

## Las bentonitas de la zona sur de Cabo de Gata (Almería). Geoquímica y Mineralogía.

E. CABALLERO,<sup>(1)</sup> E. REYES,<sup>(1)</sup> A. YUSTA,<sup>(2)</sup> F. HUERTAS<sup>(1)</sup> y J. LINARES<sup>(1)</sup>

(1) U.E.I. Fisicoquímica y Geoquímica Mineral. Estación Experimental del Zaidín. C.S.I.C. Granada.

(2) Departamento de Química Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga.

### RESUMEN

Se han estudiado las características químicas y mineralógicas de las bentonitas y esmectitas de esta región, así como sus principales parámetros cristalográficos y fórmulas estructurales de las esmectitas.

*Parabras Clave:* Bentonita. Esmectita. Alteración hidrotermal.

### ABSTRACT

The chemical and mineralogical characteristics of bentonites and smectites of this region, as well as their main crystallographic parameters and structural formulae were studied.

The bentonites are constituted by smectite (unique mineral present in the fine fraction), jarosite, zeolite and trydimite, as neoformed minerals, and by plagioclase, K feldspar, amphibole and mica as minerals inherited from parent materials.

The values for crystallographic parameters of smectites and the variation range for structural cations are in accordance with those found by other authors for dioctahedral smectites.

### INTRODUCCION

Sobre las bentonitas de la región volcánica de Cabo de Gata existen numerosos estudios realizados tanto en el Norte de la región (Reyes, *et al.*, 1981 a y b), como en la Serrata de Níjar (Martín Vivaldi y Linares, 1968b y Caballero *et al.*, 1983). Este trabajo estudia las características químicas y mineralógicas de las bentonitas pertenecientes a los yacimientos situados al Sur de la región, así como algunos de la Zona Norte con características similares, con objeto de poder establecer, en posteriores trabajos, estudios comparativos y globales de las características de las bentonitas y esmectitas en toda la región. De esta manera, al tener un gran número de datos y de muestras de distintas características, intentar establecer relaciones entre la composi-

ción química de las esmectitas y sus rocas originales, o bien conocer la variación de la composición química con el grado de alteración, o con la temperatura de formación.

Estos estudios serán objeto de sucesivas publicaciones, en este trabajo se hará sólo una descripción de las características químicas y mineralógicas de las bentonitas y esmectitas de estos yacimientos situados más al Sur de la región.

### DESCRIPCION DE LOS YACIMIENTOS Y MUESTRAS ESTUDIADAS.

Se han estudiado 71 muestras pertenecientes a 24 afloramientos que aparecen en la Fig. 1.

*Rambla Vieja, Mata Lobera y Rambla Méndez.*

Estos afloramientos se encuentran enclavados en las tobas poligénicas que cubren una gran extensión, con su límite Sur que se extiende desde Huertas de Agua Amarga hasta la Cala de El Plomo. Mata Lobera y Rambla Méndez son dos calicatas de prospección en las que la alteración a bentonita es algo más intensa que en el resto de la zona, en la que predomina una alteración supergénica muy superficial. A ellas pertenecen las muestras ML-1 y RM-1/3.

En Rambla Vieja la bentonitización es intensa y ha alcanzado gran potencia, por lo que es una cantera activa. Los materiales originales son, como en los casos anteriores, tobas poligénicas blancas. Se observa una clara transición entre éstas y las bentonitas. Se tomaron cinco muestras con una separación entre ellas de 5 m. La muestra VR-1 corresponde a la cinerita sin alterar, mientras que la VR-5 es la más alterada.

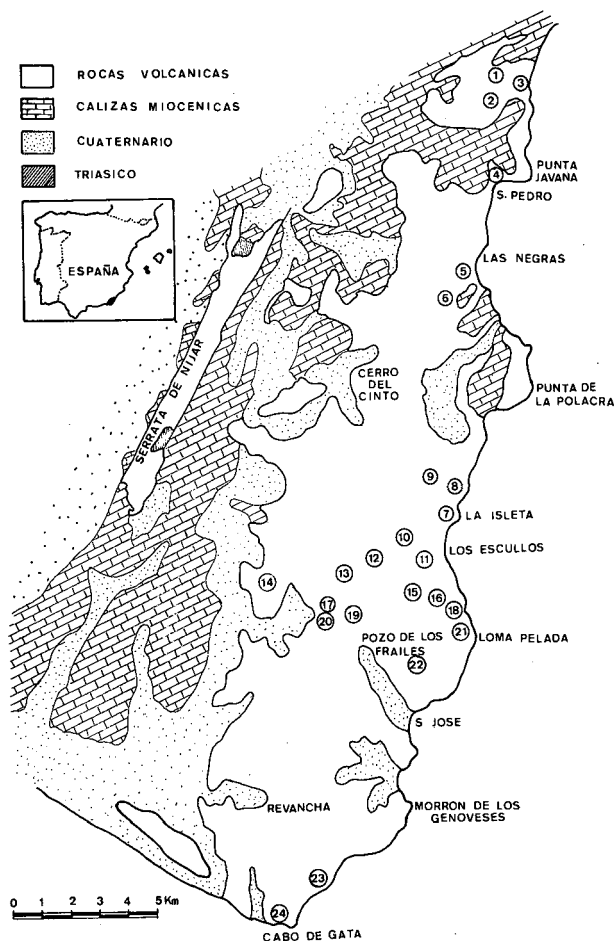


Figura 1.- Areas bentoníticas muestreadas.

1.- Mata Lobera (ML). 2.- Rambla Vieja (RV). 3.- Rambla Méndez (RM). 4.- Rambla de S. Pedro (RSP). 5.- Rodalquilar (R). 6.- Los Albacetes (LA). 7.- La Isleta del Moro (LI, IM). 8.- Cerro de la Amatista (CAM). 9.- Cortijo La Loma (CL). 10.- Morrón de Mateo (MM). 11.- Los Escullos (E). 12.- La Capitana (LC). 13.- Boca de los Frailes (BF). 14.- Cerro Estrada (CE). 15.- Cortijo del Gitano (CG). 16.- Las Hermanicas (LH). 17.- La Barranquilla (LB). 18.- Loma Pelada (LP, LPN). 19.- El Toril (T). 20.- La Marranera (LM). 21.- Caliguera (C). 22.- Cerro del Marchal (CM). 23.- Vela Blanca (VB). 24.- El Corralete (EC).

Figure 1.- Location of bentonite sampling areas.

1.- Mata Lobera (ML). 2.- Rambla Vieja (VR). 3.- Rambla Méndez (RM). 4.- Rambla de S. Pedro (RSP). 5.- Rodalquilar (R). 6.- Los Albacetes (LA). 7.- La Isleta del Moro (LI, IM). 8.- Cerro de la Amatista (CAM). 9.- Cortijo de la Loma (CL). 10.- Morrón de Mateo (MM). 11.- Los Escullos (E). 12.- La Capitana (LC). 13.- Boca de los Frailes (BF). 14.- Cerro Estrada (CE). 15.- Cortijo del Gitano (CG). 16.- Las Hermanicas (LH). 17.- La Barranquilla (LB). 18.- Loma Pelada (LP, LPN). 19.- El Toril (T). 20.- La Marranera (LM). 21.- Caliguera (C). 22.- Cerro del Marchal (CM). 23.- Vela Blanca (VB). 24.- El Corralete (EC).

### Rambla de San Pedro

La muestra RSP-1 se tomó en un nivel tobáceo muy alterado y de poca extensión, englobado en los aglomerados anfibólicos infrayacentes a los sedimentos calcáreos de la Rellana de San Pedro.

### Morrón de Mateo

Es un yacimiento muy extenso y de morfología muy variada que circunda al cerro de Morrón de Mateo. Se han muestreado tres frentes distintos:

#### a) Morrón de Mateo-1.

Está formado por niveles alternos de bentonitas y tobas calcareníticas con diferente grado de alteración. Las muestras MM1/1, MM1/3 y MM1/5 pertenecen a estos últimos niveles, mientras que las MM1/2 y MM1/4 son bentonitas blanco amarillentas.

#### b) Morrón de Mateo-2.

Es el más extenso, presenta aspecto estratiforme debido a la alternancia de niveles bentoníticos con otros de tobas piroxénicas verdes en la parte superior, y tobas más arenosas y compactas en la inferior, una gran fractura de dirección NS pone en contacto estos materiales con las dacitas anfibólicas masivas. La distribución del muestreo aparece en la Figura 2.

#### c) Morrón de Mateo-3.

Es un nuevo frente de prospección. En él los materiales bentoníticos se encuentran localizados bajo bancos de calcarenitas tobáceas muy fosilíferas, de edad Tortoniense, o directamente bajo las dacitas cuando falta este sedimentario que presenta una distribución muy irregular. (Fig. 3).

### Rodalquilar y Los Albacetes.

Los materiales muestreados pertenecen a un afloramiento de aglomerados dacíticos muy rodalquilarizados. Localmente aparecen zonas más tobáceas algo bentonitizadas. El afloramiento se encuentra al SE del antiguo cementerio de las Negras. Los materiales alterados presentan nódulos de bentonita muy pura, R2/N, englobados en una masa más cinerítica y rica en jarosita, R2/M.

La muestra de los Albacetes corresponde a una calicata practicada en el cerro 80 al E del Cortijo de los Albacetes. Se trata de una toba dacítica intercalada en aglomerados dacíticos muy rodalquilarizados (LA-1).

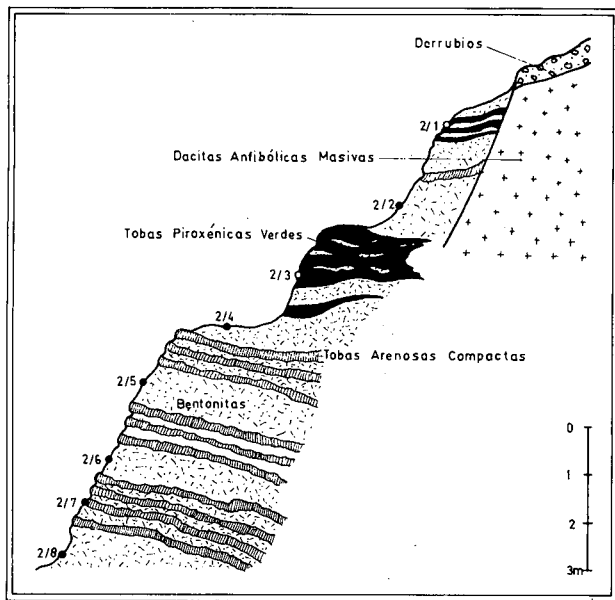


Figura 2.- Yacimiento de Morrón de Mateo/2.

Figure 2.- Morrón de Mateo/2 deposit.

*La Isleta del Moro, Cerro de la Amatista y Cortijo de la Loma.*

Los dos primeros son pequeños afloramientos de bentonita ocre pálido que aparecen intercalados en brechas y aglomerados andesítico-piroxénicos. En la Isleta del Moro, la zona más bentonitizada, aparece al SE del Cortijo de la Loma y, posiblemente, esté relacionada con una fractura de dirección N10E, aunque los abundantes derrubios que cubren estos terrenos impiden establecer si existe una relación directa entre ambas. Al SW del Cerro de la Amatista, la alteración de los aglomerados es mucho más difusa aunque parece identificarse bajo sedimentos pliocuaternarios. A estas zonas pertenecen las muestras LI-1, IM-1, CAM-1 y CAM-2 respectivamente.

Al NE del Cortijo de la Loma aparecen materiales ignimbríticos alterados parcialmente a bentonita, a los que pertenecen las muestras CL-1 y CL-2.

*Los Escullos*

Este yacimiento está enclavado en la zona de tobas andesítico-piroxénicas próxima al Haza del Castillo. Se trata de bentonitas blanco-amarillentas o amarillo-verdosas. En conjunto estos materiales presentan una

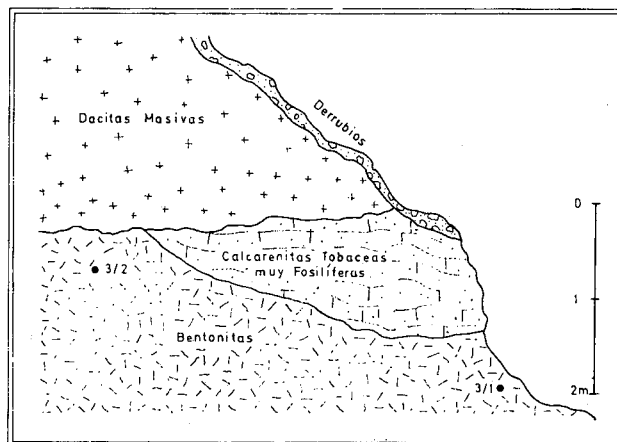


Figura 3.- Yacimiento de Morrón de Mateo/3.

Figure 3.- Morrón de Mateo/3 deposit.

morfología estratiforme por la alternancia de capas más o menos alteradas.

Se han tomado cuatro muestras. Las E-1 y E-3 pertenecen al nivel de bentonita más pura. La E-2 de nivel inferior pertenece a una bentonita más terrosa. Este nivel presenta laminaciones discontinuas de tobas andesíticas. La muestra E-4 es la más alta, topográficamente, y corresponde a una zona bentonitizada y compacta con abundantes niveles discontinuos de tobas piroxénicas, que a su vez presentan enclaves y láminas de bentonita muy pura.

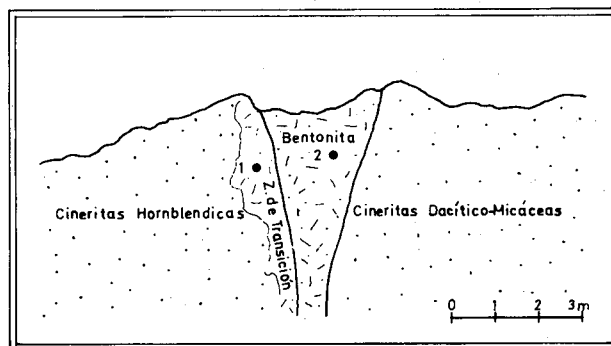


Figura 4.- Yacimiento de Las Hermanicas.

Figure 4.- Las Hermanicas deposit.

## La Capitana

Es un afloramiento de tobas dacíticas situado en la ladera W del cerro 156, en las proximidades del Cortijo de la Capitana. Relacionadas con pequeñas fracturas N20E y con un pequeño dique andesítico, 1 m. de potencia, se encuentran zonas tobáceas algo más bentonizadas, de color blanco y con pequeños cantos oscuros. En estas zonas se tomaron las muestras LC-1 y LC-2.

## Boca de los Frailes

Al sur de cerro Arago, en la zona de contacto entre dacitas masivas y aglomerados anfibólicos, aparecen algunos niveles de cineritas alteradas a una bentonita blanco-grisácea, a la que pertenece la muestra BF-1.

## Cerro de Estrada

Se trata de un pequeño afloramiento de tobas muy alteradas, que se acuñan entre dacitas masivas y aglomerados tobáceos bastante frescos, que se encuentra situado en las laderas S y SE de Cerro Arago y Cerro de la Estrada. A él corresponden las muestras CE-1 y CE-2.

## Cortijo del Gitano

Esta zona está situada en la Umbría, ladera N del Cerro de Los Frailes. Está ocupada por aglomerados anfibólicos con intercalaciones tobáceas de distinta consistencia y que presentan, en niveles de poca potencia (decimétricos) una bentonita muy pura.

## Las Hermanicas

Es una zona de fractura que separa cineritas hornbléndicas de cineritas dacítico-micáceas. Las bentonitas son muy puras (LH-2) y presentan una estrecha zona de transición con las cineritas hornbléndicas (LH-1), (Fig. 4).

## La Barranquilla y la Marranera

Se tomaron dos muestras en la Marranera y una en la Barranquilla. Ambas corresponden a niveles cineríticos enclavados en aglomerados dacíticos algo rodalquilarizados, como indica la presencia de jarosita en estos materiales.

## Loma Pelada

Se trata de un pequeño afloramiento de bentonita,

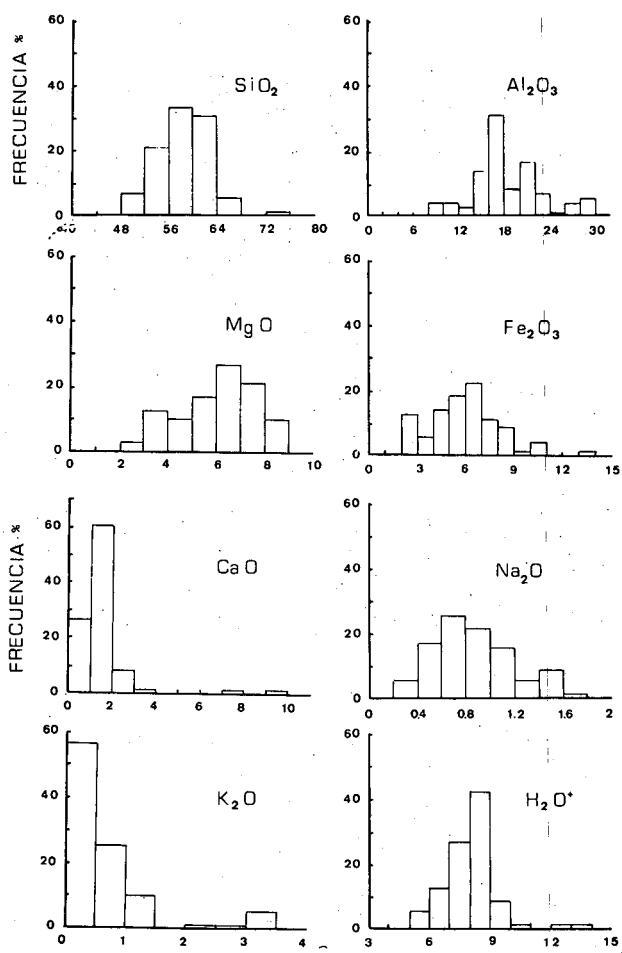


Figura 5.- Histogramas de distribución de frecuencias de óxidos de las bentonitas.

Figure 5.- Frequency distribution of bentonite chemical composition.

localizado en una zona de fractura enclavada en tobas anfibólicas, LP-1. La muestra LP-2 pertenece a tobas anfibólicas algo más bentonizadas que las anteriores y situadas directamente debajo de andesitas anfibólicas masivas.

A unos 100 m. al Norte de este yacimiento aparece un afloramiento de tobas pardo-verdosas, con una alteración superficial importante, al cual corresponde la muestra LPN-1.

## El Toril

Localizado a unos 50 m. al Norte del Cerro del Toril. La zona superior del yacimiento presenta bentonita con jarosita, por lo que tiene una coloración ocre

amarillenta intensa. La zona inferior está formada por bentonita blanca o beige claro, muy pura. Se ha muestreado una galería de prospección, de unos 10 m. de longitud, que se inicia en las bentonitas blancas para terminar en las jarositas.

### Caliguera

Es una pequeña zona de alteración que se encuentra localizada en la rambla que se inicia en la Solana del Cerro de los Frailes y desemboca en las proximidades del cerro 63. Los materiales alterados son aglomerados tobáceos. Dicha alteración presenta estructura bandeda de bentonita verde de buena calidad, alternán-

dose con otra amarilla más arenosa. Se tomaron cuatro muestras pertenecientes a cuatro de estos niveles alternantes.

### Cerro del Marchal

Se trata de tres afloramientos de bentonitas separados unos 300-400 m. y enclavados en tobas relacionadas con andesitas anfibólicas micáceas masivas y aglomeráticas, en ellos se tomaron las muestras CM-1 y CM-2 y CM-4. La muestra CM-3 corresponde a un pozo de prospección.

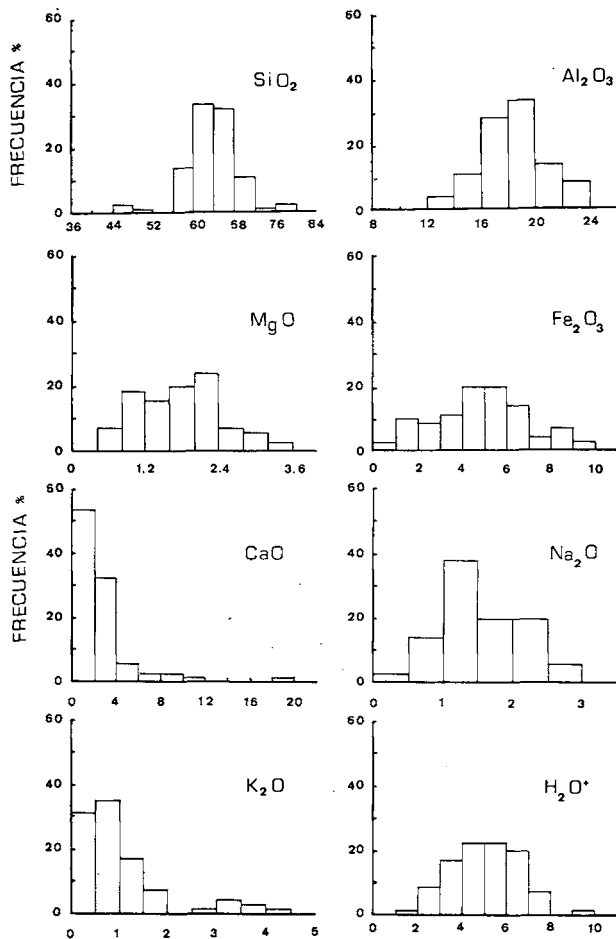


Figura 6.- Histogramas de distribución de frecuencias de los óxidos de las esmectitas.

Figure 6.- Frequency distribution of smectite chemical composition.

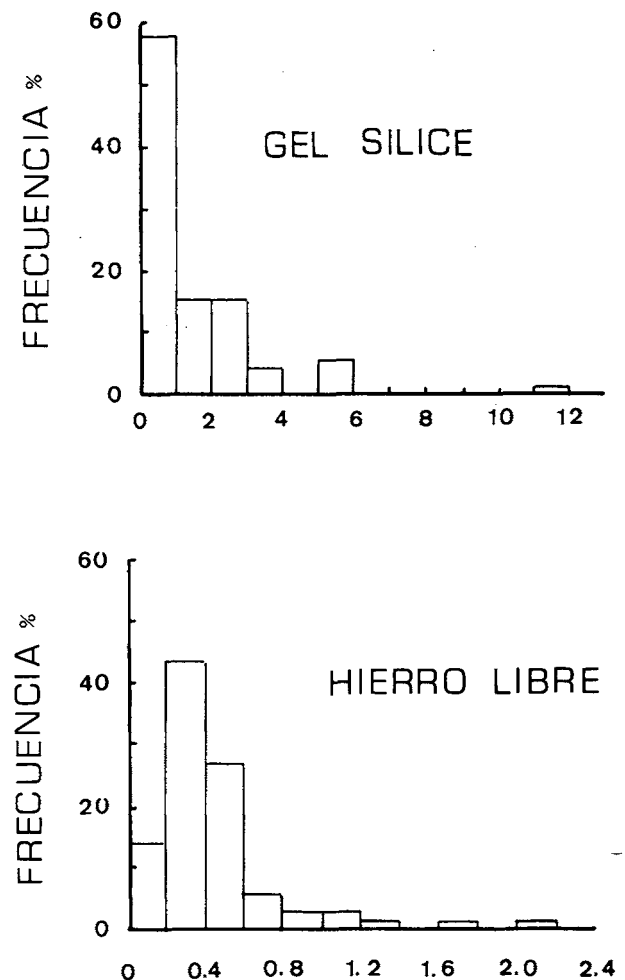


Figura 7.- Histogramas de distribución de frecuencias de geles de sílice e hierro libre.

Figure 7.- Frequency distribution of amorphous silica and free iron oxides.

TABLA 1.- Composición Química de Bentonitas.

TABLE 1.- Chemical Composition of Bentonites.

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Total
E-1	63,39	18,40	5,33	0,48	0,93	2,88	1,09	0,48	0,14	6,14	99,26
E-2	66,54	17,61	4,19	0,49	1,17	1,42	1,36	0,62	0,07	6,16	100,23
E-3	63,83	19,15	5,10	0,61	1,57	2,34	1,28	0,41	0,00	5,84	100,13
E-4	62,32	20,10	5,85	0,56	1,35	2,39	2,31	0,75	0,00	4,57	100,20
E-5	64,26	16,06	9,63	1,36	2,04	1,76	1,36	0,52	0,01	3,12	100,12
MM-1/1	64,45	16,63	5,49	0,42	3,67	2,00	1,37	0,66	1,22	3,58	99,59
MM-1/2	67,96	15,53	4,66	0,54	1,69	1,66	2,28	0,67	0,71	4,48	100,18
MM-1/3	63,40	19,93	5,42	0,71	3,12	1,61	2,09	0,55	0,25	3,31	100,39
MM-1/4	65,91	19,07	4,10	0,65	2,02	1,41	2,16	0,70	0,26	4,36	100,64
MM-1/5	58,91	17,37	4,65	0,73	6,38	1,36	1,96	0,55	4,84	3,23	99,98
MM-2/1	64,93	20,41	4,13	0,49	2,13	0,92	1,55	1,03	0,07	5,00	100,66
MM-2/2	64,26	18,07	4,56	0,55	1,95	1,40	1,65	0,88	0,89	5,26	99,47
MM-2/3	60,38	20,71	6,85	0,63	3,26	1,46	1,66	0,97	0,48	3,17	99,57
MM-2/4	66,76	18,31	3,32	0,39	1,26	1,19	1,87	1,35	0,16	5,98	100,75
MM-2/5	65,20	19,92	5,33	0,38	1,35	1,46	1,49	0,46	0,12	4,27	99,98
MM-2/6	65,58	19,52	4,10	0,41	1,07	2,52	1,29	0,38	0,04	5,35	100,26
MM-2/7	61,98	20,66	6,42	0,68	2,71	1,39	2,16	0,75	0,30	2,88	99,93
MM-2/8	65,35	17,82	3,54	0,54	2,00	0,96	1,91	1,02	0,20	6,15	99,49
MM-3/1	59,88	17,74	4,91	0,42	5,47	2,34	1,11	0,33	2,13	6,39	100,72
MM-3/2	69,29	15,84	4,27	0,54	1,05	1,56	2,20	0,50	0,15	4,65	100,05
LP-1	65,85	16,18	4,23	0,13	0,82	3,20	1,74	0,31	0,28	7,18	99,92
LP-2	66,94	15,74	3,44	0,12	0,94	3,40	0,98	0,25	0,27	7,43	99,51
LPN-1	61,54	17,86	7,21	0,57	2,77	2,24	2,22	0,38	1,35	4,34	100,48
LH-1	69,53	16,36	4,02	0,36	1,71	1,55	2,55	0,77	0,24	3,37	100,46
LH-2	64,21	19,46	1,96	0,10	0,93	2,81	2,41	0,20	0,35	7,33	99,76
CG-1	60,66	21,53	6,39	0,69	2,28	2,30	2,48	0,29	0,00	6,21	101,07
CG-2	63,83	21,28	4,75	0,62	1,07	2,35	1,94	0,32	0,06	5,84	99,54
CG-3	60,29	20,79	6,86	0,78	2,39	1,99	2,06	0,28	0,04	4,05	99,53
CM-1	57,57	23,45	5,11	0,57	1,19	3,07	1,18	0,37	0,30	7,30	100,11
CM-2	59,52	19,84	6,40	0,54	2,23	2,94	1,41	0,47	0,79	6,23	100,37
CM-3	57,62	17,31	6,75	0,69	4,12	2,14	1,28	0,46	2,70	6,52	99,69
CM-4	64,00	18,00	8,05	0,83	1,01	2,66	1,40	0,61	0,19	6,32	100,31
C-1	67,10	17,32	5,37	0,54	0,92	1,06	2,08	1,39	0,00	5,26	101,04
C-2	44,66	12,97	2,56	0,32	18,89	1,56	1,28	0,70	14,15	3,43	100,52
C-3	62,08	17,74	5,48	0,52	1,46	2,12	1,64	1,58	0,52	7,45	100,59
C-4	59,61	22,11	6,36	0,68	2,20	2,28	2,18	0,23	0,40	4,57	100,62
EC-1	77,00	14,32	1,07	0,11	1,04	0,64	0,64	3,03	0,60	2,56	101,01
EC-2	76,77	13,87	0,84	0,10	1,22	0,66	0,31	2,78	0,73	2,61	99,89
EC-3	72,79	15,60	2,08	0,09	0,38	1,61	0,55	1,98	0,07	4,24	99,39
EC-4	69,77	17,94	1,45	0,10	0,75	0,58	1,40	4,04	0,38	3,07	99,48
EC-5	71,65	16,37	2,00	0,10	0,88	0,84	1,33	3,93	0,45	2,14	99,69

TABLA 1.- (Continuación)

TABLE 1.- (Continuation)

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Total
LC-1	62,03	19,74	4,57	0,41	1,92	2,46	2,72	0,54	0,00	4,62	99,01
LC-2	66,42	18,45	3,43	0,30	1,65	1,15	2,31	0,70	0,07	5,16	99,64
VB-1	69,31	13,32	2,01	0,12	4,52	0,69	2,58	1,32	3,49	2,32	99,68
VB-2	64,61	21,47	2,77	0,12	0,28	2,29	1,01	1,07	0,05	6,06	99,73
LA-1	63,90	23,96	1,63	0,65	0,37	1,62	1,02	1,33	0,04	6,41	100,93
IM-1	69,26	17,32	3,12	0,42	0,92	1,19	1,45	1,11	0,07	5,71	100,57
LI-1	57,81	15,56	3,42	0,46	8,18	1,60	1,47	0,67	4,46	5,97	99,60
CAM-1	61,91	18,76	4,46	0,42	2,33	2,21	0,84	1,90	1,05	5,40	99,28
CAM-2	58,61	22,63	6,32	0,63	1,26	2,03	2,61	0,98	0,09	4,43	99,59
CL-1	61,11	19,77	5,53	0,70	1,66	1,95	2,04	1,08	0,43	5,38	99,65
CL-2	62,37	18,71	3,78	0,41	2,32	1,41	1,08	1,03	1,07	6,82	99,00
CE-1	64,58	18,59	5,42	0,58	2,56	1,72	1,65	0,65	0,62	4,59	100,34
CE-2	63,04	19,56	5,58	0,58	2,38	1,87	1,11	0,48	0,24	4,59	99,44
BF-1	62,79	18,46	5,58	0,53	3,07	1,73	1,34	0,60	1,61	5,19	99,29
T-1	69,31	19,80	1,00	0,73	0,41	0,99	0,44	3,01	0,04	3,78	99,51
T-2	69,18	19,57	0,89	0,87	0,31	0,80	0,50	3,35	0,06	4,35	99,88
R-2/M	63,73	23,17	3,40	0,74	0,47	1,01	0,85	1,28	0,03	6,11	100,79
R-2/N	63,54	23,29	2,79	0,69	0,33	0,67	0,75	1,25	0,06	6,85	100,22
LB-1	64,52	21,50	1,77	0,57	0,70	0,86	0,79	3,69	1,55	4,30	100,25
LM-1	65,48	17,86	6,48	0,63	0,36	0,94	0,70	1,35	0,10	6,26	100,16
LM-2	64,66	19,22	1,72	0,63	0,41	0,90	0,75	1,67	0,00	9,73	99,19
VR-2	62,84	17,95	7,76	0,70	2,53	1,86	1,90	0,67	0,00	2,97	99,18
VR-3	61,97	18,29	8,12	0,66	2,39	2,54	1,23	0,24	0,04	3,97	99,45
VR-4	64,39	17,04	8,07	0,79	2,44	2,53	1,57	0,29	0,05	3,09	100,26
VR-5	60,06	17,16	9,94	0,83	2,74	2,30	1,92	0,31	0,00	3,74	99,00
R-SP	57,12	20,94	8,61	0,62	3,32	2,25	1,13	0,33	0,56	4,58	99,46
RM-1	49,78	15,15	8,27	0,77	9,26	2,35	1,16	0,90	6,90	5,76	100,30
RM-2	47,64	15,25	7,64	0,62	10,32	1,93	1,64	0,74	7,64	5,70	99,12
RM-3	56,56	19,58	6,55	0,68	4,13	1,84	1,34	0,90	2,74	5,07	99,39
ML-1	61,08	17,45	5,15	0,49	6,26	2,04	1,14	0,35	4,54	1,54	100,04

## Vela Blanca

Se han tomado dos muestras. La VB-1 se trata de una alteración supergénica de un nivel ignimbrítico muy erosionado y situado sobre tobas blancas muy frescas, situado al SW del Cerro de Vela Blanca. Al N de este mismo cerro se tomó la VB-2, que corresponde a bentonitas que aparecen en la zona de contacto entre cineritas y andesitas masivas.

## El Corralete

Situado frente al fondeadero de Cabo de Gata, al N del faro. Las bentonitas se sitúan bajo cineritas andesíticas blancas, localmente bentonitizadas. A estas últimas pertenecen las muestras EC-1, EC-2 y EC-3, esta última ya próxima a las bentonitas. Las bentonitas infrayacentes muestran una alternancia de niveles blandos (muestra EC-4, de color pardo con nódulos amarillos mucho más ricos que el resto) y niveles duros, con nódulos de bentonita parda y láminas de bentonita verde pálido (muestra EC-5).

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

Para el análisis químico se ha utilizado el método analítico para rocas silicatadas de la U.E.I. de Físico-química y Geoquímica Mineral de la Estación Experimental del Zaidín, que es una modificación de los métodos de Shapiro y Brannock (1962), Voinovitch *et al.* (1966), Parker y Goddard (1950) y Jeffery (1970). Consiste fundamentalmente en la determinación colorimétrica del Si, Al, Fe y Ti; la valoración complexométrica de Ca y Mg y la determinación por fotometría de llama de Na y K.

Los cationes de cambio se desplazaron con acetato amónico, determinándose  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  por fotometría de llama y  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  por absorción atómica.

La capacidad de cambio de cationes (C.E.C.) de las muestras tratadas con acetato amónico se realizó por desplazamiento del  $\text{NH}_4^+$  por una solución de  $\text{C1Na}$  acidificado a  $\text{pH} = 2,5$  con  $\text{C1H}$ , midiéndose con un aparato Kjeldhal-Bouat-Afora con arrastre por aire.

Los aniones de cambio se han extraído con agua, determinándose los  $\text{Cl}^-$  por el método de Mohr, los  $\text{SO}_4^{2-}$  por turbidimetría y  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$  por valoración ácido-base.

Para la determinación de los geles de sílice y alúmina se ha seguido el método de Ross y Hendriks (1945), utilizando como extractante una solución de  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  al 5%. En la solución así obtenida acidificada a  $\text{pH} = 2,5$

con  $\text{C1H}$ , se determinaron sílice y alúmina colorimétricamente.

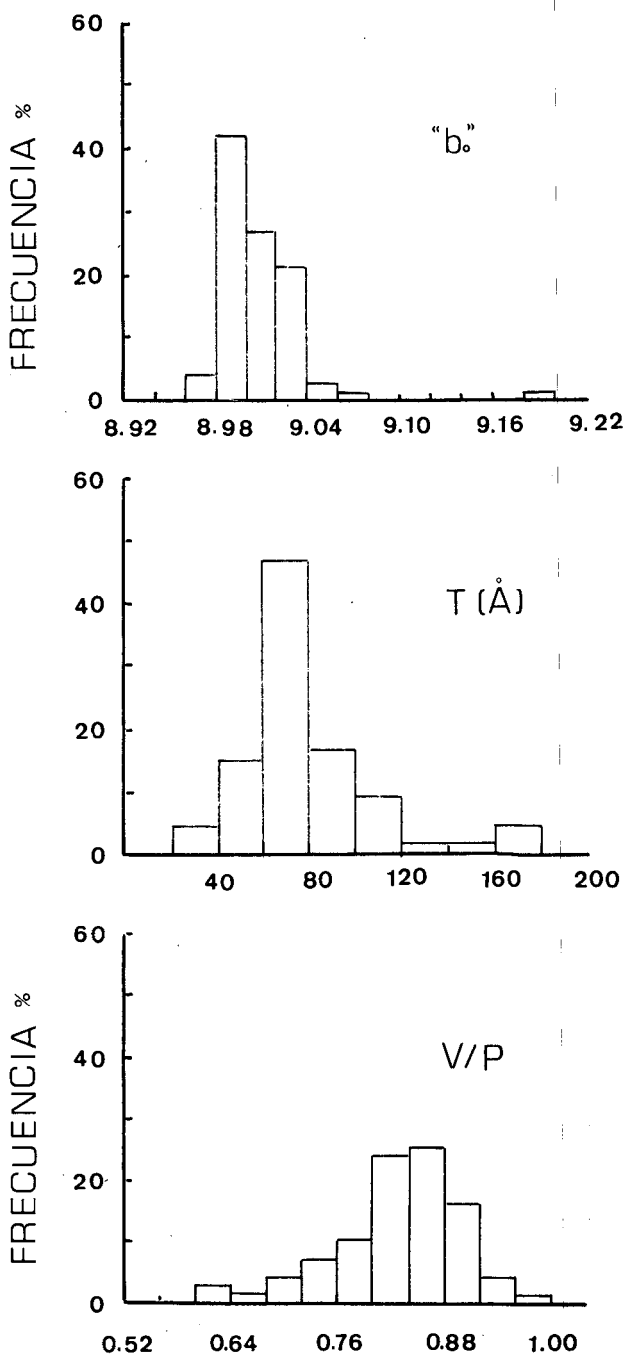


Figura 8.- Histogramas de distribución de frecuencias de: «b<sub>0</sub>», índice de cristalinidad (v/p) y tamaño cristalino de las esmectitas.

Figure 8.- Frequency distribution of: «b<sub>0</sub>», crystallinity index and crystal size for smectites.



Para el análisis mineralógico se ha utilizado un difractómetro Philips PW 1730, equipado con contador de centelleo y sistema de discriminación de impulsos utilizando radiación  $\text{CuK } \alpha$  y filtro de Níquel, operando a 35 Kv y 40 mA.

El estudio de la muestra total se efectuó por el método del polvo cristalino sobre portamuestras plano, midiendo las áreas de los picos diagnósticos y aplicando los poderes reflectantes de Schultz (1964) y Barahona (1974). Para la fracción menor de dos micras se utilizó, además, la técnica del agregado cristalino por sedimentación sobre placa de vidrio, realizándose los diagramas de AO sin tratamiento alguno y solvatados con etilenglicol (AO + EG).

El parámetro cristalográfico «b» de las esmectitas se calculó a partir de medidas precisas de la reflexión (060), mediante calibrado y control periódico del difractómetro con cuarzo Fisher.

Como índice de cristalinidad de las esmectitas se ha empleado el de Biscaye (1965), determinándose los parámetros v y p en los diagramas de AO + EG.

El tamaño de partícula se ha determinado por la ecuación de Scherrer siguiendo las correcciones indicadas por Klug y Alexander (1954).

La separación de la fracción fina se realizó por sedimentación, basada en la ley de Stokes, y posterior separación con centrifuga de flujo continuo.

Para la purificación de la fracción menor de dos micras se han eliminado los geles de sílice y alúmina, así como el hierro libre, mediante los métodos descritos anteriormente.

Las calcimetrías se han realizado según el método de Barahona *et al.* (1984). Consiste en medir el  $\text{CO}_2$  desprendido por la muestra al ponerlo en contacto con  $\text{ClH}$  en un recipiente herméticamente cerrado.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

### Composición química de las bentonitas

Los valores obtenidos para la composición química de las bentonitas estudiadas aparecen en la tabla 1 y sus histogramas de distribución de frecuencias en la Fig. 5.

La sílice presenta un margen de variación muy amplio, siendo el yacimiento de El Corralete el que da un valor medio más alto (73,60%), y los yacimientos de Caliguera y Rambla Méndez los que dan valores más bajos (58,36%) y (51,33%) respectivamente.

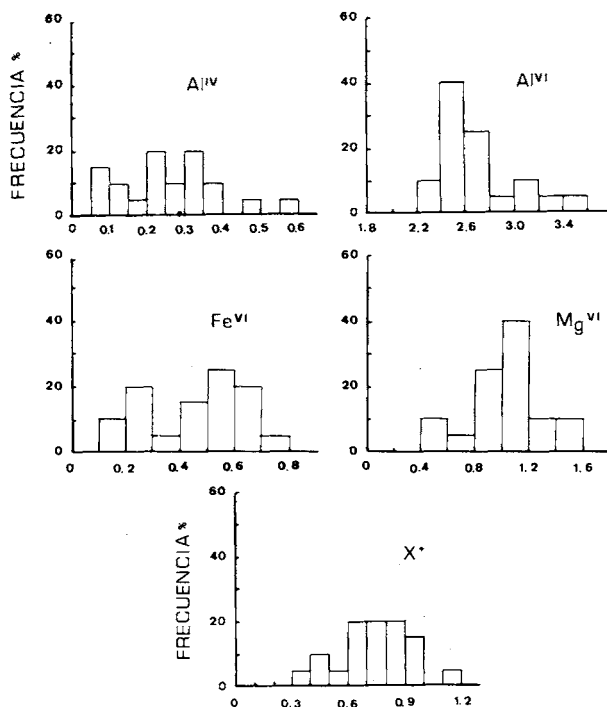


Figura 9.- Histograma de distribución de frecuencias de los cationes estructurales de las esmectitas.

Figure 9.- Frequency distribution of smectite structural formulae.

La alúmina presenta valores homogéneos con un valor medio de 18,52%, sin embargo al óxido de hierro corresponden valores heterogéneos apareciendo valores superiores al 7% en los yacimientos más septentrionales de la zona (VR, RM y RSP).

Los valores de  $\text{CaO}$  encontrados son bajos y el  $\text{MgO}$  presenta el intervalo de variación más restringido de la zona.

El óxido de potasio presenta valores para las muestras correspondientes al yacimiento de EC, muy ricos en materiales ílticos. El  $\text{CO}_2$  presenta valores normales excepto para una muestra aislada del yacimiento de Caliguera, próxima a un nivel carbonatado.

Las bentonitas de esta zona dan valores, para el agua de deshidroxilación, muy bajos, por lo que dan idea de un bajo grado de alteración.

TABLA 2.- Composición Química de Esmectitas.

TABLE 2.- Chemical Composition of Smectites.

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Total
E-1	59,11	17,51	5,44	0,26	1,12	6,90	0,81	0,34	8,80	100,29
E-2	61,05	14,74	6,98	0,46	1,32	6,43	0,84	0,42	8,19	100,43
E-3	58,44	17,98	5,61	0,25	1,05	8,02	1,11	0,19	8,12	100,77
E-4	58,16	17,28	6,24	0,30	1,33	7,56	0,99	0,34	8,42	100,62
E-5	72,15	9,22	5,70	0,24	1,20	5,28	0,49	0,31	5,45	100,04
MM-1/1	63,56	9,74	8,77	0,23	1,76	8,40	0,58	0,40	7,14	100,58
MM-1/2	62,10	10,71	8,04	0,24	1,38	8,21	1,04	0,56	7,83	100,11
MM-1/3	64,22	9,17	9,15	0,25	1,05	8,17	1,14	0,57	6,10	99,82
MM-1/4	64,20	12,84	7,71	0,28	0,84	6,83	1,22	0,53	6,40	100,85
MM-1/5	63,22	11,49	8,25	0,27	1,72	6,55	1,10	0,43	7,82	100,85
MM-2/1	58,14	17,19	7,48	0,36	1,60	6,13	0,71	0,74	8,15	100,50
MM-2/2	61,05	14,74	7,24	0,39	1,42	6,25	0,62	0,67	8,01	100,39
MM-2/3	57,14	10,20	13,31	0,34	1,50	8,98	0,48	1,09	7,34	100,38
MM-2/4	61,41	16,16	5,74	0,39	0,99	5,31	1,44	0,87	7,04	99,35
MM-2/5	61,10	16,70	5,75	0,35	0,34	7,67	1,12	0,25	7,36	100,64
MM-2/6	63,44	16,62	4,82	0,31	0,75	6,07	0,93	0,14	7,22	100,30
MM-2/7	55,27	15,62	10,62	0,41	1,34	7,83	0,92	0,32	8,23	100,56
MM-2/8	59,40	16,88	6,67	0,45	1,15	6,60	0,95	0,59	8,19	100,88
MM-3/1	59,77	17,48	6,51	0,34	1,24	6,39	0,69	0,19	8,00	100,61
MM-3/2	61,27	15,32	6,47	0,38	1,19	6,77	0,40	0,27	7,44	99,51
LP-1	60,89	16,39	4,33	0,23	1,27	7,91	0,64	0,09	8,75	100,50
LP-2	60,67	16,74	3,82	0,24	1,21	8,48	0,68	0,20	8,52	100,56
LPN-1	57,65	17,89	6,86	0,50	2,48	6,41	1,19	0,26	7,74	100,98
LH-1	59,40	14,45	8,15	0,24	2,26	6,27	0,95	0,41	7,37	99,50
LH-2	61,09	18,44	2,44	0,14	1,35	7,11	1,15	0,14	8,38	100,24
CG-1	58,12	20,04	4,70	0,25	1,07	7,05	1,31	0,10	7,75	100,39
CG-2	59,45	19,11	4,76	0,33	1,05	6,25	1,55	0,09	6,97	99,56
CG-3	55,44	17,06	7,91	0,52	1,51	7,92	1,36	0,10	7,18	99,00
CM-1	53,83	22,77	4,07	0,21	1,19	7,34	0,99	0,30	8,83	99,53
CM-2	52,61	22,67	4,57	0,20	1,81	7,02	0,98	0,30	8,87	99,03
CM-3	59,10	19,27	5,74	0,25	2,12	5,44	1,16	0,20	7,62	100,90
CM-4	59,34	18,24	6,01	0,18	0,89	6,06	1,38	0,27	7,02	99,39
C-1	62,16	18,23	6,15	0,49	0,99	3,98	1,51	0,96	5,92	100,39
C-2	53,16	17,09	4,09	0,25	7,25	5,53	0,89	0,40	12,02	100,68
C-3	59,30	18,40	6,75	0,49	1,01	5,47	0,94	1,10	6,77	100,23
C-4	59,35	17,80	6,80	0,35	1,11	6,12	1,45	0,13	7,47	100,58
EC-1	55,38	27,69	3,01	0,13	0,83	3,80	0,31	3,32	5,84	100,31
EC-2	53,57	29,76	2,80	0,12	0,52	3,53	0,38	3,33	6,12	100,13
EC-3	53,17	29,78	2,13	0,12	0,26	4,62	0,60	2,96	6,78	100,42
EC-4	54,22	28,11	3,67	0,19	0,34	3,49	0,76	3,44	6,26	100,48
EC-5	58,63	23,82	4,83	0,22	0,51	3,48	0,40	3,33	5,48	100,70

TABLA 2.- (Continuación)

TABLE 2.- (Continuation)

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Total
LC-1	60,81	17,57	4,90	0,29	1,13	6,18	0,77	0,25	8,61	100,51
LC-2	63,49	16,77	4,20	0,33	1,29	5,57	0,76	0,35	7,79	100,55
LA-1	59,45	23,78	2,60	0,49	0,72	3,42	0,91	0,52	8,79	100,68
IM-1	64,01	17,07	5,28	0,24	1,11	4,40	1,07	0,46	6,86	100,50
LI-1	62,23	15,02	5,63	0,33	2,34	5,60	0,53	0,47	8,25	100,40
CAM-1	54,51	20,96	6,15	0,24	0,54	7,05	0,92	1,41	8,10	99,88
CAM-2	48,73	20,66	10,83	0,34	0,95	7,64	1,48	0,55	8,64	99,82
CL-1	53,49	20,08	7,20	0,23	1,20	6,68	1,17	0,72	8,82	99,59
CL-2	53,20	21,28	6,58	0,12	2,84	5,24	0,61	0,67	9,63	100,17
CE-1	60,89	16,00	7,15	0,23	1,85	5,31	0,62	0,45	7,37	99,87
CE-2	60,47	17,28	6,49	0,26	1,95	4,95	0,47	0,40	8,39	100,66
BF-1	60,24	13,60	5,90	0,27	3,86	6,62	0,54	0,46	8,90	100,39
T-1	62,89	20,96	2,46	0,55	1,06	4,03	0,68	0,68	7,46	100,77
T-2	61,79	20,62	2,29	0,76	1,27	4,16	0,44	0,83	7,12	99,28
R-2/M	51,65	26,86	5,65	0,23	0,91	4,12	0,71	0,82	9,06	100,01
R-2/N	51,64	29,80	2,98	0,25	1,24	3,26	0,61	1,06	9,53	100,37
LB-1	49,29	21,69	2,52	0,52	9,31	2,34	0,42	1,21	13,24	100,54
LM-1	56,00	24,00	5,02	0,11	1,14	3,27	0,68	1,31	8,36	99,89
LM-2	49,90	23,95	8,35	0,27	0,69	2,90	0,67	2,13	10,85	99,71
VR-2	61,98	14,46	7,57	0,11	1,40	4,93	0,74	0,43	8,78	100,40
VR-3	58,09	16,60	6,15	0,00	0,65	8,57	1,00	0,24	8,72	100,02
VR-4	57,71	15,53	7,70	0,12	0,93	7,85	1,71	0,36	8,50	100,41
VR-5	58,44	15,15	8,79	0,11	1,02	7,02	0,91	0,29	8,16	99,89
R-SP	56,40	15,18	10,16	0,42	1,56	7,64	0,35	0,14	8,82	100,67
RM-1	55,16	21,52	6,54	0,00	1,48	5,98	0,39	0,54	9,16	100,77
RM-2	55,62	21,36	5,75	0,00	1,44	6,14	0,45	0,42	9,06	100,24
RM-3	54,51	20,96	5,60	0,13	2,66	5,84	0,70	0,87	9,20	100,47
ML-1	56,91	17,19	6,66	0,23	1,91	7,50	0,86	0,23	8,92	100,41
VB-1	66,01	16,51	3,95	0,18	0,41	3,60	1,41	1,32	6,53	99,92
VB-2	59,93	21,40	2,90	0,11	1,00	5,24	0,78	0,95	8,09	100,04

### Composición química de las esmectitas

Los valores obtenidos para el análisis químico de las esmectitas se recogen en la tabla 2, y los histogramas de distribución de frecuencia en la Fig. 6.

En general, los valores obtenidos para la sílice son bajos. Los óxidos de hierro y aluminio presentan una gran variabilidad. En el caso del  $Al_2O_3$  las muestras que tienen entre 26-30% es debido a la presencia de ilitas e interestratificados ilita-montmorillonita, y las muestras con un contenido entre 16-24% podría deberse a la presencia de esmectitas tipo beidellita. Para el  $Fe_2O_3$ , el valor medio encontrado (6,01%) es el más elevado de toda la región, sin embargo el  $CaO$  presenta valores en general bajos.

Los óxidos de magnesio y sodio, con valores medios de 6,01% y 0,87% respectivamente, presentan valores normales.

La mayoría de las muestras tienen valores normales de  $K_2O$ , con un valor medio de 0,72%, aun cuando existen muestras con valores elevados debido a la presencia de ilitas e interestratificados ilita-montmorillonita.

Respecto al  $H_2O^+$ , sólo tres muestras dan valores superiores al 10%, el resto presentan valores inferiores, siendo la media de 8,1%.

### Determinación de geles

En la tabla 3 aparecen los valores obtenidos para los geles de sílice y el hierro libre, y sus histogramas de distribución de frecuencias en la Fig. 7; los geles de aluminio, de existir, presentan valores por debajo del margen de sensibilidad del procedimiento utilizado (Parke y Goddard, 1950).

En general, presentan bajos porcentajes de sílice amorfa, que sólo una muestra de los Escullos presenta un valor elevado (11,21%).

Los valores más altos de Fe libre, superiores al 1% corresponden, por lo general, a zonas donde los procesos de rodalquilarización han dado lugar a la formación de jarosita, destacando en esta zona el afloramiento de La Marranera, en el que se ha detectado este mineral.

### Composición mineralógica de bentonitas y esmectitas

Los análisis mineralógicos por difracción de R-X de las bentonitas de la zona estudiada aparecen en la tabla 4.

En general, los minerales mayoritarios son los filo-

silicatos, si bien en los yacimientos EC y LC aparecen porcentajes elevados de cuarzo y mica respectivamente.

Como minerales neoformados se encuentran además: jarosita, zeolita y tridimita. La jarosita se presenta en zonas en que se ha dado un proceso de rodalquilarización, provocado por soluciones hidrotermales claramente ácidas, sin embargo, en ocasiones, aparece junto con esmectita. Este es el caso del afloramiento de La Marranera.

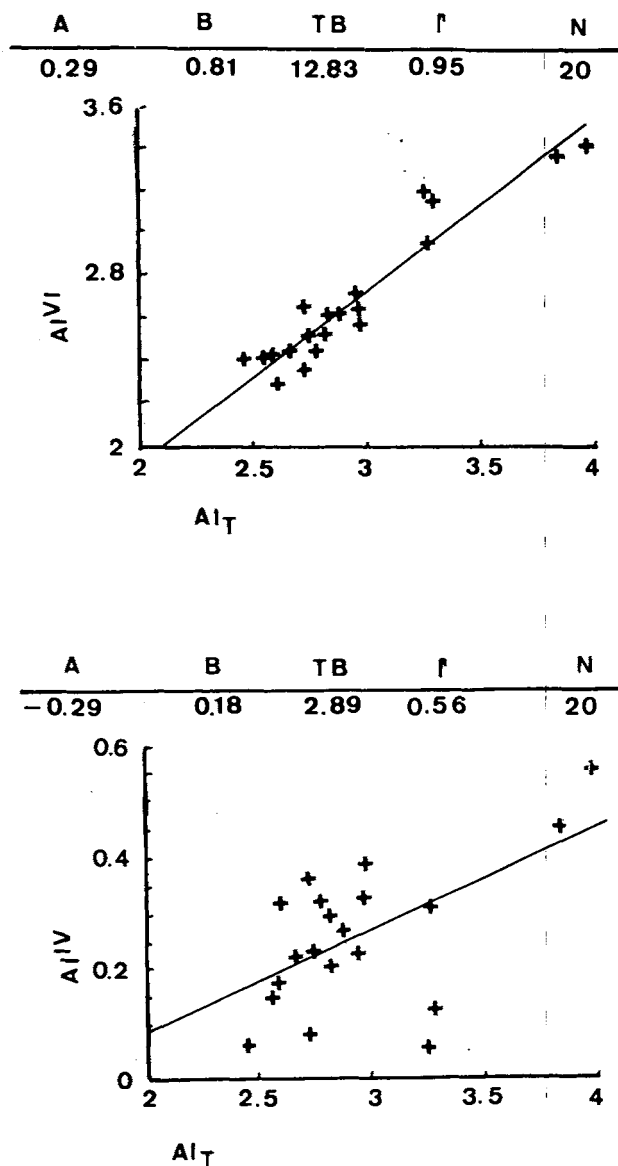


Figura 10.- Correlaciones  $Al^{VI} = f(Al_T)$ ,  $Al^{IV} = f(Al_T)$ .

Figure 10.- Correlations  $Al^{VI} = f(Al_T)$ ;  $Al^{IV} = f(Al_T)$ .

TABLA 3.- Geles de sílice y oxihidróxidos.

TABLE 3.- Amorphous silica and Free iron oxides.

Muestras	% Gel Sílice	% Hierro Libre	Muestras	% Gel Sílice	% Hierro Libre
E-1	0,84	0,45	IM-1	2,00	0,24
E-2	1,74	0,41	LI-1	1,79	0,41
E-3	0,87	0,34			
E-4	1,80	0,49	CAM-1	0,46	0,36
E-5	11,21	0,52	CAM-2	0,51	0,51
MM-1/1	3,20	0,40	CL-1	0,41	0,40
MM-1/2	2,67	0,34	CL-2	0,65	0,37
MM-1/3	3,32	0,48			
MM-1/4	2,51	0,39	CE-1	5,66	0,37
MM-1/5	2,32	0,43	CE-2	2,17	0,28
MM-2/1	0,86	0,38	BF-1	5,04	0,35
MM-2/2	1,20	0,65			
MM-2/3	2,83	0,30	T-1	2,20	1,03
MM-2/4	1,09	0,30	T-2	2,18	0,57
MM-2/5	1,75	0,36			
MM-2/6	2,31	0,29	R-2/M	0,43	1,22
MM-2/7	0,85	0,91	R-2/N	0,43	1,06
MM-2/8	0,94	0,37			
			LB-1	0,40	0,25
MM-3/1	0,76	0,19			
MM-3/2	5,54	0,68	LM-1	1,11	1,72
			LM-2	0,10	2,08
LP-1	1,88	0,23			
LP-2	1,37	0,17	VR-2	2,06	0,38
			VR-3	0,75	0,38
LH-1	2,24	0,58	VR-4	0,84	0,54
LH-2	1,22	0,03	VR-5	0,58	0,54
CG-1	0,56	0,22	R-SP	0,73	0,68
CG-2	0,72	0,21			
CG-3	0,90	0,32	RM-1	0,49	0,46
			RM-2	0,59	0,80
CM-1	0,43	0,21	RM-3	0,70	0,36
CM-2	0,48	0,21			
CM-3	0,55	0,41	ML-1	0,79	0,45
CM-4	0,67	0,31			
			EC-1	0,51	0,15
C-1	0,50	0,72	EC-2	0,29	0,14
C-2	0,50	0,16	EC-3	0,30	0,18
C-3	0,57	0,34	EC-4	0,30	0,19
C-4	0,77	0,52	EC-5	0,40	0,32
VB-1	1,71	0,29	LC-1	5,37	0,25
VB-2	0,61	0,13	LC-2	3,29	0,16
LA-1	0,41	0,44			

TABLA 4a.- Filos. = Filosilicatos; Plg. = Plagioclasa; Q = Cuarzo; Mord. = Mordenita; Filip. = Filipsita; Anf. = Anfíbol; Try. = Tridimita; M. = Mica; Cal. = Calcita; F.K. = Feldespato potásico.

TABLE 4a.- Filos. = Phyllosilicates; Plg. = Plagioclase; Q. = Quartz; Mord. = Mordenite; Filip. = Phylipsite; Anf. = Amphibole; Try. = Trydimite; M. = Mica; Cal. = Calcite; F.K. = Feldspar.

Muestra	Filos.	Plg.	Q.	Mord.	Filip.	Anf.	Try.	M.	Cal.	F.K.
E-1	97	2	T	1	—	—	—	—	—	—
E-2	83	10	1	6	—	—	—	—	—	—
E-3	85	8	1	3	3	—	—	—	—	—
E-4	86	5	1	3	—	—	—	—	—	5
E-5	30	15	1	7	—	5	42	—	—	—
RM-1	81	—	5	—	—	6	—	—	8	—
RM-2	83	—	2	—	—	3	—	—	12	—
RM-3	85	6	3	—	4	5	—	—	7	—
MM-1/1	60	21	5	7	—	—	—	4	3	—
MM-1/2	76	11	4	8	—	—	—	4	3	—
MM-1/3	40	50	5	5	—	—	—	—	—	—
MM-1/4	70	13	5	9	—	—	3	—	—	—
MM-1/5	72	11	5	6	—	—	—	—	6	—
MM-2/1	81	13	1	5	—	—	—	—	—	—
MM-2/2	82	7	—	8	—	—	—	—	3	—
MM-2/3	47	30	10	—	—	7	—	—	6	—
MM-2/4	83	8	1	8	—	—	—	—	—	—
MM-2/5	81	8	3	—	—	—	8	—	—	—
MM-2/6	85	4	2	1	—	—	8	—	—	—
MM-2/7	78	17	5	—	—	—	—	—	—	—
MM-2/8	81	14	5	7	—	—	—	—	3	—
MM-3/1	83	5	1	2	—	—	—	—	9	—
MM-3/2	65	9	2	2	—	—	22	—	—	—

La tridimita corresponde a una forma desordenada de baja temperatura (Wilson *et al.* 1974).

En el 50% de las muestras aparecen zeolitas, y en la mayoría de tipo mordenita, la presencia de este mineral, cuyo intervalo superior de estabilidad está comprendido entre 55-59°C (Iijima y Utada, 1971), establece un límite superior de temperatura para la formación de las bentonitas en las que aparece.

Además de los minerales neoformados, aparecen otros heredados de la roca original, que por orden de abundancia son: Cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico (sanidina), anfíbol (hornblenda y cummingtonita) y mica.

En la tabla 5 aparecen los datos mineralógicos de la fracción fina de las bentonitas. Se puede observar que

la esmectita es el mineral mayoritario, aunque aparecen otros minerales no esmectíticos como: tridimita, cuarzo y zeolita, así como illita e interestratificados illita-montmorillonita.

Se han determinado algunos de los parámetros cristalográficos de las esmectitas, tales como el índice de cristalinidad de Biscaye, el parámetro  $b_0$  y el tamaño cristalino. Los datos obtenidos aparecen en la tabla 6 y sus histogramas de distribución de frecuencias en la Fig. 8.

Los valores obtenidos para el índice de cristalinidad son relativamente homogéneos y más elevados que los encontrados por otros autores para esmectitas sedimentarias, así Biscaye (1965) y Huertas *et al.* (1977) encuentran excepcionalmente valores ligeramente superiores

TABLA 4b.- Filos. = Filosilicatos; Plg. = Plagioclasa; Q. = Cuarzo; Mord. = Mordenita; Anf. = Afibol; Try. = Tridimita; Jaros. = Jarosita; Cal. = Calcita; F.K. = Feldespato potásico.

TABLE 4b.- Filos. = Phyllosilicates; Plg. = Plagioclase; Q. = Quartz; Mord. = Mordenite; Anf. = Amphibole; Try. = Tridimite; Jaros. = Jarosite; Cal. = Calcite; F.K. = Feldspar.

Muestra	Filos.	Plg.	Q.	Mord.	Anf.	Try.	Jaros.	Cal.	F.K.
LP-1	99	1	T	—	—	—	—	—	—
LP-2	99	—	1	—	—	—	—	—	—
LPN-1	62	18	1	—	7	—	—	2	—
LH-1	75	13	7	—	5	—	—	—	—
LH-2	94	6	T	—	—	—	—	—	—
CAM-1	88	—	6	—	—	—	—	2	4
CAM-2	83	13	2	2	—	—	—	—	—
CL-1	78	4	6	5	2	—	—	1	4
CL-2	74	7	3	8	—	—	—	4	4
CE-1	81	12	3	—	2	—	—	2	—
CE-2	78	16	2	—	1	—	—	3	—
BF-1	74	12	2	—	5	2	—	5	—
T-1	79	—	8	3	—	—	—	—	10
T-2	80	—	6	5	—	—	—	—	9
R-2/M	90	—	8	—	—	—	—	—	2
R-2/N	89	—	9	—	—	—	—	—	2
LB-1	74	—	8	5	—	—	—	2	11
LM-1	83	—	11	—	—	—	6	—	—
LM-2	87	—	12	—	—	—	1	—	—
R-SP	90	8	—	—	2	—	—	—	—
LA-1	75	3	2	2	—	15	—	—	3

a 0,5. Las esmectitas estudiadas, excepto para las muestras E-3 y RM-3 que presentan valores similares a los de dichos autores, presentan valores de v/p característicos de un origen hidrotermal y por consiguiente de más alta temperatura.

El tamaño cristalingo es muy heterogéneo, ya que oscila entre 34 Å y 169 Å, si bien la inmensa mayoría de las muestras no superan los 120 Å. De cualquier forma, estos valores son coincidentes con datos bibliográficos (Kahn, 1959, Reyes *et al.* 1981b).

Respecto al parámetro  $b_0$ , cabe destacar una gran homogeneidad, el intervalo de variación oscila entre 8,97 y 9,06.

*Fórmulas estructurales de las esmectitas*

Para la determinación de las fórmulas estructurales, las esmectitas deben ser monominerálicas, por tanto

TABLA 4c.- Filos. = Filosilicatos; Plg. = Plagioclasa; Q. = Cuarzo; Mord. = Mordenita; Anf. = Anfíbol; Try. = Tridimita; M. = Mica; Cal. = Calcita; F.K. = Feldespato potásico.

TABLE 4c.- Filos. = Phyllosilicates; Plg. = Plagioclase; Q. = Quartz; Mord. = Mordenite; Anf. = Amhibole; Try. = Trydimite; M. = Mica; Cal. = Calcite; F.K. = Feldspar.

Muestra	Filos.	Plg.	Q.	Mord.	Anf.	Try.	M.	Cal.	F.K.	Yeso
VB-1	50	—	3	9	—	17	3	1	13	4
VB-2	97	—	2	—	—	—	—	1	—	—
VR-2	58	18	15	—	9	—	—	—	—	—
VR-3	56	27	6	—	11	—	—	—	—	—
VR-4	71	11	8	—	10	—	—	—	—	—
VR-5	53	34	3	—	10	—	—	—	—	—
CG-1	63	25	1	6	5	—	—	—	—	—
CG-2	93	5	T	—	—	2	—	—	—	—
CG-3	82	6	1	4	—	—	—	—	7	—
CM-1	92	2	T	—	3	—	2	1	—	—
CM-2	88	3	1	—	2	—	—	6	—	—
CM-3	91	2	2	T	—	—	—	5	—	—
CM-4	97	1	2	—	—	—	—	—	—	—
C-1	84	6	6	4	—	—	—	—	—	—
C-2	77	3	2	—	—	—	—	18	—	—
C-3	89	3	5	3	—	—	—	—	—	—
C-4	85	10	T	—	3	—	—	2	—	—
EC-1	44	—	40	2	—	—	—	4	10	—
EC-2	41	5	38	6	—	—	—	5	5	—
EC-3	64	2	31	—	—	—	—	—	3	—
EC-4	55	—	29	4	—	—	—	2	10	—
EC-5	41	—	32	8	—	—	—	5	14	—
LC-1	68	8	T	2	4	3	15	—	—	—
LC-2	40	20	5	12	—	—	23	—	—	—
IM-1	84	7	—	6	—	—	—	—	3	—
LI-1	66	—	2	4	—	17	—	5	6	—
ML-1	69	17	2	—	4	—	—	8	—	—

este cálculo ha sido complejo, ya que existen numerosas muestras en que la esmectita no es el único mineral existente.

Las fórmulas estructurales se han calculado sólo en aquellas muestras que tienen esmectitas como único mineral.

Por otra parte, es necesario también distinguir entre Mg de cambio y Mg estructural.

El método de cálculo empleado ha sido el de Marshall (1949).

Debido a estos condicionantes el número de muestras útiles ha quedado reducido a 20, cuyas fórmulas estructurales aparecen en la tabla 7 y sus histogramas de frecuencias en la Fig. 9.

La *sustitución tetraédrica* presenta un intervalo de variación restringido a pesar de la variabilidad de aflo-



TABLA 5.- Sm. = Esmectita; Z. = Zeolita; Q. = Cuarzo; Try. = Tridimita; I. = Illita; I/Mo = Interstratificado Illita/Montmorillonita.

TABLE 5.- Sm. = Smectite; Z. = Zeolite; Q. = Quartz; Try. = Trydimite; I. = Illite; I/Mo. = Interstratified Illite/Montmorillonite.

Muestra	Sm	Try.	I	I/Mo			Muestra	Sm	Z	Q	Try.	I	I/Mo 30/70
				45/55	55/45	85/15							
LH-1	100	—	—	—	—	—	LA-1	100	—	—	—	—	—
LH-2	100	—	—	—	—	—	E-1	100	—	—	—	—	—
CG-1	100	—	—	—	—	—	E-2	82	9	—	4	5	—
CG-2	100	—	—	—	—	—	E-3	90	6	—	—	1	3
CG-3	94	—	—	6	—	—	E-4	89	4	—	—	—	7
CM-1	100	—	—	—	—	—	E-5	53	8	—	22	7	10
CM-2	100	—	—	—	—	—	MM-1/1	74	12	—	11	3	—
CM-3	100	—	—	—	—	—	MM-1/2	60	16	3	17	4	—
CM-4	100	—	—	—	—	—	MM-1/3	57	15	3	17	8	—
C-1	100	—	—	—	—	—	MM-1/4	76	14	—	10	—	—
C-2	100	—	—	—	—	—	MM-1/5	76	10	—	14	—	—
C-3	95	—	2	3	—	—	MM-2/1	91	—	—	—	9	—
C-4	100	—	—	—	—	—	MM-2/2	77	5	—	8	10	—
EC-1	—	—	44	—	—	56	MM-2/3	87	—	—	—	13	—
EC-2	—	—	42	—	—	58	MM-2/4	89	11	—	—	—	—
EC-3	—	—	40	—	18	42	MM-2/5	87	6	—	4	3	—
EC-4	—	—	57	—	3	40	MM-2/6	92	—	—	8	—	—
EC-5	—	—	57	—	7	36	MM-2/7	93	3	—	—	4	—
LC-1	100	—	—	—	—	—	MM-2/8	87	6	—	3	4	—
LC-2	100	—	—	—	—	—	MM-3/1	100	—	—	—	—	—
VB-1	91	4	5	—	—	—	MM-3/2	91	—	—	7	2	—
VB-2	88	—	12	—	—	—	LP-1	100	—	—	—	—	—
IM-1	100	—	—	—	—	—	LP-2	100	—	—	—	—	—
LJ-1	100	—	—	—	—	—	LPN-1	92	4	—	—	4	—

ramientos estudiados. Aparecen valores comprendidos entre 0,05 y 0,6 iones de Al (IV) por celdilla unidad.

Para ver el intervalo de variación de las esmectitas en esta zona se ha representado  $Al(IV) = f(Al_T)$  y  $Al(VI) = f(Al_T)$ , (Fig. 10) de la correlación  $Al(VI)$  es de 0,65 iones por celdilla, y para una red de 4,2 iones octaédricos se puede calcular en la correlación  $Al(VI) = f(Al_T)$ , le corresponden 3,71 iones de Al(VI). Luego el intervalo de variación del Al(VI) oscila entre 0,65 y 3,71 iones de Al(VI) por celdilla unidad.

Según el contenido en  $Fe(VI)$ , las esmectitas de la zona estudiada parecen pertenecer a dos familias, ya que su histograma de frecuencias presenta una distribución bimodal en la que más del 60% de las muestras presentan contenidos en  $Fe(VI)$  superiores a 0,4 iones por celdilla.

El intervalo de variación del  $Mg(VI)$  oscila entre 0,4 y 1,6 iones de  $Mg(VI)$  por celdilla unidad, y el de la carga total entre 0,39 y 1,11, si bien el 75% de las muestras presentan una carga comprendida entre 0,6 y 1.0.

TABLA 5.- (Continuación)

TABLE 5.- (Continuation)

Muestra	Sm	Z	Try.	I	I/Mo				
					30/70	45/55	55/45	70/30	80/15
ML-1	100	—	—	—	—	—	—	—	—
CAM-1	80	—	—	11	—	—	—	—	9
CAM-2	84	—	—	10	6	—	10	—	—
CL-1	81	—	—	3	—	17	—	—	—
CL-2	95	3	2	—	—	—	—	—	—
CE-1	100	—	—	—	—	—	—	—	—
CE-2	100	—	—	—	—	—	—	—	—
BF-1	95	—	3	2	—	—	—	—	—
T-1	100	—	—	—	—	—	—	—	—
T-2	100	—	—	—	—	—	—	—	—
R-2/M	100	—	—	—	—	—	—	—	—
R-2/N	100	—	—	—	—	—	—	—	—
LB-1	100	—	—	—	—	—	—	—	—
LM-1	53	—	—	29	—	—	18	—	—
LM-2	14	—	—	54	—	—	32	—	—
VR-2	100	—	—	—	—	—	—	—	—
VR-3	95	3	—	2	—	—	—	—	—
VR-4	100	—	—	—	—	—	—	—	—
VR-5	100	—	—	—	—	—	—	—	—
SRP	100	—	—	—	—	—	—	—	—
RM-1	100	—	—	—	—	—	—	—	—
RM-2	89	—	—	3	—	6	—	2	—
RM-3	90	10	—	—	—	—	—	—	—

### CONCLUSIONES

- La composición química de las bentonitas presenta valores elevados para la sílice y el óxido de hierro, y bajo contenido en agua de deshidroxilación, el resto de los óxidos presentan valores normales.
- En la fracción fina la sílice presenta valores bajos, junto con el CaO. La alúmina y el óxido de hierro tienen una gran variabilidad.
- De la composición mineralógica de las bentonitas se deducen como minerales neoformados: esmectitas, jarosita, zeolita y tridimita, y como heredados de la roca original cuarzo, plagioclasa, feldespato

potásico, anfíbol y mica. En la fracción fina el mineral mayoritario es la esmectita, aunque también aparecen otros minerales no esmectíticos.

- Los valores del parámetro cristalográfico «b<sub>0</sub>» son muy homogéneos mientras que los de v/p y el T(A), son heterogéneos aunque siempre coincidentes con datos bibliográficos.
- La sustitución tetraédrica presenta un intervalo de variación restringido (0,05 a 0,6 iones de Al(IV) por celdilla).
- El intervalo de variación del Al(VI) oscila entre 0,65 y 3,71 iones de Al(VI) por celdilla unidad,

TABLA 6.- «b<sub>0</sub>» cristalográfico; v/p= Índice de cristalinidad de Biscaye.; T(A)= Tamaño cristalino en A.

TABLE 6.- «b<sup>(o)</sup>» = Crystallographic parameter; v/p= Cystallinite index T(A)= Crystal size.

Muestra	«b <sub>0</sub> »	V/P	T(Å)	Muestra	«b <sub>0</sub> »	V/P	T(Å)
E-1	8,994	0,836	73	VB-1	9,007	0,737	73
E-2	8,981	0,759	60	VB-2	8,994	0,818	66
E-3	9,007	0,678	63	LA-1	8,981	0,843	77
E-4	8,968	0,867	82	IM-1	8,994	0,784	63
E-5	9,007	0,864	82	LI-1	9,007	0,798	66
MM-1/1	9,001	0,866	82	CAM-1	9,020	0,611	43
MM-1/2	8,981	0,875	69	CAM-2	9,190	0,769	63
MM-1/3	8,981	0,891	73	CL-1	9,031	0,760	44
MM-1/4	9,020	0,802	60	CL-2	9,007	0,686	34
MM-1/5	9,027	0,809	69	CE-1	8,981	0,854	80
MM-2/1	9,026	0,894	82	CE-2	8,994	0,879	117
MM-2/2	8,994	0,863	63	BF-1	8,994	0,806	64
MM-2/3	9,060	0,791	77	T-1	8,981	0,960	128
MM-2/4	9,031	0,742	58	T-2	8,981	0,917	119
MM-2/5	8,994	0,840	73	R-2/M	8,981	0,870	77
MM-2/6	9,015	0,886	73	R-2/N	8,981	0,829	77
MM-2/7	9,007	0,734	65	LB-1	8,977	0,912	100
MM-2/8	8,994	0,833	69	LM-1	8,981	0,911	141
MM-3/1	9,020	0,783	63	LM-2	8,968	0,830	169
MM-3/2	9,002	0,840	63	VR-2	9,047	0,857	38
LP-1	9,007	0,815	46	VR-3	9,047	0,811	63
LP-2	8,994	0,831	43	VR-4	9,001	0,804	58
LPN-1	9,020	0,754	55	VR-5	9,034	0,833	60
LH-1	9,020	0,926	51	RSP	9,020	0,830	69
LH-2	8,994	0,882	77	RM-1	9,007	0,872	93
CG-1	8,994	0,949	169	RM-2	9,007	0,857	85
CG-2	8,994	0,935	169	RM-3	9,034	0,600	36
CG-3	9,036	0,867	82	ML-1	9,007	0,815	66
CM-1	9,031	0,693	48				
CM-2	9,023	0,688	48				
CM-3	9,007	0,876	100				
CM-4	8,994	0,857	87				
C-1	9,007	0,911	100				
C-2	8,994	0,893	82				
C-3	8,994	0,822	60				
C-4	8,994	0,891	108				
LC-1	8,994	0,794	69				
LC-2	9,007	0,887	876				

TABLA 7.- Si<sup>IV</sup> = Silicio Tetraédrico; Al<sup>IV</sup> = Aluminio Tetraédrico; Al<sup>VI</sup> = Aluminio Octaédrico; Fe<sup>VI</sup> = Hierro Octaédrico; Mg<sup>VI</sup> = Magnesio Octaédrico.

TABLE 7.- Si<sup>IV</sup> = Tetrahedral silica; Al<sup>IV</sup> = Tetrahedral aluminium; Al<sup>VI</sup> = Octahedral aluminium; Fe<sup>VI</sup> = Octahedral iron; Mg<sup>VI</sup> = Octahedral magnesium.

Muestra	Si <sup>IV</sup>	Al <sup>IV</sup>	Al <sup>VI</sup>	Fe <sup>VI</sup>	Mg <sup>VI</sup>	Carga Total
E-1	7,767	0,233	2,517	0,500	1,188	0,804
MM-2/1	7,635	0,365	2,367	0,739	1,164	0,717
MM-2/4	7,942	0,058	2,406	0,595	1,074	0,907
MM-2/8	7,680	0,320	2,292	0,678	1,266	0,880
LP-1	7,854	0,146	2,424	0,411	1,433	0,775
LP-2	7,820	0,180	2,421	0,362	1,524	0,783
LPN-1	7,672	0,328	2,452	0,668	1,178	0,614
LH-2	7,790	0,210	2,617	0,236	1,353	0,945
CG-2	7,731	0,269	2,613	0,462	1,139	0,768
CM-3	7,670	0,330	2,644	0,526	0,944	0,932
CM-4	7,701	0,299	2,522	0,562	1,077	0,892
C-1	7,920	0,080	2,648	0,614	0,828	0,638
C-2	7,769	0,231	2,720	0,433	1,073	0,627
C-4	7,775	0,225	2,440	0,648	1,144	0,674
VB-2	7,687	0,313	2,955	0,270	0,904	0,832
LA-1	7,546	0,454	3,383	0,217	0,531	0,593
IM-1	7,611	0,389	2,582	0,570	0,910	1,113
T-1	7,945	0,055	3,194	0,152	0,778	0,459
T-2	7,870	0,130	3,156	0,195	0,846	0,385
LB-1	7,441	0,559	3,415	0,279	0,495	0,487

#### BIBLIOGRAFIA

BARAHONA, E., 1974: *Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada: Evaluación de algunos ensayos de materias primas*. Tesis Doctoral. Univ. Granada, 398 pp.

BARAHONA, E., et al. (Grupo de Trabajo de Normalización de Métodos Analíticos, C.S.I.C.), 1984: «Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos IV. Determinación de carbonatos totales y caliza activa». I Congreso Nacional de suelos. Madrid, 1, 53-67.

BISCAYE, P.E., 1965: «Mineralogy and sedimentation of recent deepsea clay in the Atlantic and adjacent seas and oceans». *Bull. Geol. Soc. Am.*, 76, 803-832.

CABALLERO, E., FERNANDEZ PORTO, M.J., LINARES, J. y REYES, E., 1983: «Las bentonitas de la Serrata de Níjar, Almería. Mineralogía, Geoquímica y Mineralogénesis». *Estud. Geol.*, 39, 121-140.

HUERTAS, F., LINARES, J., PESCATORE, T. y POZZUOLI, A., 1977: Su alcuni depositi miocenici dell'Appennino lucano». *Geologia Applicata Idrogeologia*, XII, 251-259.

IJIMA, A. y UTADA, M., 1971: «Present-day zeolitic diagenesis of the Neogene geosinclinal deposits in the Niigata oil field Japan». in: Molecular sieve zeolite-1., *Ad. Chem. Ser.*, 101, 342-349.

JEFFERY, P.G., 1970: *Chemical Methods of rocks Analysis*. Pergamon Press. Oxford, New York, Toronto., 507 pp.

KAHN, A., 1959: «Studies on the size and shape of clay particles in aqueous suspensions». *Clay and Clay Min.*, 6, 220-236.

KLUG, H.P. y ALEXANDER, L.E., 1954: *X-Ray Diffraction Procedures for polycrystalline and amorphous materials*. J. Wiley and sons. New York., 716 pp.

MARSHALL, C.E., 1949: «The colloid chemistry of the silicate minerals». *Academic Press, Inc.*, New York, 195 pp.

- MARTIN VIVALDI, J.L. y LINARES, J., 1968b: «Las bentonitas de Cabo Gata. II. Yacimiento de Palma del Muerto». *Bol. Geol. Min.*, 79, 605-611.
- PARKER, C.A. y GODDARD, A.P., 1950: «The reaction of aluminium ion with alizarin-3-sulphonate, with particular reference to the effect of calcium ions. *Anal. Chim. Acta.*, 4, 517-536.
- REYES, E., HUERTAS, F. y LINARES, J., 1981a: «Bentonitas de Andalucía (España). Yacimientos hidrotermales del Norte de Rodalquilar (Almería)». *Proc. First. Congress on bentonites*. Sassari, Italia, 1, 126-142.
- REYES, E., HUERTAS, F. y LINARES, J., 1981b: «Génesis y Geoquímica de esmectitas de Andalucía (España): *Proc. First. Congress on bentonites*. Sassari, Italia, 1, 143-161.
- ROSS, C.S. y HENDRICKS, S.B., 1945: «Minerals of the montmorillonite group». *Prof. Pap. U.S., Geol. Surv.*, 2058, 23-79.
- SHAPIRO, L. y BRANNOCK, W.W., 1962: «Rapid analysis of silicate, carbonate and phosphate rocks». *Geol. Survey Bull.*, 1144a.
- SHULTZ, L.G., 1964: «Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-Ray and chemical data for the Pierre Shale». *Geol. Survey Prof. Paper*, Washington.
- VOINOVICHT, I.A., DEBRAS-GUEDON, J. y LOUVRIER, J., 1966: «The analysis of silicates». Israel program for scientific translation. Jerusalem, 381 pp.
- WILSON, M.J., RUSSELL, J.D. y TAIT, J.M., 1974: A new interpretation of the structure of disordered  $\alpha$ -cristobalite». *Contrib. Mineral. Petrol.*, 47, 1-6.

Recibido, febrero 1986