

## ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

## Contribución al conocimiento petrológico y geoquímico de silcretas formadas por silicificación (Mioceno, Cuenca del Tajo)

Por M.<sup>a</sup> A. BUSTILLO (\*) y M. BUSTILLO (\*\*)

## RESUMEN

Las rocas silíceas miocenas de la Cuenca del Tajo (sílex y ópalos) han sido llamadas silcretas. En el presente trabajo se discute la aplicación a estas rocas del término silcreta debido a la dificultad de definir, basándose en datos petrológicos, si estos sílex u ópalos se han formado en ambiente vadoso o freático.

Las «silcretas» están incluidas en materiales diferentes: calizas, dolomías, yesos y arcillas. Se han formado por reemplazamiento de los materiales encajantes. La mineralogía y textura de las fases silíceas viene condicionada en gran parte por el tipo de roca caja. El cuarzo y el ópalo C-T aparecen frecuentemente, pero el ópalo C-T es masivo sólo en las «silcretas» formadas por silicificación de dolomías, arcillas y calizas arcillosas. En ocasiones, junto a la formación de ópalo C-T en calizas arcillosas tiene lugar la formación de paligorskita. El cuarzo presenta diferentes texturas (calcedonita, quartzina, lutecita, megacuarzo y microcuarzo) dependiendo de la roca encajante y del ambiente de la silicificación.

La composición química de las rocas silíceas y la de sus rocas encajantes es analizada por Fluorescencia de rayos X. Los contenidos en Rb, Ba, Pb, Ce, Y, Th, Zn, Ni, Ga y Zr son más altos en las silcretas que en las rocas encajantes cuando estas son calizas o yesos. Esta diferencia puede implicar que las aguas relacionadas con el proceso de silicificación de yesos y calizas no evolucionan «in situ» a partir de la roca caja, sino que son originadas en un ambiente exterior a ellas y posiblemente común a todas.

El análisis factorial, considerando como variables la composición química (elementos mayores y menores) y la composición mineralógica (cuarzo, ópalo C-T, sepiolita, yeso, filosilicatos, calcita, dolomita y paligorskita), revela que el factor composición mineralógica unido a la localización geográfica es importante a la hora de establecer el comportamiento de las variables en los diferentes perfiles.

## ABSTRACT

Siliceous rocks (cherts and opals) in the Miocene of the Tajo Basin have been named silcretas. Due to the difficulty to determine from petrological data, if these cherts and opals are formed in vadose or phreatic environments, the application of the term «silcrete» is being discussed in the present work. The siliceous rocks are included in a variety of host material: limestones, dolostones, gypsums and clays. The silica replacement of host materials has clearly been the most important mode of «silcrete» development.

The variety of host materials is reflected in the highly variable mineralogy and texture of these «silcretas». Opal C-T and quartz appear frequently, but the opal C-T is only massive in the «silcretas» formed on dolostones, clays and clayey-limestones. Sometimes the formation of opal C-T in clayey-limestones goes together with the formation of palygorskite. Quartz has many different textures (calcedonite, quartzine, lutecite, megaquartz, microquartz...) depending on the host rocks and silicification environment.

The chemical composition of cherts and opals and their host rocks has been analyzed by X ray Fluorescence. The contents in Rb, Ba, Pb, Ce, Y, Th, Zn, Ni, Ga and Zr are higher in the siliceous rocks than in some host rocks (carbonate and gypsum rocks especially). This difference may imply that the waters related to the silicification process of limestones and gypsums did not evolve «in situ» from the host rocks, but were originated in a strange environment probably common to all the «silcretas».

A factor analysis has been realised, taking as variables, the chemical (major and minor elements) and mineralogical composition (quartz, opal C-T, sepiolite, gypsum, phyllosilicates, calcite, dolomite and palygorskite). The factor analysis shows that the mineralogical composition together with the geographical position are important in order to define the behaviour of the variables in the different sections.

(\*) Departamento de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales (C. S. I. C.).

(\*\*) Departamento de Petrología. Facultad de Geológicas. Universidad Complutense.

## INTRODUCCION

En los sedimentos miocenos de la Cuenca del Tajo aparecen diferentes tipos de rocas silíceas sobre las que se han realizado estudios mineralógicos y petrológicos considerándose procesos, ambientes de formación y evolución diagenética de los distintos minerales de la sílice (BUSTILLO, 1976, 1978, 1983 y 1984) o sus posibilidades como material gemológico (GARCÍA GIMÉNEZ et al., 1985).

En el presente trabajo se hace por primera vez un estudio conjunto de la petrología y geoquímica de las rocas silíceas y sus rocas caja, abordándose la discusión de algunos aspectos de la génesis y ambientes de formación.

De los diferentes tipos de rocas silíceas de la Cuenca del Tajo (BUSTILLO, 1976) se han escogido preferentemente aquéllas que aparecían incluidas en rocas caja que por sus características (bioturbación, signos pedogenéticos) indicaban un ambiente superficial, lo que garantizaba en parte el que se tratase realmente de silcretas.

El término silcreta es introducido por LAMPLUGH [1902, Geol. Mag., vol. 9 (1902), p. 575] para depósitos superficiales endurecidos por precipitación de sílice que es transportada por aguas superficiales. Este término se ha venido utilizando en rocas silíceas de una manera general para toda acumulación de sílice producida por procesos físico-químicos superficiales no relacionados con la cuenca de sedimentación.

Actualmente este término debe corresponderse con el de calcreta, lo que implica que la génesis de la roca silícea tiene lugar en ambiente vadoso o a techo de la capa freática donde hay elevación de agua por capilaridad en etapas áridas. Debido a esto, este término no debe ser aplicado indiscriminadamente a todas las acumulaciones de sílice inorgánica en medio continental.

## ENCUADRE GEOLOGICO

La zona estudiada queda incluida dentro de la Cuenca del Tajo, amplia depresión de origen tectónico con una extensión actual de más de 10.000 kilómetros cuadrados. Esta cuenta está rellena, mayormente, por sedimentos paleógenos y neógenos que se apoyan, en general, sobre un sustrato de materiales cretácicos que, a su vez, descansan en el zócalo cristalino.

Las columnas muestreadas presentan todas ellas una edad miocena, quedando englobadas la mayoría en la Unidad Intermedia, que junto con la Inferior y Superior constituyen las tres grandes megasecuencias sedimentarias en que se divide el Mioceno de esta Cuenca. El límite inferior de la Unidad Intermedia queda definido por una discontinuidad o ruptura sedimentaria detectable por un fuerte cambio en la naturaleza litológica (JUNCO y CALVO, 1986), mientras que el límite superior está establecido por la discordancia erosiva en la base del conjunto terrígeno denominado «red fluvial intramiocena» (CAPOTE y CARRO, 1968).

En el área norte de la Cuenca, la Unidad Intermedia presenta facies a grandes rasgos similares con la Unidad Inferior, por lo que es difícil su diferenciación. En las proximidades de Madrid, se distinguen tres tipos de facies: detríticas, intermedias y palustres-lacustres (HOYOS et al., 1985), existiendo, fundamentalmente en las facies intermedias, niveles de sílex y sepiolita de potencia variable. Por último, hacia el sur (zona de Brea de Tajo-Drieves) esta unidad está constituida, básicamente, por una sucesión monótona de yesos pardos microcristalinos y yesos margosos blancos con nódulos y masas dispersas de sílex que, en ocasiones, se concentran sirviendo de nivel guía en estudios cartográficos (SAN JOSÉ, 1975).

## LOCALIZACION DE LOS AFLORAMIENTOS ESTUDIADOS

Se han muestreado diferentes puntos y facies de la Cuenca del Tajo, para conseguir que estuvieran representadas gran variedad de rocas caja (yesos, dolomías, calizas y arcillas) y por otra parte para obtener rocas silíceas con diferentes mineralogías.

La localización de los puntos es expresada en la tabla 1.

Los afloramientos fueron escogidos en función de que además de la roca silícea no alterada fuera posible muestrear la roca caja directamente en contacto. En la figura 1 se han expresado los cortes geológicos más representativos y la relación entre las muestras silíceas y las de la roca caja.

En Brihuega, las masas de sílice adquieren gran volumen y extensión quedando sueltas por la

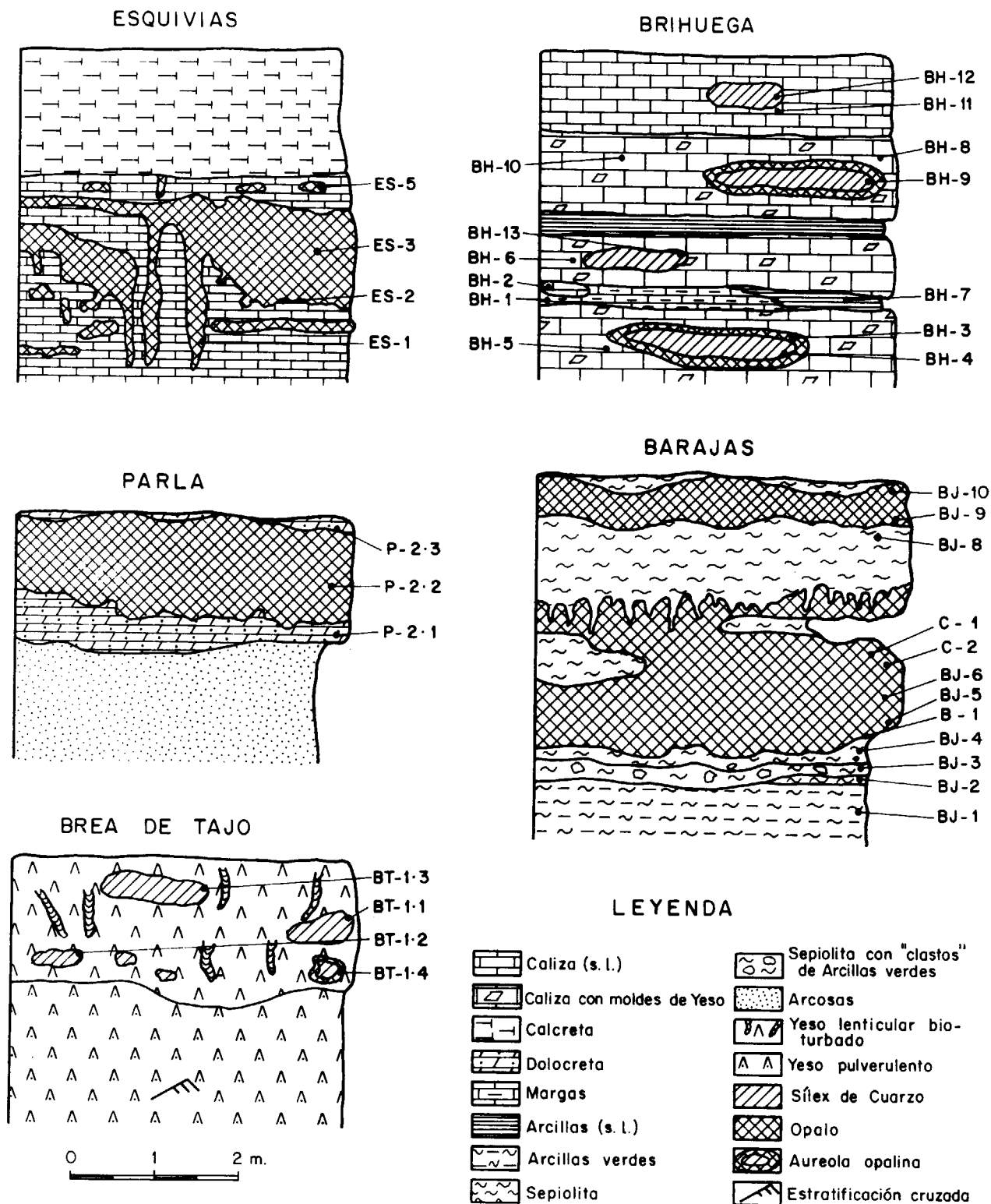


Figura 1.—Perfiles geológicos y situación de las muestras estudiadas.

**TABLA 1**

Punto	Localidad	Coordenadas	Roca caja del sílex
1	Brihuega BH	2° 50' 45" 40° 46' 15"	Serie blanca calcárea (Mioceno Medio)
2	Muduex MD	2° 57' 30" 40° 49' 15"	Parte media de la caliza del Páramo (Mioceno Superior)
3	Gajanejos G	2° 53' 30" 40° 50' 45"	Parte superior de la caliza del Páramo (Mioceno Superior)
4	Barajas BJ, B y C	3° 30' 45" 40° 28' 15"	Sepiolita (Mioceno Medio)
5	Parla P	3° 45' 30" 40° 15' 00"	Dolocreta entre arcosas (Mioceno Medio)
6	Esquivias ES	3° 45' 00" 40° 6' 45"	Caliza arcillosa ligada a calcretas (Mioceno Medio)
7	Brea de Tajo BT-1	3° 7' 15" 40° 13' 45"	Yesos bioturbados ligados a yesoarenitas (Mioceno Medio)
8	Brea de Tajo BT-2	3° 5' 15" 40° 14' 15"	Yesos bioturbados ligados a yesoarenitas (Mioceno Medio)
10	Brea de Tajo BT-3	3° 4' 30" 40° 14' 15"	Yesos bioturbados ligados a yesoarenitas (Mioceno Medio)
11	Perales de Tajuña PT	3° 18' 30" 40° 12' 15"	Yesos bioturbados (Mioceno Medio)

erosión (fig. 2). Se escogió para el muestreo el punto referido por tratarse de una cantera, no considerándose las grandes masas de sílex que aparecen por la erosión a lo largo del valle del río Tajuña. El sílex, que se presenta como pequeños nódulos hasta masas de 6 m<sup>3</sup> de volumen, exhibe gran variedad de colores (gris, azul, rojo, etcétera) y tonos. Tiene estructura homogénea, aunque localmente se puede observar canales de bioturbación. En algunas ocasiones la zona exterior es opalina tomando un color blanquecino más opaco.

En Muduex y Gajanejos (puntos 2 y 3 respectivamente) el sílex aparece incluido en la parte media y superior de la denominada caliza del páramo. Al igual que en el punto 1, el sílex tiene gran variedad de colores y tonos. El volumen de sílice es inferior al punto anterior, ya que las masas silíceas no superan 1 m<sup>3</sup>; pueden tener también aureolas opalinas pero es menos frecuente.

En Barajas, punto 4, de los diferentes afloramientos y niveles de silcreta se escogió el refe-

rido por presentar gran volumen de sílice y poder observar el paso gradual en la vertical de «las arcillas verdes» a la sepiolita con sílice (fig. 3). El tránsito se hace a través de una facies mixta donde las «arcillas verdes» aparecen como «intraclastos» dentro de la sepiolita. Esta facies mixta puede representar la transformación gradual en ambiente edáfico de la arcilla verde a la sepiolita, quedando como restos de la roca primitiva los «intraclastos» verdes.

Las masas de sílice o silcretas aparecen claramente diferenciadas dentro de la sepiolita. En la base la silcreta, que es una mezcla de sílice y sepiolita, se presenta más masiva, mientras que hacia el techo manifiesta morfologías botroidales muy irregulares (fig. 4). La parte masiva puede presentar numerosas grietas subhorizontales o planares cementadas por sílice pura, la cual se acumula igualmente en otras porosidades de la roca.

En Parla, punto 5, se muestreó un nivel de encostramiento de 1,5 m. de potencia situado en las arcosas. Este nivel es de naturaleza carboná-

Figura 2.—Masas de sílex individualizadas por la erosión.  
Brihuega.



Figura 3.—Perfil de B̄arajas. El nivel de silcreta (o) descansa sobre sepiolita (Sp). En la base (flecha) tiene lugar el tránsito de las arcillas verdes a la sepiolita.

tica-silíceas, aunque la sílice tiende a acumularse en la parte superior, siendo la base exclusivamente carbonática. La estructura de la silcreta es globular.

En Esquivias, punto 6, la roca caja de carácter calco-arcilloso está afectada por una silicificación muy intensa, situándose por debajo de un nivel de calcreta. La silicificación, en ocasiones, es tan intensa que se producen masas de sílice de estructura homogénea y color muy oscuro que destacan claramente de la roca caja. La morfología de la silicificación es muy irregular pero se observan dos planos preferentes: uno horizontal y concordante con la estratificación y otro vertical (figura 5). En el borde de la masa silícea se ad-

vierte en determinados casos un tránsito gradual hacia la roca caja, dando unas facies de colores intermedios entre el marrón oscuro de la silicificación y el beige claro de la roca caja. Hacia el techo la silicificación se hace menos intensa.

En Brea de Tajo se realizaron muestreos en tres puntos diferentes (7, 8, 9), aunque todos ellos presentan en común que la roca caja es un yeso compacto intensamente bioturbado, ya que existen numerosos burrows, semejantes a los descritos por DÍAZ-MOLINA y BUSTILLO (1985) en el Mioceno de la Cuenca de Loranca. Estos episodios de intensa bioturbación se intercalan entre otros yesos pulverulentos, en los que localmente es posible advertir ciertas laminaciones y estratificación cruzada poco clara. Algunas de las masas de sílice reproducen fielmente los burrows de la roca caja, y presentan estructura «tubular» (DÍAZ-MOLINA y BUSTILLO, 1985). Sin embargo, otras veces son homogéneas, e incluso en ocasiones se advierte una envuelta opalina con anillos Liesegang. Pueden presentar volúmenes desde 2 m<sup>3</sup> a pequeños nódulos de pocos cm<sup>3</sup>.

En Perales de Tajuña, punto 11, las silicificaciones son menos importantes, y se encuentran en forma de nódulos (hasta 1 dm<sup>3</sup> de volumen) aplanados según la estratificación y que se van sucediendo en los diferentes estratos. Estos estratos son unas veces de calizas con moldes de cristales de yesos, y otras de yesos compactos. Los sílex tienen gran variedad de colores (gris, negro, blanco), y pueden manifestar canales de bioturbación.

#### MINERALOGIA Y PETROLOGIA: DESCRIPCION Y DISCUSIONES SOBRE LOS AMBIENTES DE FORMACION

##### a) Brihuega - Muduex - Gajanejos

Las rocas encajantes correspondientes a Brihuega, Muduex y Gajanejos presentan las mismas microfacies, por lo que son tratadas en conjunto.

Son microsparitas con pseudomorfo calcáreo de cristales lenticulares de yeso. Están formadas exclusivamente por calcita, no existiendo restos de yeso. En ocasiones presentan indicios de cuarzo.

Los sílex que se producen en estas facies están constituidos fundamentalmente por cuarzo. Sin embargo, las aureolas blanquecinas que aparecen



Figura 4.—Detalle de la silcreta anterior. La parte inferior es masiva con grietas subhorizontales y el techo presenta formas botroidales irregulares (¿morfologías de ascensión por capilaridad?).

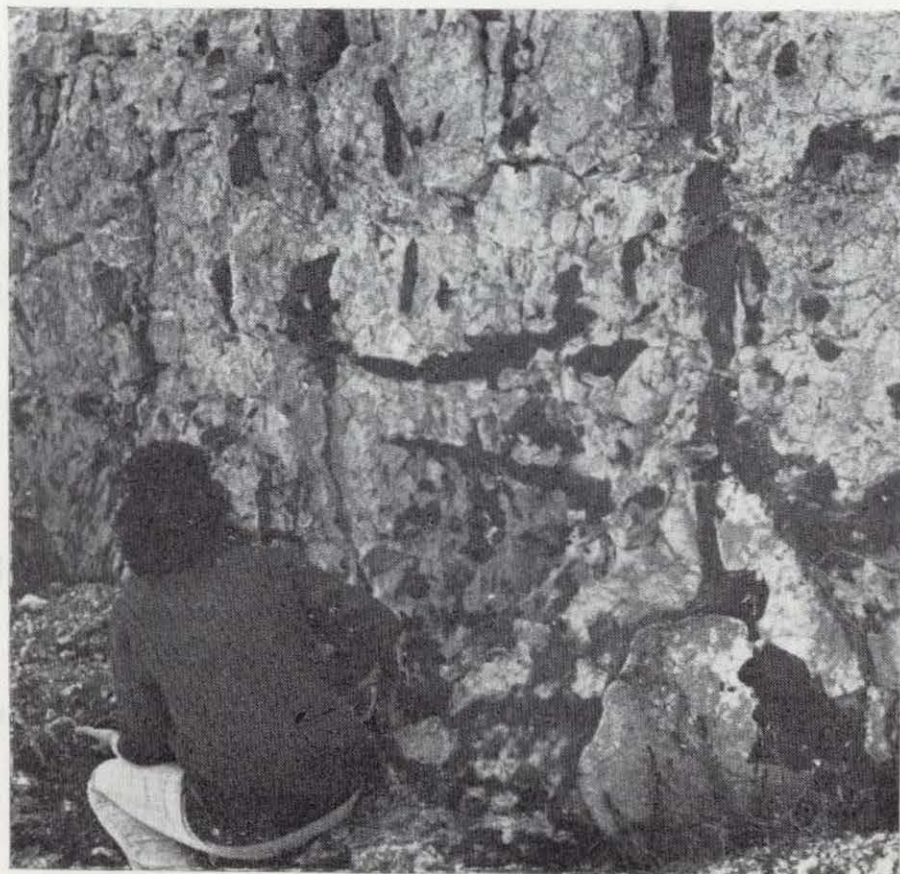


Figura 5.—Esquivias. Silicificaciones situadas por debajo de un nivel de calcreta. Se advierten dos planos preferentes de silicificación uno horizontal concordante con la estratificación y otro vertical.

en el exterior, están formadas mayormente por ópalo C-T. Este sílex de cuarzo se ha producido por envejecimiento, ya que además de la presencia de aureolas opalinas, en las texturas del cuarzo se puede advertir numerosas microesferas que son huellas de la fase opalina precursora.

Las texturas de cuarzo son: mosaicos de cristales de cuarzo meso, micro y criptocristalino, calcedonita, quartzina y lutecita. Estas dos últimas aparecen muy minoritariamente, lo que indica que cuando se produce la silicificación, en la mayoría de los casos el proceso previo de calcitización de los cristales lenticulares de yeso ha terminado y las aguas intersticiales no eran ricas en sulfatos.

Es interesante resaltar que frecuentemente las rocas silíceas presentan pequeñas cantidades de filosilicatos, los cuales no son detectados en la roca caja. Ello podría indicar que durante la silicificación se produce también una neoformación de minerales de la arcilla.

No existen pruebas petrográficas (cementaciones estalactíticas, texturas globulares, etc.) que indiquen que estas rocas silíceas se hayan formado en ambiente vadoso, por lo que podría tratarse de silicificaciones freáticas.

#### b) Barajas

La roca caja es una sepiolita que presenta proporciones variables de ópalo C-T y cuarzo, y en ocasiones indicios de illita (ver tabla 2). En esta roca caja el cuarzo se encuentra cementando huecos en forma de calcedonita y mega, meso y microcuarzo, principalmente aunque puede aparecer quartzina. La mayor parte del ópalo se encuentra íntimamente mezclado con la sepiolita, formando una trama en la que la sepiolita puede individualizarse como un «intraclasto».

La roca silícea está constituida fundamentalmente por ópalo C-T, el cual presenta textura gelatinosa, intraclástica o globular (BUSTILLO, 1976). El cuarzo se encuentra cementando huecos con las mismas texturas comentadas anteriormente o se forma como consecuencia del proceso de envejecimiento que sólo tiene lugar en determinadas zonas de la roca silícea, quedando patente en varios casos la textura globular inicial del ópalo (figura 6).

La textura globular ha sido interpretada como

**TABLA 2**  
Composición mineralógica y resultados geoquímicos de las rocas silíceas (SR) y rocas caja (HR)

II - 244

M.ª A. BUSTILLO Y M. BUSTILLO

**Brihuega, Muduex y Gajanejos**

Mineralogía (%) (Semicuantitativo, DRX)						Composición química (p.p.m.)										
Fd	Q	Op	Ca	Do	Ph	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr	
In	15	—	35	10	40	BH-1*	143	145	5	444	23	22	34	10	5	88
—	5	—	85	In	10	BH-2*	38	49	In	274	5	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	—	BH-5 (H.R.)	11	19	In	268	In	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	—	BH-6 (H.R.)	13	12	In	252	In	In	In	In	In	In
In	10	—	In	—	85	BH-7*	233	260	28	1.296	42	56	90	17	21	515
—	In	—	100	—	—	BH-8 (H.R.)	9	5	In	741	In	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	—	BH-10 (H.R.)	7	9	In	261	In	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	—	BH-11 (H.R.)	12	119	In	430	In	In	In	In	In	In
—	65	25	10	—	—	BH-3 (S.R.)	88	79	34	103	21	59	18	7	16	137
—	35	60	In	—	In	BH-3 (O.R.)	108	70	36	198	26	70	24	9	17	201
—	95	—	—	—	5	BH-4 (S.R.)	111	119	44	71	27	75	24	9	20	220
—	55	30	15	—	In	BH-9 (S.R.)	87	79	24	325	21	55	14	7	12	135
—	85	—	—	—	15	BH-12 (S.R.)	106	100	42	71	26	75	22	8	20	218
—	85	—	—	—	15	BH-13 (S.R.)	116	100	51	76	28	77	24	9	22	245
—	85	—	15	—	In	MD-1 (S.R.)	95	23	31	126	23	57	15	7	12	162
—	60	—	40	—	In	MD-2 (S.R.)	67	16	In	72	15	40	6	In	6	65
—	—	—	100	—	—	G-1 (H.R.)	5	9	In	253	In	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	—	G-2 (H.R.)	9	9	In	136	In	In	In	In	In	In
—	100	—	In	—	—	G-2 (S.R.)	76	32	18	74	18	47	9	5	9	104
—	75	—	20	—	5	G-3 (S.R.)	89	50	25	106	22	60	13	6	10	156

102

**Brea de Tajo y Perales de Tajuña**

Q	Op	Gy	Ph	Ca	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr
100	—	—	—	—	95	100	33	97	22	63	19	9	17	176
95	—	In	—	—	84	68	28	396	22	63	18	8	16	149
95	—	In	—	—	91	75	28	487	23	65	20	8	14	163
100	—	—	—	—	81	194	33	132	17	54	20	9	15	93
5	95	In	—	—	76	33	20	1.102	18	49	17	8	11	82
100	—	In	—	—	26	111	25	1.259	In	38	In	8	14	In
95	—	In	—	—	84	82	29	315	19	57	16	8	11	131
—	—	100	—	—	21	In	In	2.040	In	5	In	In	In	In
In	—	100	—	—	21	In	In	2.555	45	7	In	In	In	In
—	—	100	—	—	25	In	In	1.459	In	7	In	In	In	In
—	—	100	—	—	21	In	In	2.137	In	13	In	In	In	In
In	—	100	—	—	25	In	In	1.942	In	In	In	In	In	In
—	—	100	—	—	22	In	In	1.862	In	7	In	In	In	In
—	In	20	—	80	5	In	In	324	In	In	In	In	In	In
100	—	—	—	—	87	140	33	56	22	62	22	9	18	166
90	—	—	10	—	34	158	30	89	19	—	—	—	—	—

**Barajas**

Mineralogía (%) (Semicuantitativo, DRX)					Composición química (p.p.m.)										
Q	Op	Sp	Sm	I	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr	
5	—	55	35	5	BJ-1*	231	111	52	137	39	68	105	11	24	247
10	25	65	—	—	BJ-2*	133	36	55	78	29	77	37	10	22	246
5	—	90	—	5	BJ-3*	185	111	48	70	31	62	71	11	18	175
10	—	80	In	10	BJ-3**	219	95	48	102	36	59	65	11	16	239
In	In	95	—	In	BJ-4 (H.R.)	126	43	48	83	29	76	49	11	21	231
5	—	95	—	In	BJ-8 (H.R.)	146	59	53	83	32	77	48	11	24	281
—	30	70	—	—	B-1 (H.R.)	106	72	87	63	28	188	272	11	35	330
5	45	40	—	—	B-1 (T.)	118	33	59	90	28	75	32	9	21	257
10	75	15	—	—	BJ-5 (S.R.)	121	21	81	81	29	77	26	8	18	237
90	In	10	—	—	BJ-6 (S.R.)	121	45	65	68	27	78	26	8	20	225
25	60	15	—	—	BJ-9 (S.R.)	123	46	49	76	28	77	31	9	22	221
15	70	25	—	In	BJ-10 (S.R.)	163	58	43	90	35	74	62	11	24	266
80	20	—	—	—	B-1 (S.R.)	93	115	61	50	22	64	22	8	18	167
10	75	15	—	—	C-1 (S.R.)	154	76	47	100	28	71	49	9	19	223
5	95	In	—	—	C-2 (S.R.)	118	36	41	80	25	72	34	9	18	200

**Parla**

Q	Op	Do	Ca	Fd	Ph	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr	
20	—	70	5	5	In	P-2-1 (H.R.)	90	53	In	237	15	27	19	In	51	
20	80	—	—	—	—	P-2-2 (S.R.)	100	75	29	55	21	64	22	9	16	157
15	70	10	5	—	—	P-2-3 (S.R.)	80	52	17	52	18	48	15	6	8	103

**Esquivias**

Q	Op	Ca	Pl	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr	
In	—	95	5	ES-1 (H.R.)	30	13	In	121	7	9	In	In	In	In
—	—	95	5	ES-2 (H.R.)	8	56	In	210	In	In	In	In	In	In
15	60	In	25	ES-1 (S.R.)	99	41	27	79	23	59	24	9	16	152
In	45	—	55	ES-2 (S.R.)	112	91	30	53	24	60	39	9	19	143
In	50	—	50	ES-3 (S.R.)	129	51	33	71	27	66	38	9	20	135
10	50	In	40	ES-5 (S.R.)	95	54	19	79	21	56	24	8	12	134

OR=Aureola opalina.  
T =Muestra de tránsito entre roca caja y roca silíceas.  
\* =Ver su situación en los perfiles, fig. 1.  
\*\* =Intraclasto de «arcillas verdes» incluido en sepiolita.  
In < 5 (p.p.m. o % en la mineralogía).

103

CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO PETROLOGICO...

II - 245

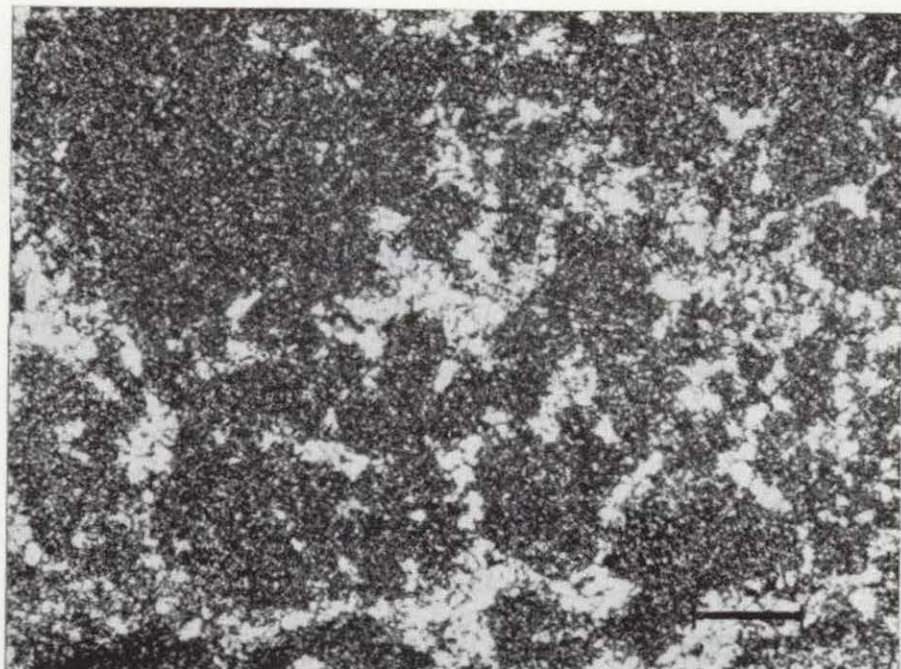


Figura 6.—Sílex de cuarzo reflejando la estructura globular del ópalo precursor. NX. La escala equivale a 250  $\mu$ .

consecuencia del ambiente vadoso (BUSTILLO, 1976) y es comparable a la fábrica globular definida por otros autores en silcretas (SUMMERFIELD, 1983a y b).

Esta fábrica, unido a otros hechos como los huecos planares cementados totalmente por texturas de cuarzo muy diferentes, nos permite definir a estas rocas como silcretas. Podría interpretarse que se han formado por un proceso de silicificación de la sepiolita. No existen datos de cómo tiene lugar este proceso de reemplazamiento, aunque ha sido mencionado por algunos autores (HAY y WIGGINS, 1980). Más recientemente ROULIN (1985) describe diferentes pasos en el proceso de opalización de esmectitas. Según este autor hay un reemplazamiento isovolumétrico de los minerales de arcilla, que implica un proceso de difusión iónica.

**c) Parla**

La roca caja es una dolocreta formada por dolomicrosparita con un 70 por 100 de fragmentos de cuarzo, feldespato y micas. Ciertos huecos aparecen cementados por cristales de calcita que son de génesis muy posterior.

La roca silícea está constituida por ópalo C-T de textura globular, apareciendo cuarzo en las cementaciones (calcedonita, megacuarzo y microcuarzo) y como consecuencia de los procesos de envejecimiento (microcuarzo). Los fragmentos terrígenos son escasos (<5 por 100).

Entre ambos materiales hay un tránsito gradual donde la dolomita de grano fino es «matriz» de glóbulos aislados de ópalo u ópalo-dolomítico (figura 7).

Dado que la proporción de terrígenos es mucho más pequeña en la parte silícea que en la parte carbonática hay que pensar que la parte silícea se forma posteriormente por un proceso de silicificación de la dolocreta. Una vez que el proceso inicial de carbonatación del material terrígeno comienza, queda sílice libre que evidentemente propicia la formación de una silcreta. Por lo tanto dolocreta-silcreta pueden ser rocas originadas por procesos relacionados.

**d) Esquivias**

La roca caja es una «intramicrosparita» ya que se diferencian «clastos» micríticos en una «matriz»

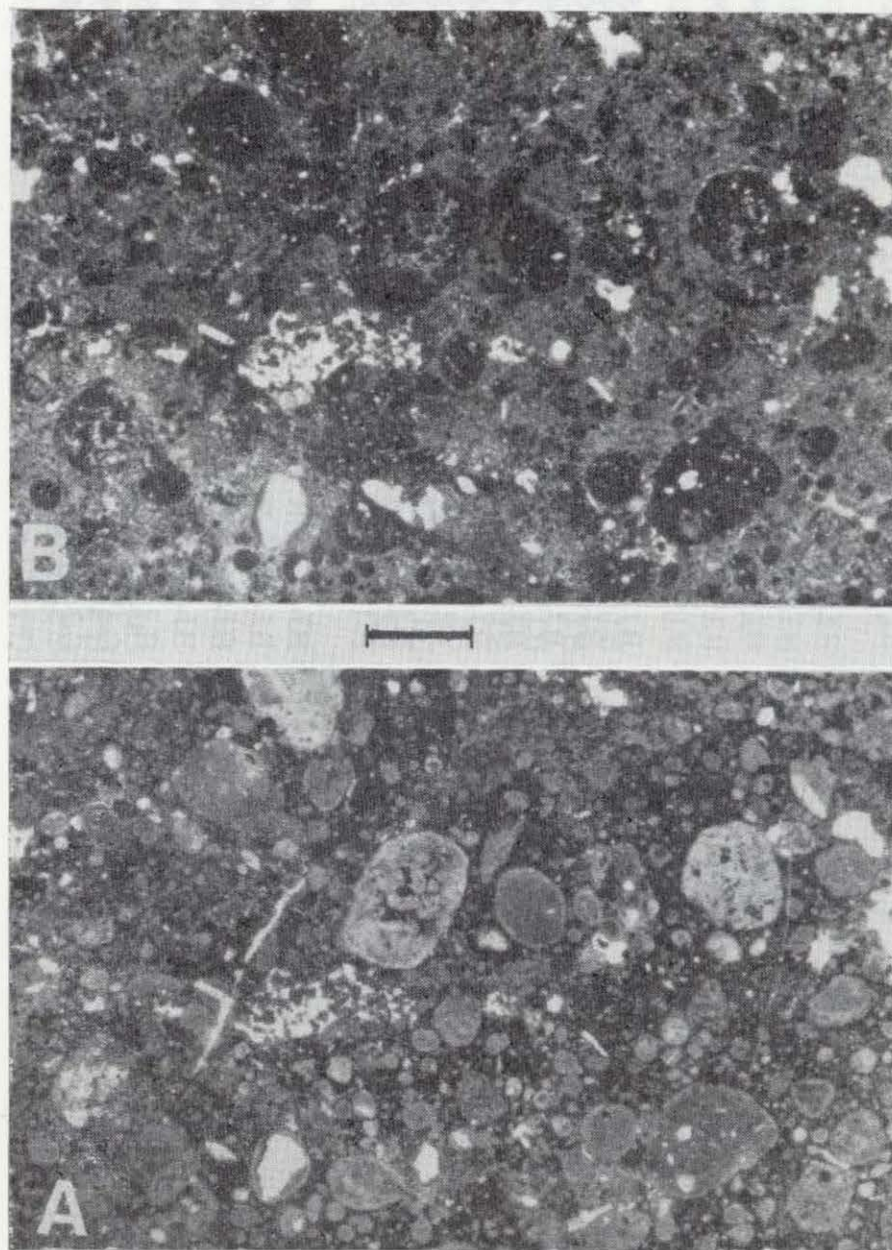


Figura 7.—Ópalo globular con «matriz» dolomítica. A) N; B) NX. La escala equivale a 800  $\mu$ .

de microsparita. Su origen y ambiente de formación es problemático pero posiblemente se trate de un sedimento carbonático poco profundo transformado por subaerismo. Esto último concuerda con el hecho de que directamente encima aparece un nivel de calcreta. En difracción de rayos X, además de calcita, se detectan pequeñas cantidades de paligorskita. Petrográficamente se observa la presencia de terrígenos de cuarzo y la existencia de glóbulos de un tamaño máximo de 0,5 mm. de naturaleza arcillo-silíceo y algún cemento de lussatita.

La masa silíceo está constituida por ópalo C-T y paligorskita. Ambas fases están íntimamente mezcladas y no son diferenciables petrográficamente. Cuando la textura es intraclástica o globular, por la birrefringencia podría decirse que los intraclastos o glóbulos están constituidos por ópalo C-T y paligorskita y «la matriz» que los une, sólo por ópalo C-T.

Existen cementaciones de lussatita y cuarzo (calcedonita, fundamentalmente), pero son escasas. No se observa cuarzo de envejecimiento a excepción de una pequeña cantidad que se produce a partir de la lussatita.

La textura globular de la masa opalina y su asociación con calcretas, hacen pensar que la silicificación se produce en ambiente vadoso. Por otra parte la gran proporción de paligorskita que coexiste con el ópalo (ver tabla 2) plantea la posibilidad de que ambos minerales sean contemporáneos.

VON RAD et al. (1977) hablan de la precipitación contemporánea de ópalo C-T y paligorskita/sepíolita a partir de soluciones alcalinas sobresaturadas en sílice, magnesio y aluminio.

#### e) **Brea de Tajo y Perales de Tajuña**

En general la roca caja es de carácter yesífero y está formada fundamentalmente por pequeños cristales lenticulares (1 mm., tamaño máximo) de yeso.

La excepción la constituye los niveles calcáreos de Perales de Tajuña que están formados por mosaicos de cristales de calcita (de 30 a 100  $\mu$ ) con una pequeña proporción de cristales de yeso.

Cuando los yesos están bioturbados los cristales de yeso se disponen dentro de los canales de

bioturbación en láminas curvadas produciendo la laminación en menisco.

El sílex está constituido por cuarzo, aunque los difractogramas indican la presencia de pequeñas cantidades de filosilicatos. Estos, a su vez, no suelen ser detectados en las rocas caja, por lo que pensamos que se producen relacionados con la silicificación. El cuarzo presenta una gran variedad de texturas: quartzina, mosaicos de cuarzo, cripto, micro y mesocristalino, lutecita y en ocasiones calcedonita. La alta frecuencia con que aparecen las formas fibrosas de elongación positiva está de acuerdo con el ambiente sulfatado de la sustitución.

En la aureola exterior blanquecina aparece ópalo C-T con textura gelatinosa que refleja pseudomorfos de cristales lenticulares de yeso. Debido a la gran anchura del pico atribuible al ópalo C-T, no es posible detectar claramente la presencia de filosilicatos en esta aureola.

La existencia de materia orgánica dentro de los sílex indica que éstos se producen en etapas muy tempranas. Es factible entonces que estas silicificaciones se produzcan en ambiente vadoso o a techo de la capa freática, ya que es posible que las estructuras de bioturbación de la roca caja se hayan formado en ambiente subaéreo.

#### GEOQUIMICA

Para el estudio geoquímico de elementos traza en los diferentes materiales muestreados, se calcularon los contenidos en Rb, Ba, Pb, Sr, Y, Th, Ni, Ga y Zr, por Fluorescencia de Rayos X, utilizando patrones standard y correcciones de matriz según FLETCHER (1981). En la tabla 2 se han reunido los resultados obtenidos en las diferentes secciones estudiadas. En muestras de rocas silíceas seleccionadas se realizaron también análisis de mayores por vía húmeda (tabla 3).

Los materiales analizados pueden agruparse, según su naturaleza, en cuatro poblaciones diferentes: tres que constituyen la roca encajante del sílex (yesos, rocas carbonáticas y arcillas) y una correspondiente a la roca silíceo propiamente dicha. Estas poblaciones, de presencia variable en función de las columnas muestreadas, poseen unos contenidos medios (ppm.) en los elementos estudiados que quedan reflejados en la tabla 4.

**TABLA 3**  
Análisis total de algunas rocas silíceas seleccionadas

**TABLA 3.A**  
Sílex de cuarzo

	BT-1-1	BT-1-2	BT-1-3	BT-1-4	BT-2-1	BT-3-1	PT-1	PT-2	PT-2	B-1 R.C.
SiO <sub>2</sub> ... ..	95,77	95,00	95,30	95,60	96,26	95,42	96,59	97,07	96,03	64,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	—	—	—	—	—	—	—	—	0,34	0,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	—	—	—	—	0,03	0,05	0,06	—	0,09	0,17
FeO ... ..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MnO ... ..	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MgO ... ..	0,22	0,25	0,01	0,03	0,06	0,01	0,06	0,04	0,76	18,29
CaO ... ..	0,59	0,97	1,04	0,95	1,14	1,76	0,28	0,20	0,19	0,17
Na <sub>2</sub> O ... ..	0,09	0,05	0,09	0,09	0,04	0,06	0,03	0,16	0,03	0,05
K <sub>2</sub> O ... ..	—	—	—	—	—	0,05	0,01	0,03	0,07	0,07
TiO <sub>2</sub> ... ..	0,51	0,46	0,38	0,51	—	—	—	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ... ..	0,01	0,01	0,01	0,01	—	—	—	—	—	0,02
* ... ..	2,45	3,05	2,89	2,19	1,96	2,19	2,54	2,40	2,49	16,03
<b>TOTAL</b> ... ..	<b>99,65</b>	<b>99,79</b>	<b>99,72</b>	<b>99,38</b>	<b>99,49</b>	<b>99,54</b>	<b>99,57</b>	<b>99,94</b>	<b>100,02</b>	<b>99,82</b>

**TABLA 3.B**  
Opalos

	BT-14	P-2-2	ES-1	ES-2
SiO <sub>2</sub> ... ..	92,70	92,16	81,92	77,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	—	1,34	1,73	3,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	—	0,33	0,68	1,24
FeO ... ..	—	—	0,01	0,01
MnO ... ..	—	—	0,01	0,01
MgO ... ..	0,15	1,02	2,51	5,55
CaO ... ..	1,36	0,26	3,24	0,20
Na <sub>2</sub> O ... ..	0,09	0,03	0,05	0,04
K <sub>2</sub> O ... ..	—	0,25	0,17	0,32
TiO <sub>2</sub> ... ..	0,40	0,05	0,13	0,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ... ..	0,01	0,04	0,04	0,03
* ... ..	5,31	4,42	9,34	10,68
<b>TOTAL</b> ... ..	<b>100,02</b>	<b>99,90</b>	<b>99,82</b>	<b>99,52</b>

El estudio global pone de manifiesto la existencia de dos grandes grupos de rocas encajantes desde un punto de vista geoquímico: un grupo constituido por los yesos y las rocas carbonáticas y otro formado por las arcillas. El primero se caracteriza por los contenidos significativos en rubidio y estroncio, para los yesos, y rubidio, bario y estroncio para los carbonatos, mientras que el resto de elementos analizados se encuentran en can-

tidades inferiores a los 5 ppm., límite de detección considerado. Estos resultados permiten incluir los materiales citados anteriormente dentro del rango común de variación para los elementos analizados por otros autores. DEAN (1978) presenta valores de estroncio entre 100 y 1.500 ppm. para diferentes sedimentos evaporíticos (yesos y anhidritas) y BUTLER (1973) amplía este rango hasta los 2.500 ppm., afirmando que contenidos superiores pueden ser debidos a pequeñas inclusiones de celestina. Por su parte, VEIZER (1983) considera frecuentes los relativamente altos contenidos en estroncio para los carbonatos, aunque el rango de variación puede ser muy amplio (KINSMAN, 1969). En cualquier caso, la ausencia de datos en relación a calizas continentales limita la interpretación de los resultados. Por último, la ausencia de otros elementos, especialmente metales pesados, es frecuente en este tipo de materiales.

El otro tipo de rocas encajantes caracterizable por sus contenidos en elementos traza son las arcillas. Estas presentan, en comparación con los yesos y carbonatos, menores contenidos en estroncio, rasgo éste común si observamos los contenidos presentados por VINE y TOURTELOT (1970), y valores notablemente mayores en el resto de los elementos analizados (tabla 4). Aunque los contenidos en elementos traza en las arcillas pueden ser muy variables, en función de su composición

**TABLA 4**  
Valores de la media, desviación standard y rango de variación para los diferentes grupos de rocas analizables

	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr
Carbonatos ... ..	A	32,6	5	277,4	5	5	5	5	5	5
	B	(32,3)	(—)	(157,6)	(—)	(—)	(—)	(—)	(—)	(—)
	C	5-119	nd-8	104-741	nd-15	nd	nd	nd	nd	nd
Yesos ... ..	A	22,5	5	1.999,0	5	6,8	5	5	5	5
	B	1,8	(—)	(327,5)	(—)	(3,3)	(—)	(—)	(—)	(—)
	C	21-25	nd	1.459-2.555	nd	nd-13	nd	nd	nd	nd
Arcillas ... ..	A	169,4	103,5	88,0	32,1	67,2	85,5	11,4	20,7	261,3
	B	(45,9)	(64,6)	(23,0)	(5,6)	(21,6)	(69,2)	(2,0)	(7,5)	(110,0)
	C	106-233	36-1.984	63-1.296	17-42	39-108	32.271	7-17	5-35	88-515
Cuarzo ... ..	A	86,1	103,9	164,8	21,0	63,3	19,0	8,1	16,2	164,0
	B	(25,5)	(42,5)	(142,7)	(6,0)	(1,90)	(4,4)	(1,0)	(3,6)	(43,7)
	C	67-121	16-194	50-487	15-28	40-78	6-26	nd-9	9-20	65-225
Roca silícea	A	111,5	51,3	82,8	24,1	65,4	31,5	8,9	16,7	171,8
	B	(23,5)	(19,1)	(34,5)	(3,3)	(9,1)	(12,0)	(1,2)	(4,2)	(58,9)
	C	76-163	21-91	52.1.102	18-35	48-77	15-62	6-11	8-24	43-266

A = Media.  
B = Desviación standard.  
C = Rango de variación.

mineralógica, ámbito de formación, etc., los resultados obtenidos en el presente estudio entran dentro del rango de variación para este tipo de materiales (MOSSER, 1980).

Esta mayor riqueza queda reflejada, a su vez, en las rocas silíceas, de tal forma que los sílex con roca encajante arcillosa poseen mayores contenidos en elementos traza (excepto en estroncio) que los sílex incluidos en calizas o yesos (tabla 5). Es decir, en la geoquímica de las rocas silíceas estudiadas existe un factor determinante en su composición que podríamos denominar factor «roca encajante». Esto puede ser debido a la existencia, en la muestra silícea a analizar, de pequeñas cantidades de roca caja no detectadas por Difracción de Rayos X. También podría ser debido a una cierta influencia de los elementos traza de las arcillas en el proceso de silicificación, tal y como exponen HEIN y MORGENSEN (1983). En este sentido, el proceso de calcitización de yesos también denota la influencia de la roca precursora. Así, los contenidos en estroncio de las rocas encajantes del perfil de Brihuega son mayores en aquellas muestras que presentan pseudomorfos de cristales lenticulares de yeso calcitizado.

Las rocas silíceas, formadas por ópalos C-T o cuarzo, presentan una riqueza en elementos traza que podríamos calificar como intermedia entre las calizas o yesos y las arcillas. Su estudio comparativo, a nivel bibliográfico, resulta difícil de establecer dada la inexistencia de trabajos relacionados con la geoquímica de elementos traza en sílex nodulares de ámbito continental, siendo relativamente frecuentes, por el contrario, los trabajos de rocas silíceas estratificadas («bedded cherts») (SUGISAKI et al., 1982; BELLANCA et al., 1982; HEIN et al., 1983; MATSUMOTO e IJIMA, 1983; BARRET, 1981; ADACHI et al., 1986).

No obstante, los resultados obtenidos permiten establecer una serie de conclusiones de cierto interés. Los sílex, al margen de su composición mineralógica, poseen contenidos apreciables en ciertos elementos traza (Pb, Y, Zn, Ni, Ga y Zr) que no están presentes en sus rocas encajantes (tablas 2 y 4) cuando éstas son de composición carbonatada o yesífera. No existe, por lo tanto, una correlación entre ambos contenidos, de forma que la composición en ciertos elementos traza de algunas rocas silíceas es independiente de la composición de sus rocas encajantes, de forma similar a como hace constar MAXWELL (1963).

**TABLA 5**  
Contenidos en algunos elementos traza de los sílex en función de sus rocas encajantes

Columna	Roca encajante	N.º de muestras	Rb		Ba		Pb		Sr		Zr	
			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Brea del Tajo	Yesos	7	76.71	(21.5)	94.71	(46.7)	28	(4.2)	541.1	(425.9)	132	(34.6)
Esquivias	Carbonatos	4	108.7	(13.2)	59.2	(18.9)	27.2	(5.2)	70.5	(10.6)	116	(42.7)
Barajas	Arcillas	4	132	(17.9)	42.5	(13.4)	59.5	(14.7)	78.7	(8.0)	237.2	(17.6)
Brihuega	Carbonatos	6	102.6	(11.1)	91.1	(16.7)	38.5	(8.5)	140.6	(93.6)	176.1	(47.2)

A = Media (ppm.).

B = Desviación standard (ppm.).

En las rocas silíceas, y como complemento al estudio de elementos traza, se han llevado a cabo, en algunas muestras seleccionadas, los análisis de su composición total. Los resultados obtenidos se observan en la tabla 3. Los contenidos en sílice varían entre el 78 y el 97 por 100, constatándose una relación entre la mineralogía (ópalo C-T o cuarzo) y el incremento en el contenido en sílice, tal como hacen constar HEIN y MORGENSEN (1983). El  $Al_2O_3$  en general no supera el 0,5 por 100. La existencia de mayores contenidos en algunas muestras (ES-1 y ES-2 de Esquivias y P-2-2 de Parla) puede ser explicada por la presencia de cantidades importantes de paligorskita, que en ocasiones lleva cierto contenido en  $Al_2O_3$  (WEAVER y POLLAR, 1973).

Cuando se compara la relación  $Al_2O_3/MgO$  de las rocas opalinas y de sus rocas encajantes arcillosas se advierte que esta relación no es constante (tabla 3, comparar B-1 y B-1 RC). Este hecho no debería suceder cuando se produce un proceso de silicificación simple por lo que habría que obtener un mayor número de datos sobre esta problemática.

Dentro de la composición de mayores, las relaciones entre  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  y  $MnO$ , utilizadas por diversos autores (BOSTROM et al., 1973; STEINBERG y MPODOSIZ-MARIN, 1978; BALTUCK, 1982; HEIN et al., 1983) para extraer características paleogeográficas, no pueden ser aplicadas en nuestro caso, por ser un ambiente de formación diferente. Además, según BALTUCK (1982), el proceso de silicificación que origina los «nodular chert» borra las características geoquímicas propias del ambiente de sedimentación.

Un aspecto a considerar en relación al estudio de elementos traza, es su evolución durante el proceso de envejecimiento, es decir, en la conversión ópalo-cuarzo (HEIN et al., 1981; TRUSCOTT y SHAW, 1984; BRUECKNER y SNYDER, 1985). En este sentido, parece observarse, en aquellas muestras que presentaban un núcleo de cuarzo y una aureola externa de ópalo (tabla 2, muestras BT-1-4 y BH-3), un cierto enriquecimiento en elementos traza en la fase de ópalo C-T, lo que concuerda con la estructura del ópalo C-T, que permite incorporar mayor cantidad de elementos traza. Posteriormente, el proceso de envejecimiento llevaría consigo una liberación parcial de dichos elementos, dando lugar a una fase de cuarzo con contenidos globalmente menores. Esta evolución no es aplicable al

estroncio (muestra BT-1-4) ya que la presencia de pequeñas cantidades de roca encajante de carácter yesífero distorsionan los contenidos en estroncio en el ópalo C-T y, por tanto, controlan su presencia. Efectos similares han sido puestos de manifiesto por BRUECKNER y SNYDER (1985). En nuestro caso, el bajo número de muestras que presentaban conjuntamente ópalo C-T y cuarzo, hace que las tendencias no puedan ser afirmadas con total seguridad, siendo necesario un muestreo ulterior que permita contrastar los resultados obtenidos.

Por último, se ha observado, en aquellas muestras que poseían una mezcla de diferentes minerales, una importante correlación entre la composición mineralógica y el contenido en determinados elementos traza (tabla 2). Así este contenido puede, en ocasiones, ser expresado de forma polinómica en función del aporte relativo de cada fase mineralógica, basándose en los datos semicuantitativos obtenidos por Difracción de Rayos X. Este comportamiento permite corroborar, tal como se ha comentado anteriormente, que cada mineral presenta unos márgenes de variación determinados para cada elemento traza (tabla 4).

#### Análisis factorial de los resultados geoquímicos

Para el tratamiento de los datos obtenidos, se han llevado a cabo dos análisis factoriales. El primero de ellos considera como variables los elementos traza de las rocas silíceas, mientras que en el segundo las variables están constituidas por los resultados geoquímicos (mayores y trazas) y mineralógicos (composición porcentual), obtenidos en rocas silíceas y rocas encajantes seleccionadas.

En el primer análisis factorial cabe destacar la obtención de dos factores que explican el 75 por 100 de la varianza total (tabla 6-A), estando estos factores definidos por una combinación de las variables primitivas, combinación ésta que queda reflejada en la tabla 6-B. Si representamos las variables en función de los ejes factoriales I y II (fig. 8a), se observa una dispersión en su distribución, sin que existan pautas determinadas de concentración zonal para las variables consideradas. Por otra parte la inclusión de las muestras en el gráfico anterior (fig. 8b) pone de manifiesto una distribución que viene condicionada tanto por la situación geográfica como por la composición

**TABLA 6**

**A) Varianza explicada por cada uno de los factores obtenidos, así como sus proporciones relativas**

Factor	Varianza explicada	Proporción acumulada %
I	5,91	59,13
II	1,59	75,01
III	0,86	83,61
IV	0,71	90,72
V	0,37	94,51
VI	0,22	96,73
VII	0,15	98,19
VIII	0,11	99,34
IX	0,04	99,75
X	0,02	100,00

**B) Influencia de las diferentes variables en la composición de los factores I y II**

Variable	Factor I	Factor II
1 (Rb)	0,796	0,058
2 (Ba)	-0,322	0,747
3 (Pb)	0,634	0,465
4 (Sr)	-0,645	0,183
5 (Y)	0,966	0,100
6 (Th)	0,857	0,396
7 (Zn)	0,751	0,338
8 (Ni)	0,374	0,824
9 (Ga)	0,628	0,711
10 (Zr)	0,926	0,210

mineralógica. Así, las muestras procedentes de perfiles geológicos diferentes quedan agrupadas en conjuntos diferentes, y éstos, a su vez, incluyen muestras con rocas encajantes afines.

En el segundo análisis factorial, más completo, las variables consideradas han sido: contenidos en elementos traza (Rb, Ba, Pb, Sr, Y, Th, Zn, Ni, Ga y Zr), contenidos en mayores (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y Fe total), así como el tanto por ciento existente en cada muestra, de las siguientes fases minerales: cuarzo, ópalo, sepiolita, yeso, filosilicatos, calcita, dolomita y paligorskita, dando un total de 28 variables. De los 28 factores obtenidos, 5 de ellos presentan una relativa importancia, con un 78

por 100 de varianza acumulada explicada por ellos. A su vez, los dos primeros factores, que explican entre ambos un 53 por 100 de la varianza total, quedan definidos básicamente por las variables correspondientes a los contenidos en elementos traza y el contenido en cuarzo y ópalo. La representación de las variables consideradas en función de los ejes factoriales I y II (fig. 9a) pone de manifiesto, al igual que sucedía en el primer análisis factorial, una considerable mezcla entre las diferentes variables, no pudiéndose separar claramente grupos correspondientes a los elementos traza, mayores y fases mineralógicas. Por el contrario, la inclusión de las muestras en dicho gráfico (fig. 9b) da lugar a dos grandes asociaciones, una constituida por las rocas encajantes y otra formada por las rocas silíceas, primando, por ello, en primer término la composición química sobre la posición geográfica. Es interesante hacer constar que la sepiolita, que posee carácter de roca encajante, queda no obstante incluida en el grupo de las rocas silíceas. Para finalizar, dentro del grupo de las rocas silíceas, se observa una notable distribución en función de las columnas, quedando las muestras agrupadas según el perfil geológico al que corresponden.

**CONCLUSIONES**

- 1) La definición de una roca silícea continental como silcreta se realiza por sus características texto-estructurales, por el tipo de roca caja asociada y por su situación en el perfil geológico. Sin embargo hay que señalar que esta deducción debe ser manejada con precaución. Cuando la génesis de una roca silícea es por silicificación, este proceso reproduce frecuentemente las características texto-estructurales de la roca encajante, no quedando reflejado el propio ambiente de silicificación. Así, por ejemplo, una silicificación en ambiente freático (no relacionada con la ascensión capilar del techo de la capa freática) que afecta a una calcreta a determinados metros de profundidad, produce una falsa silcreta, porque aunque la roca silícea presenta caracteres texto-estructurales típicos de silcreta, su ambiente de génesis no es vadoso. Por otra parte una roca silícea formada en ambiente freático constituida por ópalo C-T si pasa a condiciones subaéreas puede transformarse completamen-

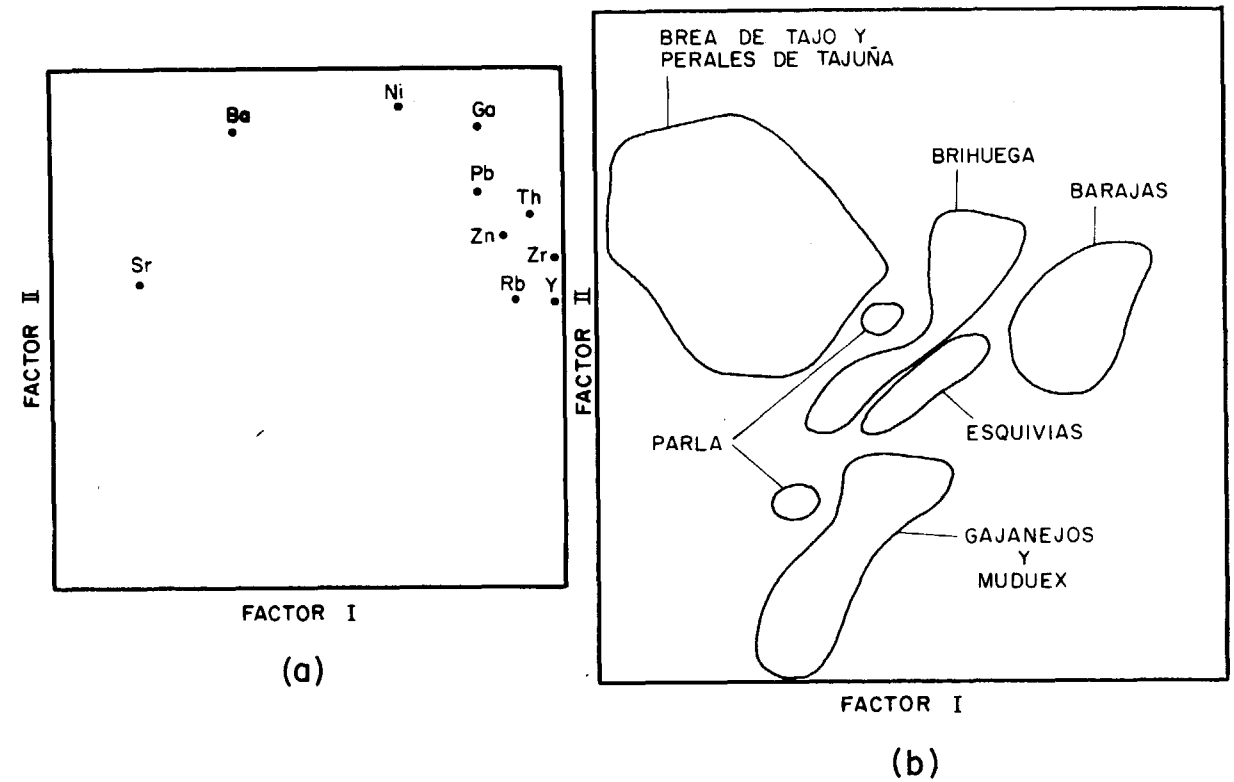


Figura 8.—a) Representación de las variables consideradas en función de los ejes factoriales I, II (primer análisis factorial). b) Agrupaciones de muestras en función de los ejes factoriales I, II (primer análisis factorial).

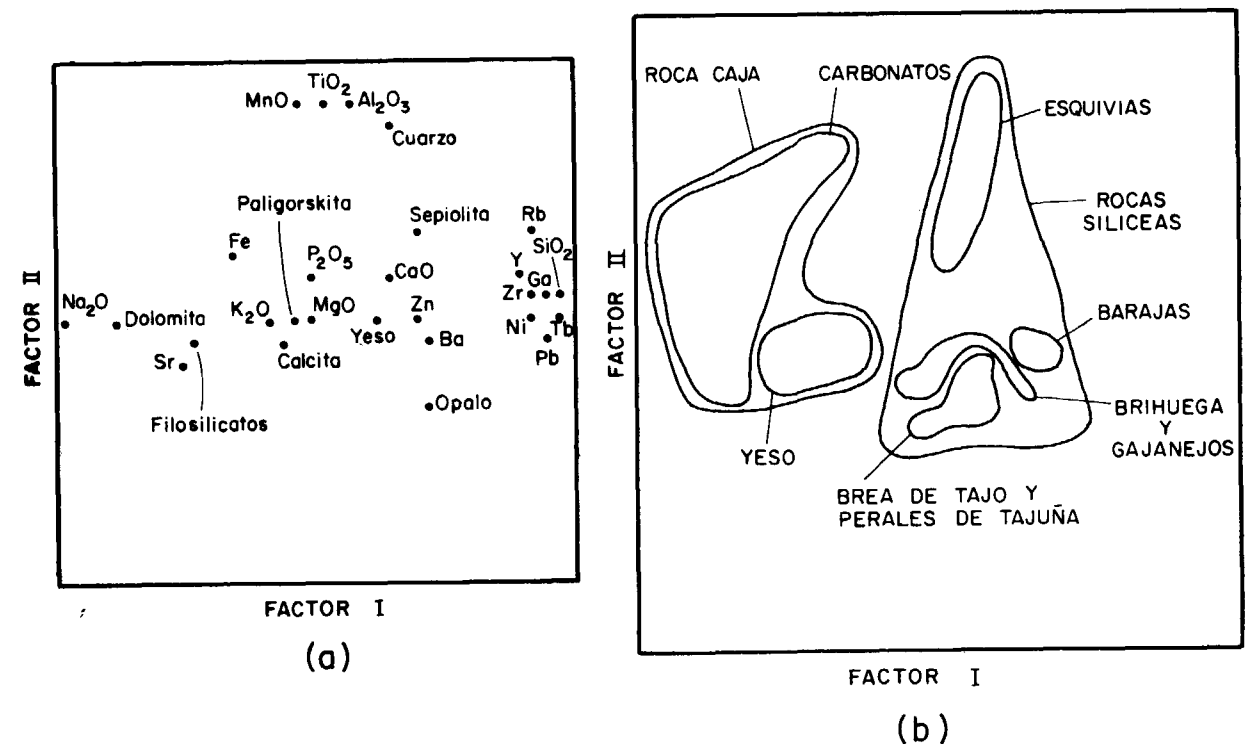


Figura 9.—a) Situación de las diferentes variables (composición química y mineralógica) en función de los ejes factoriales I y II (segundo análisis factorial). b) Grupos de muestras obtenidas considerando como ejes los factores I y II (segundo análisis factorial).

te, debido a la inestabilidad del ópalo C-T, y tomar características texto-estructurales de una silcreta.

- 2) Del punto anterior se deduce la complejidad de determinar la génesis de una roca silícea continental formada por reemplazamiento. Las rocas silíceas de Brihuega, Muduex y Gajanejos no manifiestan datos claros para ser definidas como silcretas pues podrían haberse formado en ambiente freático. En las rocas silíceas de ambiente evaporítico (Brea de Tajo y Perales de Tajuña) la existencia de materia orgánica junto con la presencia de «estructuras tubulares» (que posiblemente se producen en substratos subaéreos) indica que la silicificación se pudo producir en etapas tempranas sobre sedimentos yesíferos que tuvieron exposición subaérea, por lo que es factible que se traten de silcretas.

Las rocas silíceas incluidas en las «facies de transición» de la Cuenca del Tajo (Barajas, Parla y Esquivias) serían silcretas en cuanto a sus características texto-estructurales. Ahora bien, como muchas de estas características existen también en las rocas encajantes, y no hay criterios para determinar cuándo se produce el proceso de silicificación, no se puede descartar una silicificación freática.

- 3) El análisis geoquímico de las rocas silíceas y sus rocas encajantes pone de manifiesto que los sílex poseen contenidos apreciables en ciertos elementos traza que no están presentes en sus rocas encajantes, cuando éstas son de composición carbonatada o yesífera. Esto lleva consigo que la geoquímica de las rocas silíceas no está condicionada por la geoquímica de las rocas encajantes. De acuerdo con estos resultados, es posible afirmar que las aguas causantes de los procesos de silicificación no pudieron evolucionar «in situ», en un sistema diagenético cerrado, a partir de la disolución y concentración de las rocas encajantes. Las facies arcillosas son fuente potencial de las aguas silicificantes.
- 4) El tratamiento por análisis factorial de los resultados geoquímicos y mineralógicos, revela que el factor composición mineralógica, unido a la localización geográfica, es importante a la hora de establecer el comportamiento de las variables en los diferentes per-

files. La influencia del tipo de roca caja en la geoquímica de la roca silícea incluida en ella, enmascara la posible existencia de diferencias genéticas en los diversos procesos de silicificación, bien por cambios en la composición de las soluciones silicificantes, bien por tratarse de silicificaciones generadas en ambientes diferentes.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al doctor J. L. Brandle, del Departamento de Petrología, Facultad de Geológicas, por la realización del análisis factorial. A R. García García, del Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, por la realización de los análisis mineralógicos y geoquímicos.

#### BIBLIOGRAFIA

- ADACHI, A.; YAMAMOTO, K., y SUGISAKI, R.: *Hidrothermal chert and associated siliceous rocks from the Northern Pacific: their geological significance as indication of Ocean Ridge Activity*. *Sediment. Geol.*, 47, 125-148 (1986).
- AUDLEY-CHARLES, M. G.: *Some aspects of the chemistry of Cretaceous Siliceous sedimentary rocks from eastern Timor*. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 29, 1175-1192 (1965).
- BALTUCK, M.: *Provenance and distribution of Tethyan pelagic and hemipelagic siliceous sediment, Pindos Mountains, Greece*. *Sediment. Geol.*, 31, 63-83 (1982).
- BARRETT, T. J.: *Chemistry and Mineralogy of Jurassic bedded chert overlying ophiolites in the North Apennines, Italy*. *Chem. Geol.*, 34, 289-317 (1981).
- BELLANCA, A.; DECIMA, A., y NEIN, R.: *Indagini composizionali su diatomiti messinice (Tripoli) della Sicilia centrale*. *Mineralogica et Petrographica Acta gic. Acta geologica Alpina*, 26 (1982).
- BOSTROM, K.; KRAEMER, T., y GARTNER, S.: *Provenance and accumulation rates of opaline silica. Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni and Co in pacific pelagic sediments*. *Chem. Geol.*, 11, 123-148 (1973).
- BRUECKNER, H., y SNYDER, W.: *Chemical and Sr-Isotopic variations during diagenesis of Miocene Siliceous Sediments of the Monterey Formation, California*. *Jour. Sed. Petrol.*, 55, 553-568 (1985).
- BUSTILLO, M.ª A.: *Sedimentación lacustre-palustre, formación de ópalos y otras silicificaciones en el Mioceno Medio al sur de Villaluenga (Toledo)*. *Estudios Geol.*, 40, 137-151 (1984).
- BUSTILLO, M.ª A.: *Estudio petrológico de las rocas silíceas miocenas de la Cuenca del Tajo*. *Estudios Geol.*, 32, 451-497 (1976).

- BUSTILLO, M.ª A.: *Significado de las rocas silíceas en la sedimentación miocena de la Cuenca del Tajo*. *Estudios Geol.*, 34, 129-132 (1978).
- BUSTILLO, M.ª A.: *Ageing features in inorganic continental opals*. *Estudios Geol.*, 38, 335-344 (1983).
- BUTLER, G. P.: *Strontium geochemistry of modern and ancient calcium sulphate minerals*. In: N. H. Purser (Ed.), *The Persian Gulf Holocene Carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea*, Springer-Verlag, Berlín, 423-452 (1973).
- CAPOTE, R., y CARRO, S.: *Existencia de una red fluvial intramiocena en la depresión del Tajo*. *Estudios Geol.*, 24, 91-97 (1968).
- DEAN, W. E.: *Trace and minor elements in evaporites*. In: W. E. Dean & B. Ch. Schreiber (Eds.), *Marine Evaporites*. SEPM short course núm. 4, 86-104 (1978).
- DÍAZ-MOLINA, M., y BUSTILLO, M.ª A.: *Wet fluvial fans of the Loranca Basin (Central Spain) channel models and distal bioturbated gypsum with chert*. 6th European Regional Meeting Excursion Guidebook, 148-185 (1985).
- FLETCHER, W. J.: *Analytical methods in Geochemical prospecting*. *Handbook of Exploration Geochemistry*, 1. Elsevier, Amsterdam, 255 pp. (1981).
- GARCÍA JIMÉNEZ, R.; MORANTE, M.; MEDINA, S. A., y LEGUEY, S.: *Posibilidades gemológicas de los ópalos y materiales silíceos de la zona de Esquivias-Valdemoro en la cuenca de Madrid*. Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía (V Reunión Científica), 8, 65-73 (1985).
- HAY, R. L., y WIGGINS, B.: *Pellets, ooids, sepiolite and silica in three calcretes of the southwestern United States*. *Sedimentology*, 27, 559-577 (1980).
- HEIN, J. R.; VALLIER, T. L., y ALLAN, M. A.: *Chert Petrology and Geochemistry Mid-Pacific Mountains and Hess Rise*. DSDP. Leg. 62. Initial Reports of the DSDP, 62, 711-747 (1981).
- HEIN, J., y MORGENSEN, L.: *Petrology and geochemistry of silicified upper Miocene chalky Costa Rica Rif*. DSDP. Leg. 69. Initial Report of the DSDP, 69, 395-422 (1983).
- HEIN, J. R.; KUIJPERS, E. P.; DENYER, P., y SLINNEY, R. E.: *Petrology and Geochemistry of Cretaceous and Paleogene cherts from Western Costa Rica*. *Develop. in Sediment.*, 36, 143-175 (1983).
- HOYOS, M.; JUNCO, F.; PLAZA, J. M.; RAMÍREZ, A., y RUIZ SÁNCHEZ-PORRO, J.: *El Mioceno de Madrid*. En: *Geología y Paleontología del Terciario Continental de la provincia de Madrid*. M. T. Alberdi (Coordinadora). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, 8, 9-16 (1985).
- JUNCO, F., y CALVO, J. P.: *Cuenca de Madrid*. En: *Libro homenaje a J. M. Ríos* (t. 2). IGME, Madrid (1986).
- KINSMAN, D. J.: *Interpretation of Sr<sup>2+</sup> concentrations in carbonate minerals and rocks*. *Jour. Sed. Petrol.*, 39, 486-508 (1969).
- MATSUMOTO, R., e IJIMA, A.: *Chemical sedimentology of some Permo-Jurassic and Tertiary bedded cherts in Central Honshu, Japan*. *Develop. in Sediment.*, 36, 165-174 (sin publicar).
- MAXWELL, J. A.: *Geochemical study of some chert and related deposits*. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 104 (1963).
- MOSSER, C.: *Etude Geochimique de quelques elements traces dans les argiles des alterations et des sediments*. *Sciences Geologiques, Memoire*, 63, 229 pp. (1980).
- ROULIN, F.: *L'eocene continental du synclinal D'Apt (Vaucluse, Sud-Est de la France): Enchainements silcrete-calcrete et argilogenese*. These 242 pp, Universite Claude-Bernard, Lyon I (1985).
- SAN JOSÉ, M. A.: *Mapa Geológico de España*. E. 1:50.000. Hoja 584 (Mondéjar). IGME (1975).
- STEINBERG, M., y MPODOZIS-MARIN, C.: *Classification geochimique des radiolarites et des sediments siliceux oceaniques: signification paleo-oceanographique*. *Oceanologia Acta*, 1, 359-367 (1978).
- SUMMERFIELD, M. A.: *Geochemistry of weathering profiles silcretas, Southern Cape Province, South Africa*. En: *Residual Deposits* (Ed. R. C. L. Wilson). *Spec. Publ. Geol. Soc. London* (1983a).
- SUMMERFIELD, M. A.: *Petrography and diagenesis of silcrete from the Kalahari basin and Cape Coastal zone, Southern Africa*. *J. of Sediment. Petrol.*, 53, 895-909 (1983b).
- SUGISAKI, R.; YAMAMOTO, K., y ADACHI, M.: *Triassic bedded cherts in central Japan are not pelagic*. *Nature*, 298, 644-647 (1982).
- TRUSCOTT, M. G., y SHAW, D. M.: *Boron in chert and Precambrian siliceous iron formations*. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 2313-2320 (1984).
- VEIZER, J.: *Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique*. SEPM, sort course núm. 10, 3-1, 3-100 (1983).
- VINE, J. D., y TOURTELOT, E. B.: *Geochemistry of black shale deposits a summary report*. *Econ. Geol.*, 65, 253-272 (1970).
- VON RAD, V.; RIECH, V., y ROSCH, H.: *Silica Diagenesis in continental Margin Sediments of North-West Africa*. Initial Reports of the DSDP, 41, 879-905 (1977).
- WEAVER, C. E., y POLLARD, L. D.: *The chemistry of clay minerals*. *Develop. Sediment.*, 15, 213 pp. (1973).

Recibido: Septiembre 1986.