

## CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LA ESMECTITA EN VARIAS FORMACIONES ARCILLOSAS DE LOS FLYSCHS DEL CAMPO DE GIBRALTAR (CADIZ, ESPAÑA)

M. D. Ruiz Cruz \* y M. Esteras Martín \*\*

### RESUMEN

Se comparan desde un punto de vista mineralógico y geoquímico las formaciones definidas como «arcillas de Jimena», «sucesión basal del Aljibe» y «arcillas con bloques». Su mineralogía resulta muy similar: cuarzo, esmectita, illita y caolinita, junto con pequeñas proporciones de feldespato, yeso y clorita. En las fracciones 2-20  $\mu\text{m}$  y  $< 2 \mu\text{m}$  la esmectita es el mineral más abundante. La semejanza mineralógica se pone también de manifiesto en la composición química de estos materiales. La composición de las esmectitas corresponde a montmorillonita y sugiere un origen detrítico para las mismas. El contenido en diversos elementos traza indica que estos materiales son el producto de la meteorización de rocas magmáticas ácidas junto con rocas sedimentarias antiguas. La homogeneidad de las secuencias analizadas indica, asimismo, una homología de todas las formaciones y una gran uniformidad en los aportes durante el intervalo Cretácico-Eoceno, época a la que se atribuye su depósito.

**Palabras clave:** Arcillas con bloques, arcillas de Jimena, caolinita, elemento traza, esmectita, illita, flyschs del Campo de Gibraltar, series base del Aljibe.

### ABSTRACT

The «Jimena clays», «basal series of Aljibe» and «blocky clays» formations are compared from the mineralogical and geochemical analysis. The mineralogy of clays is very similar in all the sequences analyzed and consists of quartz, smectite, illite and kaolinite. Smaller amounts of feldspar, gypsum and chlorite are locally present. In the 2-20  $\mu\text{m}$  and  $< 2 \mu\text{m}$  size-fractions smectite is the most abundant mineral. The mineralogical similarity is also manifested on the chemical composition of these materials. Smectite compositions correspond to montmorillonite suggesting, along the trace element content that these smectites are weathering products of acidic magmatic and sedimentary rocks. The homogeneity of the analyzed sequences indicates an homology in these formations and a great uniformity in the supplies during the Cretaceous-Eocene times.

**Key words:** Aljibe basal series, blocky clays, Campo de Gibraltar flyschs, Jimena clays, kaolinite, illite, smectite, trace element.

### Introducción

El origen de las esmectitas en sedimentos marinos profundos constituye todavía una cuestión sometida a debate. La diferenciación entre esmectitas detríticas, esmectitas originadas autigénicamente en el fondo del océano y esmectitas diagenéticas requiere una detallada investigación que incluye el análisis de diferentes fracciones de tamaño y la combinación de análisis mineralógicos, químicos y geoquímicos.

De acuerdo con los datos recogidos por Chamley (1989), ciertas diferencias en las características cristalógicas y en la composición química de las esmectitas pueden ser indicativas del origen de las mismas: a) Las esmectitas detríticas ofrecen una composición química variable de acuerdo con las condiciones climáticas en que se desarrolló la meteorización y con la naturaleza de la roca madre, pero la mayoría de éstas son beidellitas o nontronitas (Trauth, 1977; Paquet, 1970), si bien la meteorización de ro-

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

\*\* SECEG. Estébanez Calderón, 3. 28020 Madrid.

cas calcáreas o ultrabásicas puede dar lugar al desarrollo de saponitas; b) Las esmectitas originadas autigénicamente en la interfase agua-sedimento se caracterizan, en cambio, por los elevados contenidos en Fe y el bajo contenido en Al (Kastner, 1981); c) Las esmectitas desarrolladas durante los procesos diagenéticos ofrecen composiciones próximas a beidellita y son, por ello, bastante similares a las que se originan en suelos continentales de regiones cálidas.

En este trabajo se recogen los resultados del análisis mineralógico y geoquímico de sedimentos Cretácico-Terciarios pertenecientes a las unidades del Campo de Gibraltar, que ofrecen niveles con contenidos muy elevados en esmectita.

### Situación de las muestras

Las muestras analizadas corresponden a 6 perfiles cuya posición geológica se ha representado en la figura 1. Los perfiles 1, 2 y 3 están situados en la formación denominada por J. Didon «arcillas de Jimena». Los dos primeros se sitúan, respectivamente, al norte y sur de la carretera que asciende a Jimena de la Frontera y corresponden al término 2 del corte tipo, según Didon (1970, fig. 46) quien lo interpreta como la parte inferior de la sucesión basal del manto del Aljibe. El perfil 3 se sitúa unos 3 km al sur, en la prolongación de este mismo afloramiento. Todas estas series presentan la misma posición cartográfica: hacia el este las «arcillas de Jimena» están en contacto mecánico (¿retrocabalgamiento?) con el flysch areniscoso-micáceo de Algeciras en posición invertida y, hacia el oeste, en contacto, aparentemente normal, con la formación de Benaiza, base estratigráfica de las areniscas del Aljibe. Este corte de Didon fue reinterpretado por Bourgois (1978, fig. 28) atribuyendo las arcillas de Jimena a la formación burdigaliense de «arcillas con bloques». Una interpretación y edad similar se les atribuye en la Hoja geológica 1:200.000 de Algeciras (I.T.G.M., en prensa). Además de las descripciones existentes en la bibliografía de estos cortes, hay que añadir que es característica la abundante existencia de grandes *Tubotumaculum* (distintos en forma y tamaño a los contenidos en las arcillas subnumídicas) y concreciones ferro-manganesíferas en forma de disco. Las numerosas dataciones con nannoplancton realizadas en estos perfiles (determinaciones de H. Feinberg) dan edades comprendidas entre Senoniense y Eoceno.

Los perfiles 4 y 5 están levantados en el afloramiento tipo de las «arcillas con bloques» de Bourgois (1978). El perfil 4 se sitúa en la margen izquierda del arroyo de Montecorto, aguas arriba del puente de la carretera que asciende al pueblo de igual nombre el perfil 5 en el km. 93,5 de la carretera de Ronda a Sevilla. La descripción del afloramiento se encuentra en Bourgois (1978) y únicamente señalamos, adicionalmente, la presencia de *Tubotumaculum* en varios niveles y, en el perfil 4, la de turbiditas areniscosas con facies idénticas a la formación albo-aptiense de las «arcillas de Facinas» (Didon, 1970). Las edades encontradas en las muestras de estas arcillas abigarradas, supuesta matriz de la formación, van del Cretácico inferior al Eoceno.

El perfil 6 se sitúa al norte del Puerto de las Palomas, en la carretera de Gaucín a El Colmenar, entre los km. 9 y 11. El perfil analizado está constituido por arcillas abigarradas con esporádicos niveles centimétricos de margas; no contienen *Tubotumaculum* ni discos. El afloramiento presenta una estratificación muy regular y no distorsionada; su continuidad con la formación suprayacente de Benaiza es segura, hecho unánimemente aceptado en todas las cartografías (Didon, 1970 y mapas del I.T.G.M.), por lo que puede concluirse que este afloramiento pertenece a la sucesión basal del manto del Aljibe. Las determinaciones del nannoplancton dan una edad eocena para todo el perfil.

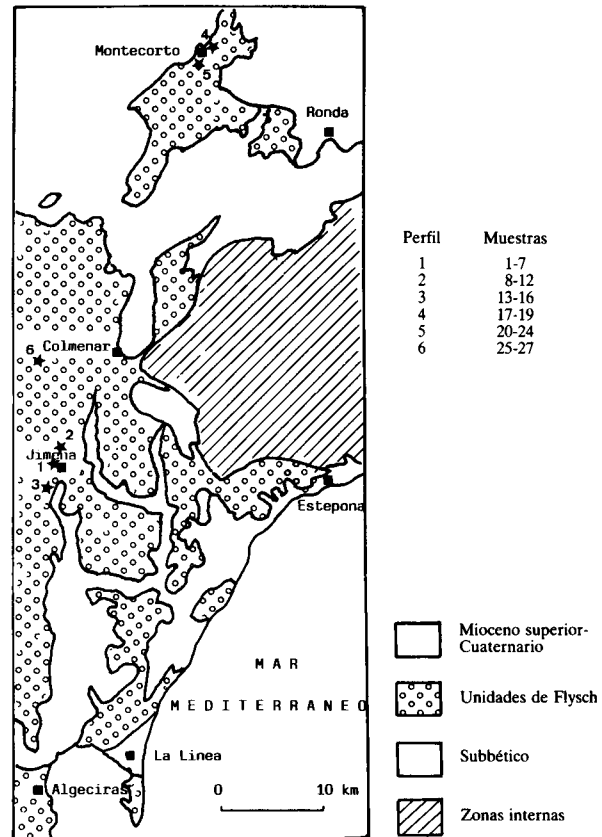


Fig. 1.—Esquema geológico de la orilla norte del Estrecho de Gibraltar y situación de los perfiles estudiados.

### Metodología

Tras el análisis mineralógico previo de un total de 60 muestras pertenecientes a estos perfiles (fig. 1), se seleccionaron 27, en base a la composición mineralógica de las mismas, especialmente por su contenido en esmectita. Se han analizado las muestras globales y dos fracciones de tamaño: 2-20  $\mu\text{m}$  y < 2  $\mu\text{m}$ .

El análisis mineralógico se llevó a cabo fundamentalmente por difracción de rayos X (DRX), si bien las esmectitas se estudiaron también mediante análisis térmico diferencial (ATD) y espectrometría de infrarrojos (IR). Se ha utilizado un difractor Siemens-501 con radiación  $\text{CuK}\alpha$  y monocromador de grafito. La cuantificación mineralógica se realizó, en las muestras globales, a partir de diagramas de polvo desorientados, y en las fracciones < 2  $\mu\text{m}$  y 2-20  $\mu\text{m}$ , en agregados orientados naturales, solvatados con etilenglicol y calentados a 550° C. Para la cuantificación se utilizaron los poderes reflectantes de Schultz (1964) e Islam y Lotse (1986).

El estudio textural se llevó a cabo en un microscopio electrónico de barrido (MEB) ISI, DS 130 equipado con un analizador puntual KEVEX, modelo 7000-77, sobre muestras naturales a las que se le había realizado el punto crítico.

El análisis químico de elementos mayores y traza se llevó a cabo mediante absorción atómica y se realizó sobre las fracciones de tamaño comprendido de 2 a 20  $\mu\text{m}$ , ya que éstas ofrecían los mayores contenidos en esmectita.

Para el cálculo de la fórmula estructural de las esmectitas se ha seguido el método de Bain y Smith (1987), aplicando en primer lugar la corrección correspondiente a las impurezas presentes. Es-

tas impurezas son cuarzo, caolinita, illita y jarosita. Para cuarzo y caolinita la composición es próxima a la teórica, por lo cual, de los análisis se han restado las cantidades correspondientes de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . El contenido en illita está comprendido entre 4 y 10 %. Dada la correlación del K con la illita, hemos supuesto para este mineral una composición de moscovita y se han restado de los análisis las cantidades correspondientes de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{K}_2\text{O}$ . La cantidad de  $\text{TiO}_2$  ha sido eliminada, dada la fuerte correlación positiva entre Ti y caolinita. El  $\text{P}_2\text{O}_5$  se ha supuesto que está en su mayor parte en forma de apatito, por lo cual se ha restado también la cantidad correspondiente de CaO. De igual forma se han eliminado los porcentajes de  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  correspondientes a la jarosita.

## Resultados

Los resultados de análisis mineralógico global de las muestras seleccionadas se recogen en la tabla 1. El contenido en filosilicatos es en todos los casos superior al 70 %. Cuarzo (10-25 %) y feldespatos (0-8 %) son también constituyentes de las muestras. Ocasionalmente aparece también una pequeña proporción de yeso, jarosita y apatito.

Los resultados correspondientes a las fracciones

Tabla 1.—Composición mineralógica de las muestras globales

Formación	Perfil	Muestra	Q	Fd	Y/J	Ph
Arcillas de Jimena	1	1	11	8	2	71
	1	2	14	5	—	81
	1	3	16	7	Tr	77
	1	4	11	5	4	80
	1	5	15	6	—	79
	1	6	15	4	—	81
	1	7	20	5	—	75
	2	8	14	3	2	81
	2	9	9	3	3	84
	2	10	11	3	3	83
	2	11	13	—	3	84
	2	12	23	2	—	75
	3	13	16	2	—	82
	3	14	17	4	4	75
	3	15	16	2	4	78
	3	16	17	4	—	79
		Media	14,9	3,9	1,6	79,6
Arcillas con bloques	4	17	18	—	—	82
	4	18	24	—	Tr	76
	4	19	19	2	2	77
	5	20	14	1	7	78
	5	21	16	3	—	81
	5	22	12	1	—	87
	5	23	14	1	6	79
	5	24	15	1	—	84
		Media	16,5	1,1	1,9	81,5
Arcillas de Colmenar	6	25	17	6	—	77
	6	26	15	3	—	82
	6	27	14	2	—	84
		Media	15,3	3,7	—	81,0

Q: Cuarzo; Fd: Feldespato; Y: Yeso; J: Jarosita; Ph: Filosilicatos.

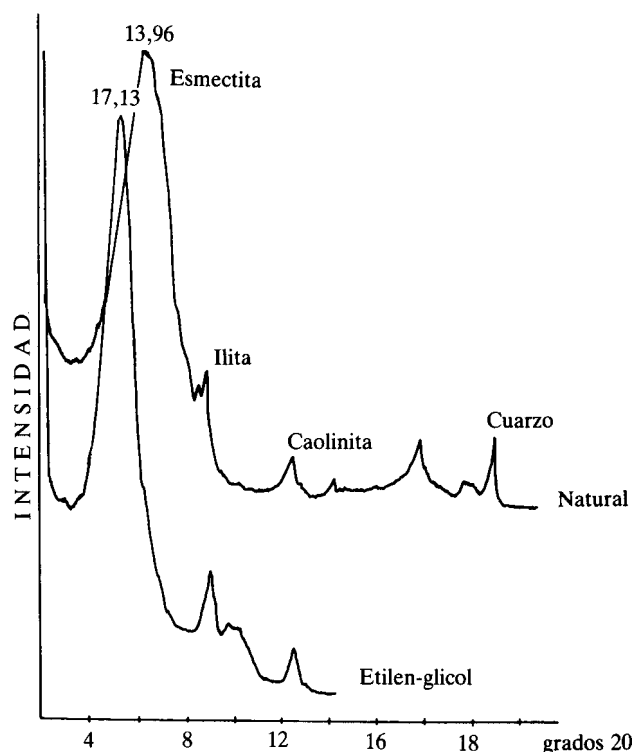


Fig. 2.—Diffractogramas de rayos X realizados sobre agregados orientados de la muestra n.º 1, natural y tratada con etilén-glicol.

2-20  $\mu\text{m}$  y  $< 2 \mu\text{m}$  se han recogido en la tabla 2. Esmectita, illita, caolinita y cuarzo son los minerales más abundantes (fig. 2). Localmente la clorita aparece bien representada en la fracción  $< 2 \mu\text{m}$ . La presencia de paligorskita, determinada mediante análisis puntual al MEB, no ha podido ser confirmada de modo inequívoco mediante DRX. El contenido relativo en caolinita y esmectita es bastante variable en la fracción  $< 2 \mu\text{m}$ , mientras en la fracción 2-20  $\mu\text{m}$  se mantiene entre límites más estrechos, y, en general, con proporciones más elevadas de esmectita. En la tabla 3 se han recogido algunos parámetros cristaloquímicos de las esmectitas, deducidos mediante DRX, así como la relación de intensidades basales en las illitas. Los valores de la cristalinidad de la illita no se recogen en la tabla ya que su determinación sólo ha sido posible en algunas muestras. Los parámetros determinados se mantienen bastante constantes en todas las secuencias analizadas. Las mayores diferencias se observan entre las dos fracciones de tamaño analizadas. Son características comunes a las esmectitas:

1. La presencia de reflexiones bastante estrechas tras el tratamiento con etilenglicol, con índices de Biscaye elevados (0,66-0,81) en la fracción 2-20  $\mu\text{m}$  y algo menores (0,39-0,79) en la fracción  $< 2 \mu\text{m}$ .

Tabla 2.—Composición mineralógica de las fracciones 2-20  $\mu\text{m}$  y < 2  $\mu\text{m}$ 

Formación	Perfil	Muestra	2-20 $\mu\text{m}$					< 2 $\mu\text{m}$			
			Q	K	I	S	J	K	I	S	Ch
Arcillas de Jimena	1	1	13	2	7	73	5	6	16	78	—
	1	2	4	17	15	64	—	39	32	29	—
	1	3	7	7	14	70	2	32	32	36	—
	1	4	7	15	15	63	3	51	24	25	—
	1	5	9	14	13	64	—	35	29	36	—
	1	6	33	1	10	56	—	—	26	74	—
	1	7	21	1	9	69	—	—	22	68	—
	2	8	6	14	7	71	2	25	17	58	—
	2	9	7	11	5	71	6	21	7	72	—
	2	10	—	16	8	72	4	29	19	52	—
	2	11	—	22	20	57	1	35	13	52	—
	2	12	33	1	12	54	—	Tr	24	76	—
	3	13	16	18	10	56	—	35	15	50	—
	3	14	4	4	10	75	7	4	10	86	—
	3	15	3	10	6	75	6	19	14	52	15
	3	16	4	9	7	73	7	20	20	60	—
		Media	10,3	10,1	11,3	65,6	3,4	22,1	20,1	56,9	0,9
Arcillas con bloques	4	17	7	13	8	72	—	20	23	57	—
	4	18	15	7	6	70	2	18	14	68	—
	4	19	13	5	4	76	2	40	27	33	—
	5	20	3	11	8	75	3	36	10	40	14
	5	21	13	14	13	60	—	15	19	39	27
	5	22	1	20	6	73	—	34	11	55	—
	5	23	9	5	4	76	6	9	11	80	—
	5	24	7	16	11	66	—	Tr	16	77	7
			Media	7,6	13,6	8,4	68,5	3,5	21,5	16,4	56,1
Arcillas de Colmenar	6	25	7	17	10	64	2	35	17	48	Tr
	6	26	—	25	18	57	—	30	19	32	19
	6	27	4	18	9	67	2	22	11	58	9
			Media	3,7	20	12,3	64,0	1,3	29	15,7	46

Q: Cuarzo; K: Caolinita; I: Ilita; S: Esmectita; Ch: Clorita; J: Jarosita.

\* En la fracción < 2  $\mu\text{m}$  el contenido en cuarzo se ha despreciado.

2. Presencia constante de una reflexión ancha alrededor de 8,9 Å tras la gicolación.

3. Valores de  $b_0$  muy constantes (alrededor de 9,00) que indican la naturaleza claramente dioctaédrica de las esmectitas.

Variaciones más notables ofrecen los valores de la relación de intensidades basales en las ilitas, al comparar las dos fracciones de tamaño. Esta relación oscila entre 0,48 y 0,78 en la fracción 2-20  $\mu\text{m}$ , valores característicos de moscovitas, y entre 0,24 y 0,38 en la fracción < 2  $\mu\text{m}$ , indicando un mayor grado de fengitización.

Los resultados del análisis químico de elementos mayores y elementos traza aparecen recogidos en las tablas 4 y 5, respectivamente. En la tabla 5, con fines de comparación se incluyen los valores medios de los elementos traza en arcillas sedimentarias (Turkian y Wedepohl, 1961). La semejanza mineralógica entre las muestras analizadas se pone también

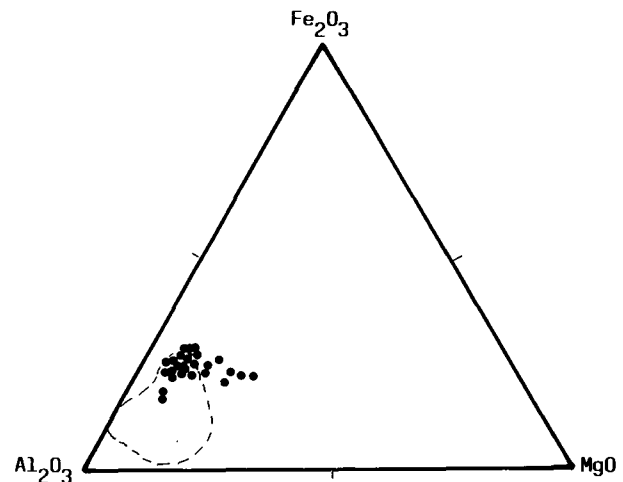


Fig. 3.—Variación en los contenidos relativos en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{MgO}$  en los materiales estudiados. La línea discontinua delimita el campo de las beidellitas detríticas según McMurtry *et al.* (1983).

Tabla 3.—Parámetros cristaloquímicos (valores medios)

Perfil	N	2-20 $\mu\text{m}$					< 2 $\mu\text{m}$				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	7	14,6	16,7	0,81	9,01	0,74	12,3	16,5	0,79	8,99	0,35
2	5	14,1	16,9	0,78	9,00	0,51	14,0	16,4	0,69	8,97	0,33
3	4	13,6	16,9	0,77	9,02	0,65	13,6	16,8	0,56	8,99	0,29
4	3	14,4	16,9	0,69	9,01	0,58	12,6	17,1	0,39	8,98	0,28
5	5	13,8	16,9	0,68	8,99	0,48	12,6	16,4	0,77	9,01	0,24
6	3	14,4	16,8	0,66	9,01	0,73	14,0	16,7	0,54	9,00	0,38

N: Número de muestras analizadas; 1:  $d_{001}$  de la esmectita; 2: Grado de hinchamiento de la esmectita; 3: Índice de Biscaye; 4:  $b_0$  de la esmectita; 5: Relación de intensidades basales en la illita.

de manifiesto en la homogeneidad de los resultados del análisis químico, tanto en elementos mayores como en elementos traza. El contenido en elementos mayoritarios se mantiene dentro de límites bastante estrechos; los óxidos que ofrecen mayor variación son  $\text{MgO}$  (1,5-6,1 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11,6-20,0 %) y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4,4-8,7 %) (fig. 3).

### Discusión

La matriz de similaridad entre las muestras (modo R) y el fenograma correspondiente (fig. 4) muestran la gran semejanza que existe entre todos los perfiles analizados. La correlación es en general superior a 0,91.

La matriz de similaridad entre las variables (modo Q) y el correspondiente fenograma (fig. 5) permiten únicamente poner de manifiesto la correlación, lógica en cualquier caso, entre illita,  $\text{K}_2\text{O}$  y Ba y caolinita,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Podemos suponer por lo tanto que los análisis representan en gran medida la composición de las esmectitas, que siempre constituyen más del 50 % de la fracción analizada.

La fórmula estructural de las esmectitas se ha deducido en aquellos casos en que el contenido en este mineral superaba el 70 %. Algunos de los análisis, recalculados eliminando las impurezas, se ha recogido en la tabla 6. A partir de estos análisis, la fórmula estructural se ha calculado en base a una celda unidad con  $\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  y 22 cargas negativas, suponiendo que Fe, Mg y Mn ocupan la capa octaédrica y Ca, Na y K las posiciones intercapa. Las fórmulas así obtenidas no corresponden a montmorillonitas s.s. (Newman, and Brown 1987) sino a montmorillonitas no ideales (Schultz, 1969). Tanto el contenido en  $\text{Fe}^{3+}$  como la temperatura de deshidroxilación más frecuente, alrededor de  $570^\circ\text{C}$  (fig. 6), indican la presencia de este tipo de montmorillonitas (Brigatti, 1983). En los diagramas de ATD aparece también

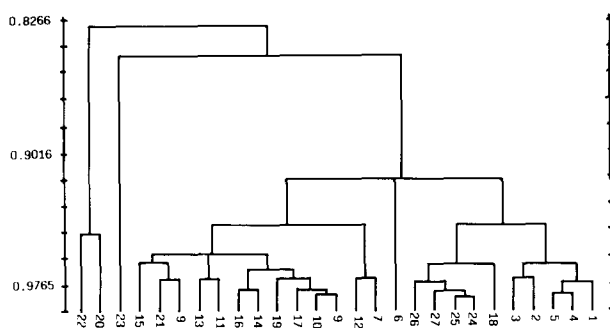


Fig. 4.—Fenograma realizado a partir de la matriz de similaridades entre las muestras (modo R).

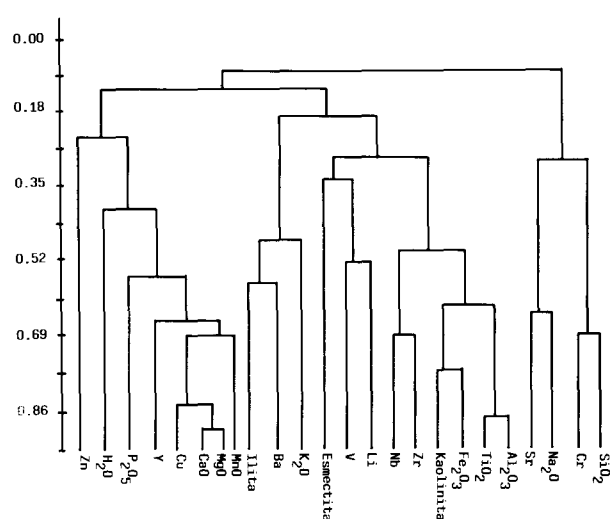


Fig. 5.—Fenograma realizado a partir de la matriz de similaridades entre las variables (modo Q).

ocasionalmente un doble endotérmico a  $570-660^\circ\text{C}$  bastante característico de este tipo de esmectitas (Mackenzie, 1972).

Estas esmectitas son, pues, en líneas generales, similares en composición a las esmectitas detríticas asociadas a depósitos profundos, tales como las que se encuentran actualmente en los fondos oceánicos (Bouquillon *et al.*, 1987; Leinen, 1987), a las que se depositaron en el Atlántico Norte durante el Cretácico Terminal-Terciario Inicial (Lancelot *et al.*, 1972) y a las descritas por López Galindo y Martín Algarra (1990) en sedimentos similares a los analizados en este trabajo. La única diferencia apreciable consiste en un contenido ligeramente mayor en Mg en las esmectitas analizadas por nosotros. Este ligero enriquecimiento en Mg puede ser debido a la presencia de cierta cantidad de paligorskita que, como ya se ha señalado, no ha podido cuantificarse, o bien a la presencia de una cierta proporción de interstratificados

Tabla 4.—Análisis químico. Fracción 2-20  $\mu\text{m}$ 

	Perfil	Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O
Arcillas de Jimena	1	1	56,3	16,7	0,73	6,8	0,03	3,7	0,89	1,93	2,1	0,19	10,0
	1	2	52,6	19,5	0,78	7,9	0,02	2,4	0,73	0,98	2,8	0,12	11,8
	1	3	54,1	18,1	0,79	6,2	0,04	2,3	1,25	1,11	2,4	0,11	13,1
	1	4	54,0	17,9	0,85	8,3	0,02	2,3	1,09	1,54	2,4	0,12	11,6
	1	5	54,5	15,3	0,77	6,5	0,06	3,6	1,20	1,31	2,3	0,15	12,3
	1	6	55,9	13,2	0,72	5,0	0,15	5,3	2,08	0,99	2,3	0,47	13,8
	1	7	57,6	11,6	0,54	5,0	0,07	6,1	2,12	0,77	1,6	0,42	14,7
	2	8	56,3	16,6	0,89	5,3	0,05	1,7	0,66	0,82	1,5	0,32	12,5
	2	9	53,3	17,8	0,85	6,4	0,04	3,5	0,50	1,62	1,8	0,55	13,5
	2	10	55,5	19,0	0,94	6,0	0,06	1,9	0,76	1,07	1,9	0,17	12,2
	2	11	54,1	19,7	0,91	7,6	0,04	1,9	0,91	1,10	2,3	0,15	10,2
	2	12	57,6	13,8	0,57	5,2	0,14	5,1	2,15	0,45	2,1	0,39	12,7
	3	13	54,0	20,0	0,90	6,8	0,08	1,6	0,45	0,67	2,2	0,11	13,0
	3	14	57,3	18,6	0,81	6,2	0,01	1,9	0,32	0,97	2,5	0,14	10,6
	3	15	57,1	19,6	0,86	5,9	0,01	1,7	0,31	0,92	2,3	0,24	10,8
	3	16	57,2	19,0	0,83	7,1	0,01	1,8	0,32	0,95	2,4	0,18	10,6
		Media	56,7	17,3	0,80	6,2	0,05	2,8	0,98	1,01	2,1	0,24	12,05
Arcillas con bloques	4	17	54,4	19,2	0,97	7,4	0,07	1,9	1,34	0,96	2,2	0,13	10,7
	4	18	57,2	17,4	0,88	5,2	0,04	1,5	1,12	2,02	2,3	0,24	11,6
	4	19	52,7	19,2	0,79	7,4	0,13	1,9	0,98	0,57	2,5	0,12	12,2
	5	20	56,5	18,0	0,82	7,1	0,01	1,8	0,65	1,65	2,4	0,14	10,7
	5	21	57,7	17,4	0,76	7,0	0,01	2,0	0,73	1,04	2,8	0,39	9,2
	5	22	54,9	19,6	0,87	6,5	0,02	1,8	0,47	1,27	2,1	0,16	12,0
	5	23	61,5	17,0	0,78	6,1	0,01	2,2	0,73	1,30	1,5	0,21	8,8
	5	24	55,8	18,3	0,89	8,6	0,05	2,4	0,75	0,73	2,1	0,26	8,5
		Media	56,3	18,3	0,85	6,9	0,04	1,9	0,85	1,19	2,2	0,20	10,46
Arcillas de Colmenar	6	25	55,9	18,5	0,88	8,7	0,05	2,5	0,73	0,85	2,3	0,28	8,7
	6	26	55,7	18,0	0,88	8,4	0,05	2,3	0,45	0,75	2,3	0,22	13,6
	6	27	55,8	17,9	0,87	8,5	0,02	3,0	0,58	0,37	2,4	0,18	10,2
		Media	55,8	18,1	0,88	8,5	0,04	2,6	0,59	0,66	2,3	0,23	10,83

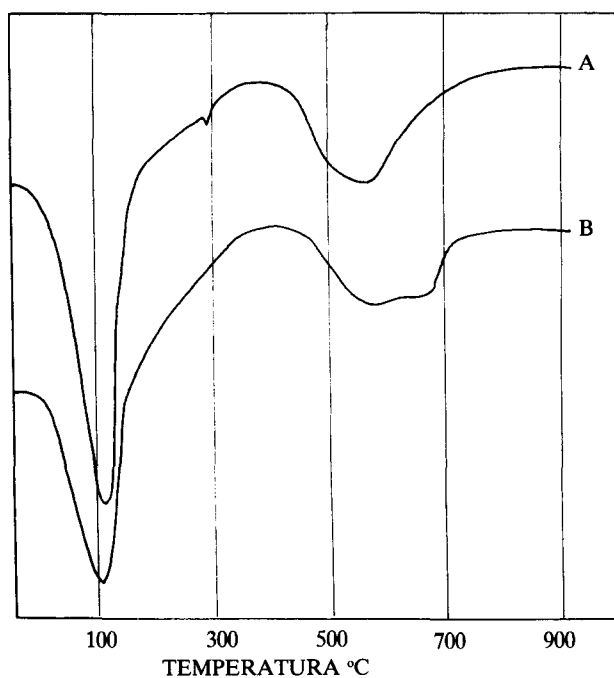


Fig. 6.—Diagramas de ATD de muestras con &gt; 70 % de esmectita. A: muestra n.º 1. B: muestra n.º 6.

y/o clorita. No obstante, las características mostradas por estas esmectitas en DRX, apuntan más bien a la primera posibilidad.

Por último, la composición de las esmectitas en lo que a elementos traza se refiere, debe corresponder con bastante exactitud a la recogida en la tabla 5, ya que sólo es posible evidenciar una correlación positiva de cierta importancia entre illita y Ba. Al comparar estos análisis con los contenidos medios de estos elementos en arcillas sedimentarias, recogidos también en dicha tabla, se observan anomalías negativas importantes en Ba, Y, Cu, y Cr y ligeras anomalías positivas en el par V-Nb. Estos contenidos no concuerdan con los datos ofrecidos por diferentes autores (Leinen, 1987; Chamley, 1989) según los cuales, las esmectitas de las alteraciones continentales de rocas magmáticas y las esmectitas asociadas a sedimentos marinos profundos vienen caracterizadas por un enriquecimiento en cationes metálicos, tales como Mn, Cu, Zn, Cr, Co y Ni. No obstante, coinciden en gran medida con los resultados obtenidos por Mosser (1980) en perfiles de alteración desarrollados sobre rocas ácidas, especialmente con aquellos perfiles en los que la esmectita es el mineral dominante.

Tabla 5.—Contenido en elementos traza. Fracción 2-20 µm

	Perfil	Muestra	Ba	Sr	Zr	Y	Cu	Zn	Li	V	Nb	Cr
Arcillas de Jimena	1	1	336	224	90	18	45	121	38	144	20	5
	1	2	423	166	92	19	30	99	71	158	23	0
	1	3	340	138	83	16	35	129	40	140	23	0
	1	4	412	243	111	19	40	91	63	172	28	5
	1	5	380	200	98	21	45	96	53	150	25	0
	1	6	260	181	95	38	135	106	49	137	23	5
	1	7	237	96	77	26	85	124	65	135	24	5
	2	8	255	130	93	22	33	101	50	212	30	5
	2	9	250	144	82	23	35	138	48	224	31	5
	2	10	263	128	100	21	35	87	52	200	30	5
	2	11	244	133	115	25	30	106	101	223	32	9
	2	12	259	116	80	27	90	121	60	156	20	7
	3	13	198	96	97	15	45	94	74	160	25	5
	3	14	237	138	89	5	50	101	36	154	29	5
	3	15	203	88	84	5	40	135	50	176	29	5
	3	16	215	120	86	5	45	115	48	163	28	5
		Media	282	146	92	19	51	110	56	169	26	4
Arcillas con bloques	4	17	300	162	92	24	40	114	74	218	32	8
	4	18	336	305	148	24	50	130	54	178	34	9
	4	19	333	192	77	17	30	131	76	212	22	6
	5	20	124	194	74	10	25	76	70	220	23	6
	5	21	187	137	75	24	45	133	61	190	25	8
	5	22	134	129	80	22	30	100	88	266	33	9
	5	23	188	294	79	18	60	90	38	153	21	18
	5	24	270	210	147	23	32	128	71	136	32	5
			Media	234	203	96	20	39	113	66	197	28
Arcillas de Colmenar	6	25	278	213	152	24	30	135	73	138	31	5
	6	26	270	167	129	18	25	121	60	120	34	5
	6	27	234	187	124	7	30	96	53	109	28	5
			Media	261	189	135	16	28	117	62	122	31
Media global			265	168	98	19	45	112	60	172	27	6
Arcillas sedim.			2.300	180	150	90	250	165	578	120	14	90

Tabla 6.—Análisis químicos recalculados para muestras con &gt; 70 % de esmectita

Muestras	1	3	9	16	19
SiO <sub>2</sub>	54,37	55,99	58,64	62,26	50,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,03	13,14	13,48	14,64	19,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,53	9,41	8,60	9,66	9,61
MnO	0,03	0,04	0,04	0,01	0,13
MgO	5,18	3,45	4,24	2,56	2,47
CaO	0,89	1,08	—	0,13	1,06
Na <sub>2</sub> O	2,61	1,68	2,42	1,35	0,74
K <sub>2</sub> O	1,09	1,90	1,15	1,66	2,65
H <sub>2</sub> O	9,67	12,06	13,1	7,74	13,5
Si <sup>IV</sup>	7,48	7,88	8,00	8,00	6,83
Al <sup>IV</sup>	0,52	0,12	0,00	0,00	1,17
Al <sup>VI</sup>	2,08	2,06	2,21	2,31	2,74
Fe <sup>VI</sup>	0,98	1,00	0,90	0,96	0,96
Mg <sup>VI</sup>	1,06	0,72	0,88	0,51	0,50
Oct.	4,12	3,78	3,99	3,78	4,20
Ca	0,13	0,16	—	0,02	0,15
Na	0,62	0,45	0,67	0,35	0,19
K	0,19	0,32	0,24	0,28	0,46
Carga Interlam.	0,94	0,93	0,91	0,65	0,80

El contenido en elementos traza no parece haber sido modificado en gran medida durante el depósito de estos materiales y sugiere, por lo tanto, un área fuente en la que posiblemente dominarían las rocas magmáticas de carácter ácido junto con rocas sedimentarias antiguas.

### Conclusiones

1. Las arcillas analizadas están constituidas, en su mayor parte, por esmectitas detríticas (montmorillonitas no ideales), similares a las que aparecen asociadas a los depósitos marinos profundos en la mayor parte de los océanos.

2. El contenido en elementos traza sugiere, para estos materiales, la existencia de un área fuente en la que dominarían las rocas magmáticas de carácter ácido, junto con rocas sedimentarias antiguas.

3. Los datos mineralógicos y geoquímicos inducen a interpretar que todas las arcillas analizadas pertenecen a la misma formación, que se interpreta

como perteneciente a los términos inferiores de la sucesión basal del manto del Aljibe.

4. La gran homogeneidad de las arcillas, puesta de manifiesto a partir de su composición mineralógica y química, indica una uniformidad de los aportes y unas condiciones constantes en la cuenca de sedimentación de los flyschs bético-rifeños durante el intervalo Cretácico-Eoceno.

## Referencias

- Bain, D. C. y Smith, B. F. L. (1987). Chemical analysis. In: M. J. Wilson ed. *A hand book of determinative methods in clay mineralogy*. Blackie, Glasgow and London, 248-274.
- Bouquillon, A. y Debrabant, P. (1987). Distribution de minéraux argileux dans l'Océan Indien North-Oriental. *J. Rech. Océanogr.*, 12, 8-11.
- Bourgeois, J. (1978). *La transversale de Ronda*. Ann. Sci. Univ. Besançon, Géologie, 3es. fasc. 30, 445 págs.
- Brigatti, M. F. (1983). Relationships between composition and structure in Fe-rich smectites. *Clay Miner.*, 18, 177-186.
- Chamley, H. (1989). *Clay sedimentology*. Springer-Verlag, Berlín, 623 págs.
- Didon, J. (1970). *Etude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne méridionale)*. These. París, 539 págs.
- I.G.M.E. (1984). Hojas y memorias de Cortes de la Frontera (1064) y Ubrique (1050), escala 1:50.000, 2.ª serie.
- I.T.G.M. (1990). Hoja y memoria de Ubrique (1050), escala 1:50.000, 2.ª serie.
- I.T.G.M. (en prensa). Hoja y memoria de Algeciras (87), escala 1:200.000.
- Islam, A. K. y Lotse, E. G. (1986). Quantitative mineralogical analysis of some Bangladesh Soils with X-ray, ion exchange and selective dissolution techniques. *Clay Miner.*, 21, 31-42.
- Kastner, M. (1981). Authigenic silicates in deep-sea sediments: formation and diagenesis. In: Emiliani, C., Ed., *The sea*. Wiley & Sons, New York, 915-980.
- Lancelot, Y.; Hathaway, J. C. y Hollister, C. D. (1972). Lithology of sediments from the Western North Atlantic Leg. 11. Deep sea Drilling Project. In: Hollister, C. D., Ewing, J. et al., eds. In it *Rep. Deep. Sea. Proj.*, 11, Washington, 901-949.
- Leinen, M. (1987). The origin of paleochemical signatures in North Pacific pelagic clays: partitioning experiments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, 305-319.
- López Galindo, A. y Martín Algarra, A. (1990). Composición mineralógica de las arcillas del Cretácico medio de los flyschs Ubrique y del Corredor de Boyar (Complejo del Campo de Gibraltar); Implicaciones paleogeográficas. *Rev. Soc. Geol. España*, 3, 53-64.
- MacKenzie, R. C. ed. (1972). *Differential thermal analysis*. Vol. 1, Academic Press, London, 775 págs.
- McMurtry, G. M.; Wang, C-R. y Yeh, H-W. (1983). Chemical and isotopic investigations into the origin of clay minerals from the Galapagos hydrothermal mounds field. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 475-489.
- Mosser, C. (1980). Etude géochimique de quelques éléments traces dans les argiles des altérations et des sédiments. *Mém. Centre Nat. Rech. Sc.*, 63, 229 págs.
- Newman, A. C. D. y Brown, G. (1987). The Chemical Constitution of Clays. In: *Chemistry of Clays and Clay mineral*. Miner. Soc., London, 480 págs.
- Paquet, H. (1970). Evolution géodinamique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux a saisons contrastées. *Mém. Sev. Carte Géol. Als. Lorr.*, 30, 210 págs.
- Schulz, L. G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for Pierre Shale. *Geol. Surv. Prof. Paper*, 391-C, 31 págs.
- Schulz, L. G. (1969). Lithium and potassium absorption, dehydroxilation temperature and structural water content of aluminous smectites. *Clays Clay Miner.*, 17, 115-149.
- Trauth, N. (1977). Argiles évaporitiques dans la sédimentation carbonatée continentale et épi-continentale tertiaire. Bassins de Paris, de Mormoiron et de Salinelles (France), Jbel Ghassoul (Maroc). *Sci. Géol.*, Strasbourg, Mém. 49, 203 págs.
- Turekian, K. K. y Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of elements in some major Units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 72, 175-192.

Recibido el 14 de julio de 1993  
Aceptado el 27 de diciembre de 1993