

ESTUDIO GEOQUIMICO DE LOS YESOS MIOCENOS DE LA ZONA ESTE DE LA CUENCA DE MADRID

R. Fort (*) y M. Bustillo (**)

RESUMEN

En las facies evaporíticas de la Cuenca de Madrid (región Brea del Tajo-Driebes-Almoguera), aparecen diferentes tipos de yeso, cuyo contenido en elementos traza ponen de manifiesto la existencia de procesos de fraccionamiento durante la evolución diagenética. De los diferentes elementos traza analizados el estroncio y el magnesio son los que mejor reflejan el estadio diagenético de formación al presentar coeficientes de distribución inferiores a la unidad ($D < 1$). De esta forma, los yesos primarios poseen contenidos medios de 3.270 ppm de Sr y 1.100 ppm de Mg, mientras que los secundarios poseen valores medios de 760 ppm y 410 ppm, respectivamente. El resto de los elementos analizados presentan una mayor problemática en la interpretación diagenética, bien por presentar coeficientes de distribución próximos a la unidad (K, Li, Fe y Na), bien por poseer contenidos cercanos a los límites de detección (Mn y Ba).

En base a los resultados obtenidos, se puede afirmar que algunos elementos traza (Sr y Mg) pueden ser utilizados como indicadores del estadio diagenético de formación de los yesos. Probablemente, esta conclusión puede hacerse extensiva a otros depósitos yesíferos, principalmente desde un punto de vista comparativo.

Palabras clave: *Geoquímica sedimentaria, evaporitas, texturas yesíferas, Neógeno, Cuenca de Madrid.*

ABSTRACT

Some different types of gypsum deposits may be recognized within the Evaporite Facies of the Madrid Basin (Brea de Tajo-Driebes-Almoguera region). Trace elements analysis of these gypsum deposits allow to conclude that fractionation processes took place during their diagenetic evolution. From the set of trace elements that were analyzed, strontium and magnesium are the best to discriminate among diagenetic stages of formation of the evaporite facies, taking in mind these elements show distribution coefficients lesser than the unit ($D < 1$). Thus, the different types of primary gypsum that we have observed possess Sr and Mg mean values of about 3270 p.p.m. and 1100 p.p.m., respectively, whereas secondary gypsum deposits display Sr mean values of 760 p.p.m. and Mg mean values of 410 p.p.m. The remainder elements do not show a so clear tendency, owing to either distribution coefficients near to the unit (K, Li, Fe, Na) or to extremely low contents (Mn, Ba).

From the results of the present study, geochemical behavior of some trace elements, mainly strontium and magnesium, must be considered a good criterion to indicate the diagenetic stage of formation of the gypsum deposits. Probably, it may be applied to other comparative studies in definite geological settings.

Key words: *Sedimentary geochemistry, evaporites, gypsum textures, Neogene, Madrid Basin.*

Introducción y objetivos

El proceso en el estudio de la geoquímica de elementos traza en sedimentos y rocas sedimentarias ha sido constante en las últimas décadas. Ello ha dado

lugar a numerosas publicaciones tanto desde el punto de vista de caracterización global como de implicaciones genéticas a partir de dicha caracterización, siendo quizás el ejemplo más relevante la evolución del estroncio en la sedimentación y posterior diagéne-

(*) Instituto de Geología Económica. C.S.I.C. 28040 Madrid.

(**) Departamento de Petrología y Geoquímica. Fac. de Ciencias Geológicas. Univ. Complutense. 28040 Madrid.

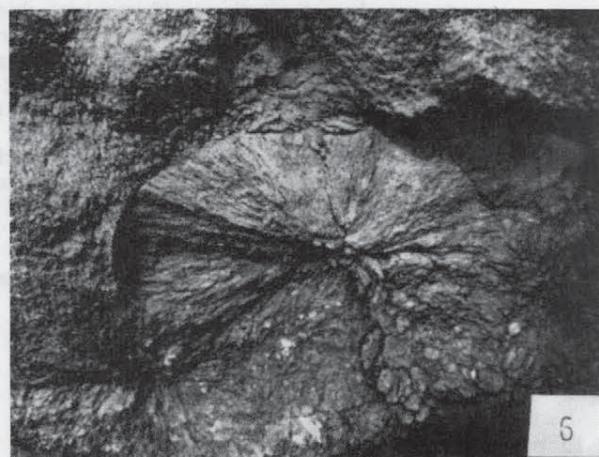
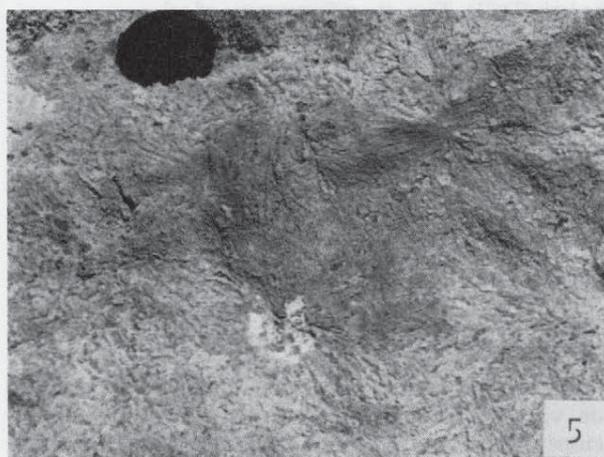
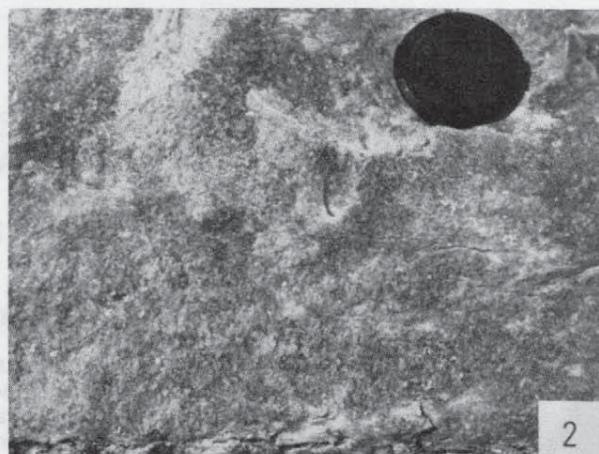


Lámina 1.—1. Aspecto de las secuencias de yesos lenticulares de la Unidad Intermedia de Brea del Tajo.—2. Detalle de una de las secuencias de yesos lenticulares de Brea de Tajo.—3. Selenitas en «árbol de navidad» de Driebes.—4. Visión perpendicular al eje de crecimiento de los Selenitas en «árbol de navidad».—5. Selenitas esféricas en las proximidades de Driebes.—6. Selenita esférica en las proximidades de Illana.

sis de los carbonatos. Sin embargo, las rocas evaporíticas, y en particular los yesos, presentan un notable vacío en esta línea de trabajo, pudiéndose citar las publicaciones de Moore (1960), Simón (1968), Ronov *et al.* (1970), Edinger (1973), Butler (1973), Dean (1978), Kushnir (1980), Watson (1985), etc., como las más representativas.

El objetivo de este trabajo es la caracterización por elementos traza de las diversas texturas yesíferas presentes en la zona Este de la Cuenca de Madrid y su posible utilización como indicadores genéticos de las facies evaporíticas.

Encuadre geológico

El área estudiada se encuentra enclavada en el borde oriental de la Cuenca de Madrid, extendiéndose desde Brea de Tajo hasta Almoguera. El Mioceno evaporítico de este área ha sido subdividido en dos unidades litoestratigráficas: Unidad Inferior y Unidad Intermedia (Junco y Calvo, 1984).

La Unidad Inferior en esta zona está constituida por una alternancia de samitas calcáreas y arcillas con nódulos de yeso alabastrino; así como dolomicritas con estructuras estromatolíticas (Fort *et al.*, 1982, a). Hacia el interior de la cuenca las facies detríticas desaparecen, aumentando el contenido de la fracción pelítica, así como la abundancia de niveles más compactos de yesos alabastrino interestratificados con margas. Carenas (1979) estudia las características de estas facies en las zonas más occidentales del sector por nosotros estudiado. Esta unidad hacia el centro de la Cuenca de Madrid constituiría las facies evaporíticas de la Unidad Basal definida por García del Cura *et al.* (1979).

La Unidad Intermedia está formada, en este sector, casi exclusivamente por facies evaporíticas. Hacia la base de esta unidad existen facies margosas con alguna intercalación de caliza mesocristalina. Las facies yesíferas están constituidas principalmente por cristales lenticulares, que dan a los afloramientos un tono crema. En estos materiales existen niveles de nódulos de sílex que aumentan en volumen hacia el techo de la unidad. Igualmente existen lentejones de caliza micrítica con pseudomorfo de yesos lenticulares.

Geoquímicamente las facies evaporíticas de estas dos unidades han sido diferenciadas por Fort *et al.* (1982, a), en cuanto a que la Unidad Intermedia presenta contenidos mayores en estroncio que la Unidad Inferior.

El límite entre la Unidad Inferior y la Intermedia viene dada por una interrupción sedimentaria que hacia zonas centrales está caracterizada por procesos de karstificación (Calvo *et al.*, 1984). Sobre la Unidad Intermedia se localizan las calizas de los Páramos, separada de la anterior por la unidad detrítica

basal (Capote y Carro, 1968), y que definirían la Unidad Superior (Junco y Calvo, 1984).

Dentro de estas dos unidades evaporíticas existen abundantes texturas yesíferas cuyo estudio geoquímico representa el objetivo principal de este trabajo.

Texturas estudiadas

1. Yesos masivos lenticulares

Se encuentran principalmente en la Unidad Intermedia, estando constituido por niveles compactos de cristales lenticulares de yeso (lám. I, 1), que presentan una cierta orientación de su eje c en posición vertical o subvertical, y con tamaños desde varios milímetros a 1 ó 2 centímetros. West (1964), Shearman (1966) y Cody (1979) sugieren un origen primario de estas texturas lenticulares.

Yesos en «árbol de Navidad»

Este tipo de textura yesífera es observada en las proximidades de Driebes, en estratos de 1,5 a 4 metros, habiendo sido estudiadas por Fort *et al.* (1982, b). Texturas similares son las definidas por Schreiber (1973) y Ortí y Shearman (1977), que las consideran de origen primario. Esta textura está constituida por gemelos de cristales de yeso que crecen en hileras verticales o subverticales, afectando a todo el estrato. Cada conjunto de cristales está formado por selenitas con planos de macla en 100, y con forma de abeto o de «V» invertida, no siguiendo la regla de Mottura (lám. I, 3). En corte perpendicular a este plano de sutura, muestra una disposición de flechas que son truncadas por el crecimiento de otras hileras de gemelos, dando un aspecto poligonal irregular por el límite de compromiso con otros gemelos (lám. I, 4).

3. Selenitas esferoidales

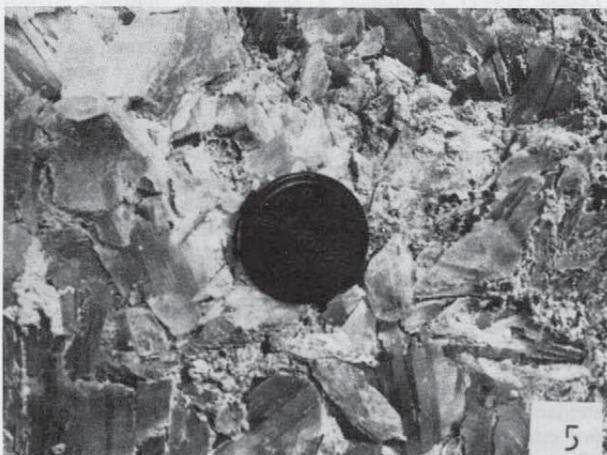
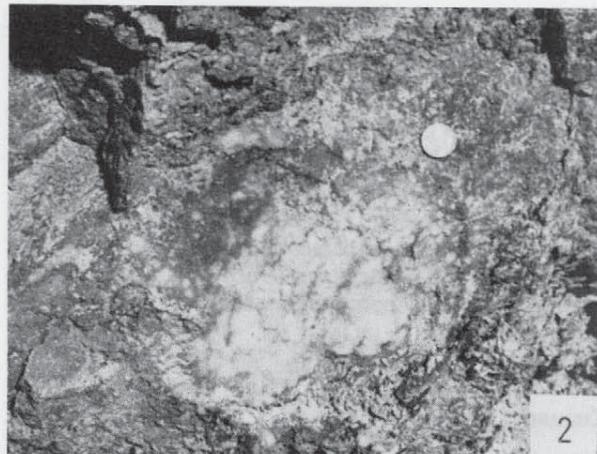
Esta textura yesífera constituye capas compactas de selenitas con disposición de rosetas con un crecimiento central y con límites de compromiso con las otras formas adyacentes. Comúnmente, los contactos entre las rosetas no están bien definidos. Estas formas esferoidales tienen un diámetro que no suelen superar los 10 centímetros (lám. I, 5 y 6). Vai y Ricci Lucchi (1977) denominan a esta textura «flatlying selenite crystals» y Schreiber *et al.* (1976) como «stellate gypsum crystals», siendo considerada por estos autores como de origen primario.

4. Nódulos de yeso alabastrino

Están constituidos por masas irregulares de nódulos de yeso blanco alabastrino que pueden estar formando capas compactas o bien estar englobados dentro de materiales arcillosos (lám. II, 1). El tamaño de cada nódulo varía desde escasos centímetros hasta unas dimensiones decimétricas. Estos nódulos se localizan en la Unidad Inferior y son interpretados como productos de diagénesis temprana (Vai y Ricci Lucchi, 1977).

5. Otras formas nodulares yesíferas

Como otros nódulos se incluyen formas yesíferas nodulares similares a los de yeso alabastrino, pero diferenciados de ellos por estar constituidos por cristales macrocristalinos y mesocristalinos con abundantes inclusiones de anhidrita. Estas texturas pueden tener un origen similar al dado para los nódulos alabastrinos, pero seguramente con un proceso evolutivo menor. Se encuentran como porfidoblastos dentro de niveles yesíferos (lám. II, 2).



6. Yesos bladed o aciculares

Son cristales milimétricos que pueden llegar a tener varios centímetros de largo, presentando formas aciculares. Estas texturas son postdeposicionales que crecen en materiales blandos y pueden ser considerados como sindiagenético o diagenético tempranos. En la lámina II, 3 se observa la presencia de estos cristales intercrecidos en facies de nódulos de yeso alabastrino. Estos cristales se localizan principalmente en la Unidad Inferior, en las facies detríticas correspondientes a las zonas más exteriores de la sebkha, donde los caracteres continentales son más extremos (Fort *et al.*, 1982, a).

7. Selenitas de relleno

Están constituidos por distintas morfologías de cristales de yeso que van desde formas aciculares, que crecen en geodas y en la superficie del terreno, así como yesos macrocristalinos transparentes típicos de rellenos de fisuras y fracturas (lám. II, 4 y 5), así como de selenitas con forma de puntas de flecha (lám. II, 6). Ortí y Pueyo (1976) sugieren un origen secundario a estas texturas yesíferas.

Las texturas de rellenos de espacios abiertos aparecen indistintamente en ambas unidades evaporíticas de la región, aunque es en la Unidad Intermedia donde se observa un mayor desarrollo de éstas, debido posiblemente a una mayor porosidad de los materiales que la constituyen, lo que facilita el crecimiento de estas formas cristalinas.

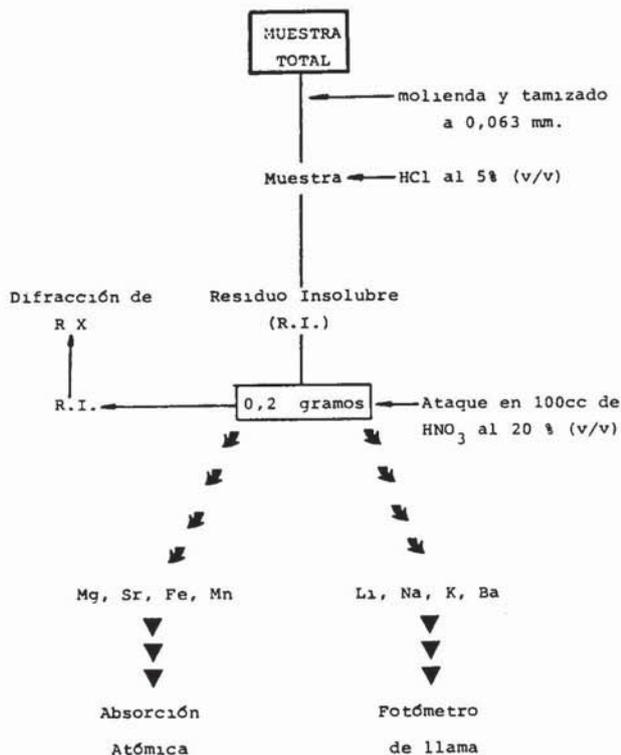


Fig. 1.—Esquema de la metodología analítica.

Metodología

Para el estudio geoquímico de las muestras obtenidas se ha realizado una metodología cuyo fin último ha sido conseguir una muestra representativa y homogénea en su composición. Para ello, y tras una molienda y un tamizado a 0,063 mm, cada muestra se atacó con HCl al 5% para disolver las posibles fases carbonatadas existentes. Posteriormente, se recuperaron 0,2 gramos del residuo insoluble de la etapa anterior y fueron tratados con HNO₃ al 20% en caliente, para la disolución total del sulfato cálcico. En algunas muestras y como testificación de control se analizó por difracción de rayos X el residuo insoluble de la segunda etapa, comprobándose que dicho residuo no contenía restos de fase carbonatada o sulfatada.

Por último se determinaron los contenidos en diversos elementos traza por Absorción Atómica (Mg, Sr, Fe y Mn) y Fotómetro de Llama (Li, Na, K y Ba).

En la figura 1 se esquematiza la metodología seguida para el estudio geoquímico de las distintas texturas yesíferas estudiadas.

Resultados geoquímicos

El estudio comparado de los contenidos en Li, Na, K, Mg, Sr, Ba, Fe y Mn, en las distintas texturas yesíferas descritas, muestran una cierta variación para cada una de ellas (tabla 1). En forma sintética se puede indicar:

Litio

El contenido medio en Li⁺ en texturas primarias es más elevado que en aquellas texturas de origen secundario, presentando unos valores medios de 165 ppm frente a 91 ppp, respectivamente. Para Stewart (1963) el litio está relacionado de forma directa con las impurezas arcillosas existentes en los materiales evaporíticos, aunque los valores aquí mostrados están obtenidos sobre el producto soluble, no habiendo por lo tanto interferencias con estas impurezas arcillosas.

Sodio

El contenido de este elemento en los yesos primarios y secundarios es muy heterogéneo, no pudiendo

Lámina II.—1. Nódulos de yeso alabastrino en niveles lutíticos de Almoguera.—2. Aspecto textural de Otros Nódulos de yeso en niveles yesíferos de Brea del Tajo.—3. Cristales Bladed intercrecidos con nódulos de yeso alabastrino (proximidades de Zorita de los Canes).—4. Selenitas de Relleno en niveles de yeso lenticular de la Unidad Intermedia.—5. Detalle de la textura yesífera anterior.—6. Textura de yeso en punta de flecha.

Tabla 1.—Resultados Geoquímicos

Origen	Texturas	Li	Na	K	Mg	Sr	Ba	Fe	Mn
Primarios	Lenticular	186	724	103	660	4.774	4	369	23
Primarios	«Arbol de Navidad»	185	462	77	993	3.573	2	387	7
Primarios	Esferoidal	124	583	104	1.680	1.460	3	601	22
Diag. Temprana	Nódulos Alabastrino	94	718	50	215	879	2	275	5
Diag. Temprana	Otros Nódulos	87	528	59	398	705	2	332	5
Diag. Temprana	Bladed y Aciculares	101	450	100	540	959	2	479	21
Secundarios	De relleno	76	543	106	474	390	2	393	5

Resultados en p.p.m.

establecerse dicho origen en función del contenido de este elemento. De esta forma el valor del Na oscila entre 1.129 ppm en las texturas de puntas de flecha a 462 ppm en las texturas primarias de «árboles de Navidad». Simón (1968) y Edinger (1973) indican que la presencia de sodio en el medio evaporítico influye en la naturaleza y desarrollo cristalográfico del yeso. Por su parte, Dean (1978) afirma que éste puede ser utilizado incluso como indicador de paleosalinidades.

Potasio

Este elemento presenta los valores más elevados para las texturas primarias (95 ppm), mientras que se observa una ligera disminución en los yesos diagenéticos, siendo sus valores de 55 ppm para los nódulos alabastrinos y de 85 ppm en las selenitas de relleno.

Magnesio

El magnesio diferencia claramente las distintas texturas, de tal forma que los yesos primarios tienen un contenido medio de 1.114 ppm, mientras que en los secundarios el contenido medio es de 337 ppm. Según Ronov *et al.* (1970), existe una acusada correlación positiva Li-Mg en ambientes salinos, y esta relación permite la diferenciación de las texturas diagenéticas.

Estroncio

Al igual que el elemento anterior, el contenido de Sr en las texturas yesíferas permite su diferenciación, así como definir su origen primario o diagenético. De esta forma, en los yesos primarios (lenticulares, «árboles de navidad», selenitas esferoidales, etc.) el valor medio de Sr es de 3.270 ppm, mientras que en los de origen diagenético es de 760 ppm.

Los contenidos más altos de estroncio se encuen-

tran en las texturas lenticulares, coincidiendo con lo reseñado por Butler (1973). Este autor indicó que los cristales lenticulares de yeso admiten mayores contenidos de Sr, y que es el hábito y no el ambiente de sedimentación lo que condiciona la presencia de este elemento en los yesos. Igualmente, Edinger (1973), la presencia de Sr en los cristales lenticulares es debido a su generación por crecimiento lento en la dirección c, lo que favorecen los procesos de sustitución del calcio por el estroncio.

El alto contenido en algunas muestras de yeso lenticulares pertenecientes a la Unidad Intermedia, de Sr, puede ser debida a la presencia de pequeñas cantidades de celestina no detectadas por difracción de rayos X.

Bario

El Ba no presenta diferencias entre las distintas texturas de yeso, debido principalmente a que se encuentran en contenidos muy bajos y, por lo general, sin alcanzar los límites de detectabilidad (<2 ppm).

Hierro

Este elemento se presenta con unos contenidos similares en todas las texturas yesíferas, con un valor promedio de 350 ppm. Únicamente se puede destacar los altos contenidos en los selenitas esferoidales (601 ppm), así como los bajos contenidos en las puntas de flecha (66 ppm). De forma genérica, el Fe no permite diferenciar las texturas yesíferas en cuanto a su origen primario o diagenético.

Forestier y Kremer (1952) demostraron que el crecimiento de los cristales de yeso es inhibido con la presencia en el medio de Fe. De tal forma que las texturas aciculares, del tipo de selenitas de relleno, bladed, etc., no suelen tener altos contenidos en este elemento, mientras que en las texturas lenticulares, selenitas esferoidales y selenitas en «árbol de navidad», este elemento presenta un mayor contenido en

hierro. Por el contrario, Simón (1968) indica que las impurezas de Fe, así como de Mg y Ba, entre otros, no producen influencias sensibles sobre los tipos texturales de yeso.

Manganeso

Las texturas primarias presentan un contenido en Mn ligeramente superiores (≈ 23 ppm) a los que presentan los yesos de origen secundario, los cuales no superan las 5 ppm de este elemento.

Los resultados geoquímicos indican que existen dos grupos de elementos traza claramente diferenciados. El primer grupo reúne aquellos elementos que presentan contenidos similares tanto en los de naturaleza primaria como secundaria, estando constituido por Na, Ba y Fe. El segundo grupo, por el contrario, incluye a los elementos que diferencian claramente ambos tipos de texturas. En este grupo se encuentran el Sr y el Mg, que presentan valores mucho más elevados para las texturas de yeso primario. El Li, K y Mn también pertenecen a este segundo grupo de elementos que permiten la diferenciación de las texturas yesíferas, pero no tan acentuadamente como para los citados anteriormente.

El análisis multivariante realizado, considerando como variables los resultados geoquímicos obtenidos para cada elemento y las características texturales de cada muestra de yeso, así como su origen primario o diagenético, nos ha permitido reafirmar estos resultados.

De esta forma el análisis cluster (fig. 2) nos mues-

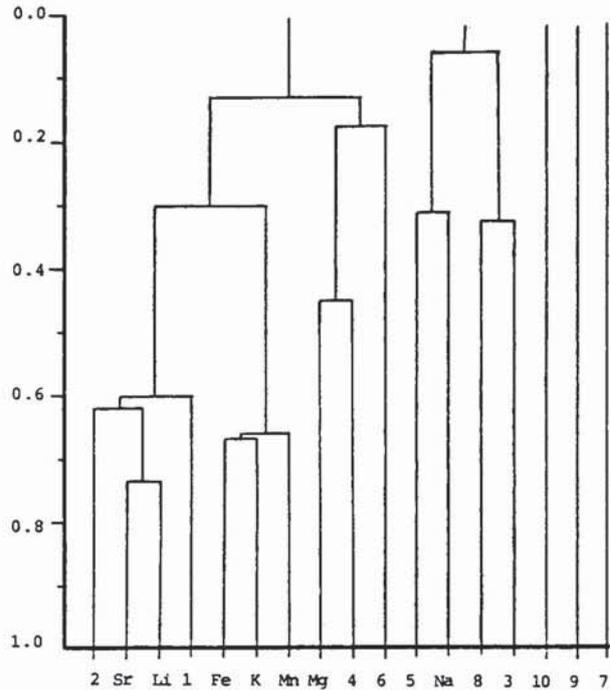


Fig. 2.—Dendrograma del Análisis Cluster.

1. Yesos Lenticulares.—2. Yesos Primarios.—3. Yesos Secundarios.—4. Selenitas Esferoidales.—5. Selenitas en Punta de Flecha.—6. Selenitas en «árbol de Navidad».—7. Selenitas de Relleno.—8. Nódulos de yeso Alabastrino.—9. Otros Nódulos.—10. Yesos Bladed y Aciculares.

tra la correlación existente entre el Sr y el Li con los yesos de origen primario, principalmente con los de

Tabla 2.—Análisis Factorial

	Factor I	Factor II	Factor III	Factor IV	Factor V	Factor VI	Factor VII
1	0,869	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,833	0,000	0,390	0,000	0,000	0,000	0,000
3	-0,833	0,000	-0,373	0,000	-0,253	0,000	0,000
Sr	0,832	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Li	0,691	0,492	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,339	0,839	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,000	0,826	0,000	-0,267	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,820	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,916	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,827	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,737	0,000	0,000	0,000
6	0,303	0,000	0,000	0,000	0,812	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,561	0,000	0,626	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,922	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,280	0,000	0,818
9	-0,253	0,000	0,000	-0,285	-0,311	-0,260	-0,741
10	-0,293	0,483	-0,339	0,000	0,314	-0,412	0,000
Valor propio	4,812	2,228	1,905	1,360	1,237	1,206	1,145
% varianza	28,31	13,11	11,21	8,00	7,28	7,09	6,74

1: Yesos Lenticulares. 2: Yesos Primarios. 3: Yesos Secundarios. 4: Selenitas Esferoidales. 5: Puntas de Flecha. 6: Selenitas en «árbol de Navidad». 7: Selenitas de Relleno. 8: Nódulos Alabastrino. 9: Otros Nódulos. 10: Yesos bladed y aciculares.

textura lenticular y en menor grado con los de selenitas esferoidales y en «árbol de navidad». El magnesio se encuentra más relacionado con estas últimas texturas que con las lenticulares, las cuales tienen una mayor influencia con los elementos de K-Fe y con el Mn.

Los yesos de origen diagenético están relacionados con los nódulos de alabastro en primer lugar y con las texturas de yesos que crecen en espacios abiertos. Las texturas de yeso diagenético presentan una cierta correlación con el Na, elemento no correlacionable con los yesos primarios.

El análisis factorial realizado sobre los resultados de estas muestras, utilizando el criterio kaiser, nos ha definido 7 factores que explican el 81,75% de la varianza. En la tabla 2 se muestra la matriz rotada reseñando el peso de cada variable en estos 7 factores.

El factor I viene explicado por los yesos de origen primario y de textura lenticular, el Sr y Li, y por el manganeso y las texturas en «árbol de navidad». De forma negativa viene determinado, como es lógico, por los yesos de origen diagenético o secundarios, por las formas nodulares y los yesos bladed.

El factor II viene representado en forma positiva por Mn, Fe, K, Li y con la textura de yesos bladed.

El peso del factor III viene dado por los yesos esferoidales, Mg, yesos primarios, y de forma negativa por los yesos bladed y de origen diagenético.

El factor IV está representado por los yesos de morfología en puntas de flecha y el Na. De forma negativa por el hierro y por otras formas de nódulos de yeso.

Para el factor V son el Mg y las texturas de «árbol de navidad» principalmente las que representan este factor en forma positiva. Negativamente viene dado por los nódulos de yeso alabastrino y otras formas nodulares, así como por los yesos de origen secundario o diagenéticos.

El factor VI viene representado exclusivamente por las texturas de yeso de relleno y con signo negativo por las formas nodulares y bladed.

Por último, el factor VII está representado por los nódulos alabastrinos en forma positiva y en negativo por otras formas nodulares.

Los dos últimos factores únicamente vienen determinados por caracteres texturales y no por caracteres composicionales, siendo estos más importantes para los primeros factores considerados.

La representación gráfica del factor I y el factor II diferencian claramente a las distintas texturas diagenéticas (fig. 3). Aquellas que tienen un origen primario presentan siempre un valor del factor I positivo, siendo los yesos lenticulares, pertenecientes a las facies cremas de la Unidad Intermedia, los que tienen un valor absoluto más elevado (superior a + 1). Por el

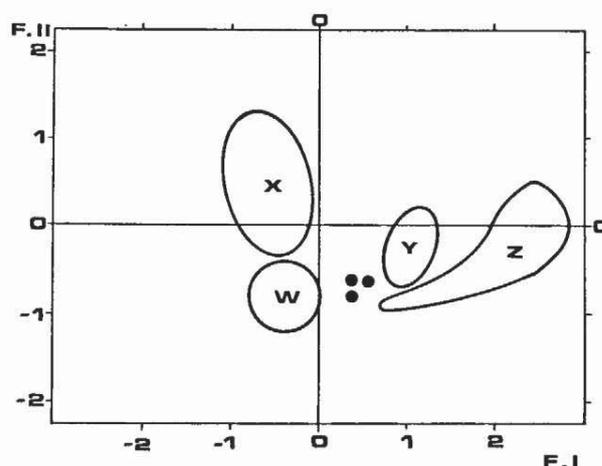


Fig. 3.—Representación de clases en función de los ejes factoriales I y II.

Z. Yesos Lenticulares.—Y. Selenitas en «árbol de navidad».—Puntos-Selenitas Esferoidales: X. Selenitas de Relleno y Yesos Bladed.—W. Nódulos de yeso alabastrino y Otros Nódulos.

contrario, las texturas diagenéticas o postsedimentarias, el valor del factor I es siempre negativo, siendo diferenciadas las distintas texturas secundarias en función del valor del factor II, puesto que las formas nodulares se localizan para un factor II inferior a 0, mientras que las texturas características de rellenos de espacios abiertos, junto con los yesos bladed, tiene por lo general valores superiores a 0.

Conclusiones

1. Los datos geoquímicos muestran la existencia de dos grupos de elementos traza. El primero incluye aquellos elementos cuyos contenidos en las texturas primarias y secundarias son muy similares (Na, Ba, Fe). El segundo grupo está constituido por los elementos que poseen importantes variaciones en función del tipo textural (Mg y Sr principalmente y, en menor medida, Li, K y Mn).
2. Los diferentes contenidos en las texturas primarias y secundarias del yeso ponen de manifiesto la existencia de procesos de fraccionamiento en los elementos traza durante la evolución diagenética del yeso. En este sentido, el hecho de que las texturas secundarias presenten contenidos menores indica la existencia de coeficientes de distribución inferiores a la unidad ($D < 1$).
3. En base a esto se puede afirmar que existen algunos elementos traza (Sr y Mg) que pueden ser utilizados como indicadores del estadio diagenético de formación.

Referencias

- Butler, G. P. (1973): Strontium geochemistry of modern and ancient calcium sulphate minerals. In: *The Persian Gulf Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow Epicontinental Sea* (Purser, B. H., edit.). Springer-Verlag, 423-452.
- Calvo, J. P.; Ordóñez, S.; Hoyos, M., y García del Cura, M. A. (1984): Caracterización sedimentológica de la unidad intermedia del Mioceno de la zona sur de Madrid. *Rev. Mat. Proc. Geol.*, 2, 145-176.
- Capote, R. y Carro, S. (1968): Existencia de una red fluvial intramiocena en la depresión del Tajo. *Estudios Geol.*, 26, 1-16.
- Carenas Fernández, B. (1977): *Petrografía y geoquímica de yesos actuales continentales: Su comparación con depósitos antiguos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid.
- Cody, R. D. (1979): Lenticular gypsum: Occurrences in Nature, and experimental determination of effects of soluble green plant material on its formation. *Jour. Sed. Petrol.*, 49, 1015-1028.
- Dean, W. E. (1978): Trace and minor elements in evaporites. In: *Marine Evaporites* (W. E. Dean y B. C. Schreiber, edit.). S.E.P.M. Short Course n.º 4. Oklahoma City.
- Edinger, S. F. (1973): An investigation of the factors which affect the size and growth rates of the habit faces gypsum. In: *The Gypsum*. Journal of Crystal Growth, 18, 217-224.
- Forestier, H. y Kremer, G. (1952): Influence de cations étrangers en solution sur le faciès cristallin du gypse précipité. *C. R. Acad. Sci. Fr.*, 234, 941-943.
- Fort, R.; Calvo, J. P., y Ordóñez, S. (1982 a): Contribución al conocimiento de la geología del borde oriental de la Cuenca de Madrid (sector Pastrana-Illana). *Tecniterrae*, 49, 23-40.
- Fort, R.; Calvo, J. P.; García del Cura, M. A., y Ordóñez, S. (1982 b): Selenite fabrics in lower Miocene gypsum of the Madrid Basin (Spain). *3th European Regional Meeting*. I.A.S. Copenhagen, 11-13.
- García del Cura, M. A.; Ordóñez, S., y López-Aguayo, F. (1979): Estudio petrológico de la «Unidad Salina» de la Cuenca del Tajo. *Estudios Geol.*, 35, 325-339.
- Kushnir, J. (1980): The coprecipitation of strontium, magnesium, sodium, potassium and chloride ions with gypsum. An experimental study. *Geochim. cosmochim. Acta*, 44, 1471-1482.
- Junco, F. y Calvo, J. P. (1984): Cuenca de Madrid. En: *Libro Homenaje a J. M. Ríos*, t. II, I.G.M.E. (en prensa).
- Moore, G. W. (1960): Origin and chemical composition of evaporite deposits. *U.S. Geological Survey Open-file Repr.*, 147 pp.
- Orti Cabo, F. y Pueyo Mur, J. J. (1976): Yeso primario y secundario del depósito de Viloví (prov. Barcelona. España). *Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. de Barcelona*, 31, 5-34.
- Orti Cabo, F. y Shearman, D. J. (1977): Estructuras y fábricas deposicionales en las evaporitas del Mioceno Superior (Messiniense) de San Miguel de Salinas (Alicante, España). *Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. de Barcelona*, 32, 5-54.
- Ronov, A. B.; Migdisov, A. A.; Voskresenskaya, N. T., y Korzina, G. A. (1970): Geochemistry of lithium in the sedimentary cycle. *Geochim. Int.*, 7, 75-102.
- Schreiber, B. C. (1973): Survey of the physical features of Messinian chemical sediments. In: *Messinian Events in the Mediterranean* (C. W. Drooger). North-Holland, Amsterdam, The Netherlands, 101-110.
- Schreiber, B. C.; Friedman, G. M.; Decima, A., y Schreiber, E. (1976): Depositional environments of the Upper Miocene (Messinian) evaporite deposits of the Sicilian Basin. *Sedimentology*, 23, 729-760.
- Shearman, D. J. (1966): Origin of marine evaporites by diagenesis. *Trans. Inst. Min. Metall.*, 75, 208-215.
- Simón, B. (1968): Thèse. Aix-Marseille.
- Stewart, F. H. (1963): Marines Evaporites. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 440-Y, 52 pp.
- Vai, G. B. y Ricci Lucchi, F. (1977): Algal crusts, autochthonous and clastic gypsum in a cannibalistic evaporite basin: a case history from the Messinian of Northern Apennines. *Sedimentology*, 24, 211-244.
- Watson, A. (1985): Structure, chemistry and origins of gypsum crusts in southern Tunisia and the central Namib Desert. *Sedimentology*, 32, 855-875.
- West, I. M. (1964): Evaporite diagenesis in the Lower Purbeck beds of Dorset. In: *Marine evaporite: Origin, diagenesis and geochemistry* (Kirkland y Evans, edit.), 263-275.

Recibido el 14 de julio de 1986
Aceptado el 1 de diciembre de 1986

Este trabajo de investigación se incluye dentro del subproyecto «Evolución geológica de la Cuenca Media del Tajo: aspectos sedimentológicos, geoquímicos y recursos», financiado por la C.A.I.C.Y.T.-C.S.I.C.