

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

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

### RESUMEN

Se recogen en este trabajo los resultados obtenidos a partir del estudio mineralógico de la Unidad de Facinas, que presenta dos tramos, uno inferior Albo-Aptense y otro superior Cretácico Superior-Paleoceno. Las secuencias estudiadas muestran una gran similitud litológica y, si bien en las muestras totales se observan ciertas diferencias mineralógicas, la fracción menor de 2 micras es muy homogénea.

Caracterizan a esta Unidad la abundancia de cloritas de diferente composición y génesis: cloritas autigénicas, predominantemente ferrosas y cloritas heredadas, magnesianas. Por otra parte, este estudio mineralógico permite indicar un origen y/o evolución común para los dos tramos de la Unidad de Facinas.

**Palabras clave:** *Cloritas, minerales autigénicos. Unidad de Facinas, Campo de Gibraltar.*

### ABSTRACT

The Facinas Unit consists of a clayed flysch facies with quartzite and sandstone centimeter layers. According to paleontological data, two beds are distinguished, one lower of Albian-Aptian age, and another, higher, Upper Cretaceous-Paleocene in age. The mineralogy of the Facinas Unit is very monotonous through all the sequences studied, especially for the concerning to less than 2 $\mu$  fraction.

This unit is characterized by an abundance of chlorites of different composition and genesis: Authigenic chlorites are mainly Fe-rich members, whereas chlorites of inherited origin are magnesian. On the other hand, this mineralogical study reveals a common origin and/or evolution for the two beds of the Facinas Unit.

**Key words:** *Chlorite, authigenic minerals, Facinas Unit, Gibraltar.*

### Introducción

La Unidad de Facinas (Didon, 1969) representa en España el homólogo del flysch de Melloussa (Marruecos). Una descripción detallada de las características geológicas de estas unidades puede encontrarse en Esteras (1984), Rodríguez Jiménez (1987), etc. Pueden diferenciarse dos tramos: uno inferior, de edad Albo-Aptense, constituido por una alternancia de areniscas pardas en niveles delgados con arcillas rojas y verdes. Presentan niveles ferromanganesíferos. El tramo superior, de edad Cretácico superior-Paleoceno está constituido por arcillas grises con niveles ferromanganesíferos, discos, «boussets» y escasos bancos calcareníticos con piritita.

Las estructuras sedimentarias, el contenido relativo

de material pelítico clástico y la granulometría de este último, indican un carácter distal, mientras que la presencia de lechos de composición silícea sugiere unas condiciones de cierta profundidad en la cuenca sedimentaria.

### Localización de las columnas y material estudiado

Se han muestreado dos columnas denominadas la Alcachota y Puerto del Rayo respectivamente (fig. 1).

#### A) Columna de la Alcachota

El cerro de la Alcachota es una pequeña elevación existente unos 3 km. al NE de Facinas, en la parte superior de la hoja

\* Departamento de Química Inorgánica, Cristalografía y Mineralogía. Fac. de Ciencias. Univ. de Málaga. 29071 Málaga.

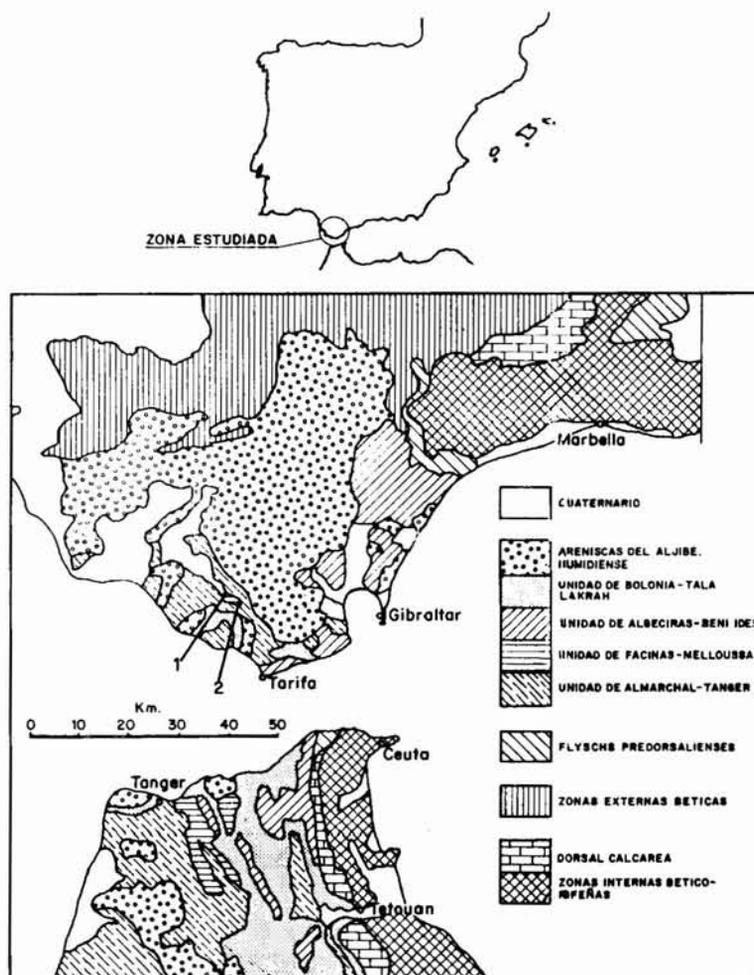


Fig. 1.—Mapa de situación general, esquema geológico simplificado de las orillas del Estrecho de Gibraltar (Didon, Durand-Delga y Kornprobst, 1973) y posición de las columnas estudiadas. 1. La Alcachota. 2. Puerto del Rayo.

topográfica nº 1.077, en la margen derecha del río Almodovar. La serie pertenece al flysch Albo-aptense de la unidad de Facinas, está situada en posición normal en el flanco norte de un sinclinal y con buzamientos hacia el sur. En algunos sectores la serie se verticaliza.

Se han levantado 120 m. de serie, y además se han tomado dos muestras inferiores separadas por unos 20 m. de tramos cubiertos por derrubios. Se trata de arcillas verdes de fractura astillosa, con niveles rojizos. Presentan algunas intercalaciones de areniscas verdosas, bien estratificadas en bancos delgados, de hasta 0,5 metros de espesor y abundantes niveles ferromanganesíferos de color pardo, de unos 5 cm. de espesor. Localmente se ha encontrado un nivel calcáreo con estructura de «cone in cone».

### Descripción de las muestras

Las muestras estudiadas, se han señalado en la fig. 2.

CR-551: Arcillas pizarrosas verdes con niveles de areniscas intercalados. Con frecuencia en superficie presentan brillo semimetálico debido a la presencia de óxidos de hierro.

- CR-552: Nivel de 60 cm. de arenisca de grano fino de color verdoso.
- CR-553: Arcillas pizarrosas verdes en las que se observan concentraciones locales de óxidos metálicos.
- CR-554: Nivel ferromanganesífero de colores pardo-negros. A la lupa se distinguen concentraciones de oligisto micáceo y concreciones superficiales de calcita.
- CR-555: Arcillas verde-rojizas muy deleznable, con características similares a las descritas en niveles inferiores.
- CR-556: Arcillas verdes de fractura astillosa con intercalaciones muy delgadas de areniscas a las que pertenece la muestra siguiente.
- CR-557: Arenisca tableada de grano fino en niveles de 15 cm. de potencia.
- CR-558: Arcillas verdes de fractura astillosa. Son frecuentes las concentraciones de óxidos de hierro y/o manganeso, en relación con los cuales aparece desarrollada la clorita.
- CR-559: Nivel de 15 cm. de arcilla roja intercalada en las arcillas verdes. Existen delgados niveles ferromanganesíferos.
- CR-560: Tramo de arcillas verdes de características similares a las descritas anteriormente. En este tramo aparecen nivelillos calcáreos con estructuras de «cone in cone».

- CR-561: Arcillas gris-verdosas muy deleznales con intercalaciones frecuentes de niveles ferromanganesíferos.  
 CR-562: Arcillas verdes con fractura arcillosa y textura muy homogénea.  
 CR-563: Arcillas verdes similares a las anteriores, con concentraciones locales de óxidos de hierro y manganeso.  
 CR-564: Arcillas verdes similares a las muestras anteriores.  
 CR-565: Nivel de 60 cm. de areniscas verdosas de grano fino. La concentración local de menas metálicas les da tonalidades marrón-rojizas.

### B) Columna de Puerto del Rayo.

El Puerto del Rayo está situado en la carretera del Santuario de la Luz, que se inicia en el km. 80 de la carretera nacional número 340 y termina en las inmediaciones de Facinas (hoja topográfica número 1.077). Se localiza en la ladera oriental de la Sierra de Salaviciosa (areniscas del Aljibe) aprovechando dos barrancos de la margen izquierda del río de la Jara, en las inmediaciones de las ruinas de la Torre del Rayo. Se encuentran materiales de los dos tramos de la Unidad de Facinas, aunque no se hayan en continuidad. Se han levantado dos series parciales, ubicadas en barrancos adyacentes.

Los materiales de la primera serie, situados a cotas más bajas, pertenecen al Albo-aptense característico de esta Unidad, constituido por una alternancia de areniscas pardas en niveles delgados con arcillas rojas y verdes. Existen algunos niveles ferromanganesíferos e indicios de discos ferruginosos. La serie está invertida y presenta una potencia de 50 m. En la parte inferior de la serie existe un paquete de calcarenitas pardas con nódulos de pirita en su base, de 0,50 m. de espesor, separada de la serie anterior por contacto mecánico; junto a estas calcarenitas se encuentran arcillas grises similares a la del tramo siguiente.

En la segunda serie, situada al sur de la anterior se encuentran arcillas grises, muy tectonizadas, con niveles ferromanganesíferos delgados, discos, «bouses» y bancos de calcarenitas marrones con pirita en su base. Se trata del tramo superior de la Unidad de Facinas o bien «arcillas con bloques» de otros autores. No se observan criterios de polaridad y está muy replegada, por lo que no se conoce su potencia; por ello se ha dibujado la columna litológica sin escala, a modo esquemático, colocando las muestras aproximadamente según se ha realizado el muestreo subiendo el barranco. La edad de estos materiales es Cretácico superior-Paleoceno. Solo en la parte alta de la columna existen unas margocalizas amarillentas de litología muy diferente al resto de las muestras, de edad Eoceno que puede constituir un «bloque exótico», así como también lo puede ser la primera muestra del corte, (Esteras, com. pers.).

### Descripción de las muestras

Las muestras tomadas en estas series, representadas en las figuras 3 y 4 presentan las siguientes características:

- CR-451: Areniscas verdosas en bancos delgados (del orden de 10 cm.), intercaladas en arcillas rojas y verdes. A la lupa son visibles concentraciones superficiales de menas metálicas y de calcita, así como pequeñas laminillas de mica blanca.  
 CR-452: Nivel de arcillas gris-verdosas con fractura astillosa, muy deleznales. Presentan concentraciones locales de óxidos de hierro.  
 CR-453: Nivel de unos 50 cm de potencia de arcillas rojas, compactas, alternando con arcillas verdes. A la lupa se observan abundantes laminillas de mica blanca de pequeño tamaño y menas metálicas, formando pequeñas concentraciones y diseminadas en la roca.  
 CR-454: Disco ferruginoso incluido en las arcillas verdes.

- CR-455: Arcillas verdosas en niveles de 20-30 cm., similares a CR-452.  
 CR-456: Arcillas verdosas con brillo satinado y características similares a las anteriores.  
 CR-457: Nivel de areniscas calcáreas de unos 15 cm. de potencia, de grano fino, con concentraciones locales de menas metálicas.  
 CR-458: Nivel de areniscas calcáreas de 15-20 cm. de potencia similares a las anteriores.  
 CR-459: Nivel de 1 m. de potencia de arcillas verdosas tableadas, similares a las arcillas verdes descritas antes.  
 CR-460: Idem.  
 CR-461: Nivel ferromanganesífero con alteraciones superficiales a limonita y recristalizaciones de calcita.  
 CR-462: Calcarenitas pardas en bancos de unos 50 cm. de potencia. Son frecuentes nódulos de pirita, tubotomaculum y «bouses». Superficialmente las muestras presentan concreciones de carbonatos secundarios.  
 CR-463: Arcillas grises con eflorescencias blancas.  
 CR-464: Arcillas gris-pardas, con eflorescencias blancas. Presentan pequeñas fracturas rellenas de calcita y concentraciones locales de menas metálicas.  
 CR-465: Arcillas grises con eflorescencias blancas, muy replegadas.  
 CR-466: Calcarenita gris con gran cantidad de carbonatos secundarios rellenando fracturas.  
 CR-467: Disco ferruginoso incluido en arcillas. En superficie muestra tonos rojizos. Son abundantes las venillas rellenas de calcita.  
 CR-468: Arcillas grises con eflorescencias blancas, similares a las anteriores.  
 CR-469: Arcillas rojas y verdes que aparecen de forma muy localizada entre las arcillas grises.  
 CR-470: Nivel ferromanganesífero muy tectonizado, intercalado en las arcillas grises.  
 CR-471: Arcillas grises de litología similar a las descritas antes.  
 CR-472: Arcillas gris oscuro con eflorescencias, mucho más deleznales que las anteriores.  
 CR-473: Muestra de «bouses».  
 CR-474: Arcillas grises con eflorescencias blancas.  
 CR-475: Idem.  
 CR-476: Margocalizas de colores claros y textura muy homogénea. La litología es claramente diferente de las muestras descritas antes.  
 CR-478B: Nivel calcáreo de estructuras fibrosa de 1 cm. de potencia.

### Características mineralógicas

#### Composición mineralógica de las muestras totales

Se ha determinado mediante el estudio al microscopio petrográfico (M.P.), difracción de rayos X (D.R.X.) y estudio al microscopio electrónico de barrido (M.E.B.).

#### Estudio al microscopio petrográfico

Se han estudiado al microscopio petrográfico los niveles de areniscas que aparecen intercalados en las series arcillosas, así como las calcarenitas intercaladas en el tramo superior de la serie del Puerto del Rayo.

#### Areniscas

Se trata de rocas de grano fino constituidas fundamentalmente por cuarzo con diferentes grados de redondeamiento en granos monocristalinos. La plagioclasea sódica aparece en granos de pequeño tamaño, maclada según la ley de la albita y ligeramente

alterada a sericita. Las micas, moscovita y biotita verde y la clorita, aparecen en muy baja proporción. Otros minerales accesorios son: menas metálicas, zircón, turmalina, rutilo y fragmentos de rocas metamórficas ricas en clorita. La proporción de cemento calcáreo (y a veces silíceo) y matriz arcillosa es muy variable, lo que permite clasificar estas rocas en varios grupos:

- Areniscas (Vatan, 1967).
- Grauvaca feldespática (Pettijohn, 1957).
- Areniscas calcáreas (Vatan, 1967).
- Arcosas (Pettijohn, 1957).
- Areniscas lutíticas (Vatan, 1967).
- Grauvaca feldespática (Pettijohn, 1957).

#### Calcarenitas

Las calcarenitas presentan un tamaño de grano fino siendo escasos los fragmentos de fósiles, y cemento espático. Los romboe-

dro de carbonato (ankerita) aparecen rodeados y a veces sustituidos por óxidos de hierro. En general, parece haberse dado una reacción entre el cemento y los detriticos, por lo que éstos se ven mal definidos, tanto en el caso de fragmentos calcáreos, como en el de otros detriticos menos abundantes, como el cuarzo, que aparece también con los bordes corroídos. Estas rocas, dentro de las que puede incluirse la muestra CR-462, representada en el corte inferior, pueden clasificarse como:

- Calcarenitas (Malesani y Manetti, 1970).

#### Estudio por difracción de rayos X

La figura 2 presenta la variación de la mineralogía a lo largo de la columna estratigráfica de la Alcachota.

Se trata, de forma general, de una secuencia con litología muy homogénea: predominio de tramos arcillosos y escasas intercalaciones de niveles de areniscas. Esta uniformidad litológica se pone de manifiesto asimismo en la mineralogía.

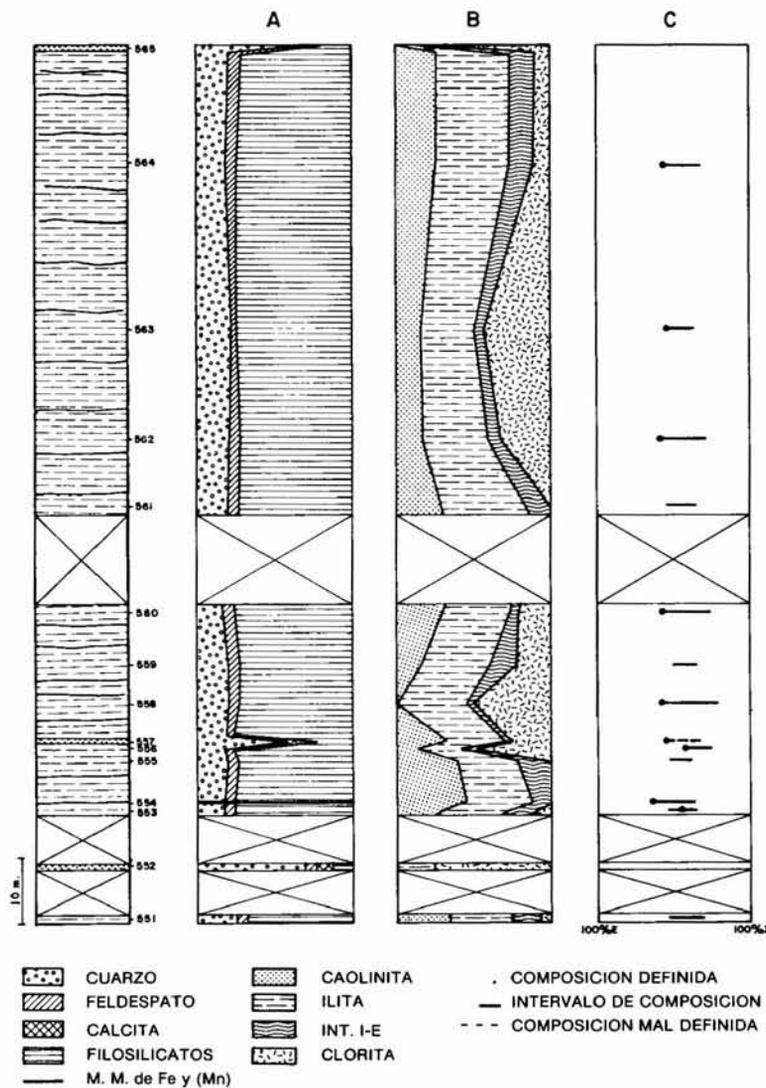


Fig. 2.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A), de la fracción menor  $2 \mu$  (B) y de la composición de los interstratificados I—E (C). Secuencia de la Alcachota.

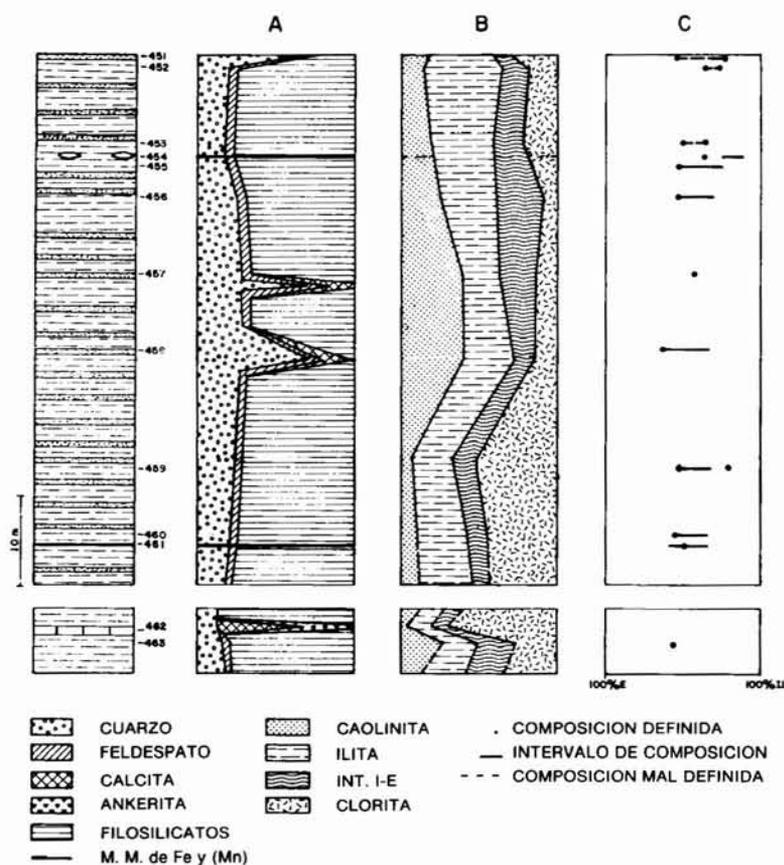


Fig. 3.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A), de la fracción menor  $2 \mu$  (B) y de la composición de los interestratificados I-E (C). Tramo inferior de la secuencia de Puerto del Rayo.

En la figura citada (así como en la figura 5) se observa que las únicas variedades importantes en la composición corresponden a los niveles de areniscas. Estos niveles, por el contrario no son homogéneos, tal como ya se ha puesto de manifiesto en el estudio petrográfico de las muestras. No obstante, las diferencias más notables entre ellos se refieren fundamentalmente al porcentaje de carbonatos (0%-20%). En los niveles arcillosos, la composición se mantiene sensiblemente constante a lo largo de la columna: cuarzo (17-21%), plagioclasa (4-7%) y filosilicatos (73-78%), no apareciendo carbonatos. Hay que señalar la presencia constante en las muestras arcillosas de menas metálicas de hierro y manganeso. Se trata fundamentalmente de magnetita, goethita, hematites, siderita, haussmanita, rodocrosita, predominando siempre las menas de hierro. Hay que hacer notar asimismo la ausencia (o baja proporción) de menas metálicas en los niveles de areniscas.

Las figuras 3 y 4 representan la variación mineralógica a lo largo de las columnas de Puerto del Rayo.

En el tramo inferior (fig. 3) predominan, como ya se ha señalado, dos tipos de rocas, areniscas y arcillas, con composiciones bastantes homogéneas dentro de cada grupo. Las areniscas contienen del 60 al 70% de cuarzo, 8-14% de plagioclasa y 8-22% de calcita. De acuerdo con esto, la proporción de filosilicatos varía de 0 a 23%. Las arcillas a su vez, están constituidas por cuarzo (18-26%), plagioclasa (4-5%), filosilicatos (72-77%) y menas metálicas de Fe y Mn en diferentes proporciones, generalmente muy bajas. Estas menas son fundamentalmente siderita, hematites, goethita, rodocrosita y pirita. En general, en esta columna dominan los óxidos de hierro.

En el tramo superior (fig. 4), se distinguen dos grupos importantes de rocas: calcarenitas y arcillas, aunque son también frecuentes las rocas de composición intermedia. Las calcarenitas se caracterizan por presentar en proporciones similares calcita y ankerita, así como una pequeña proporción de pirita. Las arcillas presentan una composición muy similar a la de la secuencia anterior, si bien aquí es frecuente la presencia de calcita en los niveles arcillosos (0-13%). Por último, las dos muestras más altas de la columna presentan un contenido notablemente mayor de carbonatos. En las muestras arcillosas son también muy comunes las menas de hierro, si bien predominan los carbonatos, siderita y ankerita.

La representación de estas muestras en un diagrama triangular: cuarzo+feldespatos-carbonatos-filosilicatos (fig. 6) permite observar claramente lo que ya se ha señalado: una gran acumulación de puntos, correspondientes a muestras de ambas secuencias, en la línea  $Q+Fd-F$ , próxima al vértice de los filosilicatos, que nos indica la composición uniforme de las arcillas; un grupo de muestras del tramo inferior (areniscas), próximas al vértice del cuarzo y otro grupo (calcarenitas), correspondiente al tramo superior, próximas al vértice de los carbonatos; finalmente, unas cuantas muestras del tramo superior presentan una composición intermedia (arcillas margosas).

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

El estudio se ha basado fundamentalmente en el análisis por

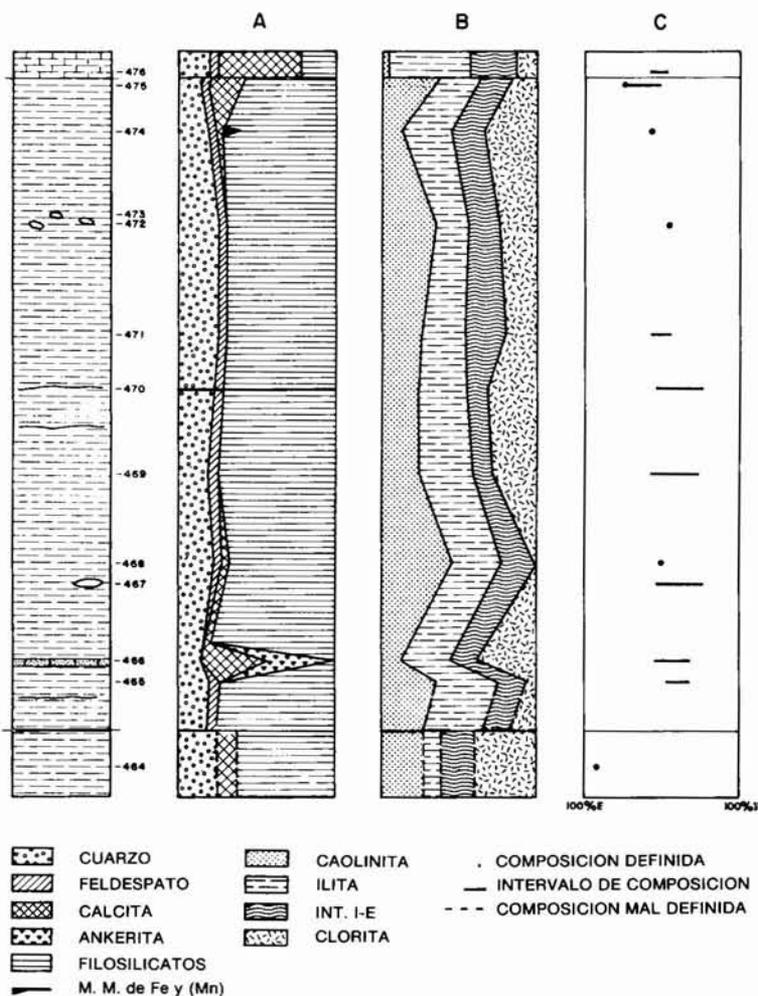


Fig. 4.—Variación de la composición mineralógica de la muestra total (A), de la fracción menor de  $2 \mu$  (B) y de la composición de los interestratificados I-E (C). Tramo superior de la secuencia de Puerto del Rayo.

difracción de rayos X y, en menor medida, en el análisis térmico diferencial y termogravimétrico.

### Estudio por difracción de rayos X

La tabla 1 muestra la composición mineralógica y el análisis semicuantitativo correspondiente a la fracción menor de 2 micras de las muestras estudiadas en la secuencia de la Alcachota. En la figura 2 se ha representado la variación de la composición mineralógica a lo largo de la columna. Una simple observación de esta figura muestra que la fracción menor de 2 micras presenta variaciones más notables que la composición mineralógica total. Este hecho se pone de manifiesto más claramente aún en el diagrama triangular Caolinita-Clorita-Ilita+Interestratificados ilita-esmectita (fig. 5). Observamos en esta figura una nube de puntos con porcentajes de I+I-E bastante constante pero que se extiende desde la línea I-C1 (muestras sin caolinita) hasta la línea I-K (muestras sin clorita), existiendo una amplia gama de composiciones intermedias.

La tabla 2 corresponde a las muestras recogidas en el Puerto

del Rayo. En las figuras 3 y 4 se ha representado la variación mineralógica. Se puede observar que los máximos porcentajes de caolinita corresponden a los niveles de areniscas en tanto las inflexiones que marcan los menores contenidos en este mineral corresponden a las rocas carbonatadas. Asimismo, los niveles de calcarenitas suelen corresponder con un máximo desarrollo de la clorita.

Las características de los minerales de la arcilla en estas series son las siguientes:

La *caolinita* aparece en proporción muy variable (0-44%) en estas columnas, en cierto modo en relación con la litología. Así, las muestras más pobres en caolinita son, en general, las areniscas y las calcarenitas del tramo superior, en tanto que en los niveles arcillosos el porcentaje es mayor. Los diagramas realizados para determinar el politipo y la cristalinidad de este mineral han conducido a los siguientes resultados:

- En la secuencia de la Alcachota se han determinado.
- Caolinitas desordenadas (Brindley y Robinson, 1946).
- Caolinitas intermedias entre T y pM (T-pM) (Galán, 1973).

No observándose diferencias apreciables entre los niveles de areniscas y los niveles de lutitas arcillosas.

Tabla 1.—Composición mineralógica. Fracción menor de 2  $\mu$ . Secuencia de la Alcachota.

	K	I	I-E	Cl
CR-551	33	42	16	9
CR-552	—	23	—	77
CR-553	29	42	18	11
CR-554	44	44	12	—
CR-555	39	39	22	Tr
CR-556	14	29	9	48
CR-557	31	41	2	26
CR-558	Tr	45	4	51
CR-559	17	44	16	23
CR-559'	39	39	22	—
CR-560	27	44	6	23
CR-561	29	52	19	Tr
CR-562	18	40	9	33
CR-563	16	36	5	43
CR-564	26	46	14	14
CR-565	—	11	—	89

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

Tabla 2.—Composición mineralógica. Fracción menor de 2  $\mu$ . Secuencia de Puerto del Rayo.

	K	I	I-E	Cl
CR-451	17	41	14	28
CR-452	15	50	17	18
CR-453	18	43	18	21
CR-454	33	53	14	—
CR-455	33	48	9	10
CR-456	23	39	28	10
CR-457	41	24	24	11
CR-458	40	32	14	14
CR-459	8	27	14	51
CR-460	10	33	12	45
CR-461	35	55	10	—
CR-462	3	17	10	70
CR-463	28	21	25	26
CR-464	28	10	20	40
CR-465	35	37	18	10
CR-466	13	31	18	38
CR-467	10	36	21	33
CR-468	42	37	21	—
CR-469	25	33	12	30
CR-470	25	29	13	33
CR-471	26	26	24	24
CR-472	34	22	19	25
CR-473	21	25	22	32
CR-474	12	32	20	36
CR-475	34	25	21	20
CR-476	4	49	31	16

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

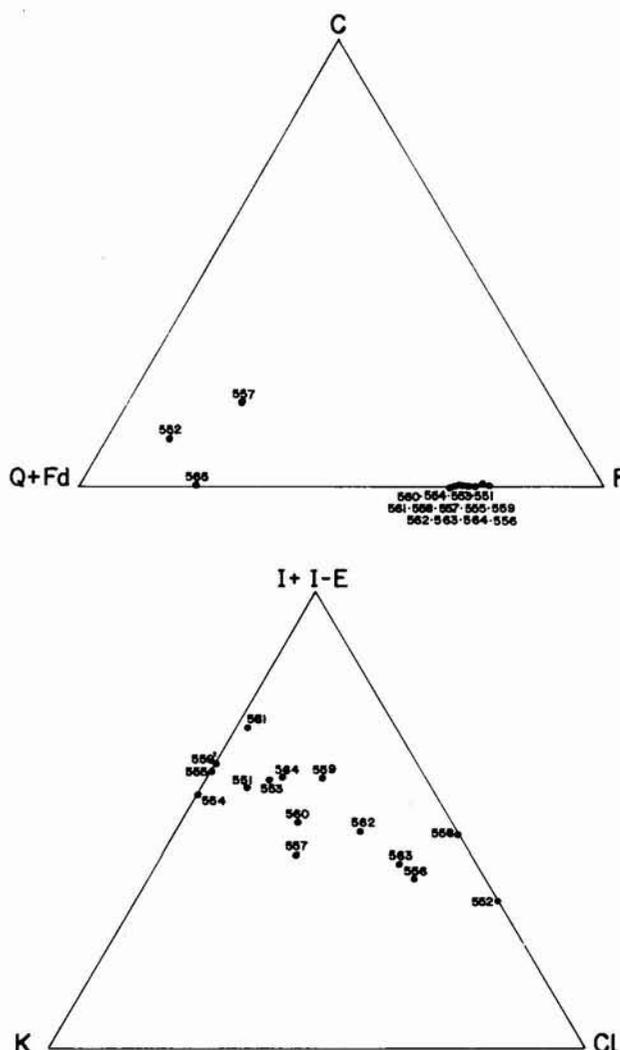


Fig. 5.—Diagramas triangulares de composición: muestra total (Sup.). Fracción menor 2  $\mu$  (Inf.). Secuencia de La Alcachota. Q: cuarzo; Fd: feldespato; C: carbonatos; F: filosilicatos; K: caolinita; I: illita; I-E: interestratificados illita-esmectita; Cl: clorita.

En el tramo inferior del Puerto del Rayo, existen diferencias apreciables entre las caolinitas de los niveles arcillosos y de los niveles de areniscas, presentando estas últimas una mayor cristalinidad. Pueden clasificarse como:

- Arcillas:
  - Caolinitas desordenadas (Brindley y Robinson, 1946).
  - Caolinitas parcialmente ordenadas (pMpO) (Galán, 1973).
- Areniscas:
  - Caolinitas medianamente ordenadas (Brindley y Robinson, 1946).
  - Caolinitas T parcialmente desordenadas (Tpd) (Galán, 1973).

En el tramo superior solo se han podido determinar las caolinitas de los niveles arcillosos que, en general, presentan una cristalinidad intermedia, notablemente mayor que las arcillas del tramo inferior:

- Caolinitas medianamente ordenadas (Brindley y Robinson, 1946).
- Caolinitas T, parcialmente desordenadas (Tpd) (Galán, 1973).

En estas últimas muestras es muy probable que existan caolinitas con diferentes orígenes y que las medidas de cristalinidad reflejen

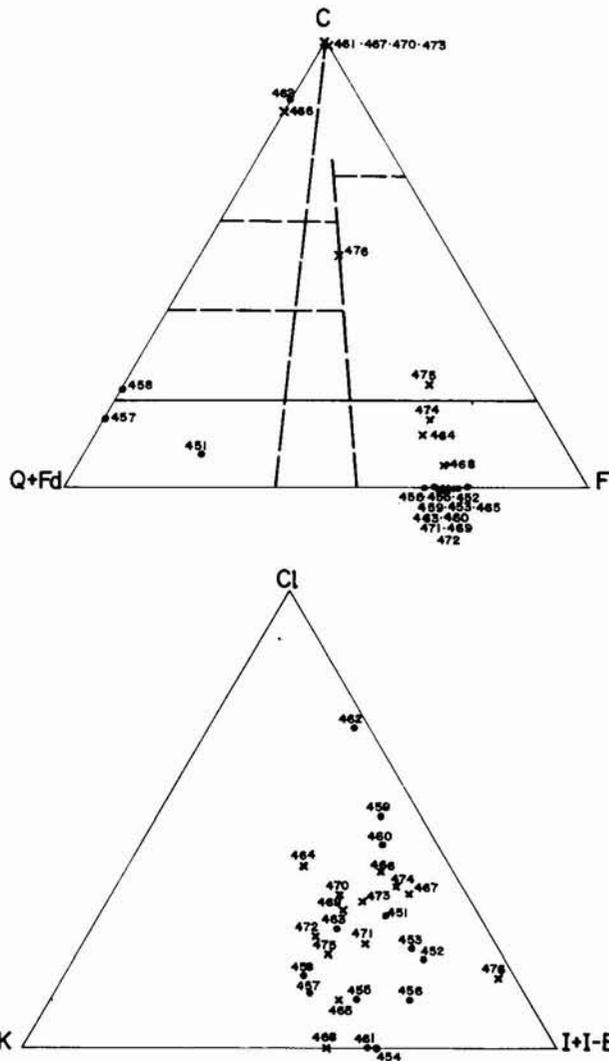


Fig. 6.—Diagramas triangulares de composición: muestra total (Sup.). Fracción menor 2 μ (Inf.). Secuencia de Puerto del Rayo. Q: cuarzo; Fd: feldespato; C: carbonatos; F: filosilicatos; K: caolinita; I: illita; I-E: interestratificados illita-esmectita; Cl: clorita.

un valor intermedio entre caolinitas desordenadas y caolinitas de gran cristalinidad, puestas de manifiesto en el MEB.

La illita muestra una distribución bastante homogénea a lo largo de las columnas con porcentajes mayores en las muestras arcillosas y notablemente menores en las de areniscas. Este mineral es difícil de estudiar dada la presencia constante de interestratificados I-E. Por ello se ha medido solamente la relación  $I_{002}/I_{001}$ . En la Alcachota los valores obtenidos se indican en la tabla 3.

Estos valores muestran de nuevo una gran uniformidad para los niveles arcillosos. El valor más elevado (0,50) corresponde a una arenisca. En general, la composición de las illitas deducidas de estos valores sería la correspondiente a fengitas (Esquevin, 1969).

Los valores obtenidos en el Puerto del Rayo se encuentran en la tabla 4.

Estos valores presentan una gran uniformidad tanto en las arcillas como en los niveles de areniscas y calcarenitas. Estas illitas puede denominarse también fengitas, de acuerdo con Esquevin (1969). Las muestras señaladas con asteriscos corresponden a rocas de composición anómala (ver descripción) pero hay que

Tabla 3.—Relación de intensidades basales en Las illitas. La Alcachota

	$I_{002}/I_{001}$
CR-551	0,30
CR-552	0,50
CR-553	0,30
CR-554	0,30
CR-555	0,33
CR-556	0,34
CR-557	0,35
CR-558	0,39
CR-559	0,25
CR-560	0,34
CR-561	0,28
CR-562	0,31
CR-563	0,39
CR-564	0,30
CR-565	?

Tabla 4.—Relación de intensidades basales en Las illitas. Puerto del Rayo

	$I_{002}/I_{002}$
CR-451	0,37
CR-452	0,34
CR-453	0,34
CR-454*	0,30
CR-455	0,38
CR-456	0,35
CR-457	0,30
CR-458	0,30
CR-459	0,37
CR-460	0,34
CR-461*	0,33
CR-462	?
CR-463	0,36
CR-464	0,35
CR-465	0,42
CR-466	0,36
CR-467*	0,33
CR-468	?
CR-469	0,37
CR-470*	0,41
CR-471	0,42
CR-472	0,30
CR-473	?
CR-474	0,33
CR-475	?
CR-476	0,30
CR-478B*	0,31

hacer notar que las illitas de estas muestras tienen una composición similar a las del resto de la serie.

Los interestratificados I-E aunque en proporción baja (2-22%), aparecen de forma casi continua a lo largo de las columnas; sólo están ausentes en algunas muestras de areniscas. En las figuras 2, 3 y 4, se ha representado gráficamente la composición de estos interestratificados. En general, presentan una gama de composiciones más o menos amplia si bien el máximo se sitúa de forma casi constante alrededor del 50% de ambos componentes. Los interes-

tratificados más ricos en illita corresponden preferentemente a muestras con menas metálicas abundantes (niveles ferromanganesíferos y discos). Por otra parte, si bien en los diagramas no aparece nunca la primera reflexión del interestratificado, es frecuente que aparezca otra reflexión alrededor de  $5,5 \text{ \AA}$ . Es decir, se trata de un interestratificado bastante regular, próximo a rectorita.

La *clorita* por último, es un mineral muy bien representado en estas secuencias, si bien aparece en proporciones muy variables. Los porcentajes mayores corresponden a los niveles de areniscas (hasta 89%); en cambio en los niveles arcillosos el contenido en clorita varía notablemente (de 0 a 51%). También es muy variable la composición de estas cloritas. En gran número de muestras la reflexión a  $14 \text{ \AA}$  de este mineral aparece englobada en la de los interestratificados I-E, por lo que resulta imposible determinar  $d(001)$  con exactitud. Por otra parte, la relación de intensidades  $I(001)/I(002)$  resulta bastante incierta dada la presencia constante de caolinita. Todas las muestras se han sometido a tratamiento ácido y a partir de los diagramas obtenidos se ha calculado, siempre en las mismas condiciones el valor de  $I(002)$  de la clorita. No obstante, es evidente que, si bien los valores son indicativos, quedan lejos de ser exactos. En la tabla 5 se resumen los parámetros obtenidos.

El análisis de esta tabla parece indicar una relación parcial entre la litología y la composición de las cloritas. Así, las cloritas ferrosas parecen desarrollarse preferentemente en los niveles de

Tabla 5.—Clasificación de las cloritas

Alcachota	x	y	Fe <sup>2+</sup> /R <sup>2+</sup>	AIPEA (1980)
CR-551	1,22	0,2	0,04	Clinocloro aluminico
CR-552	1,22	5	1	Chamosita aluminica
CR-553	1,65	0	0	Clinocloro aluminico
CR-556	1,50	4	0,88	Chamosita aluminica
CR-557	1,90	0	0	Clinocloro aluminico
CR-558	1,48	4	0,88	Chamosita aluminica
CR-560	1,20	1,7	0,35	Clinocloro ferroso
CR-562	1,60	1,5	0,34	Clinocloro ferroso aluminico
CR-563	1,50	4,5	1	Chamosita aluminica
CR-564	1,90	0,6	0,14	Clinocloro aluminico
CR-565	0,66	4	0,92	Chamosita

Pto. del Rayo	x	y	Fe <sup>2+</sup> /R <sup>2+</sup>	AIPEA (1980)
CR-451	1,5	2,8	0,62	Chamosita magnesiana
CR-452	?	2	?	
CR-453	?	2,6	?	
CR-455	?	0,5	?	Clinocloro magnesiano
CR-457	1,48	0	0	Clinocloro magnes. alumin.
CR-458	1,90	0	0	Clinocloro magnes. alumin.
CR-459	1	5,1	1	Chamosita
CR-460	?	5	?	Chamosita
CR-462	?	0,5	?	Clinocloro magnesiano
CR-463	?	0,2	?	Clinocloro magnesiano
CR-464	?	0,4	?	Clinocloro magnesiano
CR-466	?	2	?	
CR-467	?	5	?	Chamosita
CR-469	?	0	0	Clinocloro magnesiano
CR-470	?	4	?	Chamosita
CR-472	?	0	0	Clinocloro magnesiano
CR-473	?	0	0	Clinocloro magnesiano
CR-474	?	5	?	Chamosita
CR-476	?	6	?	Chamosita
CR-478	1,3	1,5	0,31	Clinocloro aluminico

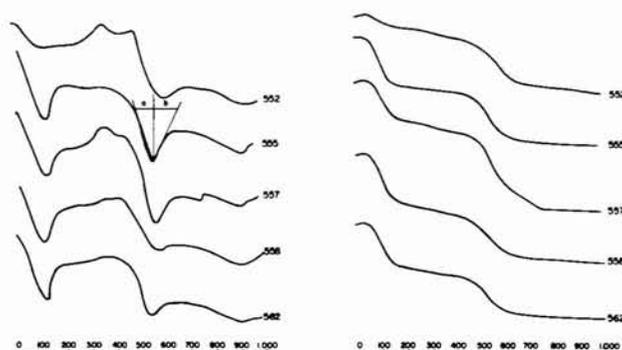


Fig. 7.—Diagramas de ATD y TG realizados a la fracción menor de  $2 \mu$ . Secuencia de La Alcachota.

areniscas, en tanto que en los niveles arcillosos la composición es muy variable. No obstante, comparando esta tabla con las tablas 1 y 2 se observa una relación mucho más simple, entre el tipo de clorita y el porcentaje de este mineral: es decir, las muestras con mayor proporción de clorita presentan cloritas ferrosas en tanto que en las más pobres la clorita es magnesiana.

#### Estudio por ATD y TG

Las curvas representadas en la figura 7 corresponden a muestras de la secuencia de la Alcachota con diferentes composiciones mineralógicas. Uno de los objetivos que se pretendía con la realización de estos diagramas era la distinción del tipo de clorita mediante ATD. La curva correspondiente a la muestra 552 constituida en un 77% por clorita rica en Fe (determinada mediante difracción de rayos X como chamosita-aluminica) no es correlacionable con ninguna de las expuestas por Mackenzie (1982) para este mineral. No obstante, las curvas que presenta este autor corresponden a cloritas típicamente magnesianas y señala que «la sustitución de magnesio por hierro hace variar notablemente el tipo de curva». Las curvas que se han obtenido aquí se caracterizan por dos pequeños exotérmicos a  $317^\circ\text{C}$  y  $450^\circ\text{C}$  y un endotérmico ancho y poco profundo a  $575^\circ\text{C}$ . Una curva muy similar aparece recogida por Kostov (1968) para una chamosita. Los efectos señalados se hacen mucho menos definidos en cuanto decrece la proporción de clorita en las muestras.

Las muestras que contienen clorita magnesiana tampoco reflejan en ATD la presencia de este mineral, debido, en este caso, a que estas muestras presentan un contenido muy bajo en clorita.

Por último, algunas de las curvas recogidas, en la figura citada revelan la presencia de caolinita, caracterizada por un endotérmico muy bien definido alrededor de  $520^\circ\text{C}$ , con un valor de la simetría=0,55, inferior a los definidos por Robertson et al. (1954) por lo que puede suponerse que este efecto viene afectado por la presencia de otros minerales además de la caolinita.

Las curvas correspondientes a las muestras del Puerto del Rayo se han recogido en la figura 8.

Las tres primeras curvas recogidas presentan una composición mineralógica similar y vienen caracterizadas por un endotérmico a  $530^\circ\text{C}$  y  $543^\circ\text{C}$ , correspondiente a la caolinita. Las diferencias observadas en los valores de la asimetría se deben probablemente a los efectos producidos por la clorita o los interestratificados. Estas curvas presentan además un primer endotérmico alrededor de  $100^\circ\text{C}$  seguido por un pequeño exotérmico a  $322^\circ\text{C}$  (bien visible en la curva 458). Este comportamiento es bastante similar al que presentan los geles de hierro (Mackenzie y Meldau, 1959).

La curva 459 corresponde a una muestra con un 51% de clorita ferrosa. Ya se ha expuesto que estas cloritas ofrecen curvas

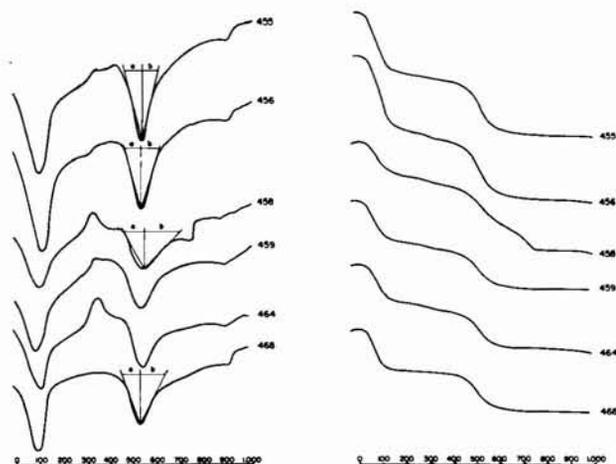


Fig. 8.—Diagramas de ATD y TG realizados a la fracción menor de 2  $\mu$ . Secuencia de Puerto del Rayo.

totalmente diferentes a las cloritas magnesianas. En realidad, si exceptuamos la baja temperatura del primer endotérmico y la existencia de un pequeño exotérmico a 328°C, la curva es bastante similar a la de una caolinita.

Por último, las curvas 464 y 468 pertenecen al tramo superior y presentan diferencias mineralógicas notables. La muestra a la que corresponde la curva 464 contiene un 40% de clorita en tanto que este mineral está ausente en la muestra correspondiente a la curva 468 dominando en esta la caolinita. No obstante, las curvas solo se diferencian en la temperatura del segundo endotérmico, y, en la presencia en la curva 464 del exotérmico a 340°C, típico de las muestras conteniendo hierro. La curva 464 no es, pues, asimilable a ninguna de las cloritas típicas recogidas en la bibliografía consultada.

### Estudio al microscopio electrónico de barrido

En las secuencias de la Alcachota y del Puerto del Rayo se han seleccionado algunas de las muestras más características (areniscas, areniscas calcáreas, niveles arcillosos, niveles de «cone in cone», calcarenitas y niveles de hierro) para su estudio al microscopio electrónico de barrido. Los resultados obtenidos se exponen a continuación.

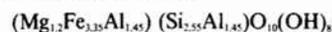
#### Areniscas

En las areniscas se han determinado los constituyentes más importantes: cuarzo (detritico y autigénico), plagioclasas también con doble origen y carbonatos en las areniscas calcáreas, bien como cemento carbonatado o concreciones tardías, bien como fragmentos detriticos con estructuras acanaladas, presumiblemente relacionadas con restos orgánicos.

En lo que se refiere a los minerales arcillosos tal como se ha señalado en apartados anteriores, es la clorita el mineral autigénico dominante. En gran parte se trata de cloritas neoformadas, en ciertos casos constituyendo un pore lining (foto 1) de cristales con morfología «honey combe» recubriendo granos de cuarzo detritico. Las cloritas de esta fotografía se han analizado y, a partir de tales análisis se obtienen los siguientes datos:

$$\begin{aligned} x &= 1,45 \\ y &= 3,35 \\ \text{Fe}^{2+}/\text{R}^{2+} &= 0,71 \end{aligned}$$

La fórmula estructural obtenida sería:

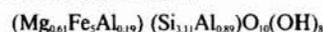


que correspondería en la clasificación de AIPEA (1980) a una chamosita aluminica.

El análisis realizado a las cloritas de la fracción menor de 2 micras de esta misma muestra da las relaciones siguientes:

$$\begin{aligned} x &= 0,89 \\ y &= 5 \\ \text{Fe}^{2+}/\text{R}^{2+} &= 0,98 \end{aligned}$$

La fórmula estructural obtenida sería:



que correspondería en la clasificación de AIPEA (1980) a una chamosita.

Estas cloritas ferrosas, autigénicas, aparecen también en relación con albita neoformada (foto 2), no observándose claramente la relación entre ambos minerales, si bien parecen crecer en el mismo ambiente diagenético, siendo ambos minerales típicos de la diagénesis en agua de mar.

No obstante, debemos señalar que en otras muestras estudiadas las cloritas son, en su mayoría, detriticas, no observándose crecimientos diagenéticos. Esto puede explicar las diferencias de composición observadas en las cloritas, dado el distinto origen de las mismas. Esta variación puede observarse, incluso dentro de la misma muestra, según el tamaño de las cloritas analizadas.

#### Lutitas arcillosas

En la mayor parte de los niveles arcillosos estudiados no se observan transformaciones diagenéticas dignas de señalar, si exceptuamos el crecimiento de litas fibrosas a partir de láminas detriticas.

Un caso especial dentro de estas arcillas lo constituyen las «arcillas grises en eflorescencias blancas» (pertenecientes al tramo superior de la secuencia de Puerto del Rayo). En estas muestras se observan caolinitas laminares (con estructura «face to face»), pseudoexagonales, autigénicas (foto 3). En la superficie de las muestras aparecen caolinitas tabulares presumiblemente muy tardías. Estas caolinitas han podido desarrollarse, incluso, en condiciones subaéreas, por filtración de aguas ácidas (foto 4).

#### Calcarenitas

Estas rocas, tal como se ha señalado en el estudio al microscopio óptico, están constituidas por una acumulación de fragmentos carbonatados, cementados por carbonatos espáticos. Este cemento carbonatado, observado al microscopio electrónico está constituido por cristales idiomorfos, romboédricos, a los que se han realizado diferentes análisis. La composición deducida para estos carbonatos es la siguiente:



Esta última composición corresponde al carbonato de la foto 5.

La clorita es el mineral arcilloso dominante (70%) en estas rocas. Estas cloritas aparecen relacionadas con cuarzos detriticos o en huecos de microorganismos. No es posible decidir de forma definitiva cuál es la relación existente entre las cloritas y el cuarzo. En ciertos casos las cloritas parecen estar incluidas en el cuarzo detritico. El análisis químico realizado a estas cloritas proporciona los siguientes valores:

$$\begin{aligned} x &= 0,86 \\ \text{Fe}^{2+}/\text{R}^{2+} &= 0,3 \end{aligned}$$

lo que permite clasificarlas como clinocloro. Es decir, se trata de cloritas mucho más magnesianas que las que hemos citado anteriormente. Es posible, si se trata de cloritas heredadas como inclusiones en el cuarzo, que tengan un origen metamórfico (foto 6).

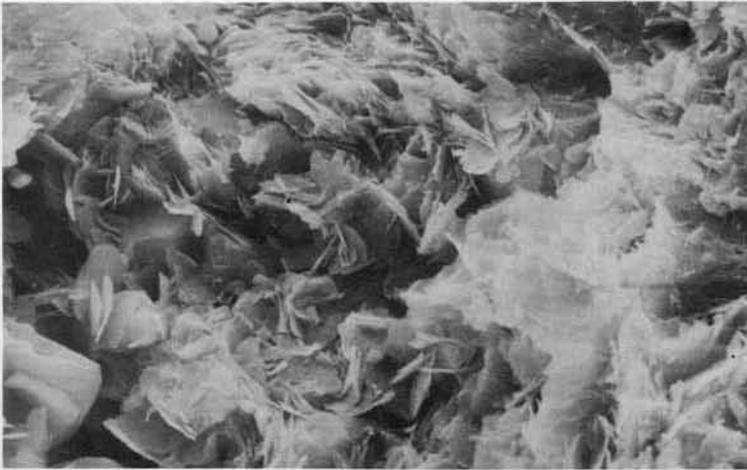


Foto 1.—Cloritas autigénicas.

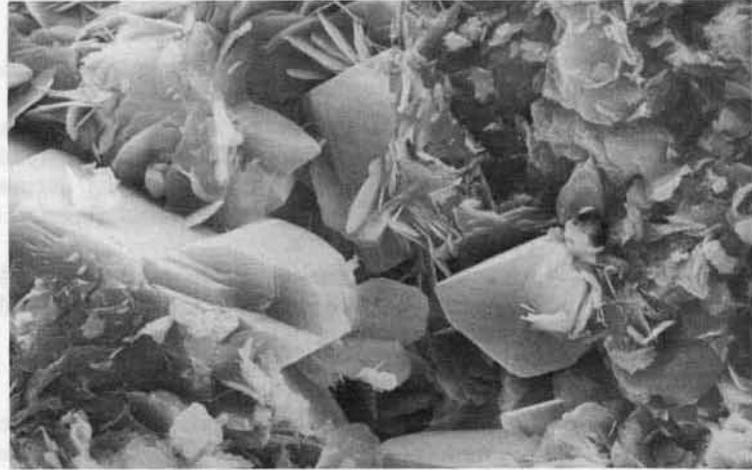


Foto 2.—Desarrollo de clorita y albita.

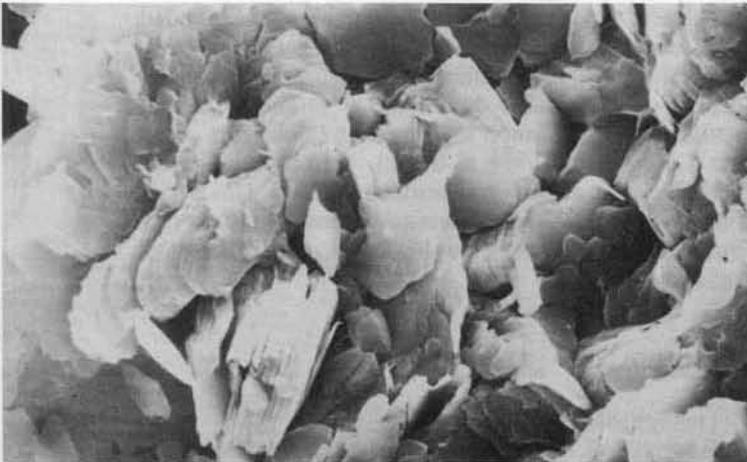


Foto 3.—Caolinitas «face to face».

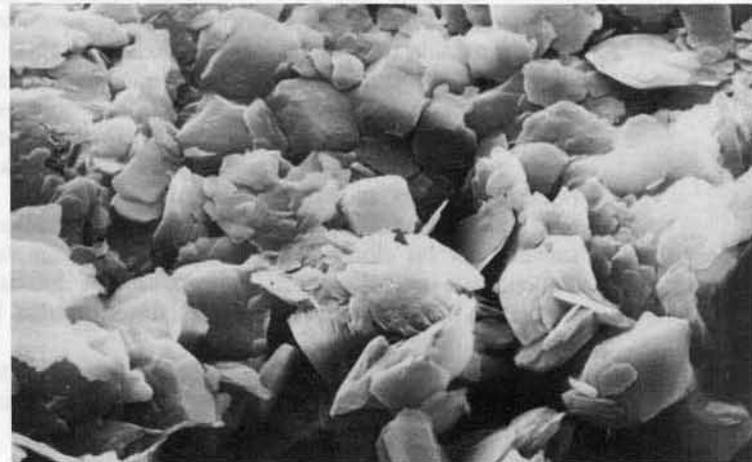


Foto 4.—Caolinitas tabulares.

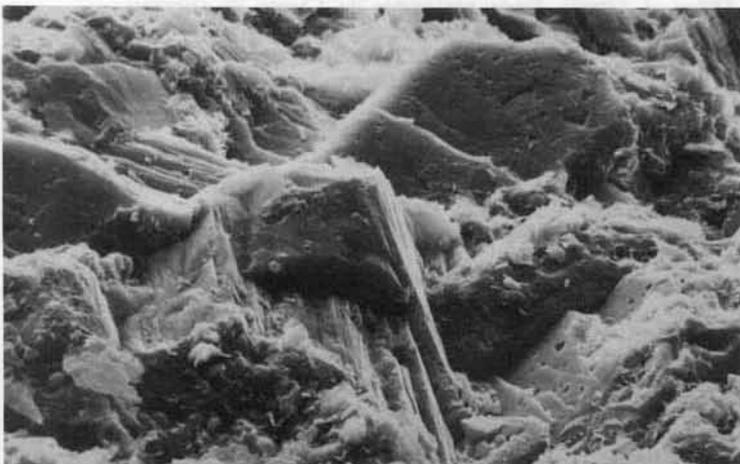


Foto 5.—Cemento carbonatado.

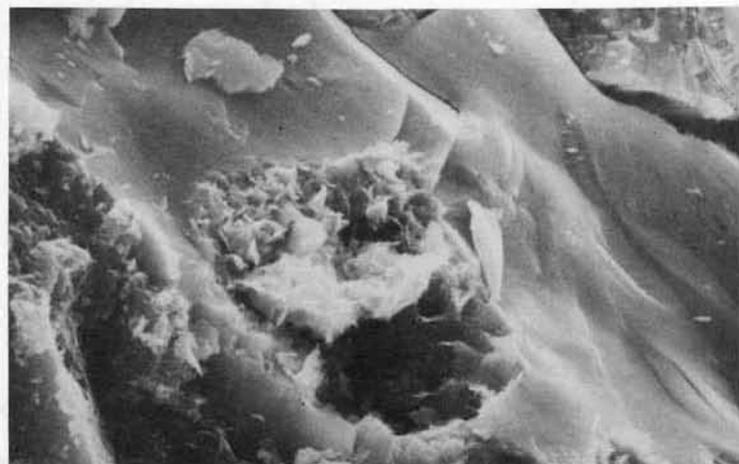


Foto 6.—Cloritas en relación con cuarzo detrítico.

### Discusión y conclusiones

Estas series presentan las siguientes características mineralógicas:

- Escasez de carbonatos en los niveles arcillosos. Solo una pequeña proporción de calcita aparece asociada a los niveles de areniscas. Es frecuente, no obstante, la calcita en el tramo superior del Puerto del Rayo.
- Abundancia de menas metálicas de Fe y Mn asociadas fundamentalmente a los niveles de arcillas o concentradas en lechos de pequeño espesor.
- Porcentaje elevado de clorita, especialmente en los niveles de areniscas.
- Composición química muy variable para las cloritas.

En base a los datos expuestos, puede esquematizarse la génesis de los minerales de la arcilla como sigue:

*La caolinita* tiene orígenes diversos. En gran parte es un mineral heredado, sobre todo en el Cretácico inferior, en tanto que en el Cretácico superior-Paleoceno (tramo superior del Puerto del Rayo), constituye, en gran medida un mineral tardío (telediagenético).

*La illita y los minerales interestratificados I-E* son en su mayor parte heredados (si bien se han observado al M.E.B. transformaciones incipientes de illitas laminares a fibrosas). Los interestratificados I-E regulares (rectoritas), solo se han identificado como tales en esta Unidad, indicando (junto con las transformaciones sufridas por las cloritas), que estas series se han visto sometidas a una diagénesis importante que ha dado lugar a la regularización de los interestratificados I-E heredados.

La uniformidad de las características de los minerales heredados en las dos secuencias estudiadas indican, por otra parte, un área fuente muy homogénea.

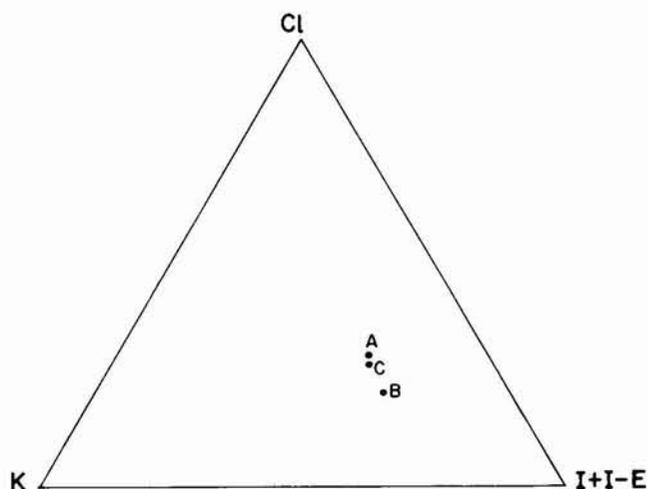


Fig. 9.—Composición mineralógica media para la fracción menor de 2 micras. A) Secuencia de La Alcachota. B y C) Secuencia de Puerto del Rayo. Tramo inferior y superior, respectivamente.

*Las cloritas* son los minerales más característicos de esta Unidad. El estudio al M.E.B. ha puesto de manifiesto que las cloritas autigénicas son eminentemente ferrosas (chamositas), estando bien desarrolladas en los minerales de areniscas. En los niveles lutíticos la variedad composicional es mayor, dominando los clinocloros, sin morfologías definidas, que se consideran minerales heredados. Este hecho se pone claramente de manifiesto en el desarrollo predominante de cloritas ricas en Fe en los niveles ferromagnésiferos, discos y, en general, en los que presentan mayores contenidos en menas de hierro. Las cloritas de composición intermedia se interpretan como cloritas transformadas, que se han enriquecido en hierro durante la diagénesis.

La composición mineralógica media de la fracción fina, recogida en la figura 9, muestra la gran semejanza mineralógica que se da en estas secuencias, lo que hace suponer un área fuente común (probablemente un complejo metamórfico de bajo grado) y condiciones de depósito y diagénesis similares.

Existen, pues, además de diferencias en la edad, una serie de características litológicas y especialmente mineralógicas que permiten individualizar esta Unidad, dentro de los flyschs que hasta el momento se han estudiado en el Campo de Gibraltar (Rodríguez Jiménez y Ruiz Cruz, 1988 a, b y c). No obstante, parece probable que existan transiciones entre la Unidad de Facinas y otras Unidades eminentemente lutíticas (Almarlchal, Jimena, etc.), cuyo estudio está realizándose actualmente.

### Referencias

- A.I.P.E.A. (1980). *Clays and Clay Minerals*, 28, 73-78.
- Brindley, G. W. and Robinson, K. (1946). The Structure of kaolinite. *Mineralog. Mag.*, 27, 242-256.
- 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.
- Didon, J. (1969). Etude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne meridionale). *Thèse Fac. Sc. Paris*, 539 pp.
- Esquevin, J. (1969). Influence de la composition chimique des illitas sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau. S.N.P.A.*, 3, 137-154.
- Esteras, M. (1984). Geología del Estrecho de Gibraltar. *Rev. Obras Públicas*, 3227, 505-527.
- Galán, E. (1973-75). Caolines españoles, geología, mineralogía y génesis. *Soc. Esp. Cerám. Vidrio*, Madrid, 159 pp.
- Kostov, I. (1968). *Mineralogy*. Oliver and Boyd ed. Edinburgh and London, 587 pp.
- Mackenzie, R. C. and Meldau, R. (1959). Oxides and Hydroxides of Higher-valency Elements. In: *Differential Thermal Analysis*. Vol. 1. (R. C. Mackenzie, ed.). Academic Press. London, 278 pp.
- Mackenzie, R. C. (1982). *Differential Thermal Analysis*. Vol. 1. Ed. Academic Press. London, 775 pp., 4.ª ed.
- Malesani, P. e Manetti, P. (1970). Proposta di classificazione di sedimenti clastici. *Mem. della. Soc. Geol. Ital.*, IX, 55-63.
- Pettijohn, F. J. (1957). *Sedimentary rocks*. Ed. Harper, New York, 718 pp.

- Robertson, R. H. S.; Brindley, G. W. and Mackenzie, R. C. (1954). Simple Phyllosilicates. In: *The Differential Thermal Investigation*. (R. C. Mackenzie, ed.). Academic Press. London, 526 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 a). Mineralogía y génesis de las arcillas del Campo de Gibraltar. I. Areniscas del Aljibe. *Estudios Geol.*, 44, 31-46.
- Rodríguez Jiménez, P. y Ruiz Cruz, M. D. (1988 b). Mineralogía y génesis de las arcillas del Campo de Gibraltar. II. Series base del Aljibe. *Estudios Geol.*, 44, 145-158.
- Rodríguez Jiménez, P. y Ruiz Cruz, M. D. (1988 c). Mineralogía y génesis de las arcillas del Campo de Gibraltar. III. Unidad de Algeciras. *Estudios Geol.*, 44, 159-172.
- Vatan, J. M. (1967). *Manuel de sedimentologie*. Ed. Technip. París, 397 pp.

Recibido el 22 de febrero de 1988  
Aceptado el 14 de febrero de 1989