

## MINERALOGIA Y GENESIS DE LAS ARCILLAS DEL CAMPO DE GIBRALTAR. II. SERIES BASE DEL ALJIBE

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

### RESUMEN

Las denominadas «series base» de la unidad del Aljibe incluyen varias formaciones de características litoestratigráficas diferentes. Mediante el estudio mineralógico de estos materiales puede ponerse de manifiesto una evolución en el sentido:

Calizas con sílex → Formación Benaiza → Túnel de Palmones

que puede relacionarse con la posición estratigráfica deducida de las dataciones existentes. Algunas de las características mineralógicas determinadas (aumento progresivo de los porcentajes de filosilicatos, de caolinita y de hinchables) permiten poner de manifiesto cambios en las características del área fuente. Otros datos mineralógicos (contenido en carbonatos, naturaleza de los mismos, procesos de silicificación, etc.) permiten, en cambio, deducir características relativas al medio de depósito y de diagénesis.

**Palabras clave:** Arcillas, interestratificados, Unidad del Aljibe, Campo de Gibraltar.

### ABSTRACT

The «series base» of the Aljibe unit include several formations with different lithostratigraphic characteristics. A mineralogical study of the materials suggests the following evolution:

Chertified limestones → Benaiza formation → Palmones tunnel sequence

which can be associated with the stratigraphic position deduced from the previous established datings. Some of the determined mineralogical characteristics (progressive increase of the percentage content of phyllosilicates, kaolinite and swelling minerals) reveal changes in the source area. Other mineralogical data (carbonate content, carbonate type, silicification process) indicate the relative characteristics of the original conditions under which the material was deposited and its diagenesis.

**Key words:** Clays, interstratified minerals, Aljibe Unit, Campo de Gibraltar.

### Introducción

Las características geológicas generales de la unidad del Aljibe (series del Campo de Gibraltar) han sido descritas por numerosos autores y aparecen resumidas en un trabajo anterior (Rodríguez Jiménez y Ruiz Cruz, 1988) en el que se estudian las denominadas «areniscas del Aljibe», formación superior de esta unidad.

En las «series de base» tradicionalmente se incluyen varias formaciones diferentes, existiendo un despegue generalizado entre las series de base y las areniscas, si bien en algunos lugares (Castellar de la Frontera) el tránsito entre ambas parece ser continuo.

Las «series de base» del Aljibe están constituidas por diferentes materiales:

- Alternancia de arcillas rojas y calizas detríticas: Formación Benaiza.
- Arcillas rojas y verdes con tubotomaculum (tubos ferruginosos, antiguos tubos de habitación, tapizados de cropolitos, de crustáceos) y bancos más o menos numerosos de calcarenitas arenosas.
- Calizas con nódulos de sílex, alternando con margas blanquecinas.
- Alternancia de arcillas y calizas de características algo diferentes a las anteriormente citadas, con representación muy escasa.

De estas «series de base» se han estudiado cinco

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

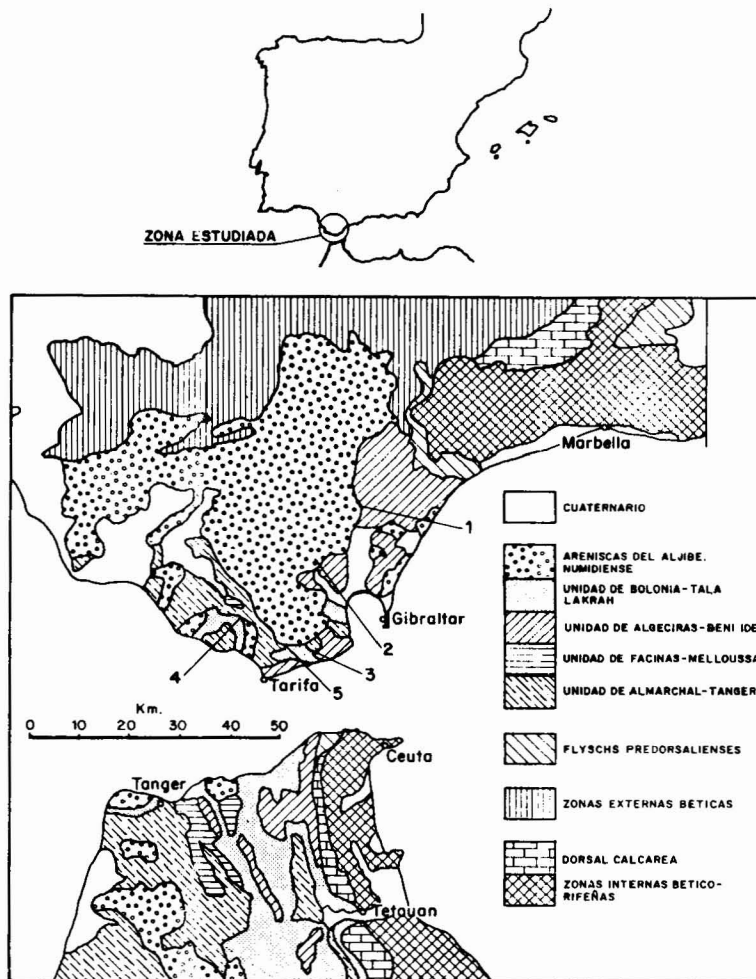


Fig. 1.—Mapa de situación general, esquema geológico simplificado de las orillas del Estrecho de Gibraltar (Didon, Durand-Delga y Kornprobst, 1973) y posición de las columnas estudiadas. 1. Canal de Guadarraque.—2. Túnel de Palmones. 3. Cabrito.—4. Santuario de la Luz.—6. Camino de Sierra Ojén.

series correspondientes, una a la formación Benaiza (columna del canal de Guadarraque), otra, a una serie arcillosa con niveles calcáreos (túnel de la Presa de Palmones) y otras tres a las calizas con sílex, columnas del Cabrito 3, carretera del Santuario de la Luz y camino de Sierra de Ojén.

Algunas características mineralógicas de estas últimas secuencias aparecen recogidas en Rodríguez Jiménez *et al.* (1987).

### Características estratigráficas y litológicas de las secuencias estudiadas

#### A) *Secuencia del Canal de Guadarraque*

Está situada en la vertiente septentrional del cerro del Ermitaño, hoja topográfica nº 1075, en el talud de una excavación realizada

para el canal de la presa de Guadarraque. Se accede a través de una carretera de la Confederación Hidrográfica, que se inicia en el km. 3 de la carretera de acceso a Castellar de la Frontera. La secuencia se sitúa al comienzo del canal.

Corresponde a la serie típica de la formación Benaiza, con un tránsito continuo hasta las areniscas del Aljibe. Comienza con un potente banco de calcarenitas masivas, con laminación paralela. El resto de la serie consiste en una alternancia de calcarenitas grises en bancos de 20 a 40 cm. de espesor con arcillas rojas en niveles delgados, entre las que se intercalan arcillas y margas verdosas. La potencia total muestreada es de 28 m., con dos tramos intermedios sin muestrear por la existencia de derrubios. La edad es Oligoceno (Esteras, común. pers.).

#### Descripción de las muestras

Las muestras tomadas en esta columna, cuya situación se ha representado en la fig. 2 presentan las siguientes características:

- CR-101: Calcarenita gris, con laminación, en un banco de 1 metro de potencia.
- CR-102: Margas de colores claros. Los filosilicatos se presentan en concentraciones locales.
- CR-104: Arcilla pardo-rojiza con concentraciones locales de micas y de calcita.
- CR-105: Calcarenita gris, en un banco de 40 cm.
- CR-106: Margas amarillo-verdosas. También se observan concentraciones locales de filosilicatos y menas metálicas.
- CR-110: Arcillas margosas rojizas con manchas superficiales de pirolusita y limonita.
- CR-111: Arcillas verdosas con concentraciones locales de carbonatos.
- CR-114: Arcillas rojas muy deleznales. A la lupa se observan laminillas de mica y escasas concentraciones de carbonatos.
- CR-115: Calcarenita gris de aspecto similar a las descritas. Son observables crecimientos secundarios de carbonatos.
- CR-115A: Arcilla verde muy deleznable. A la lupa son observables laminillas de mica blanca.
- CR-116: Margas verdosas en un paquete de 80 cm. Presentan concentraciones locales de óxidos de hierro y crecimientos secundarios de carbonatos.
- CR-118: Paquete de 50 cm. de arcillas rojas muy incoherentes.
- CR-119: Margas verdosas en un paquete de 50 cm. intercalado en las calcarenitas. Incluyen nódulos verdes, de pequeño tamaño y composición similar al resto de la roca.
- CR-122: Arcillas margosas de color pardo-verdoso, ricas en laminillas de mica con concentraciones locales de menas de hierro.

### B) Columna del túnel de Palmones

Está situada al sur de la Presa de Palmones (hoja topográfica 1074). Se ha realizado aprovechando la excavación efectuada en la salida del túnel de unión de la presa con el azud del inicio de la conducción de agua. Pertenecen al conjunto de las «series de base» de la unidad del Aljibe, con características algo diferentes a la formación Benaiza. Se han levantado unos 130 m. de serie. Se diferencian los siguientes tramos, de inferior a superior:

- Arcillas rojas y verdes. Tramo con una potencia superior a 20 metros, presentan algunos niveles delgados de margocalizas verdosas.
- Alternancia de calizas crema y arcillas verdes. Se trata de calizas crema, grises en corte fresco, estratificadas en bancos de 25 cm., intercaladas con arcillas verdes. Su potencia es de unos 40 m.
- Alternancia de calizas y arcillas rojas. Las calizas se presentan en bancos de 25-30 cm., con laminación. Su potencia es de unos 20 m.
- Arcillas rojas. Potente paquete de arcillas de color rojo, que presentan algunos nivelillos verdes. El espesor visible es de 40 m. Se trata de una serie que se extiende del Paleoceno superior al Oligoceno superior (Esteras, com. per.).

### Descripción de las muestras:

Las muestras estudiadas, señaladas en la fig. 5, presentan, de visu, las características siguientes:

- CR-601: Arcillas rojas con concentraciones locales de óxidos de hierro y acumulaciones de carbonatos secundarios.
- CR-602: Margocalizas verdosas intercaladas en las arcillas anteriores. Superficialmente aparecen algo alteradas a óxidos de hierro.
- CR-603: Arcillas rojas de textura muy homogénea, con fractura astillosa.
- CR-604: Arcillas verdes de textura muy homogénea y aspecto hojoso. Presentan concentraciones locales de menas metálicas.

- CR-605: Calcarenita gris, en un nivel de 25 cm. de potencia. En las superficies alteradas aparece con tonos pardos.
- CR-606: Arcillas verdes muy compactas, similares a CR-604.
- CR-607: Arcillas verdes-amarillentas, con numerosas concentraciones de pequeño tamaño de menas metálicas.
- CR-608A: Calcarenita gris en un nivel del orden de 30 cm. Presenta laminación fina.
- CR-609: Arcillas rojas muy compactas con óxidos de hierro, tomada en la base de un amplio tramo arcilloso.
- CR-610: Corresponde a la parte alta del tramo anterior y presenta características similares a CR-609.

### C) Columnas de calizas con sílex

Se definen como un flysch margocalcáreo de colores blanquecinos, con bancos carbonatados de hasta 40 cm. de espesor en los que son frecuentes nódulos de sílex. Su edad es Eoceno.

Se han muestreado los siguientes afloramientos:

#### Columna nº 1 Cabrito:

Está situada en la ladera septentrional de la sierra del Cabrito, cercanías del cotijo del «Tío Noria». Se accede por el camino forestal que se inicia en el km. 91 de la carretera nacional nº 340. Hoja topográfica nº 1077.

Se trata de un tramo de serie de 25 m. de potencia de margocalizas pardo-verdosas con niveles de calcarenitas grises, estratificadas en bancos de hasta 0,5 m. de espesor, que presentan nódulos de sílex en los niveles inferiores.

#### Columna nº 2 Carretera del Santuario de la Luz:

Se sitúa en la carretera del Santuario de la Luz, al sureste de la dehesa de las Caberuelas (hoja topográfica nº 1077).

Se han levantado 14 m. de serie constituida por una alternancia de calcarenitas grises con nódulos de sílex y margas grises.

#### Columna nº 3 Camino de Sierra de Ojén:

Situada en el camino forestal de la Sierra de Ojén, 450 m. al noroeste de la columna nº 1.

Tan sólo afloran 9 m. de serie constituida por una alternancia de margas y arcillas amarillentas con calcarenitas grises en bancos de 40 cm. de espesor. Los nódulos de sílex se han encontrado en los niveles inferiores del afloramiento.

### Descripción de las muestras:

La situación de éstas se ha recogido en las figs. 8, 9 y 10.

#### Columna nº 1

- CR-291: Calcarenita de grano fino, en bancos de 50 cm., con nódulos de sílex.
- CR-291A: Nódulos de sílex englobados en el estrato anterior.
- CR-292: Margocaliza de color claro, muy compacta, con abundantes recristalizaciones de calcita.
- CR-293: Margocalizas pardas, similares a las anteriores.
- CR-294: Margocalizas verdes.
- CR-295: Calcarenita de grano fino, con laminación cruzada en bancos del orden de 50 cm. con recristalizaciones de calcita. Son frecuentes las venillas rellenas de calcita y óxidos de hierro.
- CR-296: Margocaliza verdosa.

## Columna nº 2

- CR-671: Calcarenita gris con convoluted. La potencia media del banco es de unos 50 cm., aunque varía lateralmente. Presenta venillas rellenas de calcita.
- CR-671': Margas grises, tramo de unos 3 m.
- CR-672: Nivel de calcarenitas similar a CR-671.
- CR-677: Margas rojizas y verdosas, muy deleznales.
- CR-673: Banco de 50 cm. de calcarenitas grises con nódulos de sílex. Presenta venillas y recristalizaciones secundarias de carbonatos.
- CR-678: Nivel de 1 m. de potencia de margas de colores claros, con recristalizaciones secundarias de calcita.
- CR-674: Banco de calcarenita con sílex similar a los descritos.
- CR-675: Tramo de unos 2 m. de potencia de margas verde-amarillentas, muy deleznales, con concentraciones locales de óxidos de hierro.
- CR-676: Calcarenita gris, masiva, en un nivel de 30 cm. de potencia.
- CR-679: Margas pardo-verdosas en niveles de potencia variable.

## Columna nº 3

- CR-691: Margas verdosas, muy compactas, con tonos amarillentos en las superficies alteradas.
- CR-692: Calcarenita gris en un banco de 40 cm. de potencia, con convoluted en la base y laminación en el techo. Son muy frecuentes las venillas rellenas de calcita. Contiene nódulos de sílex.
- CR-692': Nódulos de sílex de colores muy claros, atravesados por numerosas venillas rellenas de calcita.
- CR-693: Margas verde-amarillentas, muy compactas, con textura homogénea, en un nivel de 40 cm. de potencia.
- CR-694: Calcarenita gris de características similares a la anterior.
- CR-695: Nivel de 1 m. de potencia de margas gris-amarillentas. A la lupa se observan laminillas de mica blanca.

## Mineralogía

La composición mineralógica de las muestras totales se ha determinado por difracción de rayos X (DRX). Las muestras carbonatadas se han estudiado también al microscopio petrográfico. La mineralogía de la fracción  $<2 \mu$  se ha deducido del estudio por DRX y en algunos casos mediante análisis término diferencial.

## A) Columna del Canal de Guadarranque

## Composición mineralógica de las muestras totales:

## a) Estudio al microscopio petrográfico

El estudio de láminas delgadas de algunas calcarenitas de esta columna pone de manifiesto que se trata de rocas de grano grueso, constituidas en su mayor parte por fragmentos de fósiles, de naturaleza muy variada y de edades que abarcan del Cretácico al Oligoceno. Como accesorios aparece una pequeña proporción de cuarzo en granos angulosos, monocristalinos, con los bordes corroídos por carbonatos, y escasas laminillas de mica blanca, circón y turmalina. Los detriticos están cementados por calcita espática. La denominación de estas rocas, según Malesani y Manetti (1970) sería la de calcarenitas.

## b) Estudio por difracción de rayos X

La fig. 2 representa la variación mineralógica a lo largo de la columna. Se trata de una serie carbonatada, en la que las muestras propiamente arcillosas son escasas. La representación de las composiciones en un diagrama triangular (fig. 3) muestra que todas ellas se sitúan por debajo de la línea del 30 por 100 de

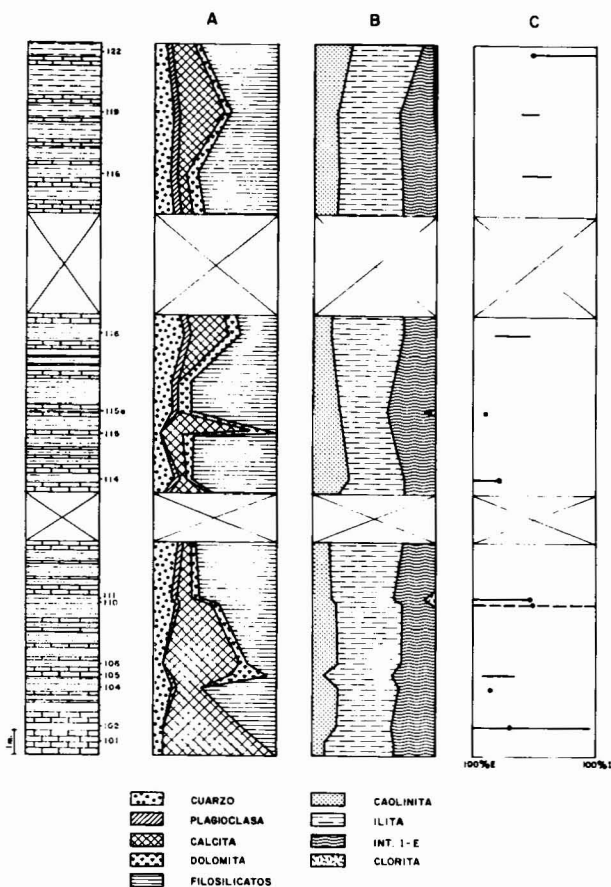


Fig. 2.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A), de la fracción menor de 2 micras (B) y de la composición de los interestratificados (C). Perfil del Canal de Guadarranque.

Q+Fd. Unas pocas muestras caen dentro del campo de las calcarenitas s.s. otras pocas dentro del campo de las arcillas y otro conjunto dentro del campo de las margas.

Como datos más significativos se pueden hacer notar la presencia casi constante de dolomita y la amplitud de composición que abarcan las muestras de esta secuencia.

## Composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras

## a) Estudio por difracción de rayos X

La composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras y los análisis semicuantitativos realizados a esta fracción se han recogido en la tabla 1. La fig. 2 representa la variación de la mineralogía a lo largo de la columna. Esta mineralogía es muy homogénea en esta secuencia, tal como se pone de manifiesto en el diagrama triangular de composición (fig. 3). Está constituida de forma continua por la asociación caolinita-ilita-interestratificados; de forma esporádica aparece clorita en proporción muy baja. Las variaciones observadas en la proporción de los tres constituyentes principales es independiente de la litología de la roca y por tanto de la composición mineralógica total. Las características de estos minerales se resumen a continuación.

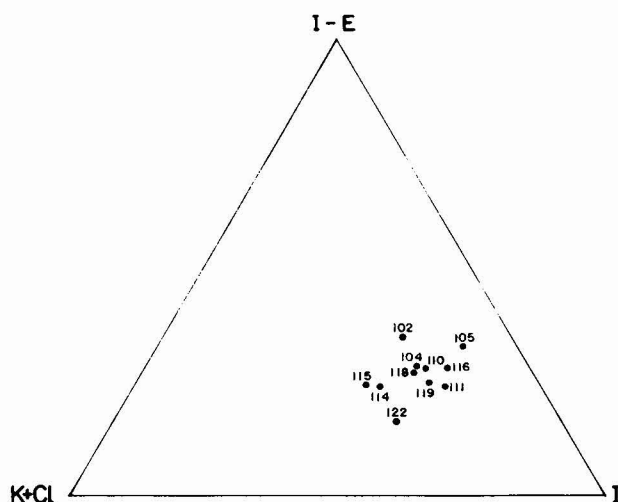
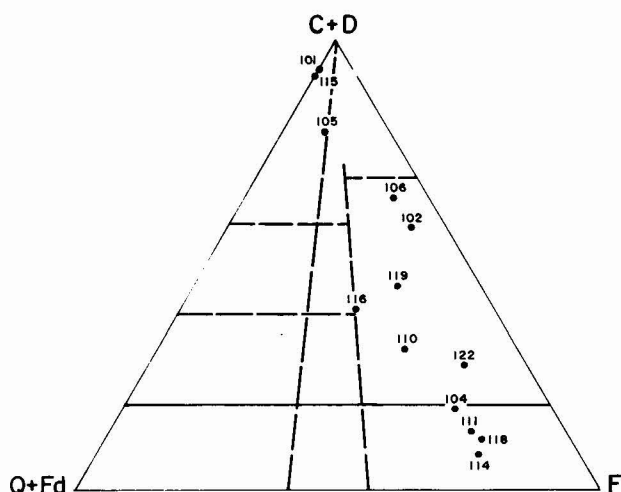


Fig. 3.—Diagramas triangulares de composición: Muestra total (Sup.). Fracción menor de 2 micras (Inf.). Canal de Guadarranque.

Tabla 1.—Composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras. Columna del Canal de Guadarranque.

	K	I	Int.	Cl
CR-102	20	45	35 (I-V-E)	—
CR-104	21	50	29 (V-E)(I-E)	—
CR-105	9	57	34 (I-V)	—
CR-110	18	53	29 (I-E)	Tr
CR-111	16	52	24 (I-E)	8
CR-114	29	44	27 (I-E)	—
CR-115A	21	42	29 (I-E)	8
CR-116	15	57	28 (I-E)	—
CR-118	21	51	28 (I-E)	—
CR-119	19	54	27 (I-E)	Tr
CR-122	30	56	14 (I-E)	Tr

K =caolinita.  
 I =ilita.  
 Int=minerales interstratificados.  
 Cl=clorita.

La caolinita aparece de forma continua a lo largo de la columna, oscilando su proporción entre 9 y 30 por 100. Los valores menores corresponden a los niveles de calcarenitas y, en general parece que existe una relación entre el contenido en carbonatos y el de caolinita, correspondiendo los mayores valores a las muestras más arcillosas. No obstante, dado el bajo porcentaje de este mineral, la determinación más exacta del mismo solo se ha podido realizar en dos muestras (contenido en caolinita ≈ 30), obteniéndose:

- Caolinitas desordenadas (Brindley y Robinson, 1946).
- Caolinita desordenada pM (Galán, 1974).
- Caolinita intermedia entre T y pM (T-pM) (Galán, 1974).

La *ilita* es el componente más importante en esta columna (42-60 por 100). Su estudio en los diagramas de DRX viene dificultado en todas las muestras por la presencia de minerales interstratificados que al presentar una banda bastante ancha, engloban, en gran medida, la primera reflexión de este mineral. Sólo se ha determinado de forma sistemática la relación I(002)/I(001).

	I(002)/I(001)
CR-102	0,48
CR-104	0,36
CR-105	0,21
CR-110	0,34
CR-111	0,40
CR-114	0,51
CR-115A	0,50
CR-116	0,30
CR-118	0,28
CR-119	0,36
CR-122	0,31

Como puede observarse, la relación de intensidades varía entre límites muy amplios (0,21-0,50) indicando una gran variedad en la composición química de las ilitas, que abarca biotita+moscovita, fengitas y moscovitas en la clasificación de Esquevin (1969).

Los minerales interstratificados presentes en esta serie son fundamentalmente I-E e I-V, apareciendo en algunas muestras una mezcla de ambos. Los más abundantes son los primeros, que presentan, por lo general, una gama de composiciones bastante amplia dentro de una misma muestra, si bien en algunos casos aparecen máximos bien definidos. La composición de estos interstratificados se ha representado en la figura 2. En algún caso el interstratificado aparece bien definido tras el tratamiento con EG y además se aprecia la primera reflexión del mismo, es decir, se trata de un interstratificado regular. El interstratificado I-V solo está bien representado en una muestra, donde no existe I-E. Presenta también una gama de composiciones amplia.

La *clorita* solo aparece en esta secuencia de forma esporádica y en muy baja proporción. La presencia continua de interstratificados, que engloban la primera reflexión de este mineral, y de caolinita, hacen prácticamente imposible una determinación del mismo. Aunque se han realizado tratamientos ácidos a todas las muestras, éstos solo se han utilizado para estimar la proporción de este mineral.

b) Estudio por ATD y TG

Dada la homogeneidad mineralógica de estas muestras, solo se han realizado diagramas de ATD y TG para las dos muestras con composiciones más dispares, la más rica en caolinita y la más rica en minerales interstratificados. Estos diagramas, recogidos en la figura 4 son similares a otros muchos realizados, especialmente en la unidad de Algeciras, para muestras de composición mineralógica similar (Rodríguez Jiménez, 1987). El diagrama 115a muestra dos

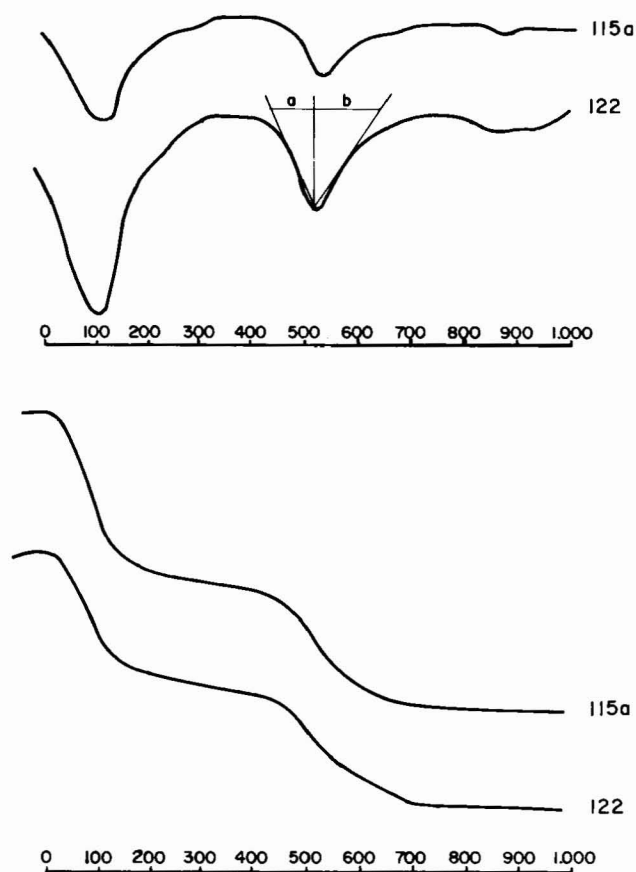


Fig. 4.—Diagramas de ATD y TG realizados a la fracción menor de 2 micras. Canal de Guadarranque.

endotérmicos, a 110° y 530°C que se deben al efecto de los interstratificados más la ilita. De hecho, la temperatura del segundo endotérmico es bastante más baja que la que hemos encontrado en muestras con esmectitas, a pesar de que el interstratificado de esta muestra es muy próximo a una esmectita. En la curva 122, el segundo endotérmico, a 115°C es debido a la caolinita que, como en la mayor parte de las muestras de estas unidades, aparece a temperatura muy baja. El valor de la asimetría ( $a/b=0,6$ ), por otra parte, indicaría según Robertson et al. (1954) que se trata de caolinita tipo desordenado.

### Interpretación genética

De los datos expuestos para esta secuencia se puede señalar como más significativos los siguientes: 1) La composición mineralógica de las muestras totales abarca una gama bastante amplia, siendo lo más notable la presencia casi continua de dolomita. 2) La composición mineralógica de la fracción fina es, por el contrario muy uniforme. Las únicas diferencias de unas muestras a otras hay que buscarlas en el tipo de ilitas (relación  $I(002)/I(001)$ ) y en la composición de los interstratificados I-E.

Los minerales de la arcilla pueden interpretarse

como heredados en su totalidad, a partir de un área fuente, en la que los procesos de meteorización han conducido a transformaciones de ilitas en interstratificados, sin llegar a desarrollarse esmectitas. Una erosión más rápida que da lugar al depósito de los niveles de calcarenitas puede ser la responsable de la escasez de caolinita en dichos niveles. Ya que el estudio al MEB no ha permitido poner en evidencia la existencia de caolinitas diagenéticas, hay que pensar que el área fuente ha proporcionado la totalidad de estos minerales.

### B) Secuencia del túnel de Palmones

#### Composición mineralógica de las muestras totales

##### a) Estudio al microscopio petrográfico

Se han estudiado al microscopio petrográfico muestras de calcarenitas con dos tipos de características mineralógicas:

Calcarenitas margosas de grano fino. Están constituidas por fragmentos de rocas carbonatadas, granos de cuarzo de contornos angulosos, láminas de mica blanca y abundantes opacos. Esta roca presenta un cemento ankerítico, no pudiendo clasificarse siguiendo los esquemas utilizados habitualmente. Podría denominarse «marga ankerítica».

Calcarenita fosilífera típica, de fauna muy variada y grano grueso. Además de los restos de fósiles existe cuarzo detrítico, no muy abundante pero de tamaño de grano grueso, a veces con contornos muy redondeados. Frecuentemente aparecen rotos como consecuencia de la compactación mecánica y recementados por calcita. Esto indicaría que la recrystalización de los carbonatos tuvo lugar tras el proceso de compactación. Los escasos cristales de plagioclasa, en gran parte transformados en minerales arcillosos han sufrido un proceso similar al del cuarzo. Son frecuentes las láminas de mica blanca y de biotita roja sin signos visibles de alteración. Todos los detríticos están cementados por grandes cristales de calcita que, en parte corroen los bordes de los cuarzos. Es posible también observar el desarrollo de un «coating» arcilloso sobre los cuarzos detríticos y el desarrollo posterior de cemento silíceo en continuidad óptica con el cuarzo detrítico. También se ha producido ampliamente glauconita que aparece, bien sustituyendo el núcleo de los fósiles, bien, en relación con el cemento calcáreo. Probablemente su desarrollo haya sido más o menos coetáneo con el cemento.

##### b) Estudio por difracción de rayos X

La mineralogía de los niveles y tramos arcillosos es en estas muestras muy homogénea: cuarzo (10-18 por 100), plagioclasa (0-7 por 100), calcita (0-4 por 100), dolomita (0-5 por 100), filosilicatos (71-86 por 100) y menas metálicas de hierro y manganeso (hasta un 4 por 100), siendo éstas últimas hematites, siderita, magnetita y rodocrosita. Los niveles duros muestran, por el contrario, una composición más variada: cuarzo (11-15 por 100), plagioclasa (0-3 por 100), calcita (20-79 por 100), ankerita (0-50 por 100) y filosilicatos (0-50 por 100).

La uniformidad en la composición mineralógica de los niveles arcillosos se pone también de manifiesto en la figura 5 en la que se muestran las variaciones de composición a lo largo de la columna. En esta figura solo se han representado algunos de los niveles duros, correspondientes a cada uno de los tramos de la columna.

En el diagrama triangular de composición (fig. 6) puede observarse una acumulación de puntos próxima al vértice de los

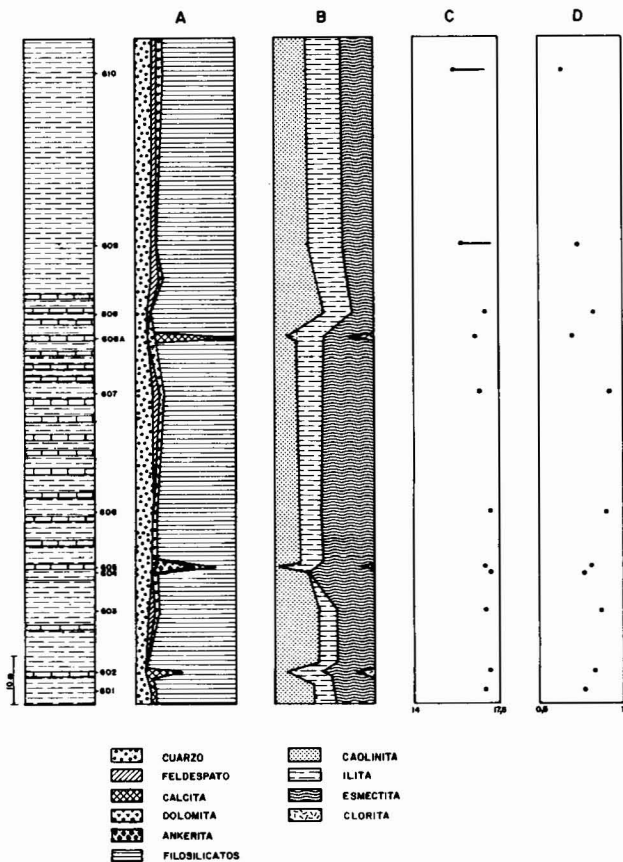


Fig. 5.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A), de la fracción menor de 2 micras (B), del grado de hinchamiento de las esmectitas (C) y cristalinidad de las mismas (D). Perfil del túnel de Palmones.

filosilicatos, correspondiente a los niveles arcillosos en tanto que las muestras correspondientes a niveles duros aparecen dispersas, abarcando desde margas ricas en arcillas hasta calcarenitas s.s. (Malesani y Manetti, 1970).

Composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras

a) Estudio por difracción de rayos X

La composición mineralógica y análisis semicuantitativo deducidos para estas muestras de los diagramas de DRX se han recogido en la tabla 2. La figura 5 representa esta composición a lo largo de la columna. A igual que en las muestras totales, la composición se mantiene muy homogénea en los niveles y tramos arcillosos. Las inflexiones que se observan en la figura 5 corresponden a los niveles carbonatados. Los niveles arcillosos están constituidos por caolinitas (25-50 por 100), ilita, en proporción muy inferior a la mayor parte de las series estudiadas (Tr-37 por 100) y esmectitas (30-67 por 100). En los niveles carbonatados se observa que, en tanto los porcentajes de esmectita son bastantes similares a los niveles arcillosos, el porcentaje de caolinita desciende notablemente (5-13 por 100), el de ilita aumenta, y aparece clorita, si bien en proporciones bajas (14-22 por 100). Algunas de las características determinadas para estos minerales se exponen a continuación.

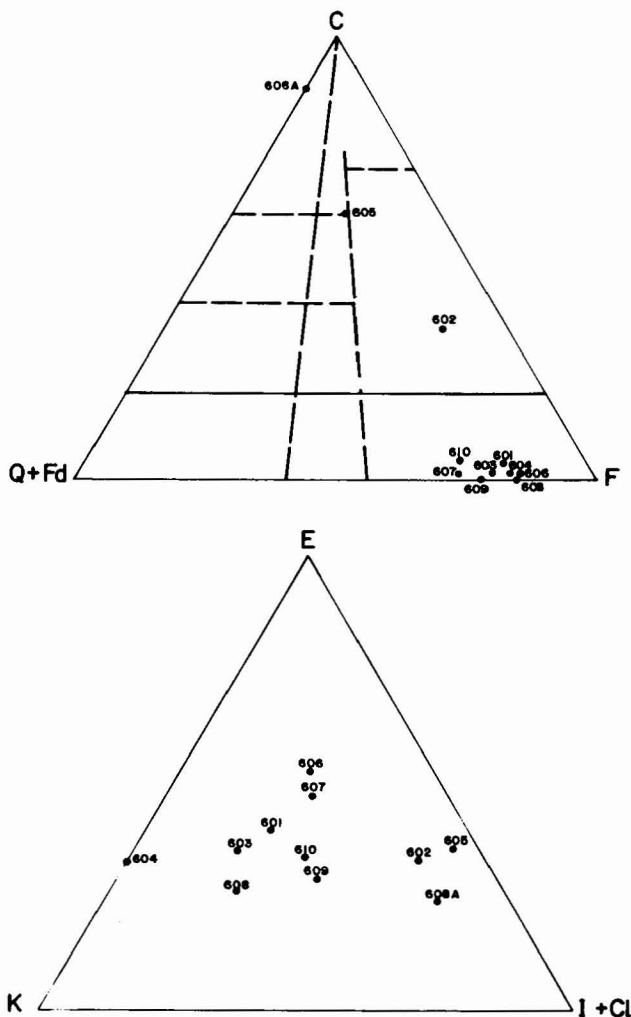


Fig. 6.—Diagramas triangulares de composición: Muestra total (Sup.). Fracción menor de 2 micras (Inf.). Túnel de Palmones.

Tabla 2.—Composición mineralógica. Fracción menor de 2 micras. Columna del túnel de Palmones.

	K	I	E	Cl
CR-601	37	22	41	—
CR-602	13	34	34	19
CR-603	44	19	37	—
CR-604	33	Tr	67	—
CR-605	5	44	37	14
CR-606	23	23	54	—
CR-607	24	27	49	Tr
CR-608A	14	38	26	22
CR-608	50	23	27	—
CR-609	33	37	30	—
CR-610	32	36	32	—

K=caolinita.  
I=ilita.  
E=esmectita.  
Cl=clorita.

La caolinita presente de forma continua en esta columna, alcanzando porcentajes altos en los niveles arcillosos en tanto que en los niveles carbonatados aparece en baja proporción. Por ello, solo ha podido determinarse con cierto detalle en los niveles de arcillas.

Los diagramas de polvo desorientado realizados para la determinación de este mineral no permiten en ningún caso medir la cristalinidad del mismo. Estas caolinitas pueden clasificarse como:

- Caolinitas desordenadas (Brindley y Robinson, 1946).
- Caolinitas intermedias entre T y pM (T-pM) (Galán, 1974).

La *ilita* presenta su primera reflexión (como en la mayoría de las series estudiadas) incluida en gran parte en la de la esmectita. Esta solo parece individualizada en los niveles calcáreos, aunque resulta imposible medir la cristalinidad. El pico de la *ilita*, no obstante, aparece claramente individualizado tras el tratamiento con EG y es posible observar que, mientras en los niveles carbonatados se mantiene agudo, en los niveles arcillosos se abre ampliamente hacia pequeños ángulos, mostrando un contenido apreciable en láminas de esmectita. El único parámetro que ha sido posible determinar ha sido  $I(002)/I(001)$ . Los valores obtenidos son los siguientes:

	$I(002)/I(001)$
CR-601 .....	0,23
CR-602 .....	0,40
CR-603 .....	0,26
CR-604 .....	—
CR-605 .....	0,42
CR-606 .....	0,40
CR-607 .....	0,33
CR-608A .....	0,28
CR-608 .....	0,26
CR-609 .....	0,36
CR-610 .....	0,35

Los valores más altos (salvo alguna excepción), correspondientes a moscovitas (Esquevin, 1969) aparecen en los niveles carbonatados. Los niveles arcillosos muestran valores variables (0,23-0,40), correspondientes a biotita+moscovita y fengitas. En general, se

observa también que existe una relación estrecha entre estos valores y el contenido en esmectitas de la *ilita*.

Las *esmectitas* son los minerales más representativos en esta secuencia, ya que están en proporción muy homogénea y elevada, tanto en los niveles arcillosos como en los niveles carbonatados. La primera reflexión aparece de forma bastante constante a 12,61 Å, excepto en el tramo arcilloso de la parte alta de la columna, donde aparecen bandas con amplitudes diferentes.

El grado de hinchamiento de estas esmectitas es alto y bastante constante (fig. 5) excepto en el tramo citado. También es elevada la cristalinidad de estas esmectitas. En la figura 5 se ha representado también el parámetro  $v/p$  (índice de Biscaye) (Biscaye, 1965).

La *clorita* solo se detecta en los diagramas de DRX tras el tratamiento térmico, dada la baja proporción en que aparece y el hecho de que su primera reflexión está en gran medida englobada en la de las esmectitas. Por otra parte, solo se encuentra en proporciones determinables en los niveles carbonatados. No obstante, dada su baja proporción y la presencia simultánea de caolinita y esmectitas, es prácticamente imposible determinar de manera fiable ningún parámetro de este mineral.

Por último, el diagrama triangular de composición (fig. 6) muestra la uniformidad de la composición de la fracción fina en los niveles carbonatados, en tanto que existe una mayor dispersión en los niveles de arcillas.

#### b) Estudio por ATD y TG

Los diagramas de ATD y TG representados en la figura 7 son muy similares entre sí, dada la semejanza en la composición mineralógica de estas muestras, que solo difieren en el porcentaje de los minerales presentes: caolinita, *ilita* y esmectita.

Todas las curvas reflejan la presencia de esmectitas en el primer endotérmico (de 110° a 120°C), agudo e intenso, con características similares a todas ellas, lo que indica que el catión de cambio, que afecta fundamentalmente a este efecto, es similar en todas las muestras.

El segundo endotérmico presente en estas curvas se debe fundamentalmente a caolinitas. Así, es mucho más intenso en las curvas 603 y 608, donde el contenido en caolinita es de un 45 por 100 y 50 por 100, decreciendo en las otras dos. La temperatura ciertamente baja de este endotérmico indicaría la presencia de caolinita desordenada-haloisita. No obstante, esta temperatura es

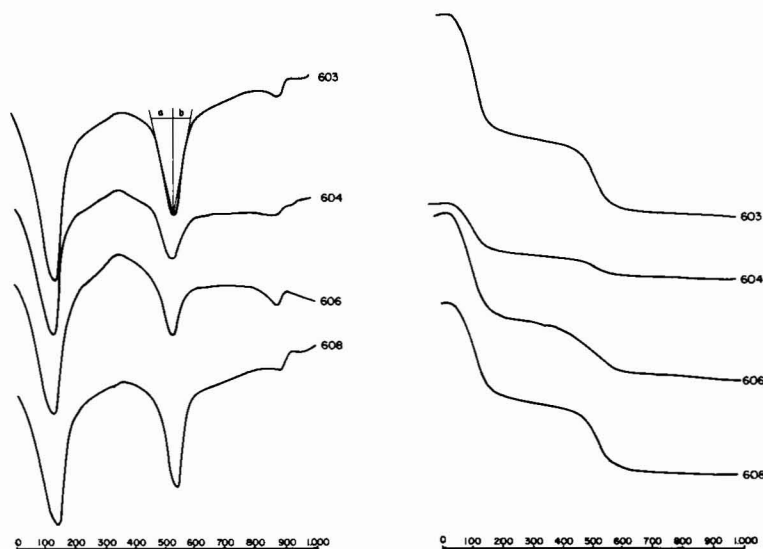


Fig. 7.—Diagramas de ATD y TG realizados a la fracción menor de 2 micras. Túnel de Palmones.





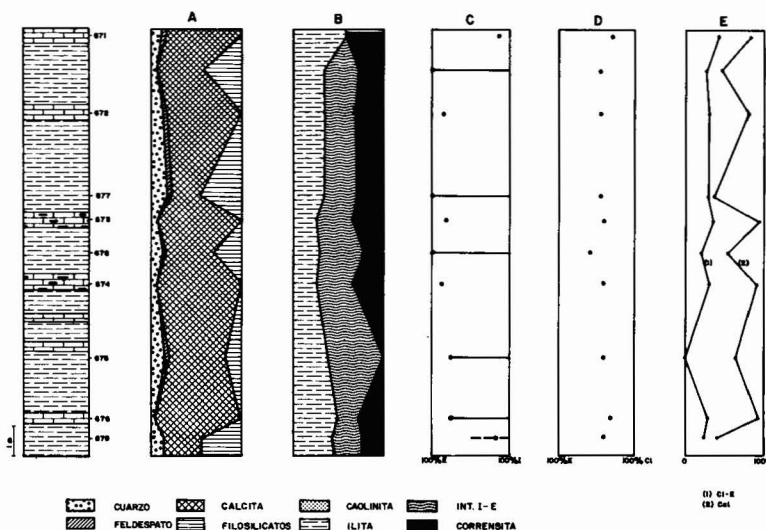


Fig. 9.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A), de la fracción menor de 2 micras (B), de la composición de los interestratificados I-E (C) y CI-E (D), y relación entre los porcentajes de calcita y corrensite (E). Calizas con sílex. Perfil n° 2: Santuario de la Luz. Tomada de Rodríguez Jiménez *et al.* (1987).

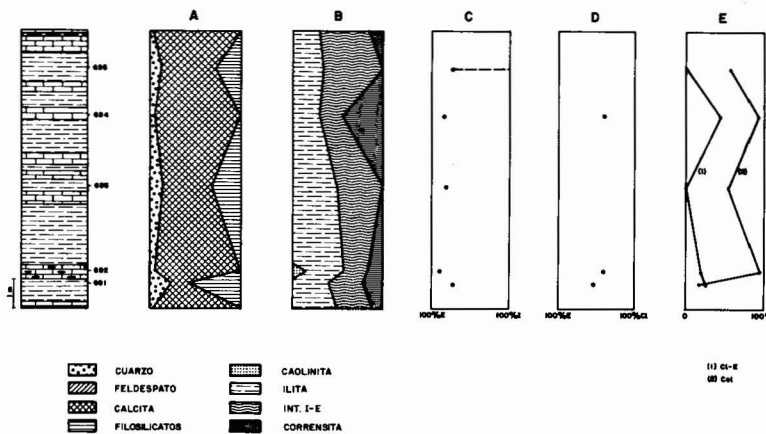


Fig. 10.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A), de la fracción menor de 2 micras (B), de la composición de los interestratificados I-E (C) y CI-E (D), y relación entre los porcentajes de calcita y corrensite (E). Calizas con sílex: Perfil n° 3. Camino de Sierra Ojén. Tomada de Rodríguez Jiménez *et al.* (1987).

muy escasos los niveles propiamente arcillosos. La composición mineralógica de los niveles de calcarenitas es bastante homogénea en los tres casos: cuarzo (4-14 por 100), plagioclasa (0-5 por 100), calcita (75-96 por 100) y filosilicatos (0-16 por 100). Hay que hacer notar, sin embargo, que las muestras con menores porcentajes de calcita (75-76 por 100) y mayores de filosilicatos (16 por 100) corresponden a la primera secuencia, en las otras dos el porcentaje de calcita es mayor y los filosilicatos solo aparecen en trazas.

La composición mineralógica de las margocalizas es mucho más

variada: cuarzo (6-24 por 100), plagioclasa (0-3 por 100), calcita (30-64 por 100) y filosilicatos (18-58 por 100).

En el diagrama triangular de composición (fig. 11), se muestra gráficamente la composición de estas muestras. Como ya se ha señalado, aparece una acumulación de puntos (correspondiente a las columnas 2 y 3) en la zona de las calcarenitas s.s. Las muestras CR-291 y CR-295 (columna n° 1) si bien pueden clasificarse como calcarenitas, se sitúan muy próximas al campo de margas. El resto de las muestras abarcan una amplia gama de composiciones dentro del campo de las margas. Sólo una de las

muestras estudiadas (CR-691) se sitúa en el campo de las arcillas, muy próxima, no obstante, a la línea de 20 por 100 de carbonatos.

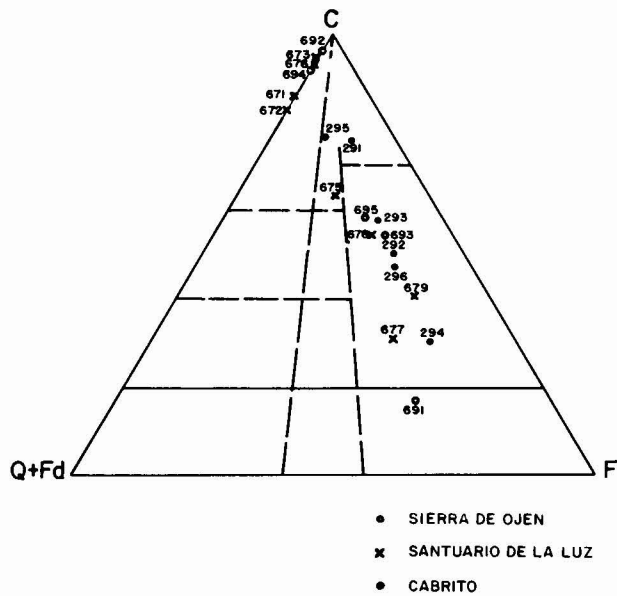
Como datos más significativos se puede señalar la amplia gama de composición que presentan estas muestras y la ausencia de dolomita en todos ellos.

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

a) Estudio por difracción de rayos X

La gran homogeneidad puesta de manifiesto en el estudio mineralógico de las muestras totales entre las tres secuencias

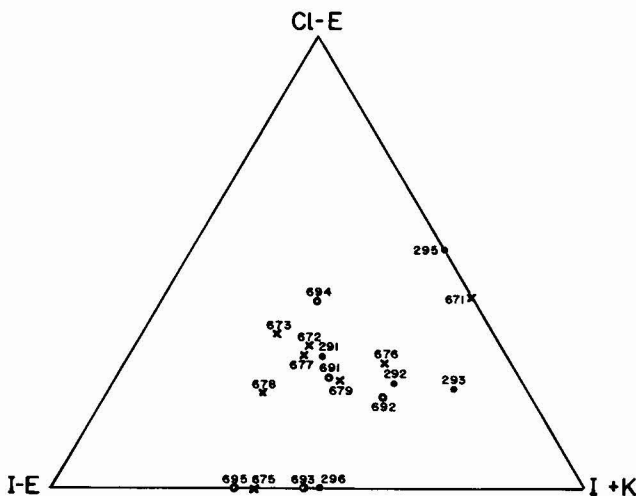
estudiadas se acentúa aún más en la mineralogía de la fracción menor de 2 micras. En la tabla 3 se han recogido los análisis semicuantitativos realizados a partir de los diagramas de DRX. En las figuras 8, 9 y 10 se muestra la variación de la composición mineralógica a lo largo de las columnas. Los constituyentes fundamentales son illita, interestratificados I-E e interestratificados Cl-E. De forma ocasional aparecen caolinita y clorita. La representación en el diagrama triangular de composición se ha realizado tomando en un vértice illita+caolinita, dada la baja proporción de éste último mineral. De este modo se pone mejor de manifiesto la composición de las muestras. Se observa que las muestras de las



**Tabla 3.—Composición mineralógica. Fracción menor de 2 micras. Columnas de calizas con sílex.**

		K	I	I-E	Cl-E	Cl
Columna nº 1	CR-291	—	39	38	29	—
	CR-292	—	53	24	23	—
	CR-293	—	64	21	15	—
	CR-294	—	51	49	—	—
	CR-295	—	47	Tr	—	53
	CR-296	5	45	50	—	—
Columna nº 2	CR-671	—	58	Tr	42	—
	CR-671A	—	32	40	28	—
	CR-672	—	31	37	32	—
	CR-677	—	33	27	30	—
	CR-673	—	25	41	34	—
	CR-678	—	29	50	21	—
	CR-674	—	24	42	34	—
	CR-675	—	38	72	Tr	—
	CR-676	—	48	24	28	—
CR-679	—	42	33	25	—	
Columna nº 3	CR-691	—	40	26	24	—
	CR-692	15	37	28	20	—
	CR-693	—	48	52	—	—
	CR-694	—	28	29	43	—
	CR-695	—	34	66	—	—

K =caolinita.  
 I =illita.  
 I-E =interestratificados illita-esmectita.  
 Cl-E=interestratificados clorita-esmectita.  
 Cl =clorita.



**Fig. 11.—Diagramas triangulares de composición: Muestra total (Sup.). Fracción menor de 2 micras (Inf.). Secuencias de calizas con sílex.**

tres secuencias aparecen totalmente mezcladas abarcando una gama de composiciones bastante amplia. Las características de los minerales de la arcilla determinados se exponen a continuación.

La caolinita sólo está presente en dos de las muestras estudiadas y, en porcentajes tan bajos que resulta prácticamente imposible determinar el polítipo o la cristalinidad de la misma.

La illita aparece de forma continua si bien, en porcentajes que oscilan entre 24 y 64 por 100. Aunque la relación no es demasiado clara, dentro de cada columna las muestras con menores porcentajes de illita suelen corresponder a los niveles de calcarenitas. La primera reflexión de la illita aparece en bastantes muestras de estas secuencias bien individualizada (a diferencia de lo que ocurre en la mayor parte de las series estudiadas), dada la mayor agudeza de la reflexión de los interestratificados. Esta reflexión es muy ancha y asimétrica, abriéndose ampliamente hacia pequeños ángulos. Se trata siempre de illitas de muy baja cristalinidad. Se ha determinado de forma sistemática la relación de intensidades I(002)/I(001), obteniéndose los siguientes valores:

	I(002)/I(001)
CR-291	0,21
CR-292	0,38
CR-293	0,26
CR-294	0,21
CR-295	0,31
CR-296	0,50
CR-671	0,44
CR-671A	0,42
CR-672	0,38
CR-677	0,57
CR-673	0,32
CR-678	0,50
CR-671	0,42
CR-675	0,39
CR-676	0,26
CR-679	0,55
CR-691	0,40
CR-692	0,47
CR-693	0,41
CR-694	0,34
CR-695	0,34

La gama de valores obtenidos es muy amplia (0,21-0,57) no observándose ninguna relación entre composición de las ilitas y litología. Los valores obtenidos abarcan, según el esquema de Esquevin (1969) desde biotita+moscovita hasta moscovita, pasando por todos los términos intermedios. En general los valores más frecuentes corresponden a los términos fengíticos. Los valores medios para cada columna son los siguientes:

Columna n.º 1-0,31  
Columna n.º 2-0,42  
Columna n.º 3-0,39

El valor medio correspondiente a la columna n.º 1 es claramente inferior al correspondiente a las columnas n.º 2 y 3.

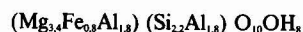
Los *interestratificados I-E* aparecen de forma casi continua a lo largo de las tres columnas, si bien, en proporciones muy variables (21-62 por 100). En general, se observa que, dentro de cada secuencia los porcentajes menores corresponden a los niveles de calcarenitas, al igual que ocurre con la ilita. Es difícil en estas muestras deducir la composición de estos *interestratificados* dada la presencia simultánea de *interestratificados Cl-E*. Por ello, los valores representados en las figuras 8, 9 y 10 se consideran sólo indicativos. En general presentan una amplia gama de composiciones, si bien los valores más frecuentes se sitúan entre 75 y 80 por 100 de esmectita.

Los *interestratificados Cl-E* son, sin duda, los minerales más característicos de estas secuencias, ya que no se han encontrado, por el momento, en ninguna otra serie estudiada. La composición de estos *interestratificados*, representada en las figuras 8, 9 y 10 es más fiable que en el caso de la I-E, ya que, en los diagramas realizados tras el tratamiento término de la muestra todo el *interestratificado I-E* contrae a 10 Å. Puede observarse en las figuras citadas que la composición de estos minerales se mantiene bastante constante en todos los casos, oscilando entre límites estrechos (40-50 por 100 de esmectitas). En algunos de los diagramas, especialmente en los correspondientes a las muestras tratadas con etilén-glicol, aparecen varias reflexiones de este *interestratificado*, que puede denominarse «corrensita» (1).

(1) la aplicación del término *corrensita* a minerales *interestratificados* con diferentes constituyentes, ha hecho difícil su uso. No obstante, aquí se acepta en el sentido que proponen Galán y Doval (1977) si bien, Bailey (1982) propone definir como *corrensita* a cualquier *interestratificado* regular 1:1 formado por *clorita* trioctaédrica con *esmectita* o *vermiculita* trioctaédrica.

Este mineral aparece de forma casi continua en las tres secuencias, correspondiendo los mayores porcentajes del mismo a los niveles de calcarenitas. En algunos casos (CR-295) no aparece *corrensita*, sino *clorita*. De forma general se ha podido observar una relación directa entre el porcentaje de *calcita* y el de *corrensita*, relación que se ha representado en las figuras 8, 9 y 10.

La *clorita* solo aparece en una de las muestras estudiadas, correspondiente a un nivel de calcarenitas de la columna n.º 1. La fórmula, deducida de los parámetros medidos en el diagrama de DRX es la siguiente:



correspondiente, a un *clinocloro* (AIPEA, 1980).

### Interpretación genética

De los datos expuestos en páginas anteriores se pueden extraer como más significativos los siguientes:

1. Las muestras estudiadas son ricas en carbonatos (detriticos y químicos) siendo los niveles propiamente arcillosos extremadamente escasos.
2. El único carbonato presente es la *calcita*.
3. Existen ciertas diferencias mineralógicas entre la columna n.º 1 y las columnas n.º 2 y 3, tanto en lo que se refiere a la mineralogía de las muestras totales como a la de la fracción menor de 2 micras.
4. La característica mineralógica más notable en estas secuencias es la presencia de *corrensita* y la práctica ausencia de *caolinita*.
5. La mineralogía de la fracción fina guarda cierta relación con la litología de la roca.

Todo ello permite sacar una serie de conclusiones referentes a la génesis de los minerales de la arcilla y al ambiente químico reinante durante los procesos de sedimentación y diagénesis.

1. Tanto la ilita como los *interestratificados I-E* son minerales heredados a partir de un área fuente en la que la meteorización ha conducido a transformaciones del tipo ilita → I-E. sin llegar a originar *esmectitas* s.s. frecuentes en otras series estudiadas.

2. La asociación mineralógica determinada aquí, *corrensita-I-E-ilita*, corresponde a una de las asociaciones recogidas por Velde (1977) como más frecuentes para *corrensita*. El medio químico favorable al desarrollo de este mineral requiere un contenido importante en  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , pero no ha de estar necesariamente relacionado con depósitos evaporíticos. Siguiendo la idea de Velde (1977) se estima que la *corrensita* pudo haber crecido a partir de fases hinchables dioctaédricas (I-E ó E).

3. Las diferencias en el ambiente químico vienen puestas de manifiesto también por la silicificación sufrida por estas rocas y por la ausencia de *dolomita*.

4. El origen del sílex en estas rocas es difícil de explicar de acuerdo con las teorías normales aceptadas (Heath y Moberly, 1971; Calvert, 1974; Wise y Weaver, 1974, etc.). La relación entre el desarrollo de ciertos minerales (*corrensita* y posible *zeolita*), con

el proceso de silicificación en estas series se ha estudiado con detalle en un trabajo anterior (Rodríguez Jiménez, et al., 1987).

**Discusión y conclusiones**

Dado que las características específicas de cada una de estas series se han descrito ampliamente en los apartados anteriores, aquí se hará hincapié únicamente en la evolución que puede ponerse de manifiesto en estas series, en base a sus características mineralógicas, recordando, no obstante, la semejanza de todas las secuencias (alternancia de calcarenitas con lutitas arcillosas-margas).

Una simple observación de los diagramas triangulares de composición (fig. 12) en los que se ha representado las composiciones medias de calcarenitas, rocas lutíticas (diagrama superior) y fracción fina (diagrama inferior), ponen de manifiesto los siguientes hechos:

1. La composición de las calcarenitas sufre una evolución en el sentido.

Cal. con sílex → Benaiza → Túnel Palmones  
(excp. corte 1)

%F	0%	4%	12%
%C	40%	30%	5%

es decir, se da un desplazamiento del campo propio de las calcarenitas al de las margas.

2. La evolución mineralógica en la fracción menor de 2 micras se pone de manifiesto fundamentalmente en el porcentaje de hinchables, características de los mismos y contenido en caolinita:

Cal. con sílex → Benaiza → Túnel Palmones

%K	Tr	20%	28%
% Hinch.	variable (I-E)	28% (I-E)	40% (E)

Parece probable, pues, teniendo en cuenta la evolución mineralógica y las dataciones proporcionadas por Esteras (com. pers.) que la posición relativa de las series sería:

- Túnel de Palmones.
- Formación Benaiza (Oligoceno).
- Caliza con sílex (Eoceno).

Esta evolución puede venir determinada por diferentes procesos que pueden actuar simultáneamente:

A) Características del área fuente (litológicas, climáticas, tectónicas, etc.), que determinarían una evolución temporal en el tipo de aportes, puesto de manifiesto por:

— Aumento del contenido en filosilicatos en la muestra total. Este aumento corresponde probablemente a ligeros cambios litológicos en el área fuente.

— Aumento del contenido en caolinita y esmectitas. El aumento simultáneo de estos minerales parece estar en relación con el cambio litológico señalado en el área fuente (rocas más ricas en laminares y proba-

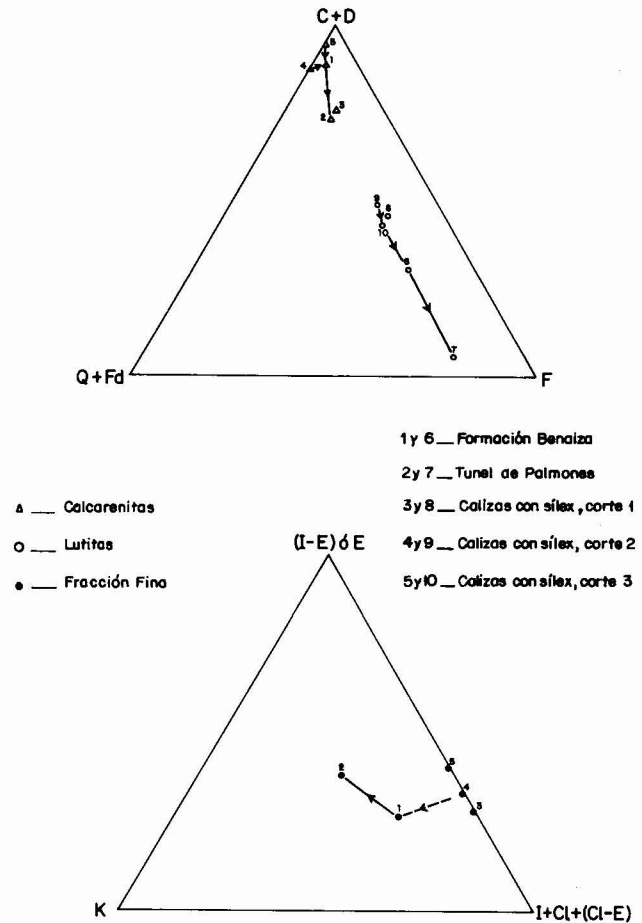


Fig. 12.—Diagramas triangulares de composición de las secuencias de la «serie de base» del Aljibe.

blemente en feldespatos) y con un cambio en las condiciones climáticas que favorecerían una meteorización más intensa.

— Escaso desarrollo de clorita. La presencia de este mineral de forma esporádica y en baja proporción podría estar en relación con ciclos tectónicos-erosivos.

B) Características paleogeográficas y geoquímicas del medio sedimentario, puestas de manifiesto por:

— Disminución notable del contenido en carbonatos en los niveles arcillosos. Esta evolución estaría en relación con un cambio progresivo en el nivel de compensación de la calcita en la cuenca, de forma que en las series más recientes no se da la precipitación de carbonatos y es posible incluso que se haya producido la disolución de los mismos en los niveles arcillosos. El proceso de disolución no se ha detectado en los niveles de calcarenitas, probablemente debido a su rápida acumulación.

— El aumento del contenido en caolinita en las secuencias más modernas podría relacionarse (además de con las características del área fuente) con una

posición paleogeográfica más proximal para estas secuencias (no obstante, no hay datos suficientes para avalar esta hipótesis).

— Por el contrario, el aumento de los minerales hinchables sí parece estar relacionado con un cambio en las condiciones químicas del medio de depósito, que sería más básico y con alta concentración en cationes. Esta hipótesis viene avalada en otras unidades estudiadas que presentan composiciones mineralógicas similares (arcilla de Jimena) por el desarrollo simultáneo de paligorskita.

C) Las características físico-químicas del medio diagenético aparecen reflejadas en:

— Naturaleza de los carbonatos desarrollados. La formación de carbonatos de hierro y de magnesio (ausentes en las calizas con sílex) está relacionada con un enriquecimiento en estos cationes en el medio de depósito y, especialmente, en los fluidos diagenéticos.

— El desarrollo de corrensita en las calizas con sílex está también relacionado íntimamente con las características químicas del medio diagenético. Así, junto con la corrensita se ha producido la silicificación de las calizas y el desarrollo de posibles zeolitas (Rodríguez Jiménez, et al., 1987). Por otra parte, la ausencia de dolomita en estas columnas podría deberse precisamente a la escasez de  $Mg^{++}$  debido a la formación de corrensita.

— La ausencia de caolinita en estas columnas puede relacionarse asimismo con el proceso diagenético. Reacciones similares a las recogidas por Curtis et al (1985) para el desarrollo de clorita a partir de caolinita, durante la diagénesis, podrían haber dado lugar al desarrollo de corrensita.

— Este proceso podría ser simultáneo (tal como sugieren Curtis et al., op. citada) a la ilitización de la esmectita (si este mineral se hubiera heredado como tal), y al desarrollo de interstratificados I-E, gracias a una fijación de potasio.

## Referencias

- A.I.P.A. (1980): *Clay Clay Miner*, 28, 73-78.  
 Bailey, S. W. (1982): Nomenclature for regular interstratifications. *Clay Minerals*, 17, 243-248.

- Biscaye, P. E. (1965): Mineralogy and sedimentation of Recent Deep Sea Clay in the Atlantic Ocean and Adjacent Seas and Oceans. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 76, 803-832.  
 Brindley, G. W. y Robinson, K. (1946): The structure of kaolinite. *Mineral. Mag.*, 27, 242-253.  
 Curtis, C. O.; Hughes, I. A.; Whiteman, J. A. y Whittle, C. K. (1985): Compositional variation within some sedimentary chlorites and some comments on their origin. *Mineral. Mag.*, 49, 375-386.  
 Calvert, S. E. (1974): Deposition and diagenesis of silica in marine sediments. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, 1, 273-299.  
 Didon, J.; Durand-Delga, M. et Kornprobst, J. (1973): Homologies géologiques entre les deux rives du Détroit de Gibraltar. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 15: 77-105.  
 Esquevin, J. (1969): Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau. S.N.P.A.*, 3: 147-154.  
 Galán, E. (1974): *Caolines españoles, geología, mineralogía y génesis*. Soc. Esp. Cerám. Vidrio, Madrid, 159 pp.  
 Galán, E. y Doval, M. (1977): A proposition to name three regular interstratified minerals containing chlorite. *Proc. 3rd European Clay Conf.*, Oslo, 61-69.  
 Heath, G. D. y Moberly, R. (1971): Cherts from the western Pacific. Leg. 7. In: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 7, 991-1007.  
 Malesani, P. et Manetti, P. (1970): Proposta di classificazione di sedimenti clastici. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 9, 55-63.  
 Robertson, R. H. S.; Brindley, G. W. y Mackenzie, R. C. (1954). Simple Phyllosilicates. In: *The Differential Thermal Investigation* (R. C. Mackenzie ed.). Academic Press. London, 497-551.  
 Rodríguez Jiménez, P. (1987): *Mineralogía y génesis de las arcillas del Campo de Gibraltar*. Tesis Doctoral. Univ. Málaga, 374 pp.  
 Rodríguez Jiménez, P.; Ruiz Cruz, M. D. y Carrasco, F. (1987): Corrensita and zeolite growth in carbonate turbidites and associated chert of the Gibraltar area (Southwest Spain). *Euroclay's 87*. Sevilla.  
 Rodríguez Jiménez, P. y Ruiz Cruz, M. D. (1988): Mineralogía y génesis de las arcillas del Campo de Gibraltar. I. Areniscas del Aljibe. *Estudios Geol.* (en prensa).  
 Vatan, J. M. (1967): *Manuel de sedimentologie*. Ed. Technip. París, 397 pp.  
 Velde, R. (1977): *Clay and Clay Minerals in Natural and Synthetic System*. Elsevier, Holanda, 218 pp.  
 Wise, W. S. y Weaver, F. M. (1974): Chertification of oceanic sediments. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, 1, 301-326.

Recibido el 30 de noviembre de 1987  
 Aceptado el 15 de marzo de 1988