

## IMPLICACIONES PALEOAMBIENTALES DEDUCIDAS DEL ESTUDIO GEOQUIMICO DEL TRANSITO MIOCENO-PLIOCENO EN LA CUENCA DE SORBAS (ALMERIA)

A. Sánchez Bellón \*, P. Moral Cardona \*, Ch. Mosser \*\*, C. Roquin \*\* y E. Sebastián Pardo \*\*\*

### RESUMEN

Se ha realizado un estudio geoquímico de la fracción arcillosa de los sedimentos miocenos y de la muestra total de rocas metamórficas de los relieves adyacentes con el fin de determinar las características geoquímicas del medio de sedimentación y la influencia de las rocas circundantes sobre los sedimentos. Tras relacionar elementos químicos con rocas y minerales mediante un (ACP), se ha realizado una clasificación jerárquica ascendente (CJA), que ha reagrupado las muestras con características geoquímicas similares en 8 clases. La comparación gráfica de su composición geoquímica media pone de manifiesto una clara relación genética entre los sedimentos y las rocas metapelíticas de la Cordillera Bética oriental, siendo la influencia de gneises, rocas carbonatadas metamórficas y metabasitas muy localizada o inexistente. Finalmente, los contenidos de B y Mg nos han permitido distinguir varios tipos de medios de depósito que presentan diferentes grados de confinamiento y que, en relación con los cambios del nivel del mar producidos durante la crisis messiniense, se han visto influenciados sucesivamente por aguas marinas y continentales.

**Palabras clave:** *Geoquímica, análisis multivariante, minerales de la arcilla, roca madre, condiciones paleoambientales, Mioceno-Plioceno, cuenca de Sorbas, Cordilleras Béticas.*

### ABSTRACT

The geochemistry of the  $<2 \mu\text{m}$  fractions of the Mio-Pliocene sediments and the bulk sample of the surrounding metamorphic rocks was studied in order to characterize the geochemical environment during the sedimentation and to trace the influence of the surrounding rocks on the sediments. After making the relationships among the chemical elements and the minerals or the rocks by Principal Component Analysis (PCA), it has been carried out a Hierarchical Ascending Classification (HAC) which regroups the samples with similar geochemical characteristics into 8 classes. Graphical comparison of mean geochemical composition among HAC groups provides a better identification of inherited similarities between some sediments and the metapelitic rocks in the eastern Betic Cordilleras. Gneises, carbonated and metabasic rocks influence is inexistent or very located. Finally B and MgO contents have allowed us to distinguish different types of deposit environments with a higher or lower degree of confinement and with influence of sea-or continental waters.

**Key words:** *Geochemistry, multivariant analysis, clay mineralogy, parent rocks, paleoenvironmental conditions, Miocene-Pliocene, Sorbas Basin, Betic Cordilleras.*

---

\* Departamento de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad de Cádiz. Apto N.º 40 (Fac. de Ciencias) 11510 Puerto Real (Cádiz).

\*\* Centre de Géochimie de la Surface CNRS, 1 rue Blessig, F-67084 Strasbourg Cedex, France.

\*\*\* Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva, s/n (Fac. de Ciencias) 18002 Granada.

## Introducción

La cuenca de Sorbas, situada en el SE de España a unos 40 Km de Almería, es una de las cuencas neógenas intramontañosas del sector oriental de las Cordilleras Béticas. Se comunica al NE con la cuenca de Vera a través del corredor de Almocazar y al E se continúa con la depresión de Tabernas (Fig. 1).

Estas cuencas se sitúan entre los bloques del basamento levantados como consecuencia del régimen compresivo desarrollado sobre todo al final del Serravallense en el contexto de la colisión europea-africana. En algunas de ellas la crisis de la salinidad messiniense tuvo como consecuencia la sedimentación de importantes depósitos de yeso, mientras que en otras sus efectos aún están por precisar.

El trabajo que aquí se aborda se enmarca dentro de un estudio más amplio sobre el tránsito Mioceño-Plioceno en las cuencas orientales de las Cordilleras Béticas, en el que, desde un punto de vista mineralógico y geoquímico, se intenta contribuir a establecer los efectos de la crisis messiniense.

En este caso, el análisis geoquímico multivariante, es utilizado para conocer la influencia de las rocas madre sobre los sedimentos, localizar las áreas fuente de los materiales y caracterizar las condiciones medioambientales de los distintos medios de depósito durante el citado período. En un futuro, la comparación de estos resultados con los obtenidos en otras cuencas en los que los efectos de la crisis messiniense son menos evidentes, podrá ser muy útil para la mejor comprensión global de este tránsito Mio-Plioceno.

## Contexto geológico

La cuenca de Sorbas se sitúa en la conjunción de dos dominios tectónicos diferentes delimitados por varios sistemas de fallas de desgarre. Por un lado, es la terminación del Corredor de las Alpujarras, a este sistema pertenecen las fallas de dirección aproximada E-W (fallas de Gafarillos, Lucainena y El Marchante) que constituyen un pasillo transcurriente de componente dextroso. Por otro lado

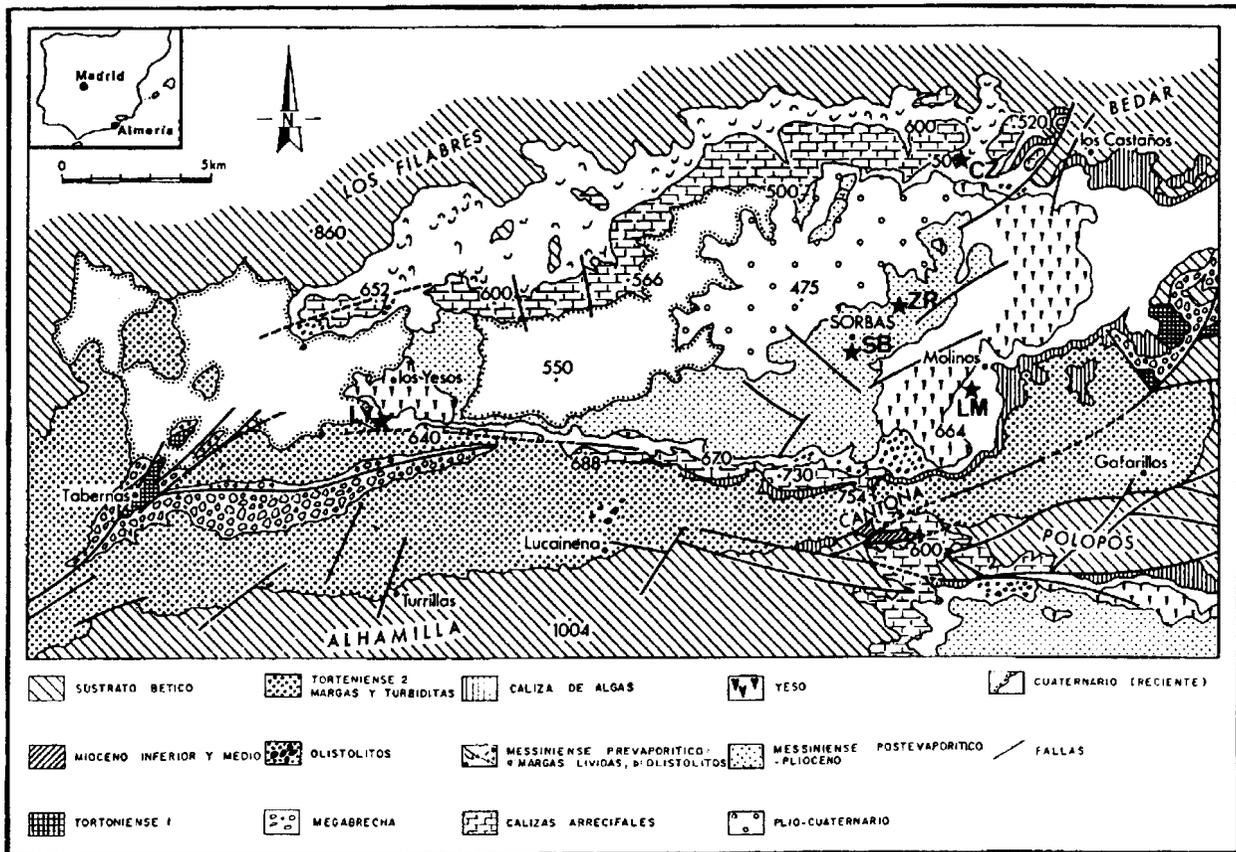


Fig. 1.—Mapa geológico de la cuenca de Sorbas y localización de los afloramientos muestreados. LY: Los Yesos, LM: Los Molinos del Río Aguas, CZ: Cariatiz, SB: Sorbas y ZR: Zorreras (Modificada de Ott d'Estevou & Montenat 1990).

forma parte de la zona transcurrente Trans-Alborán a la cual pertenecen las zonas de componente sinextroso de dirección aproximada NE-SO (Tabernas, Sorbas y falla norte de Cabrera). El sustrato sobre el que se sitúa está constituido por el apilamiento de mantos que según el grado metamórfico que presentan se dividen de muro a techo en tres conjuntos tectónicos (Aldaya et al., 1979; Díaz de Federico et al., 1990): Complejos Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide. Estos materiales metamórficos pertenecen a las Zonas Internas de las Cordilleras béticas, y constituyen los relieves que delimitan la cuenca (Fig. 1). Al Norte, en las sierras de los Filabres y Bédar se sitúan materiales pertenecientes al complejo Nevado-Filábride; al Sur y SE, en las sierras de Alhamilla y Cabrera aparecen, además de las rocas nevado-filábrides, materiales del compejo Alpujárride.

Los sedimentos que rellenan la cuenca, cuyas edades abarcan desde el Burdigaliense hasta la actualidad, son predominantemente de carácter marino, si bien se intercalan algunos materiales producto de una sedimentación continental. Völk y Rondeel (1964) realizan un trabajo clave en el que establecen las diferencias entre un Neógeno antiguo y un Neógeno reciente para la cuenca de Vera, en función, sobre todo, de la ausencia o presencia de clastos mesometamórficos del complejo Nevado-Filábride respectivamente. Estas diferencias han sido posteriormente aceptadas por los autores que han estudiado las cuencas adyacentes. Tal es el caso de Ott d'Estevou, quien en 1980 y 1990 realiza trabajos básicos sobre la cuenca de Sorbas en los que estudia, sobre todo, los aspectos estratigráficos y sedimentológicos. El Neógeno antiguo está formado por el Mioceno inferior y medio y se encuentra generalmente mal representado, en afloramientos dispersos y muy tectonizados, en relación, la mayor parte de las veces, con el zócalo metamórfico. El Neógeno reciente lo componen el Mioceno superior y el Plioceno y constituye, junto al Cuaternario, la práctica totalidad de los materiales sedimentarios.

Por lo que respecta a los sedimentos del Mioceno superior-Plioceno, pueden considerarse constituidos por la superposición de tres conjuntos. El primero, el Messiniense preevaporítico, es transgresivo y comienza con unas calizas de algas que se colocan sobre el Tortoniense, el Mioceno inferior o incluso sobre el sustrato bético. A continuación una serie potente de margas pelágicas que contienen algunos bancos calcáreos y en su parte superior intercalaciones de laminillas diatomíticas. Lateralmente, en zonas de borde, estas margas pasan a edificios arrecifales. El segundo conjunto es el Messiniense evaporítico, formado por depósitos de yeso en su

mayor parte en facies selenita, si bien también hay niveles de yeso sacaroideo. Finalmente, el tercer conjunto está constituido por materiales del Messiniense postevaporítico y el Plioceno pertenecientes a los miembros Sorbas y Zorreras. Se trata de una alternancia de calizas arenosas y margas arcillosas de tonos claros, seguida de una serie limosa rojiza con intercalaciones de calizas blancas y coronada por una molasa amarilla.

Se han muestreado cinco secuencias (Fig. 1). Tres de ellas son preevaporíticas: dos en posiciones, centrales, series de Los Yesos (LY) y Los Molinos del Río Aguas (LM), y una en zona de borde de cuenca, serie de Cariatiz (CZ). Las otras dos son postevaporíticas: la serie de Sorbas (SB), que se sitúa justo por encima de los yesos de Los Molinos del Río Aguas y la serie de Zorreras (ZR), que se superpone a la de Sorbas y que contiene el tránsito Mioceno-Plioceno (Fig. 1).

## Metodología

Se ha estudiado, mediante difracción de rayos X, la mineralogía tanto global como de la fracción arcilla de las cinco series muestreadas. En primer lugar se ha analizado la muestra total en polvo desorientado y a continuación se procedió a la extracción de la fracción  $< 2\mu\text{m}$  por decantación y centrifugación tras descarbonatación de las muestras con ácido acético. Los minerales de la arcilla han sido identificados mediante XRD en preparaciones de agregado orientado (normales, saturados con etilenglicol, con dimetilsulfóxido y calentados a  $550^\circ\text{C}$  durante hora y media). La abundancia relativa de los diferentes minerales, tanto de la muestra total como de la fracción arcilla, han sido estimadas mediante la medición de las áreas de las reflexiones y usando los poderes reflectantes de Schultz (1964) y Barahona (1974) para las reflexiones adecuadas de cada mineral a fin de corregir su distinto nivel de absorción.

Los análisis químicos se han llevado a cabo tanto sobre la fracción  $< 2\mu\text{m}$  de los sedimentos como en algunas muestras de supuestas rocas madre del entorno de la cuenca. Los elementos mayores y menores se han analizado mediante espectrometría de emisión de arco (para Si, Al, Mg, Fe, Ca, Mn y Ti) y mediante espectrometría de emisión de llama (para Na y K). Los elementos traza (Sr, Ba, V, Ni, Cr, Z, Cu, Sc, Y, y Zr) y el fósforo han sido analizados mediante espectrometría de emisión de plasma por acoplamiento inductivo (ICP), todo ello de acuerdo con el método descrito por Samuel et al. (1985). Finalmente el boro se ha analizado por espectrometría de masas (ICP-MS). Los resultados de los elementos mayores y menores vienen expresados en tanto por ciento de óxidos con un error analítico del 2%. Los resultados de los elementos traza están dados en ppm con un error analítico del 10%.

Los datos de los análisis de la fracción  $< 2\mu\text{m}$  y de rocas madre han sido tratados estadísticamente. Se han calculado los valores medios, desviaciones estándares y coeficientes de correlación. Posteriormente se ha realizado un análisis de componentes principales (ACP) y su consiguiente análisis factorial, así como una clasificación jerárquica ascendente (CJA). Los programas de ordenador empleados para el ACP y la CJA son los editados respectivamente por SAS y ADADD (SAS, 1988; Benzecri, 1973; Lebart et al., 1982 y Benzecri y Benzecri, 1984). Las variables han sido centradas y estandarizadas. La CJA agrupa muestras según la distancia euclídea entre las diferentes variables que, en este caso, son los elementos analizados seleccionados al efecto.

## Resultados

### Mineralogía

Las rocas de los relieves circundantes que, a priori, han podido ser rocas madre de los sedimentos hallados en la cuenca son, en todos los casos, de naturaleza metamórfica y pertenecen tanto al complejo Alpujárride (situado en el borde sur de la cuenca) como al Nevado-Filábride (que configura el margen norte de la misma). En concreto, se han muestreado dentro del complejo Alpujárride micaesquistos con cuarzo (EL y ET); cuarzoesquistos con carbonatos (EC); filitas cuarzosas con micas (FCR, FLR y FCN); filitas micáceas (FLN y FT); y por último, rocas carbonatadas fuertemente recristalizadas durante el metamorfismo (CT). En el complejo Nevado-Filábride se han recogido gneises con turmalina (GLC, MBT1, GJI y MPCV1); mármoles calcíticos (MJ1) y calcítico-dolomíticos (MLG); micaesquistos grafitosos con granate (MBS3, MBT2, T46 y T21); esquistos albiticos con clorita (MBS1 y MBS2); y rocas básicas de tipo anfibolitas con albita, mica y epidota (JI28 y JI88).

La asociación mineralógica que constituye la fracción total de los sedimentos de las secuencias estudiadas puede decirse que, en general, y salvo pequeñas excepciones, está formada por filosilicatos, carbonatos (calcita y dolomita), cuarzo y feldespatos (Tabla 1). Otras fases se han encontrado de forma continuada como minoritarios y/o accesorios; éste es el caso de yeso, ópalo CT, ópalo A y halita. Por último, goethita, rutilo, piritita y anfíboles aparecen puntualmente en algunas secuencias.

Por lo que respecta a la fracción <2µm, la mineralogía de arcillas que constituye los sedimentos estudiados se compone de esmectitas, illita, interestratificados illita-esmectita, caolinita, clorita, paragonita y paligorskita (Tabla 1).

Las series preevaporíticas (LY, LM, y CZ) contienen mayor cantidad de esmectitas (>50%) que las postevaporíticas, las cuales muestran los mayores porcentajes de illita (>40%). Caolinita y clorita están presentes en todas las series, si bien en muy pequeñas cantidades, siempre inferiores al 10% de media y en la mayoría de los casos menor del 5%; es en las series postevaporíticas de Sorbas y Zorreras donde se alcanzan los máximos de estos minerales, cercanos al 20%. En todas las series se ha detectado paragonita, si bien en esta fracción menor de 2µm, únicamente está presente en forma de trazas. El contenido de paligorskita varía entre la presencia a nivel de trazas de las series de Los Yesos y Sorbas y porcentajes del 5 al 10% en el resto de las series. Es de destacar el aumento de este mineral al techo de la serie de Zorreras, donde llega a formar hasta el 60% de la fracción <2µm.

Tabla 1.—Composición mineralógica global y mineralogía de arcillas de las series muestreadas: LY: Los Yesos, LM: Los Molinos del Río Aguas, CZ: Cariatiz, SB: Sorbas y ZR: Zorreras (valores medios en cada serie expresados en %)

Mineral	LY	LM	CZ	SB	ZR
Filosilicatos .....	30	30	35	30	30
Calcita.....	20	20	30	35	30
Dolomita.....	Tr	10	15	<10	Tr
Cuarzo .....	25	20	15	18	27
Feldespatos .....	<10	<10	Tr	<10	<10
Yeso.....	10	10	Tr	Tr	Tr
Ópalo .....	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Esmectitas.....	55	55	55	45	45
Illita .....	35	35	40	50	40
Caolín + Clorit....	<10	Tr	Tr	10	10
Paragonita.....	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Paligorskita.....	Tr	<10	<10	Tr	10

### Geoquímica

Los resultados correspondientes a los análisis de la fracción <2µm de los sedimentos de la cuenca de Sorbas y de rocas de los relieves circundantes consideradas a priori como rocas madre, se muestran en las tablas 2 y 3.

Si examinamos la geoquímica de las rocas madre podemos hacer una clasificación previa en función de contenido en sílice. En primer lugar tenemos un grupo con menos del 5% de SiO<sub>2</sub> que está constituido por rocas carbonatadas. El segundo grupo está formado por rocas básicas (sobre todo anfibolitas) con un porcentaje de SiO<sub>2</sub> que oscila entre el 45 y 50%. Con valores de sílice que varían desde el 50 al 65% se encuentra un conjunto de rocas metapelíticas (esquistos y filitas). Por último, las rocas más ácidas son gneises con turmalina con un porcentaje de SiO<sub>2</sub> en torno al 65-75%. Los gneises también presentan valores altos de Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O y B. Por su parte, los esquistos y filitas son ricos en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Ba, V, Co, Cr, Cu, Y y Zr. Las rocas básicas presentan los valores máximos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O, V, Cr, Cu, Sc y Mn. Finalmente, Ca y Mg están en mayor cantidad dentro de las rocas carbonatadas.

La variación geoquímica de los sedimentos se evidencia a través del estudio estadístico. Previamente, se pueden hacer algunas consideraciones. Los niveles diatomíticos presentes en LY, LM y CZ se caracterizan por su alto contenido en SiO<sub>2</sub> (60-80%) con respecto al resto de los materiales (45-55%). Otras diferencias son de tipo estratigráfico; algunos elementos presentan valores más elevados en algunas de las secuencias. Por ejemplo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Zr, V y Cu muestran mayores porcentajes en la serie de Los Yesos, del mismo modo que Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni, Y, Zr y Mn se concentran en mayor medida en la serie de Zorreras.

Tabla 2.—Análisis químicos de elementos mayores de las muestras estudiadas. Sed: muestras de sedimentos, RM: muestras de rocas madre (valores expresados en %)

SED	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P1000	P110	SUM
ZR2 .....	51,80	18,40	10,86	4,67	1,45	0,54	0,69	3,32	0,41	7,84	7,74	101,03
ZR4 .....	51,31	11,73	13,97	6,18	2,56	1,01	0,49	1,65	0,38	9,25	9,62	98,61
ZR5 .....	48,74	17,68	9,09	3,51	4,26	0,60	0,62	3,09	0,46	10,50	7,23	98,69
ZR6 .....	50,08	22,99	9,19	2,35	1,15	0,55	0,98	3,67	0,43	6,81	5,15	98,41
ZR7 .....	49,80	21,33	10,90	3,02	1,25	0,67	0,63	3,44	0,46	7,30	6,39	99,06
ZR10 .....	51,20	18,73	10,29	3,21	2,75	0,74	0,63	3,07	0,77	6,85	9,24	98,35
ZR11 .....	51,76	20,57	9,95	3,02	1,00	0,60	0,62	3,35	0,31	7,08	7,06	98,48
ZR13 .....	48,95	15,80	10,32	4,25	3,30	0,48	0,79	1,97	0,56	12,12	6,73	98,73
CZ2 .....	52,91	17,37	7,36	2,98	3,58	0,75	0,33	3,22	0,48	9,16	6,14	98,20
CZ5 .....	59,29	10,74	6,07	3,42	3,24	0,49	0,35	2,02	0,44	12,22	6,74	98,36
CZ8 .....	67,51	7,16	9,50	2,03	1,29	0,33	0,29	1,67	0,29	8,25	7,31	98,38
CZ10 .....	77,59	4,69	3,39	1,33	2,07	0,26	0,18	0,94	0,22	7,74	4,78	98,48
CZ11 .....	49,12	15,66	8,18	4,58	4,88	0,75	0,39	3,06	0,51	11,21	5,93	98,46
CZ15 .....	49,43	22,39	10,02	5,64	0,83	0,34	0,72	2,81	0,31	7,73	4,95	100,55
LY5 .....	49,61	20,18	8,46	3,49	1,98	0,59	0,88	3,61	0,84	8,87	6,05	98,62
LY15 .....	48,94	22,10	9,56	2,49	1,00	0,62	0,77	3,80	0,55	8,43	5,81	98,36
LY20 .....	52,16	22,15	6,09	2,92	1,52	0,65	1,65	3,51	1,28	7,09	5,06	99,09
LY24 .....	49,81	22,95	5,93	2,71	2,19	0,41	1,66	3,32	2,17	7,91	7,57	99,14
LY101 .....	50,62	20,01	9,84	3,33	1,96	0,78	0,47	3,52	0,47	9,18	6,94	100,38
LY103 .....	50,09	20,01	10,70	2,88	1,42	0,68	0,83	3,79	0,57	8,01	5,78	99,10
LY105 .....	51,65	19,85	8,56	2,96	1,38	0,71	0,74	4,04	0,38	7,79	5,46	98,18
LY108 .....	51,98	18,57	8,82	3,11	3,83	0,71	0,51	3,65	0,72	9,17	6,66	101,23
LM3 .....	55,73	14,88	13,05	3,31	0,48	0,84	2,65	3,13	0,62	5,87	8,11	100,60
LM7 .....	49,93	16,42	9,97	3,61	2,55	0,67	2,98	3,39	2,73	7,23	5,13	99,60
LM11 .....	49,06	18,66	11,84	3,12	2,73	0,74	0,96	3,37	1,81	8,83	6,52	101,22
LM14 .....	62,54	13,59	6,49	2,06	1,68	0,55	0,91	2,62	1,57	6,53	6,96	98,62
LM15 .....	85,07	3,95	2,20	0,71	0,42	0,23	0,69	0,74	0,34	4,60	6,45	98,97
LMT1 .....	52,96	17,38	8,35	3,70	1,35	0,74	1,68	3,41	1,16	7,45	6,02	98,29
MP1 .....	50,81	22,37	9,80	3,20	0,80	0,57	1,31	4,10	0,46	7,28	5,25	100,83
MP7 .....	50,80	19,22	9,89	3,82	1,23	0,78	0,69	3,47	0,47	8,15	6,39	98,64
MP8 .....	49,10	20,38	11,56	3,84	0,84	0,76	0,73	3,86	0,36	8,11	5,70	99,64
MP10 .....	48,87	15,73	10,29	4,42	3,13	0,64	0,58	3,28	0,39	10,26	4,36	98,57
RM	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P1000	P110	SUM
MPCV1 ...	73,65	13,01	1,72	0,18	0,67	0,14	2,670	5,290	0,27	1,37	0,07	99,00
MPCV3 ...	69,42	16,48	5,25	1,08	0,48	0,96	0,670	3,130	0,18	2,11	0,09	99,88
ET .....	73,41	12,00	6,20	0,92	0,27	0,68	0,280	1,860	0,21	3,25	0,82	99,19
FT .....	60,43	20,99	7,04	1,29	0,10	1,07	0,860	3,550	0,25	4,59	0,78	100,30
CT .....	1,26	0,30	0,82	19,37	32,78	0,01	0,025	0,025	0,11	45,71	0,16	100,60
EL .....	55,39	22,85	9,91	1,59	0,28	0,98	1,060	3,530	0,27	5,15	0,76	101,15
FLN .....	67,56	16,28	5,00	0,59	0,83	0,80	1,250	2,930	0,21	3,68	0,54	99,23
FLR .....	55,32	21,84	7,47	2,56	0,72	0,89	0,310	6,490	0,26	4,73	0,63	100,72
EC .....	52,54	25,87	8,70	1,08	0,41	1,17	1,120	4,350	0,26	5,48	0,69	101,18
FCN .....	59,47	14,86	12,07	0,89	1,16	0,77	0,360	1,900	0,18	7,85	1,87	99,63
FCR .....	50,86	18,61	7,88	2,79	4,84	0,81	1,500	3,240	0,18	9,50	1,44	100,40
MBS 1 .....	58,38	20,95	7,66	1,18	0,42	1,05	2,440	3,280	0,19	3,10	0,12	98,80
MBS 2 .....	54,33	23,73	8,71	1,85	0,98	0,77	2,550	4,170	0,26	3,39	0,13	100,89
MBS 3 .....	65,31	16,55	6,04	1,48	1,80	0,79	1,390	3,170	0,19	2,74	0,11	99,64
GJL .....	72,62	14,74	1,75	0,15	0,10	0,12	3,070	4,940	0,23	1,08	0,12	98,88
MJI .....	4,88	0,84	0,31	0,98	50,59	0,04	0,080	0,290	0,13	41,35	0,08	99,55
EGI .....	59,64	24,09	5,22	1,28	0,49	1,02	2,390	2,940	0,22	3,85	0,17	101,26
GLC .....	68,68	15,92	2,87	0,69	0,23	0,40	1,960	5,100	0,05	2,24	0,32	98,23
MLG .....	0,75	0,28	0,43	21,85	30,27	0,02	0,070	0,050	0,05	46,49	0,04	100,33
MBT 1 .....	73,27	13,36	1,65	0,40	0,58	0,15	2,850	5,510	0,21	0,95	0,07	98,96
MBT 2 .....	57,40	23,95	6,91	0,96	0,87	0,95	1,600	4,260	0,27	3,26	0,12	100,57
J1 28 .....	47,82	19,13	11,39	7,61	2,79	2,14	5,760	0,170	0,34	3,29	0,34	100,58
J1 88 .....	47,68	19,31	9,72	4,69	10,68	1,92	4,440	0,220	0,33	1,55	0,14	100,74
T 21 .....	49,98	24,32	9,83	2,44	0,10	0,90	0,600	7,380	0,15	4,11	0,18	99,92
T 46 .....	62,61	19,04	7,07	1,75	0,43	1,01	1,510	3,640	0,19	2,98	0,16	100,41

Tabla 3.—Análisis químicos de elementos traza de las muestras estudiadas. Sed: muestras de sedimentos, RM: muestras de rocas madre (valores expresados en ppm)

SED	SR	BA	V	NI	CO	CR	ZN	CU	SC	Y	ZR	MN	B
ZR2.....	196,0	1.030	153,0	77,6	25,2	97,0	165,0	49,9	16,6	27,5	56,7	6.563,0	115
ZR4.....	74,7	249	76,3	237,0	20,3	134,0	99,4	29,0	14,7	9,6	39,6	325,0	100
ZR5.....	132,0	465	136,0	145,0	16,8	114,0	135,0	41,7	16,2	19,5	79,3	390,0	80
ZR6.....	135,0	501	146,0	61,7	18,0	123,0	128,0	56,1	21,1	39,4	119,0	833,0	100
ZR7.....	123,0	414	177,0	102,0	25,4	120,0	214,0	66,9	18,7	30,4	88,0	1.360,0	110
ZR10.....	145,0	339	165,0	171,0	18,4	224,0	245,0	40,3	18,0	26,9	85,9	279,0	80
ZR11.....	136,0	382	180,0	101,0	24,5	196,0	130,0	70,2	23,4	32,3	94,1	1.116,0	90
ZR13.....	77,5	381	140,0	57,5	24,0	139,0	142,0	26,4	17,1	16,2	83,3	999,0	65
CZ2.....	149,0	258	142,0	63,2	17,7	121,0	104,0	47,0	14,2	20,1	111,0	195,0	160
CZ5.....	123,0	211	145,0	59,4	18,0	89,5	75,1	35,3	10,7	14,1	60,5	272,0	120
CZ8.....	129,0	269	129,0	59,9	16,3	68,1	59,9	34,2	7,6	10,2	44,5	100,0	120
CZ10.....	87,3	384	106,0	44,5	18,3	51,1	45,2	29,2	4,8	8,3	32,3	94,6	110
CZ11.....	154,0	406	160,0	84,6	27,8	142,0	144,0	40,6	16,1	21,2	90,2	298,0	145
CZ15.....	125,0	571	121,0	341,0	49,1	195,0	123,0	83,3	32,5	25,3	65,1	1.682,0	40
LY5.....	139,0	426	274,0	79,8	15,7	156,0	331,0	526,0	17,9	18,6	71,6	195,0	115
LY15.....	116,0	387	278,0	72,0	21,2	161,0	164,0	102,0	19,9	28,5	83,0	195,0	135
LY20.....	129,0	308	162,0	35,1	13,2	129,0	75,1	34,1	19,4	25,6	66,1	121,0	105
LY24.....	217,0	357	150,0	23,3	15,8	107,0	49,6	26,9	20,0	20,7	38,9	66,0	100
LY101....	197,0	528	247,0	73,5	30,2	139,0	185,0	55,3	19,2	21,7	104,0	733,0	125
LY103....	132,0	375	236,0	57,8	29,2	144,0	186,0	61,2	18,0	21,3	92,7	280,0	125
LY105....	143,0	508	249,0	82,3	30,0	148,0	182,0	50,8	19,6	21,2	95,9	430,0	130
LY108....	198,0	744	248,0	55,9	12,1	162,0	155,0	49,2	16,1	20,3	86,3	448,0	140
LM3.....	85,2	276	146,0	48,6	14,4	127,0	259,0	45,1	14,2	16,4	81,1	112,0	185
LM7.....	282,0	517	173,0	67,2	33,1	124,0	143,0	36,8	15,6	18,6	92,2	313,0	125
LM11.....	211,0	264	187,0	94,6	22,1	149,0	186,0	64,5	18,1	25,8	94,9	291,0	190
LM14.....	213,0	228	181,0	29,1	8,2	110,0	94,1	47,6	11,6	12,9	66,1	157,0	140
LM15.....	59,3	137	79,9	11,6	7,2	38,0	64,2	32,7	3,1	5,8	23,8	46,2	240
LMT1.....	132,0	357	170,0	67,8	2,5	132,0	140,0	50,4	17,8	20,2	101,0	404,0	125
MP1.....	125,0	446	167,0	55,7	9,8	158,0	169,0	57,8	19,1	25,4	51,0	477,0	135
MP7.....	136,0	305	214,0	66,3	25,7	170,0	164,0	50,3	19,7	25,4	90,3	399,0	120
MP8.....	126,0	374	171,0	52,0	22,7	141,0	343,0	141,0	18,3	21,1	70,9	342,0	175
MP10.....	229,0	1.179	169,0	49,4	28,7	109,0	215,0	90,8	14,6	20,9	73,4	5.443,0	145
RM	SR	BA	V	NI	CO	CR	ZN	CU	SC	Y	ZR	MN	B
MPCV1..	21,9	35,9	10,0	6,2	2,5	9,0	78,2	78,0	3,5	9,3	37,2	140	750
MPCV3..	111,0	365,0	126,0	20,3	8,1	82,0	95,7	11,6	12,9	32,9	295,0	485	45
ET.....	56,5	319,0	87,2	48,5	17,5	74,1	213,0	37,3	10,6	18,4	412,0	499	110
FT.....	89,7	431,0	169,0	64,4	18,1	119,0	77,6	12,2	18,1	26,3	224,0	302	130
CT.....	43,4	29,5	10,3	29,2	9,7	11,6	18,9	4,7	0,4	1,0	3,9	874	5
EL.....	146,0	471,0	175,0	82,5	27,7	120,0	120,0	39,6	20,3	32,8	197,0	641	170
FLN.....	213,0	470,0	98,0	126,0	18,5	80,6	40,6	9,8	13,5	33,7	327,0	268	150
FLR.....	75,2	770,0	141,0	64,2	16,8	127,0	42,7	5,5	19,0	28,7	195,0	236	240
EC.....	146,0	638,0	196,0	64,7	23,5	149,0	127,0	23,4	21,7	36,4	214,0	795	210
FCN.....	262,0	236,0	145,0	82,6	24,3	102,0	1.105,0	46,7	14,3	25,8	243,0	418	200
FCR.....	279,0	486,0	128,0	68,7	22,7	107,0	125,0	20,7	16,6	28,1	165,0	792	165
MBS 1....	205,0	537,0	138,0	58,9	20,2	176,0	90,4	7,7	16,7	25,2	220,0	383	175
MBS 2....	198,0	694,0	157,0	70,6	41,7	177,0	130,0	12,4	21,5	22,7	149,0	373	115
MBS 3....	102,0	613,0	121,0	44,2	18,3	171,0	88,7	12,5	15,0	26,4	257,0	652	55
GJI.....	35,1	54,0	9,5	8,0	7,8	69,4	49,5	5,6	4,0	9,1	62,5	156	835
MJI.....	272,0	15,0	16,7	20,5	2,5	13,1	12,6	5,3	1,4	8,7	8,4	141	30
EGI.....	210,0	514,0	163,0	46,4	17,9	156,0	33,9	28,4	16,4	30,3	252,0	240	215
GLC.....	56,0	253,0	52,0	0,5	6,6	63,5	99,5	6,8	6,0	9,8	167,0	182	190
MLG.....	64,5	6,0	17,5	9,5	6,6	17,2	21,5	3,6	0,4	1,3	4,3	116	120
MBT 1 ...	38,3	156,0	11,6	0,5	2,5	83,3	33,2	5,9	2,5	17,9	121,0	132	125
MBT 2 ...	150,0	667,0	116,0	22,1	2,5	139,0	80,9	5,1	17,5	24,0	169,0	496	45
J1 28.....	100,0	28,9	235,0	61,6	15,1	131,0	163,0	32,4	26,9	17,9	188,0	833	20
J1 88.....	485,0	23,7	229,0	32,5	20,4	156,0	82,6	33,0	29,4	28,1	173,0	1.088	15
T 21.....	44,3	770,0	168,0	38,6	6,5	139,0	25,9	5,7	22,2	21,7	130,0	192	220
T 46.....	152,0	599,0	127,0	34,4	10,7	115,0	101,0	10,1	16,4	28,4	212,0	694	180

## Discusión

### Características geoquímicas generales

Los análisis de los elementos mayores y trazas se han tratado estadísticamente en varias etapas. En primer lugar se calculó la matriz de correlación entre todos los elementos. Esta matriz se ha calculado con un total de 57 observaciones (muestras analizadas), por lo que la correlación entre variables (elementos químicos) tendrá una significación por encima del 99% para aquellos coeficientes superiores a 0,32. La correlación entre elementos se pone de manifiesto en el análisis de componentes principales (ACP) que se basa en la propia matriz de correlación.

El ACP se ha realizado de forma separada para las rocas madre (Fig. 2.A) y para los sedimentos (Fig. 2.B). Los elementos químicos han sido situados en la representación del análisis factorial, para el cual los tres primeros factores explican la mayor parte de la varianza del sistema (75%). Así cada uno de los tres primeros factores representan respectivamente los siguientes porcentajes de varianza: 45, 16 y 9% en el caso de las rocas madre y 34, 13 y 10% en el caso de los sedimentos.

La caracterización geoquímica de las rocas madre hecha por el ACP (Fig. 2.A) muestra cómo el factor F1 opone CaO, MgO y B a todos los otros elementos, los cuales son agrupados, en función de F2 y F3, en dos unidades. Con F2 positivo y F3 negativo se encuentran Mn, Sr, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O, Cu y Zn. La segunda unidad la constituyen elementos con F2 negativo o ligeramente positivo y con F3 positivo; dentro de ella se sitúan K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba, Y, Cr, Zr, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sc, V, Co y Ni. Cerca de esta unidad, pero con F3 negativo, se sitúa la sílice.

La representación de las rocas en función de los coeficientes calculados para los tres primeros factores del ACP, que se muestra en el diagrama de la figura 2.A, nos permite relacionar los elementos con los diferentes tipos de rocas metamórficas. Se observa que los elementos con F2 positivo y F3 negativo (unidad I) se asocian a las rocas básicas. Las rocas matapelíticas coinciden en el diagrama con los elementos de la unidad II que presentan F2 ligeramente positivo o negativo y F3 positivo. De igual forma, la unidad III, CaO y MgO (con F1 negativo y F2 positivo), caracteriza a las rocas carbonatadas. Finalmente podemos indicar que el boro es el único elemento que se sitúa en la zona de los gneises (F1, F2 y F3 negativos), esto se explicaría por la baja concentración de elementos, sobre todo trazas, que presentan estas rocas, ricas tan sólo en SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O, elementos que en algún caso también son abundantes en otros tipos de rocas, lo

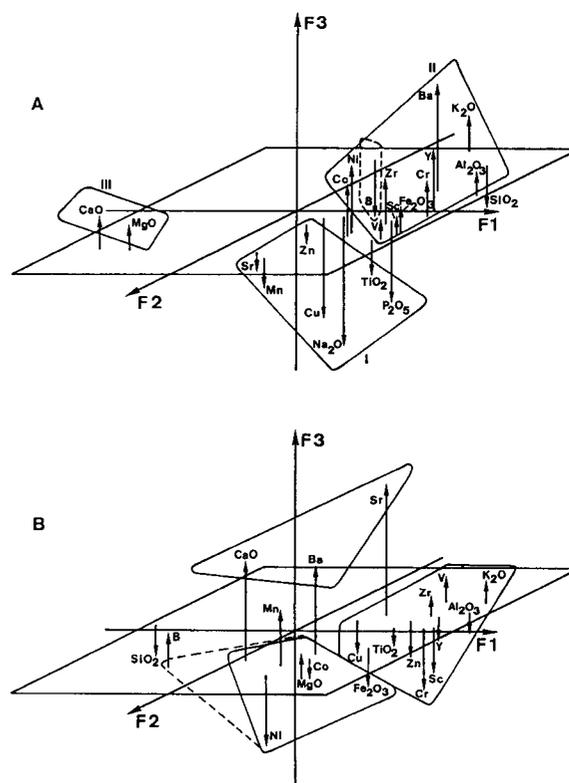


Fig. 2.—Representación tridimensional de los elementos en función de los análisis de componentes principales (ACP) realizados A) para las rocas madre y B) para los sedimentos. Explicación en el texto.

que provoca que no coincidan con el campo de los gneises.

Por lo que respecta al ACP de los sedimentos (Fig. 2.B), casi la mitad de la varianza del sistema es explicada por F1 y F2. Se observa cómo F1 separa a la sílice y el boro (F1 negativo) del resto de elementos. Este grupo con F1 positivo presenta variaciones en función de F2 y F3. Con F2 negativo se sitúan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, V, Sc, Zn, Y y Zr, mientras que con F2 positivo tenemos a CaO, MgO, Ba, Mn, Ni, Co y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El factor F3 (10% de la varianza) viene a matizar esta división, pudiéndose destacar el alto valor positivo de CaO, Ba y Sr; más ligeramente positivos se presentan Mn, B y MgO. La distribución espacial de los elementos que acabamos de ver, hace interpretar el significado de cada uno de los factores del siguiente modo:

F1 representa con valor negativo los niveles de diatomitas presentes en tres de las secuencias, para las cuales el porcentaje de SiO<sub>2</sub> es muy alto (70-80%). El resto de litologías de los sedimentos se asociaría al grupo F1 positivo. El valor negativo del B probablemente se deba al hecho de que la muestra con mayor contenido de este elemento es preci-

samente uno de los niveles diatomíticos (LM15), lo que produce su desplazamiento hacia la posición de SiO<sub>2</sub>. De no ser así se situaría en el octante de F1, F2 y F3 positivos junto a Mn y MgO.

F2 separa a los elementos que caracterizan la herencia, tanto de minerales arcillosos como de minerales pesados (con valores negativos), de aquellos ligados a transformaciones en el medio de depósito, y que entrarían en minerales de las arcillas transformados y/o neoformados y en yesos y carbonatos (con valores positivos).

Por último, los altos valores positivos de F3 representarían un carácter de precipitación química en el medio, sobre todo de carbonatos y yeso. De los tres elementos con F3 más positivo, CaO, BaO y Sr, este último se encontraría desplazado hacia el grupo con F2 negativo, debido a su entrada, no sólo en carbonatos y yesos, sino también en alguna fase detrítica.

#### *Relación entre roca madre y sedimento*

Para intentar establecer la influencia del quimismo de las rocas de los relieves circundantes sobre los sedimentos, se ha realizado una clasificación jerárquica ascendente (CJA). En esta clasificación se han tomado como variables 10 elementos traza que se han seleccionado por ser elementos propios de la fase arcillosa o elementos característicos de alguna de las familias de rocas que han podido aportar minerales de la arcilla a los sedimentos. En concreto, los elementos traza seleccionados para la clasificación son V, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, Sc, Ti, Y y Zr.

El resultado de la clasificación es la agrupación de las muestras en ocho clases principales. Cuatro de ellas (clases 1, 2, 3 y 4) están formadas fundamentalmente por muestras de sedimentos. Las clases 5 a 8 contienen de forma casi exclusiva rocas madre.

La clase 1 está integrada, a excepción de dos muestras (SB1 y ZR5), por sedimentos de las series preevaporíticas LY, LM y CZ. También contiene dos muestras de roca madre (MBT2 y T21) que son micaesquistos grafitosos con granate y cloritoide.

La clase 2 tan sólo contiene una roca metamórfica (MBS2) que es un micaesquisto albitico con clorita. El resto de muestras son fracciones <2µm de sedimentos. Hay que destacar que en esta clase se encuentran casi todas las muestras de las series postevaporíticas (ZR y SB), también hay seis muestras de las secuencias restantes.

La clase 3 la integran las muestras ZR4 y CZ15 la clase 4 está formada por tan sólo una muestra, LY5.

Solamente hay una clase, la 8, constituida mayoritariamente por rocas madre que además contengan

sedimentos. Esta clase está formada por las rocas metamórficas carbonatadas, los gneises con turmalina, y también por las muestras correspondientes a los niveles diatomíticos de las series preevaporíticas. La clase 6 la componen rocas metapelíticas, tanto del complejo Nevado-Filábride como del Alpujárride. Una filita del complejo Alpujárride FCN, rica en óxidos e hidróxidos de Fe, es la única muestra que pertenece a la clase 5. Finalmente, la clase 7 está integrada por las rocas básicas del Nevado-Filábride.

El resultado de la CJA muestra que son muy pocas las clases que contienen conjuntamente sedimentos y rocas metamórficas. Cabe citar la anecdótica presencia de MBT2 y T21 en la clase 1 y de MBS2 en la clase 2. Los sedimentos presentes en la clase 8 no se relacionan genéricamente con las rocas metamórficas de la misma. Su asociación dentro de esta clase se debe a que sus contenidos de elementos traza son muy bajos; tal y como ya se ha comentado, tanto gneises como mármoles presentan valores bajos para la mayor parte de los elementos, y entre éstos, los seleccionados para realizar esta clasificación. Igualmente bajos son los contenidos de estos elementos en las diatomitas de LY, LM y CZ, ya que se componen fundamentalmente de sílice biogénica. Por todo esto no se puede deducir una influencia de las rocas metamórficas en estos niveles sedimentarios.

Dado que la asociación de muestras obtenidos de la CJA no interrelaciona sedimentos y rocas madre a fin de poder encontrar este parentesco, se ha procedido a comparar los contenidos medios de los elementos químicos de las ocho clases de la CJA. Para ello se ha representado gráficamente para cada clase los valores medios de cada elemento encuadrados por sus mínimos y máximos (Fig. 3). Las rocas básicas se diferencian de las metapelíticas, sobre todo, por su contenido en elementos pesados; contienen mucho más titanio (2,03% frente a 0,93%), y algo menos de Zr (180 ppm frente a 247 ppm); también poseen un mayor contenido de V que las metapelíticas (232 ppm frente a 139 ppm). El resto de las rocas madre, a excepción de la FCN de la clase 5 que presenta un contenido de Zn anecdóticamente alto (1.105 ppm), se sitúan dentro de la clase 8, que se caracteriza por sus bajos contenidos en todos los elementos seleccionados. No obstante, la forma de la curva no se aleja de la correspondiente a las clases 6 y 7.

En cuanto a los sedimentos (clases 1, 2, 3 y 4), en primer lugar se observa una gran similitud entre los perfiles de las clases 1 y 2 (Fig. 3). Las únicas diferencias importantes entre estas dos clases son los contenidos medios de Zn y Co, que son algo más elevados en la clase 2 que en la clase 1: respectivamente 180 y 26 ppm para la clase 2, y 113 y 11 para

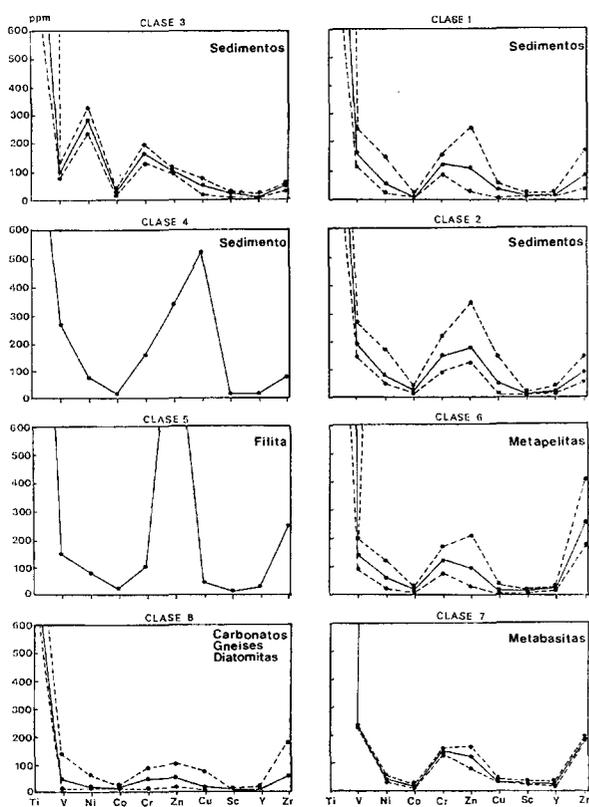


Fig. 3.—Contenidos medios encuadrados por máximos y mínimos de Ti, V, Ni, Co, Cr, Zn, Cu, Sc, Y y Zr para las ocho clases obtenidas en la CJA.

la clase 1. El aspecto de estas curvas, que puede considerarse como el aspecto tipo de los sedimentos de la cuenca de Sorbas, se modifica para las clases 3 y 4, las cuales muestran contenidos anómalamente altos en alguno de los elementos seleccionados. En concreto, la clase 3 que contiene la muestra ZR4 es muy rica en Ni, superando en 200 ppm el contenido medio del resto de sedimentos. A su vez, la clase 4 constituida por la muestra LY5, se diferencia de las clases 1 y 2 por su alto contenido en Cu, 526 ppm frente a los 80 ppm del resto de los sedimentos. Estos valores elevados de Ni y Cu no pueden ser imputados a influencia de la roca madre, pues no hay ningún tipo de roca con cantidades importantes de estos elementos. Más bien se trata de una influencia producida por el medio de sedimentación. Las muestras ZR4 y LY5 corresponderían a episodios en los que habría habido un abundante desarrollo de microorganismos que incorporan uno u otro elemento en su ciclo vital (Warren et al. 1952; Krauskopf, 1955). Así, por ejemplo, ZR4 es un nivel de margas laminadas que se coloca justo por debajo de la caliza blanca inferior de la serie de Zorreras, la cual representa un medio lagunar some-

ro en el que no es extraña la formación de tapices vegetales. También puede asociarse a la materia orgánica el mayor o menor contenido de Zn de los sedimentos de las clases 2 y 1, respectivamente (Cook, 1972; Tardy, 1975). Las muestras de la clase 2 contendrían más Zn, debido a una mayor abundancia de organismos que lo suministrarían al medio después de su muerte.

#### Medio de depósito

Para caracterizar el medio de depósito se han estudiado las variaciones de los contenidos de boro y magnesio a lo largo de las cinco secuencias (Fig. 4), ya que dichos elementos (tras realizar las correcciones pertinentes) pueden considerarse respectivamente como indicadores de las condiciones de salinidad y confinamiento que reinaban en las cuencas de sedimentación (Goldschmit & Peters, 1932; Degens et al., 1958; Harder, 1970 y Mosser, 1980 para el B y Millot, 1964 para el Mg); entendido el confinamiento, en el sentido definido por Millot (1964), como el aumento de la concentración de iones en solución procedentes del lavado de rocas, producido en zonas mal drenadas como consecuencia de ser la evaporación la responsable de mantener el nivel hídrico. Algunas de las consideraciones a tener en cuenta para una adecuada utilización de un elemento como indicador de una condición del medio de sedimentación son el conocimiento de la mineralogía, del tamaño de grano de los minerales y de la posible variación de condiciones físico-químicas tales como pH, nivel de carbonatos y temperatura, así mismo los análisis han de realizarse en niveles que no contengan sedimentos reciclados. De esta forma, si bien los resultados no pueden ser empleados como valores absolutos, sí que pueden ser utilizados en términos relativos en la comparación de muestras de semejante composición pertenecientes a una misma formación (Millot, 1964 y Mosser, 1980).

En función del contenido de boro, podemos distinguir tres tipos de secuencias que tendrían diferente grado de salinidad.

La serie ZR es la que presenta menor contenido de B; los valores de sus muestras varían entre 65 y 115 ppm (92 ppm de media). La tendencia general, de muro a techo, de la secuencia es un descenso del contenido en B y, por tanto, de la salinidad; si bien este descenso se hace de forma escalonada (Fig. 4). Especial interés despierta el contenido de B de la muestra ZR13, que es el más bajo de todas las muestras estudiadas, tan sólo 65 ppm. Esta muestra pertenece al nivel de la «molasa amarilla» descrita como marina por Ott d'Estevou (1980). De hecho,

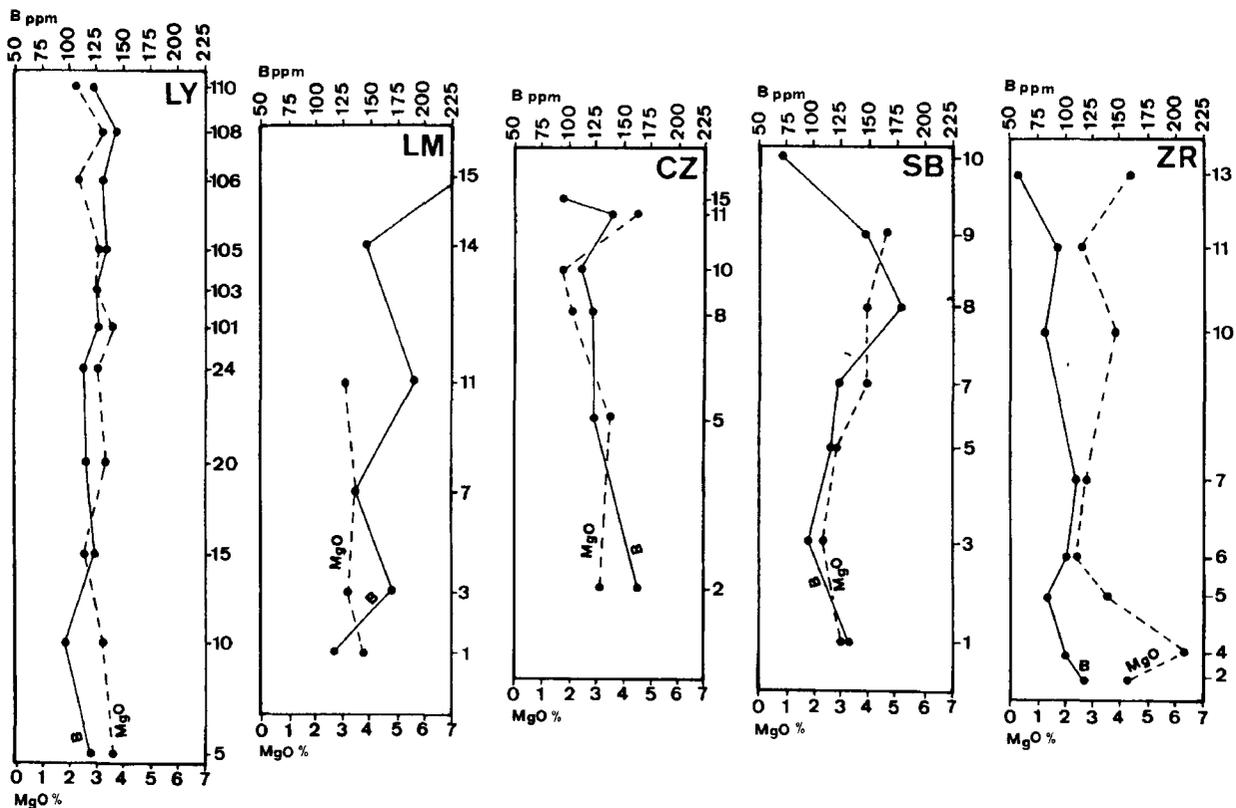


Fig. 4.—Contenidos de MgO y de boro de las series estudiadas. LY: Los Yesos, LM: Los Molinos del Río Aguas, CZ: Cariatiz, SB: Sorbas y ZR: Zorreras.

su situación justo por encima de una lumaquela así lo hacía pensar. Sin embargo el escaso contenido de boro, semejante al de muestras de agua dulce de la misma sección, nos lleva a suponer que el mar se retiró enseguida, quedando un medio lagunar con baja salinidad.

El segundo tipo de consecuencias está formado por las series LY, CZ y SB, para las cuales se han obtenido contenidos medios de boro de 117, 126 y 122 ppm, respectivamente. No obstante, a lo largo de cada serie la variación de contenidos es diferente. Así LY y CZ son mucho más homogéneas; varían tan sólo entre 90 y 140 ppm para LY, y 100 y 160 ppm para CZ. Por el contrario, SB oscila mucho más en torno a su valor medio, desde 70 a 175 ppm. La serie de Cariatiz muestra una tendencia general de descenso del contenido de boro hacia el techo de la misma, llegándose al menor grado de salinidad justo por debajo de las calizas arrecifales. En la secuencia de Los Yesos, si bien de forma menos marcada, encontramos la tendencia contraria: la salinidad aumentaría a techo de la serie a medida que nos acercamos a los depósitos evaporíticos de yeso. En la serie de Sorbas podemos distinguir dos tramos (Fig. 4). En el primero el contenido

de boro aumenta de forma general, llegándose al máximo en la muestra SB8 (175 ppm). En el segundo descendiendo rápidamente hasta un mínimo de 70 ppm en la muestra SB10. Esta inflexión habría que interpretarla como un cambio en el medio de depósito, probablemente debido a un incremento en los aportes de agua dulce a la cuenca. No hay que olvidar que esta serie de Sorbas se sitúa justo por debajo de la serie de Zorreras que presenta, como acabamos de ver, los valores más bajos de boro. El descenso de la parte alta de Sorbas sería, pues, el comienzo de una pérdida de salinidad que se mantiene en los materiales suprayacentes.

Por último, el tercer tipo de secuencia en función del contenido de boro es la serie de Los Molinos del Río Aguas. Su contenido varía desde 125 hasta 245 ppm, siendo su valor medio de 176 ppm. De muro a techo se observa un aumento escalonado del contenido de boro; el máximo se alcanza en la última muestra (LM15), que es la anterior a los depósitos de yesos. Esta muestra pertenece a un nivel diatomítico; sin embargo los niveles diatomíticos de las otras secuencias (LY17, CZ8 y CZ10) no presentan valores elevados de boro, de lo que se deduce que no es la facies la causante de tan alto conte-

nido, sino el medio sedimentario en el que se forma, mucho más salado en la serie de Los Molinos.

Si atendemos al contenido MgO, podemos diferenciar igualmente tres tipos de secuencias. El primero de ellos lo constituye la serie LY, que presenta un contenido medio de MgO del 2,88%. La variación de los porcentajes a lo largo de la serie va desde 2,07% hasta 3,49%. El segundo grupo está integrado por tres series CZ, SB y LM, para las cuales los porcentajes medios de MgO son, respectivamente, 3,25, 3,36 y 3,41%. Entre estas secuencias cabe destacar el mayor contenido que se da a techo de las series de Sorbas y Cariatiz; la serie de Los Molinos presenta valores bastante constantes. Finalmente, el tercer tipo de secuencias es la serie de Zorreras, cuyo porcentaje medio de MgO (3,78%) es el mayor de la cuenca de Sorbas. Sus contenidos varían entre 3,02% y 6,18%. Los valores más altos coinciden con niveles característicos de esta serie. En concreto se corresponden con las muestras de caliza blanca lagunar (inferior ZR4 y superior ZR10 y con la molasa amarilla (ZR13).

Si asociamos el contenido de MgO con el grado de confinamiento del medio, podremos hacer las siguientes deducciones. El grado de confinamiento es menor para la serie LY; va aumentando en las series CZ, SB y LM y llega a ser máximo en momentos correspondientes a medios de sedimentación de tipo lagunar de la secuencia ZR.

Si comparamos los tipos de secuencias definidas en función del contenido de B y en función del contenido de MgO, observamos que no hay una relación entre salinidad y grado de confinamiento. Así, por ejemplo, la serie ZR es la menos salina, y sin embargo es en la que se da un mayor confinamiento; LY es la menos confinada y presenta un grado de salinidad intermedio. En definitiva, se puede deducir que el mayor o menor confinamiento se opera independientemente del grado de salinidad, ya que en una cuenca confinada se producirá un aumento de la concentración de sólo aquellos elementos que sean aportados por las aguas que llegan a ella y no de otros que ya estuvieran allí y hayan dejado de ser suministrados.

## Conclusiones

A partir del tratamiento estadístico de los datos geoquímicos se ha establecido una clara relación entre los sedimentos y las rocas metapelíticas de las cordilleras Béticas, siendo la influencia de metabasitas, rocas carbonatadas y gneises bastante limitada.

Durante el Messiniense preevaporítico, en zonas de borde, como Cariatiz, se produce un aumento del confinamiento con un ligero descenso de la salini-

dad. Por contra, en el centro de la cuenca, series de Los Yesos y Los Molinos del Río Aguas, el confinamiento va unido a un incremento de salinidad, especialmente notable en Los Molinos (contenido de B de 240 ppm). La evolución de la salinidad en ambas ocasiones es preludio de la sedimentación que va a tener lugar posteriormente. En el primer caso se pasa un medio arrecifal que va progradando hacia el sur a medida que el mar se va retirando, en el segundo, cuando el descenso del nivel del mar se acentúa se llega a una sedimentación evaporítica que origina potentes depósitos de yesos. Ambos tipos de sedimentación se enmarcan en el contexto de un descenso generalizado del nivel del mar durante la crisis messiniense.

En las series postevaporíticas puede seguirse la evolución del ambiente de depósito desde la base de la secuencia de Sorbas hasta el techo de Zorreras. Se comienza en un medio probablemente influenciado por agua dulce —tal y como lo indican los valores isotópicos de las muestras inferiores de la serie de Sorbas (Sánchez Bellón, 1992)—, que pasa a ser cada vez más marino como consecuencia de la subida del mar postevaporítico en la cuenca de Sorbas. A continuación se produce un aumento del confinamiento y de la salinidad hasta la muestra SB8, a partir de la cual la salinidad desciende hasta valores semejantes a los del muro de la secuencia de Zorreras. Esta última serie de Zorreras presenta contenidos de boro muy bajos, que reflejan una sedimentación en un medio continental influenciado por agua dulce, tal y como atestigua la presencia de niveles de paleosuelos calcáreos. Sin embargo, pueden reconocerse en ella dos breves ciclos, coincidentes con las calizas blancas lagunares, en los que movimientos oscilatorios del nivel del mar aportan aguas marinas, aumentando la salinidad del medio. En la parte alta de la serie una lumaquela registra la transgresión pliocena. A juzgar por el bajo contenido de boro que presenta el nivel inmediatamente superior (molasa amarilla, ZR13), la transgresión duró un período de tiempo muy corto; menor al considerarlo por otros autores que otorgaban a la molasa amarilla un carácter marino. Más bien se trataría de un medio de agua dulce y elevado confinamiento, probablemente lagunar, en el que una alta concentración iónica permite la formación de la paligorskita a partir de esmectitas magnésicas (Sánchez Bellón, 1992).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Andalucía a través de los grupos de investigación n.º 4.065 y n.º 6.005 y por la DGICYT a través del Proyecto de Investigación PB 920960.

## Referencias

- Aldaya, F., Farcía Dueñas, V. y Navarro Vila, F. (1979). Los mantos alpujárrides del tercio central de las Cordilleras Béticas. Ensayo de correlación tectónica de los Alpujárrides. *Acta Geol. Hips.*, 14, 154-166.
- Barahona Fernández, E. (1974). *Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada: evaluación de algunos ensayos de materias primas*. Tesis Doctoral, Secret. Public. Univ. Granada, 398 págs.
- Benzecri, J. P. (1973). *L'analyse de données. Vol. 1: La taxonomie*. Dunot, París, 619 págs.
- Benzecri, J. P. y Benzecri, F. (1984). *Pratique de l'analyse des données. En : Analyse de correspondance et classification. Vol. 1. Exposé élémentaire*. Dunot, París, 456 págs.
- Cook, P. J. (1972). Petrology and geochemistry of the phosphorite deposits of Northwest Queensland, Australia. *Econ. Geology*, 67, 1193-1213.
- Degens, E. T., Williams, E. G. and Keith, M. L. (1958). Environmental studies of carboniferous sediments, Part I: Geochemical criteria for differentiating marine and fresh water shales. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, 41, 2427-2455.
- Díaz de Federico, A., Torres Roldán, R. y Puga, E. (1990). The rock-series of the betic substratum. *Doc. et Trav. IGAL*, 12 y 13, 19-29.
- Goldschmidt, V. M. & Peters, C. (1932). *Zur geochemie des Bors*, Teil I and II. *Nachr. Akad. Wiss., Math. Phys. Kl.*, págs. 402-407 and 528-545.
- Harder, H. (1970). Boron content of sediment as a tool in facies analysis. *Sediment. Geol.*, 4, 153-175.
- Krauskopf, K. B. (1955). Sedimentary deposits of rare metals. *Econ. Geol.*, 50, 411-463.
- Lebart, L., Morineau, A. y Fenelon, J. P. (1982). *Traitements des données statistiques, méthodes et programmes*. Dunod edits., París, 501 págs.
- Millot, G. (1964). *La géologie des argiles*. Mason, París, 499 págs.
- Mosser, Ch. (1980). Etude géochimique de quelques éléments traces dans les argiles des altérations et des sédiments. *Sci. Géol. Mem.*, 63, Institut de Géologie, U.L.P., Strasbourg, 229 págs.
- Ott d'Estevou, Ph. (1980). Evolution dynamique de bassin néogène de Sorbas (Cordillère Bétiques. Espagne. Thèses, *Doc. et trav. IGAL*, 1, París, 264 págs.
- Ott d'estevou, P. & Montenat, C. (1990). Le bassin de Sorbas Tabernas. *Doc. et trav. IGAL*, 12-13, 101-128.
- Samuel, J., Rouault, R. y Besnus, Y. (1985). Analyse multiélémentaire standardisée des matériaux géologiques en spectométrie d'émission par plasma à couplage inductif. *Analisis*, 13, 7, 312-317.
- Sánchez Bellón, A. (1992). *Caracterización mineralógica y geoquímica del tránsito Mioceno-Plioceno en las cuencas de Vera y Sorbas (Almería)*. Tesis doc., Univ. de Granada, 291 págs.
- S.A.S. (1988). *User's guide statistics. ACP. Versión 603*. S.A.S. Institut Inc. Cary N.C. USA.
- Schultz, L. G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. *U.S. Geol. Surv. Profes. Paper* 391-C, 31 págs.
- Tardy, Y. (1975). Elements partition rations in some sedimentary environments. II Studies on North-American black shale. *Sci. Geol. Bull.*, 28, 1, 75-95.
- Volk., H. R. y Rondeel, H. E. (1964). Zur gliederung des jungtertiärs im Becken von Vera, Südostspanien. *Geol. Minjb.*, 43, 310-315.
- Warren, H. V., Delavault, R. E. y Irish, R. I. (1952). Biogeochemical investigations in the Pacific northwest. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 63, 435-484.

Recibido 3 de mayo de 1995  
Aceptado 16 de agosto de 1995