

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

## III. UNIDAD DE ALGECIRAS

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

### RESUMEN

Este trabajo completa el estudio de la unidad de Algeciras, iniciado anteriormente (Ruiz Cruz *et al.*, 1987), con el estudio de la serie tipo El Rinconcillo. Se analizan los resultados obtenidos en la serie tipo Punta Tarifa, se comparan con los anteriores y se exponen las conclusiones relativas a la unidad de Algeciras.

La serie tipo Punta Tarifa se caracteriza por el porcentaje alto de interestratificados I-V, I-E, I-V-E, Cl-I, ricos en láminas de illita, y la presencia bastante constante de cloritas con orígenes diversos. Las diferencias entre las series tipo estudiadas vienen dadas especialmente por el diferente contenido en determinados minerales, especialmente esmectitas, paligorskita, caolinita y clorita, que es debido fundamentalmente a diferencias en el medio químico durante el depósito y la diagénesis y, en cierta medida, al diferente grado de alteración de los minerales detríticos.

**Palabras clave:** *Interestratificados, cloritas, esmectitas, unidad de Algeciras.*

### ABSTRACT

The study of Algeciras unit, initiated with the series of Rinconcillo (Ruiz Cruz *et al.*, 1987), is now completed. The mineralogical results of the Punta Tarifa series are analyzed, and are compared with the former studies, and, also conclusions relative to the Algeciras unit are exposed.

The Punta Tarifa series is characterized by the high content of illite-rich interstratified clay minerals (illite-vermiculite; illite-smectite, illite-vermiculite-smectite, illite-chlorite) and the constant presence of chlorites of variable genesis. The differences between these series come from the different content in clay minerals, specially, smectite, palygorskite, kaolinite and chlorite. Differences are related with chemical characteristics of depositional and/or diagenetic environment and, also, with different alteration degree of detritic minerals.

**Key words:** *Interstratified clay minerals, chlorite, smectite, Algeciras unit.*

### Introducción

La unidad de Algeciras definida por Didon (1960), está caracterizada por un potente flysch margo-arenisco-micáceo o flysch de Algeciras. La serie general está constituida de muro a techo por los siguientes tramos: a) Arcillas rojas y verdes con bancos de hasta un metro de espesor de calcarenitas con convoluted, granoclasificación y huellas de muro. Su edad es Cretácico Superior-Paleoceno. b) Flysch calcáreo, en el que alternan en bancos decimétricos arcillas rojas y calcarenitas grises. Su edad es Eoceno y alcanza cien metros de potencia. c) Arcillas rojas con niveles arenosos. Su potencia es de cincuenta a cien metros y

su edad es Eoceno superior-Oligoceno. d) Flysch margo-arenisco-micáceo. Constituido por una alternancia de areniscas micáceas en bancos gruesos con arcillas grises y pardas. El espesor de este tramo es de unos mil metros. Su edad es Oligoceno pero puede alcanzar hasta el Aquitaniense (Didon, 1973).

Existen buenos afloramientos naturales en los acantilados costeros, especialmente en Punta Carnero y playa de El Rinconcillo y también en taludes artificiales en las pistas militares que recorren la zona litoral entre Tarifa y Algeciras.

Se han efectuado seis cortes en materiales pertenecientes a esta unidad que, aunque a grandes rasgos presentan la misma secuencia estratigráfica,

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

existen algunas diferencias que nos han conducido a definir dos «series tipo», serie de Punta Tarifa y serie de El Rinconcillo. La segunda de estas series ha sido objeto de un trabajo anterior (Ruiz Cruz *et al.*, 1987), si bien será necesario en la presente publicación hacer referencia a los resultados expuestos allí.

### Localización y materiales estudiados

En la serie tipo Punta Tarifa se han incluido dos secuencias, Punta Tarifa y Punta Carnero (fig. 1). Es la serie estratigráfica más completa y característica de la unidad de Algeciras. Si bien se incluyen datos relativos a ambas secuencias, se considera como más representativa la secuencia de Punta Tarifa.

### Secuencia de Punta Tarifa

Está situada a unos 5 km. al NE de Tarifa (hoja topográfica nº 1077). Se localiza a lo largo de la pista militar que se inicia en el

km. 90 de la carretera nacional nº 340 que conduce a la playa. La secuencia se inicia en el cerro de las Canteras, en donde afloran los materiales más antiguos, para acabar en las cercanías del mar. Se atraviesa, en posición normal los materiales del Eoceno y del Oligoceno de la unidad de Algeciras.

Descripción de las muestras.

En la figura 2 se indica la situación de las muestras que a continuación se describen, en la columna estratigráfica.

- CR-51 Calcarenita gris en niveles de 10 a 20 cm., con eflorescencias de carbonatos secundarios en superficies no frescas.
- CR-52 Arcillas rojas con concentraciones secundarias de calcita.
- CR-53 Arcillas rojas, muy compactas, en niveles delgados y abundantes venillas rellenas de calcita.
- CR-54 Nivel de 5 cm. de arcillas oscuras con nódulos blancos y recristalizaciones superficiales de carbonatos.
- CR-55 Arcillas rojas con concentraciones de carbonatos e intercalaciones muy finas de areniscas.
- CR-56 Calcarenitas grises en niveles de 5 a 10 cm. con carbonatos secundarios tapizando superficies de fractura.
- CR-57 Paquete de 30 a 40 cm. de arcillas rojas y pardas.
- CR-58 Arcillas rojas y verdes intercaladas en calcarenitas.
- CR-59 Margas rojas con intercalaciones de areniscas en niveles muy delgados.

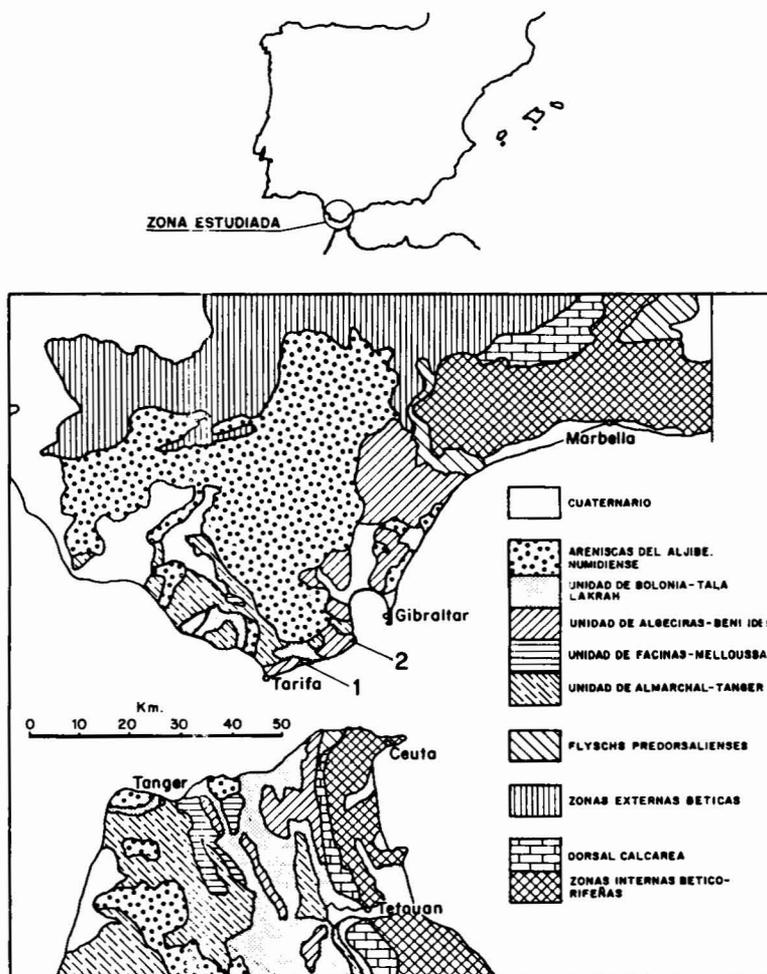


Fig. 1.—Mapa de situación general, esquema geológico simplificado de las orillas del Estrecho de Gibraltar (Didon, Durand-Delga y Kornprobst, 1973) y posición de las columnas estudiadas. 1) Punta Tarifa, 2) Punta Carnero.

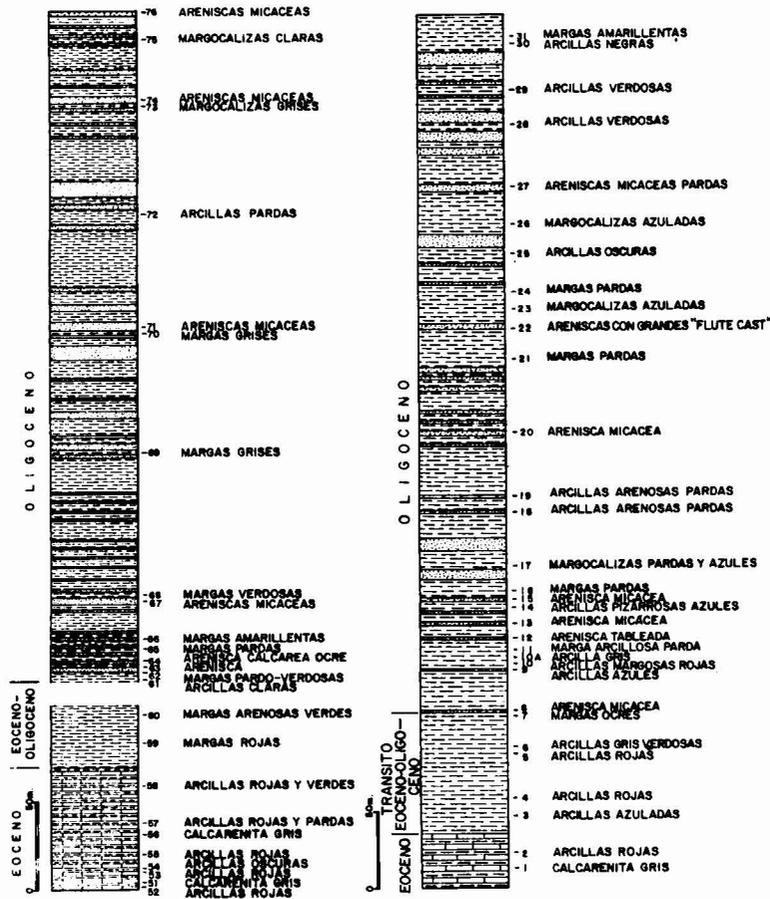


Fig. 2.—Columnas de Punta Tarifa (izquierda) y Punta Carnero (derecha).

- CR-60 Margas arenosas verdes con nódulos blancos.
- CR-61 Arcillas de colores claros, muy compactas, intercaladas en areniscas.
- CR-62 Margas pardo-verdosas en niveles de 1 a 3 m. de espesor, con recristalizaciones superficiales de carbonatos.
- CR-63 Nivel de 30 cm. de areniscas oscuras con numerosas venillas rellenas de calcita.
- CR-64 Arenisca calcárea ocre de grano fino. Nivel de unos 5 cm.
- CR-65 Margas pardas en niveles de 10 a 20 cm., alternando con areniscas.
- CR-66 Margas amarillentas en un nivel de 20 cm.
- CR-67 Areniscas micáceas gris-verdosas con manchas de óxidos de hierro, correspondientes al primer paquete grueso del flysch micáceo.
- CR-68 Margas verdosas de fractura astillosa en niveles gruesos.
- CR-69 Margas grises. Nivel de 1,5 m.
- CR-70 Margas grises de fractura astillosa con manchas de óxidos de hierro. Nivel de varios metros de potencia en el que abundan los nódulos de calcita.
- CR-71 Areniscas micáceas de tamaño de grano grueso, con abundantes óxidos de hierro formando parte de la matriz. Paquete de unos 60 cm.
- CR-72 Arcillas pardas con costras superficiales de carbonatos.
- CR-73 Margocalizas grises en paquetes de 3 a 4 m., alternando con areniscas.
- CR-74 Areniscas micáceas de tamaño de grano grueso.
- CR-75 Margocalizas claras con fractura astillosa.

- CR-76 Paquete potente de areniscas micáceas de grano grueso.
- CR-77 Margas arenosas de colores claros.

**Secuencia de Punta Carnero**

Está situada en el borde meridional de la ensenada de Getares, al sur de Algeciras (hoja topográfica nº 1078). Se extiende a lo largo de la carretera de Algeciras al faro de Punta Carnero, desde los puntos kilométricos 7,2 a 9,3. Este afloramiento se ha denominado flysch de Punta Carnero (Pendón, 1978), y está formado por unos 1.200 m. de materiales de la unidad de Algeciras, pertenecientes al Eoceno y Oligoceno.

**Descripción de las muestras.**

La situación de las muestras estudiadas en esta serie y que a continuación se describen, se recoge en la fig. 2.

- CR-1 Calcarenita gris, en alternancia con niveles arcillosos.
- CR-2 Nivel de 10 a 20 cm. de arcillas de color rojo con laminación muy fina. Solo son visibles, a la lupa, las laminillas de mica blanca.
- CR-3 Nivel muy fino de arcillas azuladas, compactas, con abundantes laminillas de mica blanca y recristalizaciones de dolomita.
- CR-4 Arcillas margosas pardo-rojizas, muy deleznales y con textura muy homogénea.
- CR-5 Arcillas margosas pardo-rojizas muy compactas. Los car-

- bonatos constituyen concentraciones laminares del orden del mm.
- CR-6 Paquete de 4 m. de arcillas gris-verdosas, deleznales, de textura homogénea en fractura fresca, con concentraciones superficiales de carbonatos.
- CR-7 Margas de colores claros, muy compactas.
- CR-8 Areniscas micáceas de colores claros.
- CR-9 Nivel de unos 10 cm. de arcillas azuladas, compactas, con fractura concoidea. Presenta pequeñas venillas rellenas de óxidos de hierro.
- CR-10 Nivel de unos 30 cm. de margas rojas, muy compactas.
- CR-10' Arcillas gris-azuladas, con fractura concoidea. Son muy abundantes las laminillas de mica blanca, visibles a la lupa. Los carbonatos recubren superficies de alteración.
- CR-11 Nivel de unos 10 cm. de arcillas pardas muy compactas, con fractura concoidea. Los carbonatos forman concreciones irregulares.
- CR-12 Areniscas pardas, tableadas, en niveles de 10 a 40 cm., de tamaño de grano fino. Contienen pirolusita. Entre estas areniscas aparecen niveles discontinuos de yeso.
- CR-13 Areniscas micáceas de tamaño de grano muy fino, con manchas de óxidos de hierro, en niveles de 20 cm. de potencia.
- CR-14 Nivel de 25 cm. de arcillas pizarrosas azules, con una delgada laminación.
- CR-15 Primer nivel masivo de areniscas micáceas de color pardo y tamaño de grano fino con manchas de óxidos de hierro y recristalizaciones de carbonatos secundarios.
- CR-16 Nivel del orden de 1 m. de margas pardo-verdosas, de textura muy homogénea, con concentraciones de pirolusita.
- CR-17 Margocalizas azuladas.
- CR-18 Arcillas arenosas pardas, muy compactas, con laminación del orden del mm.
- CR-19 Arcillas similares a las anteriores en niveles del orden del m., intercaladas en las areniscas.
- CR-20 Areniscas micáceas azuladas, de tamaño de grano medio. A la lupa se observan algunos granos de cuarzo muy redondeados así como laminillas micáceas.
- CR-21 Nivel de margas pardas muy deleznales, con concentraciones superficiales de pirolusita.
- CR-22 Nivel de areniscas con «flutes». Se trata de areniscas de tamaño de grano grueso, constituidas por cuarzos muy redondeados y una matriz parda, rica en óxidos de hierro.
- CR-23 Margocalizas azules de fractura astillosa.
- CR-24 Margas pardo-amarillentas en bancos muy potentes (del orden de 50 m.) con intercalaciones de bancos de 1 m. de areniscas.
- CR-25 Nivel de 1 m. de arcillas oscuras, muy deleznales.
- CR-26 Margocalizas azules, muy compactas, con textura homogénea, en niveles de 15 a 20 cm.
- CR-27 Paquete muy potente de areniscas micáceas pardas de tamaño de grano medio.
- CR-28 Nivel de 10 cm. de arcillas verdosas, compactas, con fractura en lascas, muy oscuras en superficie debido a la ausencia de pirolusita.
- CR-29 Arcillas en lascas, con brillo satinado y colores variados. En fractura fresca son verdosas y presentan una laminación muy fina.
- CR-30 Nivel de 30 cm. de arcillas negras, muy deleznales.
- CR-31 Margas amarillentas muy compactas con laminación extremadamente fina.

## Resultados

### *Composición mineralógica de las muestras totales*

El estudio de las muestras totales se ha realizado al

microscopio petrográfico, por difracción de rayos X y por microscopía electrónica de barrido.

### Estudio petrográfico

Exceptuando un nivel de Punta Carnero (CR-22), las rocas que constituyen estas series pueden clasificarse en cuatro grupos fundamentales: arcillas, s.l., margocalizas, calcarenitas y areniscas micáceas.

Las areniscas micáceas están constituidas fundamentalmente por cuarzo, plagioclasa (oligoclasa) ligeramente alterada a sericita, una pequeña proporción de microclina, a veces muy alterada a caolinita y laminares, mica blanca, biotita parda y clorita, a veces producto de alteración de las láminas de biotita. Completan la petrografía los fragmentos de cuarcitas, micasquistos, y rocas carbonatadas, y restos de fósiles. En las areniscas puede observarse una evolución vertical, tanto textural como mineralógica. Texturalmente hay que señalar que el tamaño de grano aumenta notablemente en la parte más alta de la serie; la evolución mineralógica viene marcada sobre todo por la naturaleza de los fragmentos de rocas, cuarcitas y micasquistos en la parte alta de la serie pasando hacia abajo a fragmentos carbonatados. La matriz, escasa y fundamentalmente arcillosa en las muestras superiores, se hace más escasa al descender en la columna, dando paso al cemento espático. Como accesorios, en pequeña proporción, aparecen turmalina, rutilo, titanita, glauconita y opacos. Estas rocas se han clasificado en varios grupos:

1. Arenisca calcárea lutítica (Vatán, 1967).  
Subgrauwaca (Pettijohn, 1957).  
Corresponden a las areniscas más bajas estratigráficamente.
2. Arenisca calcárea (Vatan, 1967).  
Arcosa (Pettijohn, 1957).  
Ocupan la posición estratigráfica intermedia.
3. Arenisca (Vatan, 1967).  
Arcosa (Pettijohn, 1957).  
Corresponden a las areniscas superiores estratigráficamente.

Solo en un nivel de estas series, al que corresponde la muestra CR-22, se ha podido detectar otro grupo de areniscas bastante semejantes a las areniscas del Aljibe. Mineralógicamente se diferencian claramente de las areniscas de la unidad de Algeciras por su elevado contenido en cuarzo (próximo al 100%) que aparece en granos muy redondeados, y por la escasa proporción de matriz, constituida, en su mayor parte, por geles y óxidos de hierro. A diferencia de las típicas areniscas del Aljibe presenta, aunque en proporción muy baja, fragmentos de rocas metamórficas y laminillas de biotita. Esta roca se ha clasificado como:

Arenisca (Vatan, 1967).

Ortocuarcita (Pettijohn, 1957).

Las calcarenitas, como en toda la unidad de Algeciras, están constituidas por la acumulación de fragmentos carbonatados y fósiles, más una pequeña proporción de cuarzo y feldespato detríticos, cementados por calcita espática. De forma accesoria se encuentran biotita roja, moscovita, circón y glauconita.

### Estudio por difracción de rayos X

Se ha realizado sobre los diagramas de difracción de polvo de las muestras totales. En la tabla 1 se recogen los resultados de los análisis semicuantitativos realizados a las muestras de estas series. En la figura 3 se ha representado la variación de la composición mineralógica a lo largo de la columna de Punta Tarifa. En esta figura solo se ha representado la composición de algunos de los niveles de calcarenitas y de areniscas micáceas.

Eliminando los niveles duros, en que las curvas sufren fuertes inflexiones, la composición mineralógica total se mantiene bastante constante a lo largo de toda la columna: el porcentaje de cuarzo oscila entre 11 y 22%, el de plagioclasa (que alcanza valores muy elevados en ciertos niveles de areniscas), oscila de 0 a 9%. La microclina solo aparece en los niveles de areniscas y en pequeña proporción. El porcentaje de carbonatos y filosilicatos es el que sufre mayores variaciones. Aparte de las calcarenitas, donde el porcentaje de calcita se sitúa alrededor del 95%, la proporción de calcita oscila entre el 6% (rocas propiamente arcillosas) y el 55% (margocalizas). Hay que tener en cuenta, no obstante, que en ciertos casos (fundamentalmente en las rocas de tipo arcilloso), gran parte de los carbonatos son secundarios, formando costras, nódulos o rellenando venillas. Los filosilicatos, por último, aparecen sólo en trazas en los niveles de calcarenitas, alcanzando un 70% en las muestras más arcillosas.

La variación de la composición mineralógica de

Tabla 1.—Composición mineralógica de las muestras totales.

Muestra	Q	Fd	C	D	F	Muestra	Q	Fd	C	D	F
<b>Secuencia de Punta Tarifa</b>						<b>Secuencia de Punta Carnero</b>					
CR-51	4	—	96	—	—	CR-1	16	—	84	—	—
CR-52	15	3	31	—	51	CR-2	21	5	14	—	60
CR-53	19	3	52	—	26	CR-3	23	7	—	9	61
CR-54	11	2	46	—	41	CR-4	17	7	19	5	52
CR-55	11	2	54	—	33	CR-5	11	5	14	24	46
CR-56	9	2	89	—	Tr	CR-6	21	6	4	9	60
CR-57	17	4	9	—	70	CR-7	15	5	—	25	55
CR-58	19	5	7	—	69	CR-8	26	19	12	8	35
CR-59	16	5	29	—	50	CR-9	15	7	6	5	67
CR-60	18	6	24	—	52	CR-10	14	8	4	8	66
CR-61	22	6	6	14	52	CR-11	19	7	14	—	60
CR-62	12	5	15	36	32	CR-13	20	11	8	5	56
CR-63	24	11	13	31	20	CR-14	19	7	6	10	58
CR-64	21	14	33	7	25	CR-15	45	5	20	7	23
CR-65	13	4	18	33	36	CR-16	15	4	27	—	54
CR-66	15	8	23	2	52	CR-18	28	12	7	—	53
CR-67	21	26	19	7	27	CR-19	27	12	3	3	55
CR-68	13	3	40	—	44	CR-20	38	24	18	—	20
CR-69	15	6	35	—	44	CR-21	17	4	34	—	45
CR-70	14	4	37	5	40	CR-22	100	—	—	—	—
CR-71	23	37	17	—	23	CR-23	13	3	55	—	29
CR-72	19	9	7	5	60	CR-24	18	2	37	—	43
CR-73	13	4	35	3	45	CR-25	20	2	—	—	78
CR-74	19	49	8	6	18	CR-27	24	29	15	—	32
CR-75	7	3	58	—	32	CR-28	14	—	—	—	86
CR-76	30	42	4	—	24	CR-29	22	12	—	—	66
CR-77	15	7	33	—	45	CR-30	11	—	—	—	89
						CR-31	11	4	25	4	56

Q=Cuarzo.  
Fd=Feldespato.  
C=Calcita.  
D=Dolomita.  
F=Filosilicatos.

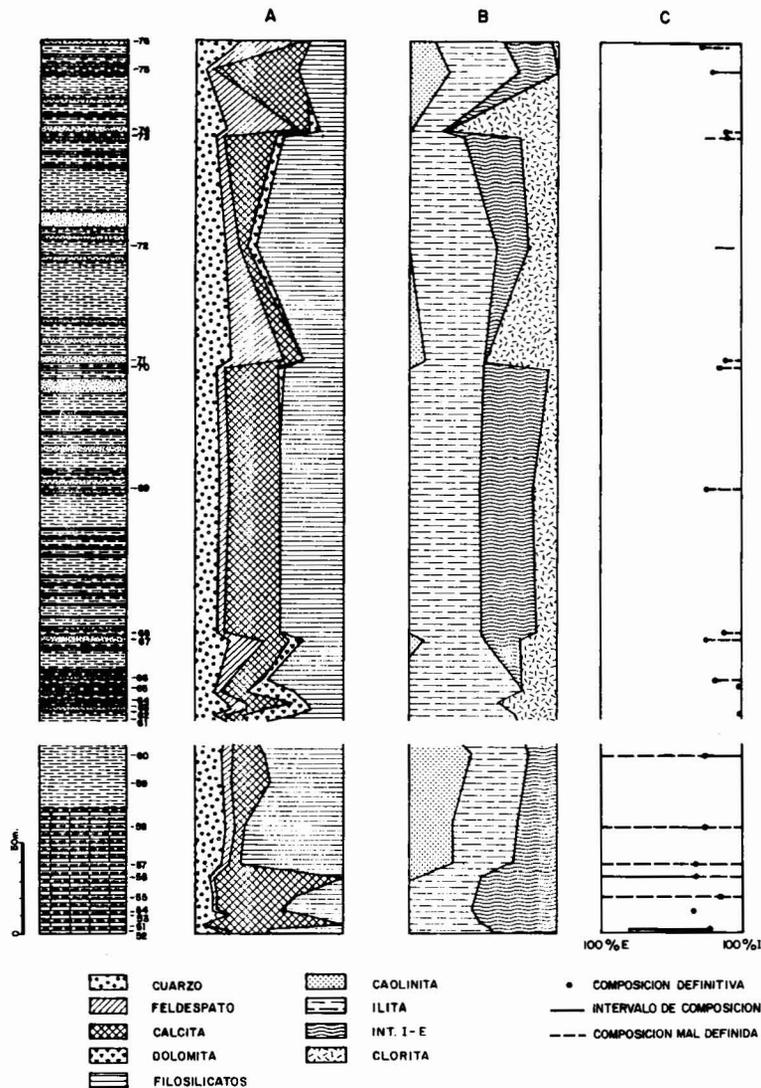


Fig. 3.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A), de la fracción menor de 2 micras (B) y de la composición de los interestratificados (C). Columna de Punta Tarifa.

estas muestras aparece reflejada en los diagramas triangulares de composición (fig. 4), donde puede observarse una nube de puntos alejada del vértice Q+Fd, con composición variable, aunque la mayoría de las muestras se agrupan en torno al 50% de los componentes restantes. Existen además unos cuantos puntos más próximos al vértice Q+Fd, que corresponden a los niveles de areniscas.

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

La fracción arcillosa de estas muestras se ha estudiado por difracción de rayos X, técnicas térmicas y microscopio electrónico de barrido.

#### Estudio por difracción de rayos X

En la tabla 2 se recoge la composición mineralógica y el análisis semicuantitativo de la fracción menor de 2 micras. En la figura 3 se ha representado la variación mineralógica vertical. Mediante esta técnica se han determinado los siguientes minerales: caolinita, ilita, clorita y diferentes tipos de minerales interestratificados, I-E, I-V, Cl-I y Cl-V-I.

La *caolinita*, ausente en el tramo más inferior de la serie, llega a alcanzar porcentajes elevados en la parte alta del Eoceno y en el tránsito Eoceno-Oligoceno (hasta 41%). Tras una zona derrubida, la caolinita desaparece bruscamente y solo está representada en pequeña proporción y de forma ocasional en la

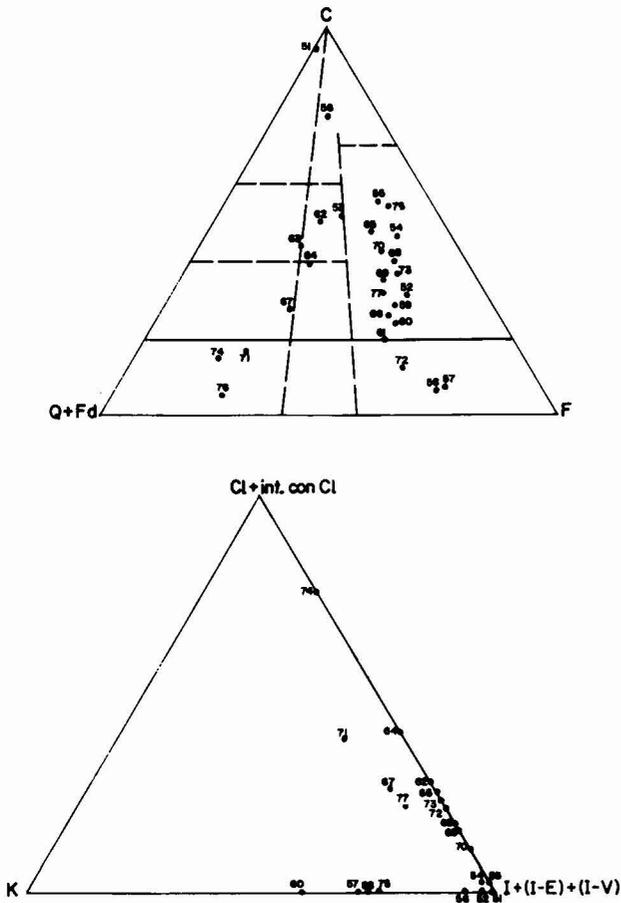


Fig. 4.—Diagramas triangulares de composición: Muestra total (superior). Fracción menor de 2 micras (inferior). Punta Tarifa.

mayor parte de la columna. Sólo en el tramo más alto aparece de nuevo en proporción notable. El índice de cristalinidad de Hinckley solo se ha podido medir en algunas muestras, oscilando entre 0,32 y 0,69. Se han clasificado estas caolinitas como:

Caolinitas desordenadas (Brindley y Robinson, 1946).  
 Caolinitas T parcialmente desordenadas (Tpd) (Galán, 1974).

Caolinitas desordenadas (Brindley y Robinson, 1946).  
 Caolinitas parcialmente ordenadas (pMpO) (Galán, 1974).

Las caolinitas de mayor cristalinidad corresponden a los niveles arcillosos intercalados en el tramo de calcarenitas.

La *ilita* aparece de forma constante y en proporción considerable en la fracción fina de todas las muestras estudiadas. Es difícil determinar con detalle las características de este mineral dada la presencia constante de interstratificados I-E, I-V o de ambos, cuyos picos engloban en gran parte al de la *ilita*. Se ha

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

Muestra	K	I	Int.	Cl-I	Cl
<b>Secuencia de Punta Tarifa</b>					
CR-51	—	47	53 (I-E)	—	—
CR-52	—	54	46 (I-E) (I-V)	Tr	—
CR-54	—	42	58 (I-E) (I-V)	Tr	—
CR-56	8	40	52 (I-E) (I-V)	Tr	—
CR-57	30	40	30 (I-E)	—	—
CR-58	29	44	27 (I-V)	—	—
CR-60	41	39	20 (I-E) (I-V)	—	—
CR-62	—	71	—	—	29
CR-64	—	59	—	—	41
CR-65	Tr	76	—	—	23
CR-67	10	40	23 (I-E) (I-V)	27	—
CR-68	Tr	47	40 (I-E) (I-V)	—	13
CR-69	—	48	38 (I-E) (I-V)	—	14
CR-70	Tr	50	45 (I-E) (I-V)	—	5
CR-71	12	39	—	46	3
CR-72	Tr	59	20 (I-E)	—	21
CR-73	Tr	38	38(I-E) (I-V)	—	24
CR-74	Tr	21	—	—	79
CR-75	27	47	26 (I-E)	—	Tr
CR-77	11	47	20 (I-E)	16	6
<b>Secuencia de Punta Carnero</b>					
CR-1	13	70	10 (I-E)	—	7
CR-2	11	78	Tr	—	15
CR-3	8	77	Tr	—	10
CR-4	15	75	Tr	—	10
CR-5	4	75	11 (I-E)	—	10
CR-6	10	63	25 (I-E)	—	2
CR-8	Tr	46	Tr	18	37
CR-9	6	81	13 (I-E)	—	—
CR-10	—	72	Tr	—	28
CR-10A	Tr	66	Tr	—	34
CR-11	—	85	7 (I-V)	8	—
CR-13	—	45	—	—	52
CR-15	—	100	—	—	—
CR-18	5	74	10 (I-E)	11	—
CR-20	—	46	Tr	—	54
CR-21	14	86	Tr	—	—
CR-22	Tr	33	30 (I-E)	—	37
CR-23	—	52	20 (I-E)	—	28
CR-24	16	59	25 (I-E)	—	—
CR-25	46	25	29 (I-E)	—	—
CR-27	14	54	32 (I-E) (I-V)	—	—
CR-28	45	30	25 (I-E)	—	—
CR-29	10	53	37 (I-E) (I-V)	—	—
CR-30	—	56	44 (I-E)	—	—
CR-31	—	100	—	—	—

K=caolinita.  
 I=ilita.  
 Int=Interstratificados.  
 I-E=ilita-Esmectita.  
 I-V=ilita-Vermiculita.

Cl-I=Clorita-ilita.  
 Cl=Clorita.

podido medir únicamente la relación de intensidades  $I_{(002)}/I_{(001)}$ , en diecinueve muestras y el tamaño de cristalito en las muestras CR-62 y CR-65 (tabla 3).

Tabla 3.—Relación de intensidades  $I_{(002)}/I_{(001)}$  y tamaño de cristalito en las ilitas.

Muestra	$I_{(002)}/I_{(001)}$	T. crist.
CR-51	0,40	—
CR-52	0,47	—
CR-56	0,32	—
CR-57	0,28	—
CR-58	0,33	—
CR-60	0,40	—
CR-62	0,42	71,6
CR-64	0,35	—
CR-65	0,48	60,7
CR-67	0,46	—
CR-68	0,35	—
CR-69	0,47	—
CR-70	0,47	—
CR-71	0,38	—
CR-72	0,68	—
CR-73	0,53	—
CR-74	0,68	—
CR-75	0,32	—
CR-76	0,39	—

Se observa que la relación de intensidades 002/001 varía entre límites bastante amplios (0,28-0,68). No obstante, son mucho más frecuentes los valores en torno a 0,4, lo que correspondería a una composición de moscovitas (Esquevin, 1969). Estas determinaciones están de acuerdo con el valor de los espaciados  $d_{(002)}$  medidos para estas ilitas, que indican también su naturaleza dioctaédrica. Por otra parte, el tamaño de cristalito, si bien solo ha podido medirse en dos de las muestras, es bajo, indicando la presencia frecuente de ilitas degradadas, conteniendo láminas de esmectita.

La *clorita* constituye un elemento constante en la fracción arcillosa de estas muestras a partir del tránsito Eoceno-Oligoceno. Sus características son las que se encuentran habitualmente en las series detríticas: pico abierto a 14 Å y ligera inestabilidad al calor. De las medidas realizadas sobre difractogramas de polvo desorientados, se han obtenido los valores de la tabla 4.

Tabla 4.—Valores de  $d_{(001)}$ , x e y de las cloritas.

Muestra	$d_{(001)}$	x	y	Denominac. (Foster)	AIPEA
CR-62	14,15	1,2	1,5	Brunsvigita mag.	Clinocloro
CR-64	14,28	0,8	1,4	Diabantita mag.	Clinocloro
CR-72	14,10	1,3	0,6	Sheridanita	Clinocloro
CR-73	14,15	1,2	0,9	Clinocloro	Clinocloro
CR-74	14,07	1,5	2,2	Ripidolita	Chamosita

Las cloritas correspondientes al tramo de transición Eoceno-Oligoceno, así como las de las muestras CR-72 y 73, son cloritas ricas en magnesio. La CR-74 corresponde a una arenisca micáceas situada directamente sobre la CR-73, tratándose en este caso de una clorita mucho más rica en hierro.

Por último, la muestra CR-22 contiene en elevada proporción «bertierina» o «chamosita» a 7 Å. La alta porosidad de esta roca en particular y, de las areniscas en general ha hecho posible la transformación de las cloritas heredadas, con el consiguiente enriquecimiento en Fe de las mismas e incluso, en algunos niveles (CR-22), el desarrollo de bertierina.

Los *minerales interestratificados* se desarrollan a lo largo de toda la serie con características variables: Durante el Eoceno dominan los interestratificados (casi siempre irregulares) I-E e I-V, presentes ambos prácticamente en todas las muestras. En general, el grado de hinchamiento es bajo tras el tratamiento con E.G., ya que en su mayoría son minerales ricos en láminas de ilita, aunque su composición puede ser muy variable incluso dentro de una misma muestra (fig. 3). En la figura citada se ha representado la composición de los interestratificados I-E a lo largo de la columna y, se observa que las variaciones mayores en la composición de estos minerales se dan en la parte inferior de la serie, en tanto que en el Oligoceno estos minerales muestran una composición bastante uniforme.

Los interestratificados conteniendo clorita aparecen fundamentalmente en la parte superior de la serie y suelen ser ricos en láminas de clorita.

En el diagrama triangular de composición (fig. 4) se observa que las muestras se reparten en dos grupos principales: un conjunto de muestras se sitúan en la línea K-I (muestras correspondientes a la base de la serie) y otro grupo en la línea Cl-I o próximas a la misma (muestras correspondientes al resto de la serie). Hay, no obstante algunas excepciones; por ejemplo, la muestra CR-75, de la parte superior de la serie, presenta una composición similar a las muestras del Eoceno. En términos litológicos podríamos decir que las calcarenitas y arcillas asociadas a las mismas presentan una composición bastante uniforme y, diferente a su vez de las areniscas y niveles intercalados en éstas.

#### Estudio por ATD y TG

Se han realizado diagramas de ATD y TG a gran número de muestras de esta serie. La composición mineralógica deducida a partir de los diagramas de rayos X no aparece bien reflejada mediante estas técnicas.

Todas las curvas recogidas en la fig. 5 muestran un primer endotérmico de pérdida de H<sub>2</sub>O alrededor de

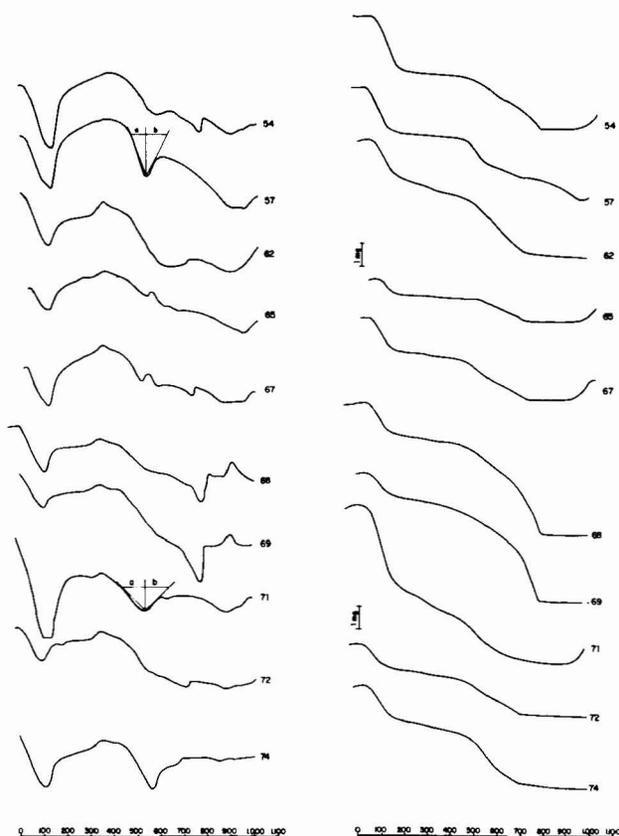


Fig. 5.—Diagramas de ATD (izquierda) y TG (derecha), realizados a la fracción menor de 2 micras. Punta Tarifa.

los 100°C, correspondiente, en la mayor parte de las curvas a la illita más los interestratificados I-E o I-V. En la curva 71, no obstante, la mineralogía deducida de DRX no justifica la pérdida de agua a baja temperatura; esta muestra presenta mediante ATD características similares a las areniscas de El Aljibe (Rodríguez Jiménez y Ruiz Cruz, 1988) y el endotérmico es debido a la presencia de geles de aluminio (Mackenzie, 1957; Mackenzie *et al.*, 1962)\*.

El segundo endotérmico refleja con más exactitud la composición mineralógica de las muestras, apareciendo alrededor de 560°C si las muestras son ricas en interestratificados con esmectita y a menor temperatura (520-530°C) en las muestras ricas en caolinita. Por último, en ciertas curvas aparece alrededor de 600°C y es debido a la presencia de clorita. No obstante, algunas curvas (74, por ejemplo), que corresponden a muestras con altos contenidos en clorita férrica (a veces, más del 80%), no son fácilmente interpretables, si bien son bastante frecuentes y típicas

\* Mediante DRX (tratamiento a 550°C) y ATD (tratamientos específicos) queda descartada la presencia en esta muestra de halloysita o alofana.

de las cloritas de estas unidades (Rodríguez Jiménez, 1987).

### Estudio al microscopio electrónico de barrido

De las series de Punta Tarifa y Punta Carnero se han seleccionado algunas de las muestras más representativas para su estudio al MEB. A continuación se resumen los resultados obtenidos.

#### Lutitas arcillosas

Se han estudiado muestras de arcillas correspondientes al tramo lutítico situado entre las calcarenitas de base y al arenoso-micáceo, así como de las arcillas intercaladas en los demás tramos, los resultados son muy similares. Todas las muestras estudiadas contienen carbonatos en mayor o menor proporción y la asociación de minerales arcillosos illita-clorita, illita+I-E y caolinita+illita+I-E.

Los carbonatos aparecen fundamentalmente como concreciones constituidas por la acumulación de romboedros de calcita. En otros casos son de tipo tubular, presentando morfologías típicas de aragonito aunque actualmente aparecen transformados en calcita (lámina 1.1).

La illita presenta el mismo aspecto en todas las muestras estudiadas. Fundamentalmente son illitas detríticas, laminares, con los bordes ligeramente apuntados. El análisis químico semicuantitativo realizado a estas illitas muestra una pequeña proporción de Mg y de Fe. Los cálculos realizados a partir de estos análisis permiten deducir la siguiente fórmula estructural:



La clorita aparece, como ya se ha señalado, en proporción considerable en la fracción menor de 2 micras de algunas de las muestras estudiadas, pero no es fácil su estudio al MEB por su naturaleza laminar y su aspecto masivo. Se trata probablemente de cloritas heredadas de pequeño tamaño y escasa cristalinidad.

La caolinita, presente sólo en algunas de las muestras estudiadas, tampoco aparece bien desarrollada, lo que dificulta su observación.

Por último, los interestratificados I-E están presentes prácticamente en todas las muestras arcillosas y aparecen como láminas dispuestas en panal, mal conservadas, con bordes rizados.

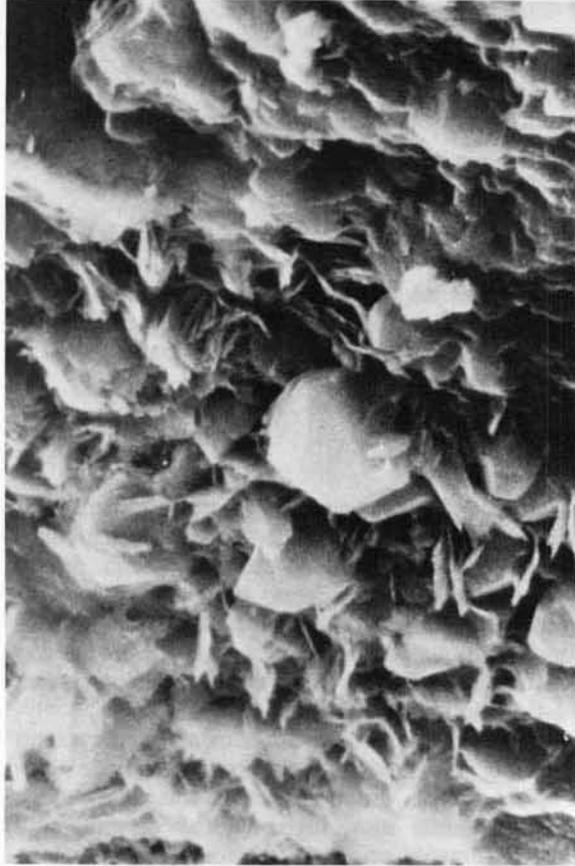
#### Areniscas micáceas

En estas rocas, ricas en cuarzo y feldespato, la fracción fina está constituida fundamentalmente por illita y clorita.

El cuarzo constituye en su mayor parte granos



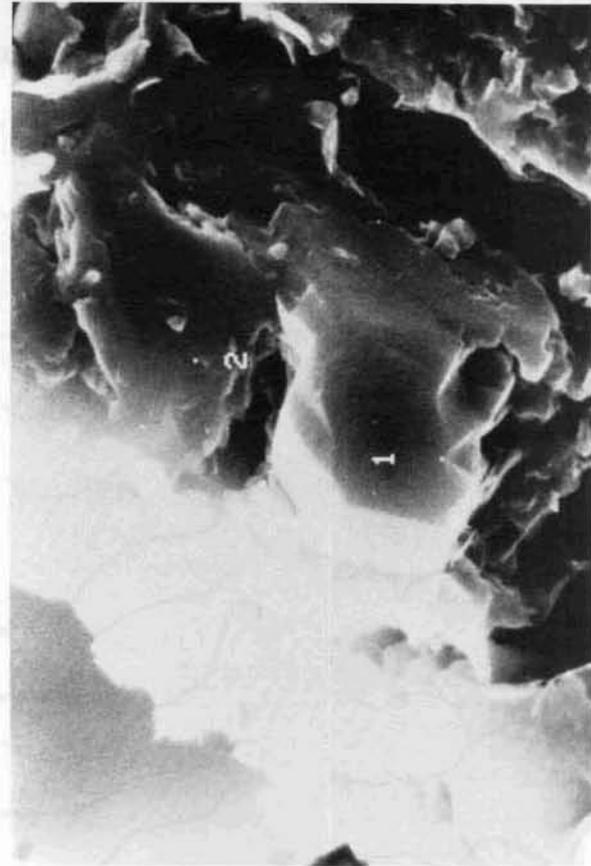
1



2



3



4

detríticos, pero, mediante esta técnica es posible observar crecimientos de sílice sintaxial desarrollándose a partir de granos detríticos y asociada a otros minerales autigénicos (lámina 1.2). Los feldespatos incluyen, como ya se ha señalado, plagioclasa sódica y feldespato potásico. Los cristales de plagioclasa muestran señales de disolución a lo largo de las líneas de exfoliación, desarrollándose ilitas a partir de estas zonas alteradas. Los feldespatos potásicos aparecen limpios en el centro de los cristales y bastante alterados en los bordes. En la lámina 1.3 se ha recogido uno de estos feldespatos que aparece parcialmente transformado en clorita. Sobre este cristal se han efectuado dos análisis, en la zona central, aparentemente no alterada y en el borde del mismo donde se observa un «coating» arcilloso. Los análisis son los siguientes:

	1 (centro)	2 (borde) (% en peso)
Al .....	12,57	12,28
Si .....	27	21,30
K .....	10,80	0,30
Fe .....	4,25	13,15
Mg .....	—	7,78
Ca .....	—	1,10
O .....	45,37	44,46

El análisis 1 muestra ya una alteración del feldespato que se pone de manifiesto sobre todo en el déficit de potasio. Comparando ambos análisis se observa que el potasio desaparece prácticamente en el borde del cristal, enriqueciéndose notablemente en hierro y magnesio. Asimismo, decrece la relación Si/Al. En otros casos, la alteración del feldespato es a caolinita (lámina 1.4).

Las micas detríticas aparecen igualmente alteradas en gran medida a clorita (lámina 2.5). La mica aquí recogida se ha analizado también en el borde y centro del cristal. Los análisis son los siguientes:

	1 (centro)	2 (borde) (% en peso)
Al .....	12,33	12,17
Si .....	22,82	21,49
Mg .....	7,80	7,53
Ca .....	0,43	0,31
Fe .....	9,16	9,96
Ti .....	0,97	2,36
K .....	0,68	1,15
O .....	45,71	45,05

El análisis corresponde a una biotita que ha perdido bastante potasio. El análisis del borde muestra con

respecto al centro pocas variaciones, siendo las más significativas la pérdida de K y de Ti.

Las cloritas desarrolladas como producto de alteración de los detríticos presentan una composición intermedia y, variable tal como se puso de manifiesto en DRX.

### Ortocuarcitas

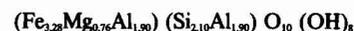
Este tipo de areniscas con características bastantes similares a las de la unidad del Aljibe, presentan una composición mineralógica diferente de las anteriores, como ya se ha señalado.

El cuarzo es el componente detrítico fundamental, presentando los granos superficies rugosas y escamosas, típicas del transporte eólico (lámina 2.6). También existe, aunque en pequeña proporción, cemento silíceo.

Las cloritas aparecen formando un «coating» sobre los cuarzos detríticos (lámina 2.7). Estas cloritas autigénicas se han analizado, obteniéndose los siguientes valores:

Al - 10,18
Si - 25,11
Fe - 17,74
Mg- 1,82
O - 44,70

Si se elimina el exceso de sílice debido a impurezas de cuarzo, se puede deducir la siguiente fórmula:

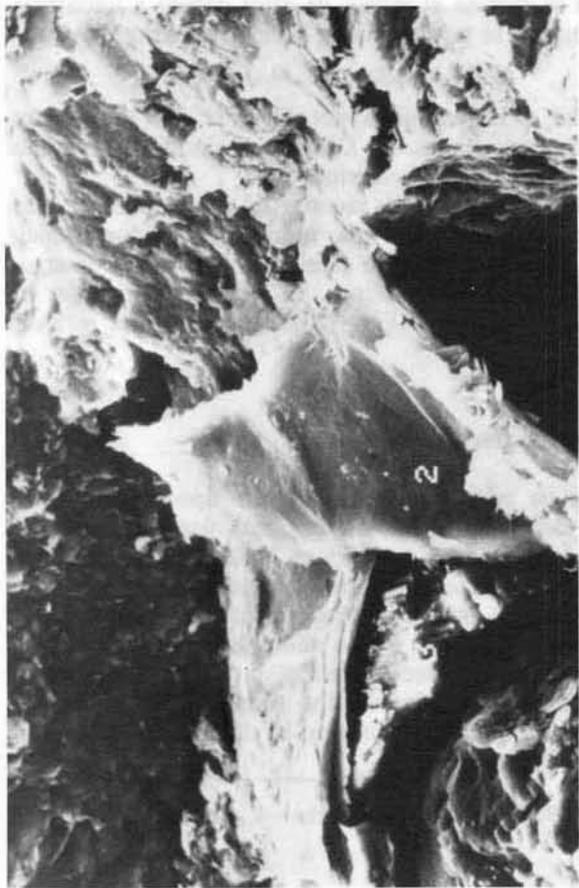


similar a las recogidas por Deer *et al.* (1976) para ciertas septecloritas. En DRX estas cloritas han podido clasificarse como «bertierinas».

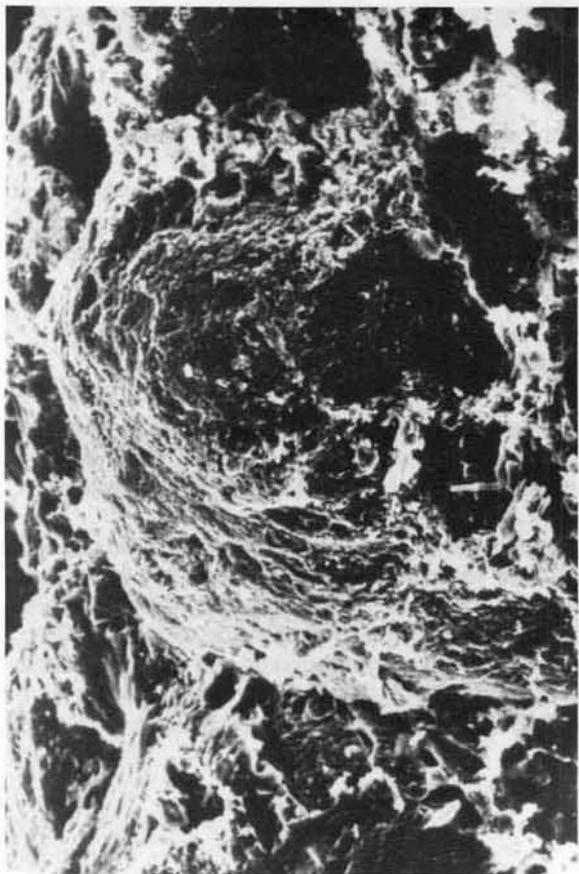
Por último, en la lámina 2.8 pueden observarse caolinitas autigénicas de morfología pseudoexagonal, con estructura «face to face», similares a las desarrolladas como «pore filling», en elevada proporción en las areniscas del Aljibe (Rodríguez Jiménez y Ruiz Cruz, 1988).

### Mineralogénesis

Se ha podido constatar en este tipo de series que las variaciones mineralógicas más notables están en relación con las variaciones litológicas. Así, en los niveles de lutitas arcillosas, los feldespatos y la clorita aparecen en muy baja proporción a la vez que se da un buen desarrollo de los minerales interestratificados, indicando una meteorización profunda en el área fuente. En cambio, en los niveles de areniscas se desarrolla fundamentalmente la clorita y la ilita dioc-



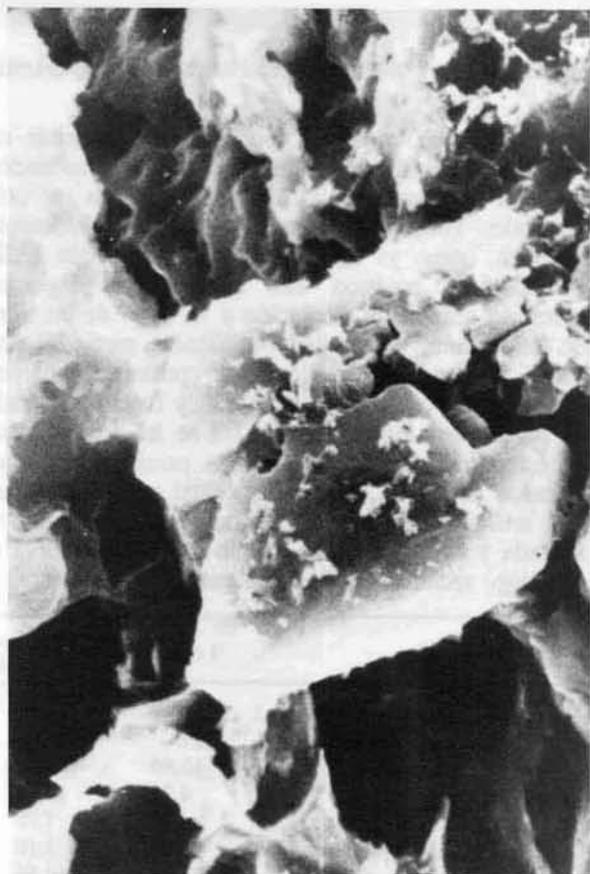
5



6



7



8

taédrica, indicando una erosión mucho más rápida. Las variaciones mineralógicas observadas vienen también influidas por otros factores, fundamentalmente condiciones de depósito y diagénesis. El origen de los minerales de la arcilla parece ser, no obstante, común en todas las secuencias tipo Punta Tarifa.

Así, tanto las ilitas como los minerales interestratificados I-E e I-V, que se han desarrollado a partir de la degradación de micas detríticas, son, en su mayoría minerales heredados. Así mismo, se consideran como heredados los interestratificados CI-I y la mayor parte de las cloritas, que se habrían desarrollado en el área fuente por alteración de micas y feldespatos.

No obstante, como ya se ha señalado, han podido ponerse de manifiesto ciertos procesos diagenéticos. El desarrollo de cloritas ricas en Fe en los niveles de areniscas se interpreta como una transformación sufrida por la clorita, durante la diagénesis. Igualmente, la «bertierina» se considera como un mineral neoforado durante los procesos diagenéticos, probablemente gracias a reacciones que dan lugar al desarrollo de este mineral a partir de caolinita y minerales de Fe, tal como describen Curtis *et al.* (1985).

### Discusión y conclusiones. Unidad de Algeciras

A partir de los datos recogidos en los trabajos de Ruiz Cruz *et al.* (1987), Rodríguez Jiménez (1987) y de la presente publicación, se pueden comparar las series tipo Punta Tarifa y las series tipo El Rinconcillo. Estos resultados se han esquematizado en el cuadro adjunto.

Un análisis de este cuadro permite sacar las siguientes conclusiones:

1.<sup>a</sup>) La fracción detrítica gruesa es de naturaleza similar en los tramos litológicamente equivalentes en todas las secuencias estudiadas. Asimismo, el porcentaje medio de detríticos se mantiene bastante uniforme si exceptuamos el tramo del flysch arenoso-micáceo.

2.<sup>a</sup>) La fracción detrítica fina, por el contrario, muestra diferencias apreciables en ambos tipos de series:

- El porcentaje de hinchables (especialmente esmectitas) es elevado en la serie tipo El Rinconcillo. Estos hinchables aparecen sustituidos en la serie tipo Punta Tarifa por interestratificados, en menor proporción y de composición próxima a las ilitas.
- El porcentaje de caolinita, similar para ambos tipos de series en el flysch calcáreo, se hace mucho mayor, a partir de este tramo, en la serie tipo El Rinconcillo.
- La clorita aparece, por el contrario, mejor representada en la serie tipo Punta Tarifa.

	EL RINCONCILLO	PUNTA TARIFA
<b>Muestras totales</b>		
<i>Flysch calcáreo</i>		
1. Calcarenitas	● Composición similar en toda la unidad.	
2. Arcillas y margas	● % carbonatos=16 ● % de dolomita similar en ambas=1-3%	● % carbonatos=24
<i>Flysch arcilloso</i>		
1. Areniscas	● Composición similar en toda la unidad. ● % medio de carbonatos=17%C y 19%D	
2. Arcillas y margas	● % carbonatos=14 ● % de dolomita similar en ambas=11-15%	● % carbonatos=28
<i>Flysch micáceo</i>		
1. Areniscas	● % de Q+Fd=16 ● % carbonatos=34 ● % dolomita=19	● % de Q+Fd=65 ● % carbonatos=16 ● % dolomita=3
2. Arcillas y margas	● Composición similar en toda la unidad ● % de dolomita similar en ambas=1-5%	
<b>Fracción menor de 2 micras</b>		
<i>Flysch calcáreo</i>		
	● Esmectitas=48% ● Paligorskita	(I-V), (I-E)=variable
<i>Flysch arcilloso</i>		
	● Esmectitas=19% ● Caolinita=24% ● Clorita=2%	Interestr.=7% Caolinita=8% Clorita=19%
<i>Flysch micáceo</i>		
	● Caolinita=36% ● Clorita=4%	Caolinita=7% Clorita=16%

3.<sup>a</sup>) La semejanza en composición y contenido de minerales en la fracción detrítica gruesa hace pensar en un área fuente de naturaleza similar para ambos tipos de series. Las diferencias de composición observadas en el tramo superior deben atribuirse a una falta de equivalencia entre los tramos muestreados en ambos tipos de series.

4.<sup>a</sup>) Las diferencias de composición en la fracción fina indica que la meteorización ha sido mucho más avanzada en los materiales originales de la serie tipo El Rinconcillo que ha conducido a un gran desarrollo de esmectitas, en tanto que una erosión más rápida preservaría ilitas y cloritas en la serie tipo Punta Tarifa.

5.<sup>a</sup>) Los minerales autigénicos son en gran medida similares en ambos tipos de series: Carbonatos (que evolucionan de calcita a calcita+dolomita) y cuarzo, en baja proporción como cemento sintaxial.

6.<sup>a</sup>) Los minerales autigénicos arcillosos son, en cambio, diferentes en ambas series:

- En la serie tipo El Rinconcillo se han desarrollado gran cantidad de esmectitas y paligorskita, si bien

este último mineral aparece muy localizado en el espacio y en el tiempo.

— En la serie tipo Punta Tarifa, las transformaciones más importantes han conducido a la formación de cloritas férricas, en gran medida a partir de cloritas heredadas, más magnesianas.

7.<sup>a</sup>) Todo esto indica que el medio químico durante el depósito y la diagénesis, si bien en líneas generales es similar para ambos tipos de series, parece haber sido diferente, al menos en ciertas etapas. Así, el desarrollo de paligorskita indica un notable enriquecimiento en Mg en la secuencia de El Rinconcillo. En cambio, el desarrollo de cloritas ricas en Fe y bertierinas, en la serie tipo Punta Tarifa, indica un enriquecimiento en Fe durante la etapa diagenética.

## Referencias

- A.I.P.E.A. (1980): Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee. *Clays and Clay Minerals*, 28, 73-78.
- Brindley, G. W. y Robinson, K. (1946): The structure of kaolinite. *Mineral. Mag.*, 27, 242-253.
- Curtis, C. D.; 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.*, 49-3, 375-386.
- Deer, W. A.; Howie, R. A. y Zussman, J. (1976): *Rock-Forming Minerals. Vol. 3. Sheet Silicates*. Longman, London, 270 pp.
- Didon, J. (1960): Les Flysch gaditan au Nord et au Nord-Est d'Algeciras (prov. de Cádiz, Espagne). *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 7, 352-361.
- Didon, J. (1973): Accidents transverses et coulissages longitudinaux dextres dans la partie N de l'arc de Gibraltar (Cordilleres betiques occidentales. Espagne). *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 15, 121-127.
- Didon, J.; Durand-Delga, M. et Kornprobst, J. (1973): Homologies géologiques entre les deux rives du Déroit de Gibraltar. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 15: 77-105.
- Esquevin, J. (1969): Influence de la composition chimique des illitas sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau. S.N.P.A.*, 3, 147-154.
- Foster, M. D. (1962): Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. *Geol. Surv. Prof. Paper.*, 414-A, 33 pp.
- Galán, E. (1974): *Caolines españoles, geología, mineralogía y génesis*. Soc. Esp. Cerám. Vidrio, Madrid, 159 pp.
- Mackenzie, R. C. (1957): Oxides and Hydroxides of Higher-Valency Elements. In: *The Differential Thermal analysis*. Vol. 1 (R. C. Mackenzie, ed.) Academic Press. London, 285 pp.
- Mackenzie, R. C.; Meldau, R. y Gard, I. A. (1962): Oxides and Hydroxides of Higher-Valency Elements. In: *The Differential Thermal Analysis*. Vol. 1. (C. R. Mackenzie, ed.) Academic Press. London, 285 pp.
- Pendon, J. G. (1978): Sedimentación turbidítica en las Unidades del Campo de Gibraltar. Tesis Fac. Cienc. Univ. Granada, 261 pp.
- Pettijoh, F. J. (1957): Sedimentary rocks. Ed. Harper, New York, 718 pp.
- Rodríguez Jiménez, P. (1987): *Mineralogía y génesis de las arcillas del Campo de Gibraltar*. Tesis Doctoral. Univ. Málaga, 374 pp.
- Rodríguez Jiménez, P. y Ruiz Cruz, M. D. (1988): Mineralogía y génesis de las arcillas de las unidades del Campo de Gibraltar. I. Areniscas del Aljibe. *Estudios Geol.* (en prensa).
- Ruiz Cruz, M. D.; Rodríguez, P. y Carrasco, F. (1987): Mineralogía y génesis de la fracción fina de la serie de El Rinconcillo (Formaciones flysch del Campo de Gibraltar, SW de España). *Estudios Geol.*, 43, 11-23.
- Vatan, J. M. (1967): *Manual de sedimentologie*. Ed. Technip. Paris, 397 pp.

Recibido el 22 de diciembre de 1987  
Aceptado el 11 de octubre de 1988