveles de estas secuencias, puede relacionarse con los episodios anóxicos que tuvieron lugar durante el Cretácico, especialmente entre el Hauteriviense

y el Santoniense, en el Atlántico norte (Schlanger y Jenkyns, 1976, en Chamley, 1989).

Las conclusiones deducidas de los datos expuestos y de la discusión precedente pueden resumirse en los siguientes puntos:

1.º La Unidad de Almarchal viene caracterizada por una alternancia de niveles calcáreos (típicamente turbidíticos) con tramos lutíticos, depósitos en gran medida hemipelágicos.

2.º La mineralogía de los niveles lutíticos parece estar relacionada, por una parte, con la naturaleza de los aportes arcillosos a la cuenca (elevado contenido en caolinita) y, por otra, con la posición paleogeográfica de los distintos materiales y su evolución postsedimentaria (minerales hinchables).

3.º La mineralogía de los niveles turbidíticos viene caracterizada, en cambio, por el desarrollo de minerales autigénicos de alta cristalinidad: clorita y, en menor medida, ilita.

4.º Los niveles silicificados presentan como único componente clorita ferrosa y/o bertierina.

Referencias

- A.I.P.E.A. (1980). Summary of recommendations of A.I.P.E.A. Nomenclature Committee. *Clays Clay Miner.* 28: 73-78.
- Barahona, E. (1974). *Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada: evaluación de algunos ensayos de materias primas*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 398 págs.
- Biscaye, P. E. (1965). Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Bull. Soc. Geol. France* 5: 23-94.
- Boles, J. R. and Franks, S. G. (1979). Clay diagenesis in Wilcox Sandstones of Southwest Texas: Implications of smectite diagenesis on sandstone cementation. *J. Sedim. Petrol.* 49: 55-70.
- Brigatti, M. F. (1983). Relationships between composition and structure in Fe-rich smectites. *Clay Miner.* 18: 177-186.
- Brown, G. and Brindley, G. W. (1980). X-ray diffraction procedures for clay minerals identification. En: *Crystal Structures of Clay Minerals and their identification* (G. W. Brindley y G. Brown, Eds.). Mineralogical Soc. London, 495 págs.
- Curtis, C. D.; Hughes, I. A.; Whiteman, J. A. and Whittle, C. K. (1985). Compositional variation within some sedimentary chlorites and some comments on their origin. *Mineral Mag.* 49: 375-386.
- Chamley, H. (1989). *Clay Sedimentology*. Springer-Verlag. Berlín, 623 págs.
- Despraires, A. (1983). Relation entre le paramètre b des smectites et leur contenu en fer et magnésium. Application à l'étude des sédiments. *Clay Miner.* 18: 165-175.
- Didon, J. (1967). L'Unité parautochtone d'Almarchal dans la Zone du Flysch du Campo de Gibraltar (Espagne méridionale). *C. R. Somm. Soc. Géol. France* 5: 201-208.
- (1969). *Etude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne méridionale)*. Thèse Fac. Sc. Paris, 539 págs.

- Didon, J.; Durand-Delga, M. et Kornprobst, J. (1973). Homologies géologiques entre les deux rives du Déroit de Gibraltar. *Bull. Soc. Géol. France* 15: 77-105.
- Esquevin, J. (1969). Influence de la composition chimique des illites sur la cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau S.N.P.A.* 3: 147-154.
- Esteras, M. (1984). Geología del Estrecho de Gibraltar. *Rev. Obras Públicas* 3227: 505-527.
- Güven, N.; Hower, W. F. and Davies, D. K. (1980). Nature of authigenic illite in sandstone reservoirs. *J. Sedim. Petrol* 50: 761-766.
- Harder, H. (1974). Illite mineral synthesis at surface temperatures. *Chem. Geol.* 14: 241-253.
- Hinckley, D. N. (1963). Variability in crystallinity values among the kaolin deposits of the Coastal Plain of Georgia and South Carolina. *Clays Clay Miner.* 11th Conf., 229-235.
- Iijima, A. and Matsumoto, R. (1982). Berthierine and chamosite in coal measures of Japan. *Clays Clay Miner.* 30: 264-274.
- Kantorowicz, J. (1984). The nature, origin and distribution of authigenic clay minerals from middle Jurassic Ravenscar and Brent Group Sandstones. *Clay Miner.* 19: 359-375.
- Kastner, M. and Siever, R. (1979). Low-temperature feldspars in sedimentary rocks. *Am. J. Sci.* 279: 435-479.
- Malesani, P. e Manetti, P. (1970). Proposta di classificazione di sedimenti clastici. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 9: 55-63.
- Martín Vivaldi, J. L. and Rodríguez Gallego, M. (1961). Some problems in the identification of clay minerals in mixtures by X-ray diffraction photographs. Part. I. Chlorite-Kaolinite mixtures. *Clay Miner.* 4: 288-292.
- Nadeau, P. H.; Wilson, M. J.; McHardy, W. J. and Tait, J. M. (1985). The conversion of smectite to illite during diagenesis: evidence from some illitic clays from bentonites and sandstones. *Mineral Mag.* 49-3: 393-400.
- Pendón, J. G. (1978). *Sedimentación turbidítica en las Unidades del Campo de Gibraltar*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 251 págs.
- Pettijohn, F. J. (1957). *Sedimentary rocks*. Harper. New York, 718 págs.
- Rupke, N. A. (1975). Deposition of fine-grained sediments in the abyssal environment of the Algero-Balearic Basin, western Mediterranean sea. *Sedimentology* 22: 95-109.
- Schultz, L. G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for Pierre Shale. *Geol. Surv. Prof. Paper* 391-C, 31 págs.
- Vatan, V. M. (1967). *Manual de Sedimentología*. Technip, Paris, 379 págs.
- Velde, B. (1977). *Clays and Clay Minerals in Natural and Synthetic Systems (Developments in Sedimentology, 21)*. Elsevier, 218 págs.
- Wilson, M. D. and Pittman, E. D. (1977). Authigenic clays in sandstones: recognition and influence on reservoir properties and paleoenvironmental analysis. *J. Sedim. Petrol.* 47: 3-31.

Recibido el 15 de enero de 1990
Aceptado el 30 de octubre de 1990