

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

boletín

geológico

y minero

VOLUMEN 110

Mayo - Junio 1999

NUMERO 3



# boletín geológico y minero

Volumen 110

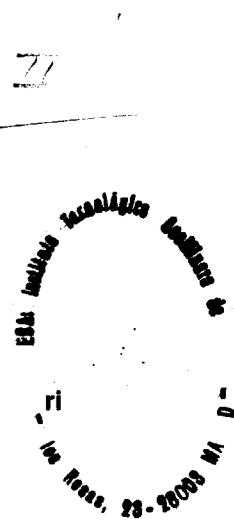
Número 3

Mayo-Junio 1999

17 JUL 2000

revista bimestral de geología, minería y ciencias conexas

fundada en 1874 - 5.



## Sumario

### Geología

- J. BERNAD y A. CALVO: *Plicatula spinosa* Sowerby, en el Toarciente Inferior (Jurásico) de Turmiel (Guadalajara, España). .... ..... 3

- P. CÓZAR y S. RODRÍGUEZ: Propuesta de nueva nomenclatura para las unidades del Carbonífero Inferior del sector norte del área del Guadiato (Córdoba). .... ..... 13

### Geofísica

- J. L. GARCÍA LOBÓN: Interpretación del vuelo magnético y radiométrico de la faja pirítica en las hojas a E. 1/25.000, N.º 959-I Villanueva de las Cruces y 960-II Berrocal. .... ..... 31

### Geoquímica

- M. POZO, J. CASAS, J. L. MARTÍN DE VIDALES, J. A. MEDINA y J. A. MARTÍN RUBÍ: Características texturales y composicionales en depósitos de arcillas magnésicas de la cuenca de Madrid. II. Bentonitas (Sector Cabañas de la Sagra-Yuncillos). .... ..... 49

- P. L. LÓPEZ, I. GARCÉS, L. F. AUQUÉ, J. GÓMEZ, M. J. GIMENO y M. P. LAPUENTE: Características geoquímicas y aspectos geológicos del Salar de Huasco (Chile). .... ..... 73

### Información

- O. PUCHE, E. ORCHE y L. F. MAZADIEGO: Datos históricos y actuales sobre el trabajo de los niños en las minas en Europa y América. .... ..... 93

- J. M. BALTUILLER: Revisión estadística de los artículos publicados en el Boletín Geológico y Minero durante el decenio 1989-1998. Un caso concreto: La problemática de las Rocas y los Minerales Industriales en los últimos treinta años de la revista. .... ..... 99

- Últimas publicaciones. .... ..... 116

### DIRECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN

Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid  
Fax 91 349 57 62



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España



Ministerio de Medio Ambiente

El Instituto Tecnológico Geominero de España  
hace presente que las opiniones y hechos con-  
signados en sus publicaciones son de la exclusi-  
va responsabilidad de los autores de los trabajos.

Boletín Geológico y Minero. Vol. 110-3 Año 1999 (227-236)

GEOLOGÍA

## PLICATULA SPINOSA SOWERBY, EN EL TOARCIENSE INFERIOR (JURÁSICO) DE TURMIEL (GUADALAJARA, ESPAÑA).

Por J. BERNAD (\*) y A. CALVO (\*)

### R E S U M E N

Se analizan desde los puntos de vista taxonómico y estadístico los restos de la especie *Plicatula spinosa* Sowerby (Bivalvia) en el Toaciense Inferior de las proximidades de la localidad de Turmiel, donde representan más del 90% de los fósiles encontrados en dichos materiales.

Se realiza un estudio biométrico de los ejemplares de *Plicatula spinosa* Sowerby que presentan las dos valvas en conexión, tomando las siguientes medidas: longitud, anchura y espesor; se analizan en cada caso los valores máximo y mínimo, la media, la desviación típica, el coeficiente de variación y la diferencia entre el valor máximo y el mínimo. Posteriormente se han realizado análisis bivariantes para establecer la dependencia de la anchura y el espesor con relación a la longitud.

Se analiza el comportamiento paleoecológico de la especie.

*Palabras clave:* Bivalvia, Toaciense Inferior, Cordillera Ibérica, Biometría, Análisis estadístico.

### A B S T R A C T

The bivalve species *Plicatula spinosa* Sowerby, from the Lower Toarcian of Turmiel (province of Guadalajara), where it represents the 90% of the samples, is studied taxonomically and statistically. There has been achieved a biometrical study of the samples with the two jointed valves, taking the following measures: length, width and thickness. Maximum, minimum and mean values have been analyzed for each sample, and bivariate analyses have been done in order to establish the dependence of width and thickness with regard to the length. Finally, it has been studied the paleoecological behavior of the species.

*Key words:* Bivalvia, Lower Toarcian, Iberian Range, Biometry, Statistical analysis.

### INTRODUCCIÓN

El Jurásico, y más concretamente, el Toaciense de los alrededores de Turmiel, se conoce desde muy antiguo; la primera cita se remonta a 1754, en la cual Torrubia se refiere a las localidades cercanas de Maranchón y Anchuela del Campo, esta última a tan sólo 5 km. de Turmiel. Estos materiales han sido ampliamente estudiados con pos-

terioridad, tanto en el siglo pasado (VERNEUIL y COLLOMB, 1853; ARANZAZU, 1877; CALDERÓN, 1898) como en la primera mitad de este siglo (TRICALINOS, 1928); sin embargo, es en la década de los 70 y primeros años de los 80 (GOY, 1971, 1974; GOY y ROBLES, 1975; GOY *et al.*, 1976; YÉBENES *et al.*, 1978; COMAS-RENGIFO, 1982) cuando se han desarrollado estudios más exhaustivos.

Por lo que respecta a la especie analizada, es uno de los bivalvos más frecuentes, y por tanto, más

PORADA:  
Roque de las Ánimas.  
Pitón fenolítico intrusivo en el Complejo de Taganama.  
Edificio Antiguo de Anaga, isla de Tenerife

Foto: F. Bellido (ITGE)

Depósito legal: M. 3.279 - 1958  
ISSN 0366-0176  
NIPO 320-99-001-2

Gráficas Chile, S.A.L. - Chile, 27 - Teléf./Fax 91 359 57 55 - MADRID

Impreso en papel ecológico

(\*) Dpto. de Paleontología. Fac. CC. Geológicas. UCM. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

citada en los materiales del Jurásico inferior; así, ha sido citada entre otros por SOWERBY (1819) y PHILLIPS (1829) en Gran Bretaña; por BRONN (1824) y GOLDFUSS (1837) en Alemania; D'ORBIGNY (1850), DESLONGCHAMPS (1858) y DECHASEAUX, (1937) en Francia; CHAPUIS y DEWALQUE (1853) en Luxemburgo. En España, y más concretamente, en la Cordillera Ibérica ha sido citada también desde muy antiguo, entre otros por: VERNEUIL y COLLOMB (1853) en Anchuela del Campo, Griegos, Maranchón y Torremocha del Campo (Guadalajara); CORTAZAR (1875) en Majadas y Tragacete (Cuenca), CASTEL (1881) en Concha, Maranchón y Saelices; CORTAZAR (1885) en Albarracín, Griegos, Obón; PALACIOS (1890) en Galapagares, Iruecha, Judes, Mosarejos y Sierra del Madero (Soria); CALVO (1895) en Albarracín (Teruel); RÍOS *et al.* (1944) en Cuenca-Priego-Cifuentes; WESTER-MANN (1957) en Hontoria; BEHMEL y GEYER (1966) en Entrambasaguas y Toyuela; MELÉNDEZ HEVIA *et al.* (1972) en la Serranía de Cuenca; MOUTERDE *et al.* (1978) en Obón; MOJICA (1979) en Campillo, Cimballa, Milmarcos; GOY *et al.* (1996) en La Almunia de

Doña Godina; COMAS-RENGIFO *et al.* (1996) en Sierra Palomera; BERNAD (1997) en Aguilar de Campo, Iruecha, Maranchón, Guadalaviar, Sierra del Madero, Concha y Galapagar. Además, aparece citada en multitud de explicaciones de hojas geológicas de España.

A pesar de las numerosas citas realizadas de esta especie, no se ha realizado ningún análisis estadístico sobre ella, siendo éste uno de los objetivos principales de este trabajo. Dicho análisis ha sido posible gracias a la gran abundancia de ejemplares presentes en estos materiales.

#### SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

La zona de estudio se sitúa en la provincia de Guadalajara, al noroeste de la localidad de Turmiel (Fig. 1), en el borde de un camino de reciente apertura. Podemos encontrarla en la hoja nº 463, Milmarcos, del MAGNA a escala 1:50.000.

Geológicamente se encuadra en el sector septen-

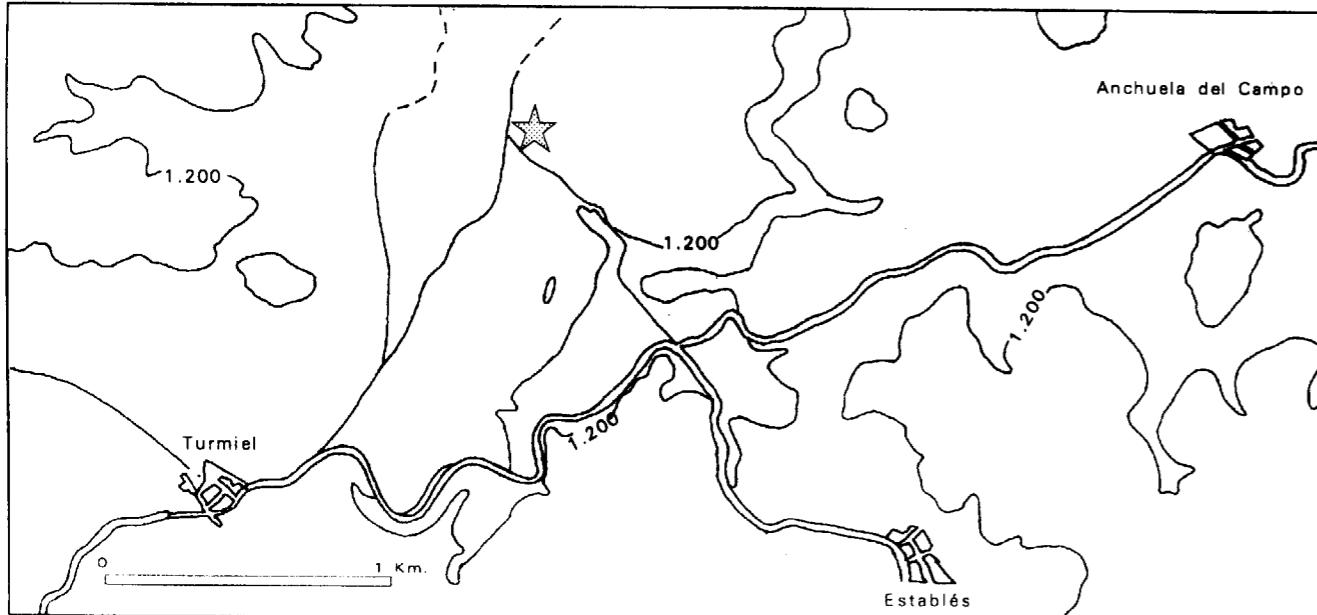


Fig. 1. Situación geográfica del afloramiento estudiado.

trional de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica (Fig. 2), aproximadamente a 1 km. del corte tipo de la Formación Alternancia de margas y calizas de Turmiel.

Los materiales analizados pertenecen al Miembro Margas y calizas margosas de la Formación Alternancia de margas y calizas de Turmiel, y se trata de margas y margocalizas grises de tonos verdosos y rosas, con intercalaciones finas y escasas de calizas margosas hacia el techo, parcialmente cubiertas. El espesor aproximado del tramo es de 5,5 m. Corresponden a la Zona *Tenuicostatum* y a la parte inferior de la Zona *Serpentinus* (YÉBENES *et al.*, 1978) (Fig. 3).

#### METODOLOGÍA

Para la obtención de los bivalvos objeto de este estudio, se tamizaron aproximadamente 50 kg. de material con dos tamices de luz de malla decreciente: 0,5 cm. y 0,2 cm. Se recuperó por

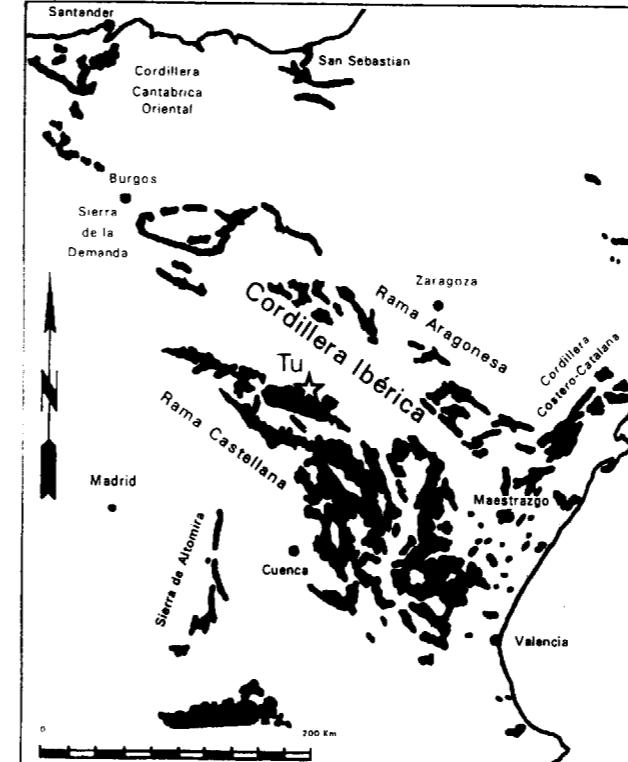


Fig. 2. Situación geográfica y geológica de la localidad de Turmiel.

medio de triado el material paleontológico retenido en el primer tamiz, ya que en el de luz menor sólo se encontraron fragmentos de valvas aisladas. Los fósiles se separaron en los grupos mayores para realizar el conteo, y los restos de *Plicatula spinosa* Sowerby se dividieron en tres grupos: valvas aisladas (derechas e izquierdas), ejemplares con las dos valvas en conexión, y valvas de distintos individuos soldadas. A los ejemplares que presentan las dos valvas se les han tomado tres dimensiones ortogonales (longitud, anchura y espesor), (Fig. 4). En cada una de las variables se analizaron los siguientes datos numéricos: valores máximo y mínimo y diferencia entre ambos, Media, Desviación típica y Coeficiente de variación. Posteriormente se han realizado análisis bivariantes para establecer la dependencia entre las variables anchura y espesor con respecto a la longitud, proyectándolos en gráficos XY y calculándose a continuación el coeficiente de correlación y la fórmula de crecimiento correspondientes.

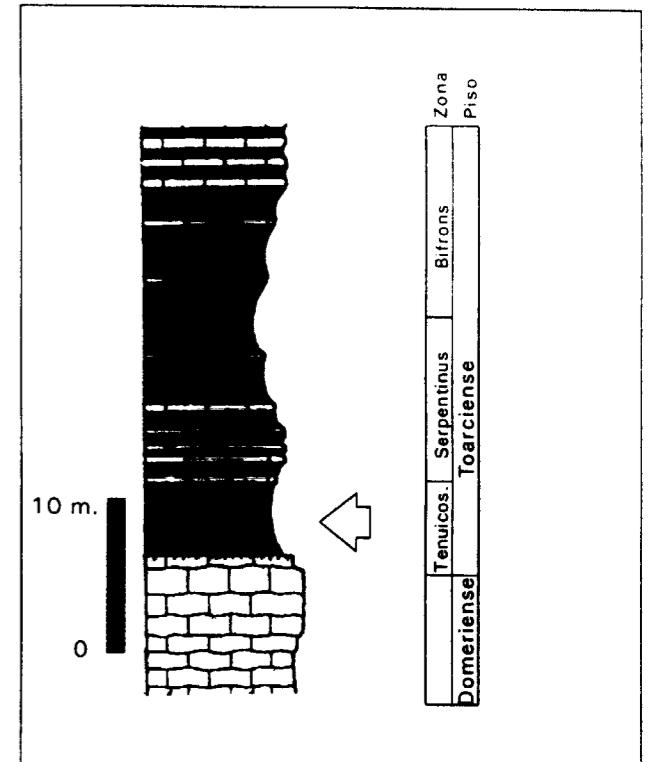


Fig. 3. Columna estratigráfica de los materiales estudiados (Modificada de YÉBENES, GOY y COMAS-RENGIFO, 1978).

## DESCRIPCIÓN SISTEMÁTICA

Clase BIVALVIA LINNE 1758  
 Subclase PTERIOMORPHIA BEURLEN 1944  
 Orden PTEROIDA NEWELL 1965  
 Superfamilia PECTINACEA RAFINESQUE 1815  
 Familia PLICATULIDAE WATSON 1930  
*Plicatula spinosa* Sowerby 1819

- ? 1811 *Harpax* Parkinson t. II, P. 221, L. 12, figs. 14-18
- 1819 *Plicatula spinosa* Sowerby. T. III, P. 79, L. 245.
- 1824 *Plicatula parkinsoni* Brönn. L. 6, fig. 16.
- 1829 *Plicatula spinosa* Sowerby. Phillips P. 14, fig. 15.
- 1830 *Placuna nodulosa* Zieten L. 44, figs. 5A y 5B.
- 1837 *Plicatula spinosa* Sowerby. Goldfuss. T. II, P. 100-101; L. 107, fig. 1.
- 1837 *Plicatula tegulata* Munster in Goldfuss. P. 101, L. 107, fig. 4.
- 1850 *Plicatula spinosa* Sowerby. D'Orbigny. T. 1, L. 238.
- 1853 *Plicatula spinosa* Sowerby. Chapuis y Dewalque. P. 218-219, L. 31, fig. 4.
- 1858 *Plicatula pectinoides* Lamarck. Deslongchamps. P. 33, L. 8, figs. 6-15.
- ? 1858 *Plicatula parkinsoni* Brönn. Deslongchamps. P. 37, L. 9, figs. 1-46; L. 10, fig. 1 a 23.
- ? 1858 *Plicatula spinosa* Sowerby. Deslongchamps p. 45, L. 10, figs. 26 a 37.
- 1885 *Plicatula spinosa* Sowerby. Mallada. P. 101 L. 30B, figs. 7-10.
- 1906-23 *Plicatula neptuni* D'Orbigny. P. 63-64. L. 15, figs. 11-13.
- 1937 *Harpax parkinsoni* Brönn. Dechaseaux. P. 247-248; L. 16, figs. 1-4, 9, 16-18, 20-21.
- 1937 *Harpax spinosus* Sowerby. Dechaseaux. P. 248, L. 16, fig. 24.
- 1937 *Harpax pectinoides* Lamarck. Dechaseaux. P. 248-249. L. 16, figs. 5-8, 13-15 y 19.
- 1966 *Plicatula spinosa* Sowerby. Behmel y Geyer. L. 5, fig. 5.
- 1997 *Plicatula spinosa* Sowerby. Bernad. P. 5. L. 3, fig. 7.

Se trata de una especie de pequeño tamaño (hasta 3 cm. de largo), inequivalva, de inequilaterial a subequilaterial, con forma externa oval o mitiliforme, de contorno irregular.

La valva derecha es generalmente plana o cóncava; la valva izquierda es convexa. La superficie de fijación es de tamaño variable. Presenta aurículas de muy pequeño tamaño y no presenta

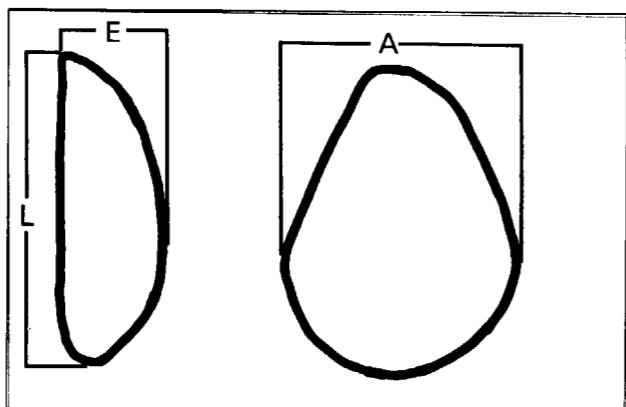


Fig. 4. Dimensiones lineales tomadas en los ejemplares completos de *Plicatula spinosa* Sowerby.

seno bisal. La ornamentación se compone de costillas radiales irregulares, variables en número y anchura, que generalmente se bifurcan con el crecimiento; puede presentar costillas intercalares; además se observan estrías de crecimiento que se hacen en algunos casos más patentes indicando momentos de detención en el crecimiento. Presentan espinas en las costillas.

La línea paleal es simple. Monomiaria, la impresión del músculo aductor es grande en ambas valvas, redondeada y de posición excéntrica hacia la parte posterior. La charnela es de tipo isodonta, simétrica respecto al umbo en cada valva. En la valva derecha aparece una foseta ligamentaria anfidéctica de forma triangular, limitada por una débil lamela, un diente cardinal y una foseta cardinal a cada lado. En la valva izquierda presenta dos dientes cardinales, dos fosetas y a continuación dos débiles dientes a cada lado.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

De los 2440 restos paleontológicos recuperados, 2212 corresponden al taxón *Plicatula spinosa* Sowerby, lo que supone más del 90% del total; los restos acompañantes son braquíópodos (terebatílidos, rinconélidos y spiriféridos) que en número de 125, representan el 5,12% y otros moluscos que suponen el 4,22%. Dentro de esta categoría podemos distinguir 82 ejemplares de otros bivalvos como pectínidos y ostreidos, que

suponen el 80%, 18 restos de belemnites, que representan el 17%, y 2 gasterópodos, que suponen el 2%. También aparecen serpúlidos, que se han desechado del contejo, pues se encuentran siempre adheridos a otros organismos (Fig. 5).

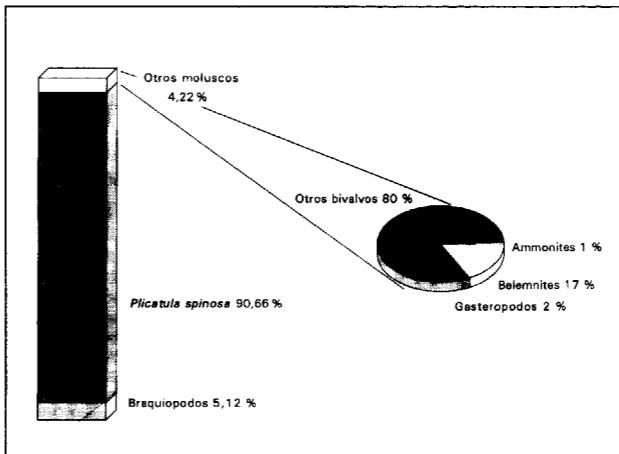


Fig. 5. Relación porcentual de los grupos fósiles obtenidos.

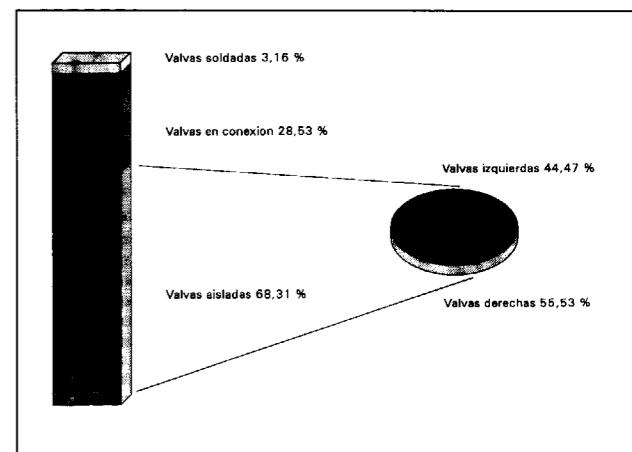


Fig. 6. Relación porcentual de los restos de *Plicatula spinosa* Sowerby.

	Longitud	Anchura	Espesor
Total	622	622	622
Valor mas bajo	8,16	6,74	1,33
Valor mas alto	28,39	20,12	13,31
Variacion	20,23	13,38	11,98
Media	16,39	12,83	4,44
Mediana	16,53	12,95	4,3
Desviacion tipica	2,85	2,15	1,31
Coef. correlacion		0,93	0,73
Cuadrado de Coef. R		0,86	0,53
Coeficiente a		0,04	-2,12
Coeficiente b		0,89	1,28

Fig. 7. Valores estadísticos de las dimensiones tomadas en milímetros.

Dentro de los 2212 restos correspondientes a *Plicatula spinosa* Sowerby podemos distinguir los ejemplares que presentan las dos valvas en conexión, que son 631, y corresponden a un 28,53%; valvas de ejemplares distintos que aparecen soldadas entre sí (70), que representan un 3,16%, y valvas aisladas (1511), que suponen un 68,31%. De estas últimas, existe una mayor cantidad de valvas derechas, que son 839 y corresponden al 55,53%, que de valvas izquierdas, que son 672 y corresponden al 44,47% (Fig. 6).

De los 631 ejemplares que presentan las dos valvas en conexión ha sido posible realizar las 3 medidas ortogonales únicamente a 622, debido al estado fragmentario de los 9 ejemplares restantes. Con estas medidas se realizó el análisis estadístico que se resume en la Fig. 7, donde podemos observar que la longitud varía entre 8,16 mm. y 28,39 mm.; la anchura entre 6,74 mm. y 20,12 mm., y el espesor entre 1,33 mm. y 13,31 mm. La ausencia de elementos de menor tamaño a los valores más bajos puede ser debido a un sesgo metodológico, pues se analizaron los ejemplares retenidos en el tamiz de luz 0,5 cm. aunque se revisó el material del tamiz de luz 0,2

mm y no se encontró ninguna valva entera. También se debe considerar el hecho de que esta especie comienza su crecimiento de forma larvaria, de tal forma que la adquisición de una concha dura debe suceder cuando el individuo alcanza ya un cierto desarrollo.

Si se analizan los gráficos bivariantes A/L (Fig. 8) y E/L (Fig. 9) se puede observar que las nubes de puntos se adaptan a una regresión de tipo exponencial  $y=ax^b$ , que resulta ser  $y=1,04x^{0,8}$  para el primer caso, e  $y=0,11x^{1,28}$  para el segundo, es decir el crecimiento en la especie se produce de forma alométrica. La dispersión de los puntos en los gráficos es débil, por lo que se hallan bastante

suponen el 80%, 18 restos de belemnites, que representan el 17%, y 2 gasterópodos, que suponen el 2%. También aparecen serpúlidos, que se han desechado del conteo, pues se encuentran siempre adheridos a otros organismos (Fig. 5).

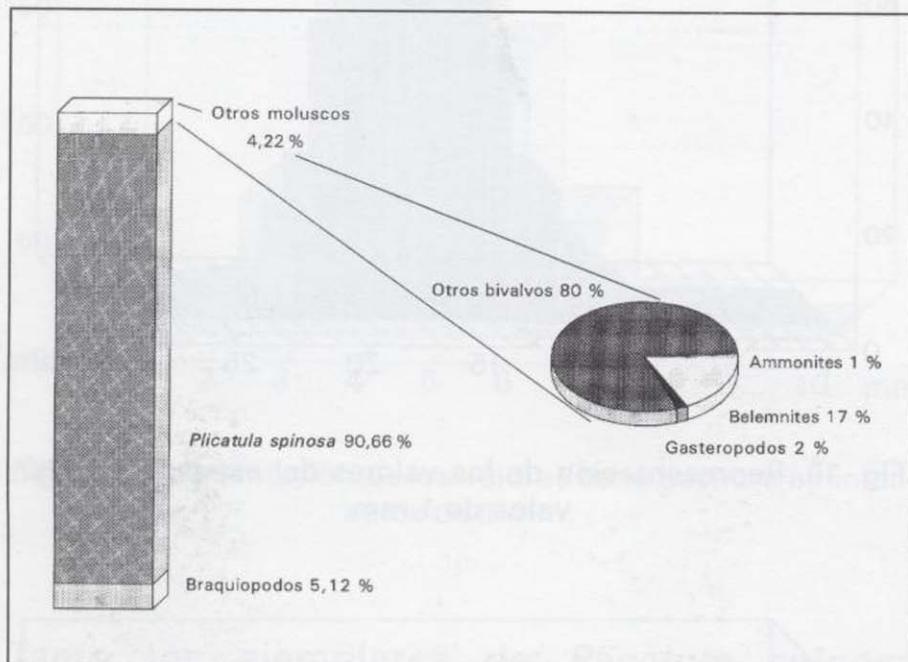


Fig. 5. Relación porcentual de los grupos fósiles obtenidos.

Dentro de los 2212 restos correspondientes a *Plicatula spinosa* Sowerby podemos distinguir los ejemplares que presentan las dos valvas en conexión, que son 631, y corresponden a un 28,53%; valvas de ejemplares distintos que aparecen soldadas entre sí (70), que representan un 3,16%, y valvas aisladas (1511), que suponen un 68,31%. De estas últimas, existe una mayor cantidad de valvas derechas, que son 839 y corresponden al 55,53%, que de valvas izquierdas, que son 672 y corresponden al 44,47% (Fig. 6).

De los 631 ejemplares que presentan las dos valvas en conexión ha sido posible realizar las 3 medidas ortogonales únicamente a 622, debido al estado fragmentario de los 9 ejemplares restantes. Con estas medidas se realizó el análisis estadístico que se resume en la Fig. 7, donde podemos observar que la longitud varía entre 8,16 mm. y 28,39 mm.; la anchura entre 6,74 mm. y 20,12 mm., y el espesor entre 1,33 mm. y 13,31 mm. La ausencia de elementos de menor tamaño a los valores más bajos puede ser debido a un sesgo metodológico, pues se analizaron los ejemplares retenidos en el tamiz de luz 0,5 cm. aunque se revisó el material del tamiz de luz 0,2

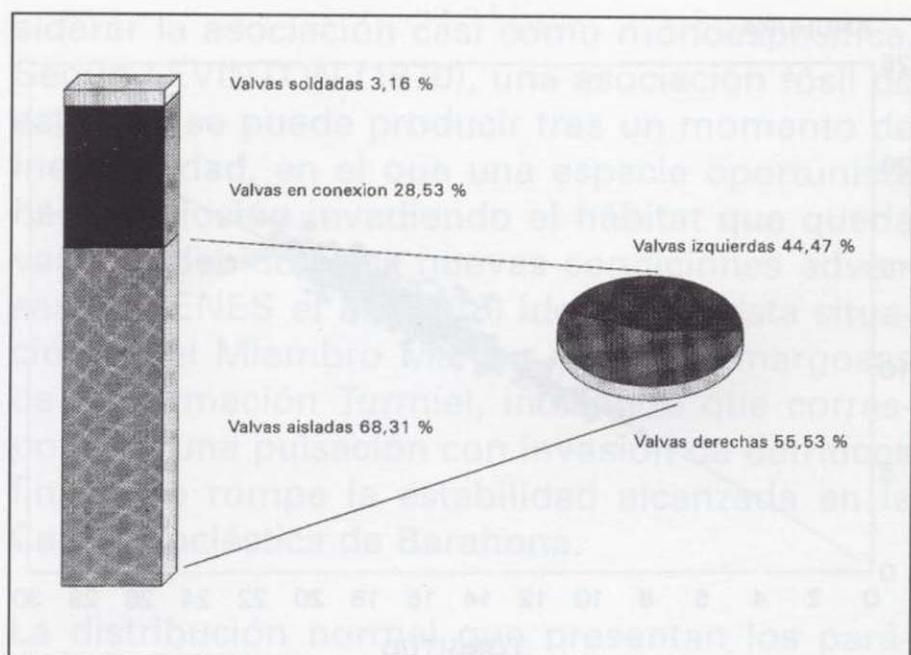


Fig. 6. Relación porcentual de los restos de *Plicatula spinosa* Sowerby.

	Longitud	Anchura	Espesor
Total	622	622	622
Valor mas bajo	8,16	6,74	1,33
Valor mas alto	28,39	20,12	13,31
Variacion	20,23	13,38	11,98
Media	16,39	12,83	4,44
Mediana	16,53	12,95	4,3
Desviacion tipica	2,85	2,15	1,31
Coef. correlacion		0,93	0,73
Cuadrado de Coef. R		0,86	0,53
Coeficiente a		0,04	-2,12
Coeficiente b		0,89	1,28

Fig. 7. Valores estadísticos de las dimensiones tomadas en milímetros.

mm y no se encontró ninguna valva entera. También se debe considerar el hecho de que esta especie comienza su crecimiento de forma larvaria, de tal forma que la adquisición de una concha dura debe suceder cuando el individuo alcanza ya un cierto desarrollo.

Si se analizan los gráficos bivariantes A/L (Fig. 8) y E/L (Fig. 9) se puede observar que las nubes de puntos se adaptan a una regresión de tipo exponencial  $y=ax^b$ , que resulta ser  $y=1,04x^{0,8}$  para el primer caso, e  $y=0,11x^{1,28}$  para el segundo, es decir el crecimiento en la especie se produce de forma alométrica. La dispersión de los puntos en los gráficos es débil, por lo que se hallan bastante

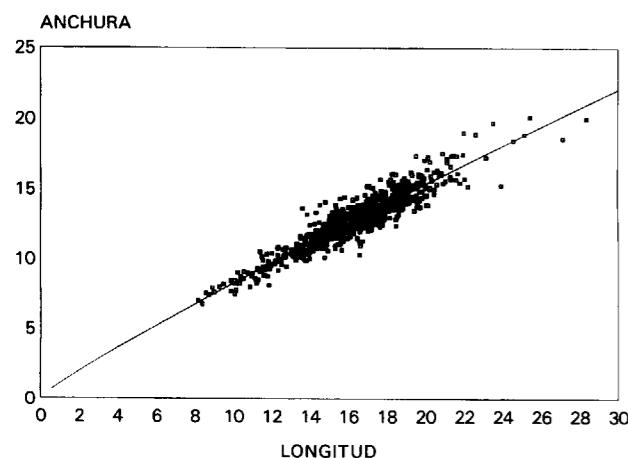


Fig. 8. Gráfico bivariante A/L.

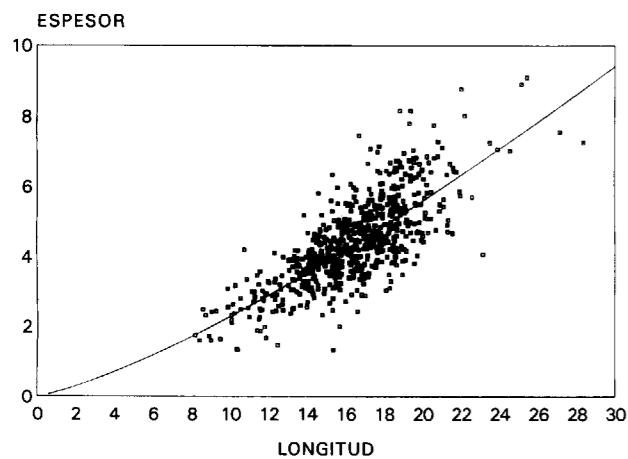


Fig. 9. Gráfico bivariante E/L.

cercanos a la curva obtenida. Esta mínima dispersión indica que la casi totalidad de los ejemplares han seguido el mismo patrón de crecimiento. La dispersión es mayor en el caso del gráfico E/L, debido al aplastamiento de alguno de los especímenes; esto le supone un coeficiente de correlación menor al espesor con respecto a la longitud del que presenta la anchura; aunque en los dos casos los valores son altos: 0,73 para el espesor y 0,93 para la anchura.

Si se observan las representaciones de los valores de longitud, anchura y espesor en intervalos de 1 mm., se puede apreciar que estos parámetros presentan una distribución que se aproxima a la normal (Figs. 10, 11 y 12).

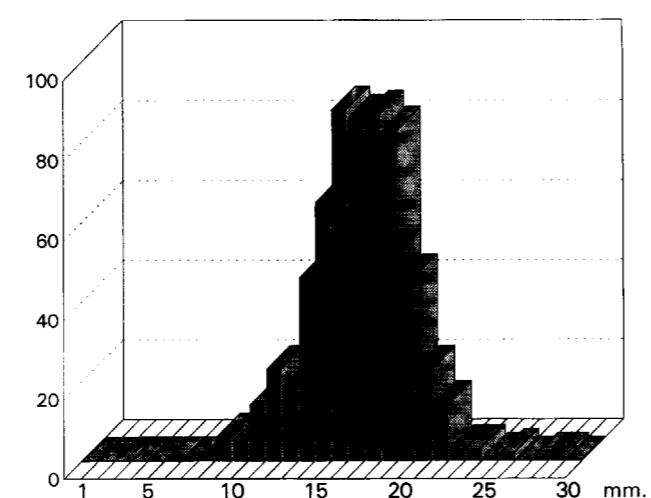


Fig. 10. Representación de los valores del espesor en intervalos de 1 mm.

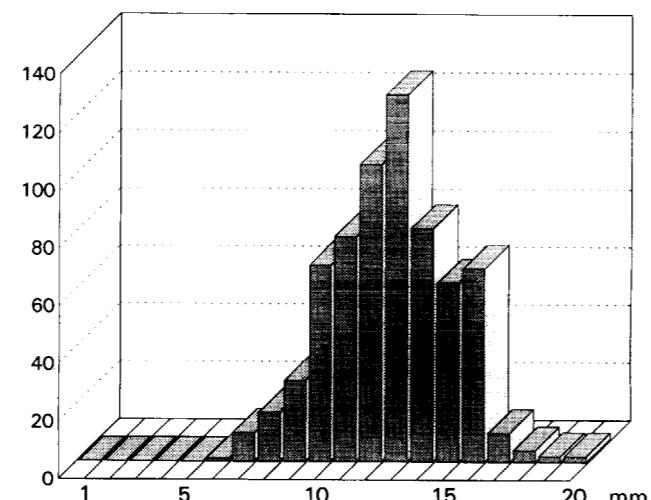


Fig. 11. Representación de los valores de la longitud en intervalos de 1 mm.

#### ANÁLISIS TAFONÓMICO

Si hacemos un análisis de la asociación de restos encontrados, lo primero que llama poderosamente la atención es la gran proporción de ejemplares del taxón *Plicatula spinosa* Sowerby, que representa más del 90 % del total.

Entre los otros restos, cabe destacar como único acompañante importante a los braquiópodos, que también son bentónicos.

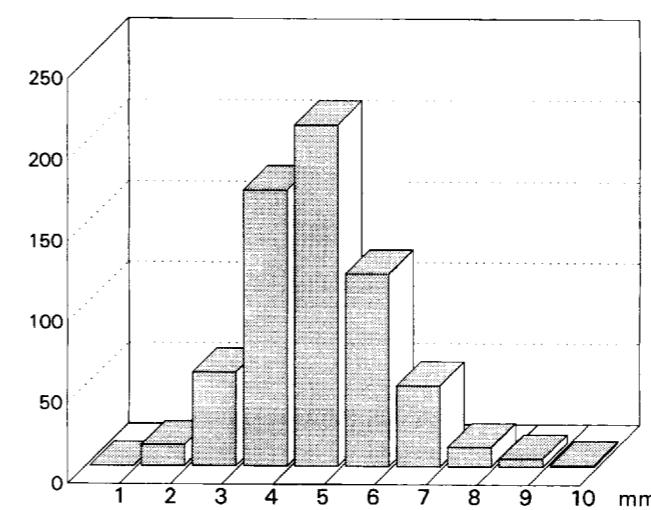


Fig. 12. Representación de los valores de la anchura en intervalos de 1 mm.

siderar la asociación casi como monoespecífica. Según LEVINTON (1970), una asociación fósil de este tipo se puede producir tras un momento de inestabilidad, en el que una especie oportunista hace explosión invadiendo el hábitat que queda vacante debido a las nuevas condiciones adversas. YÉBENES *et al.* (1978) identifican esta situación en el Miembro Margas y Calizas margosas de la Formación Turmiel, indicando que corresponde a una pulsación con invasión de detriticos finos que rompe la estabilidad alcanzada en la Caliza Bioclástica de Barahona.

La distribución normal que presentan los parámetros longitud, anchura y espesor nos hace pensar que se puede tratar de una comunidad de vida.

La gran proporción de ejemplares con las dos valvas en conexión nos indica que el transporte sufrido por los restos ha sido muy escaso, teniendo en cuenta que presentan una charnela muy débil, y por lo tanto, las valvas se desconectan fácilmente. También apunta esta idea el hecho de que la proporción entre las valvas izquierdas y las derechas sea cercana a uno, ya que éstas son muy diferentes entre sí, y presentan una hidrodinámica distinta. Todo ello nos indicaría que se ha producido una escasa selección en un ambiente de baja energía y con una alta tasa de sedimentación.

La presencia de los demás restos (ammonites, belemnites, ostreidos y pectínidos) en estado fragmentario podría quedar explicado por su arrastre debido a corrientes antes de que se produjera la explosión y proliferación de la especie *Plicatula spinosa* Sowerby.

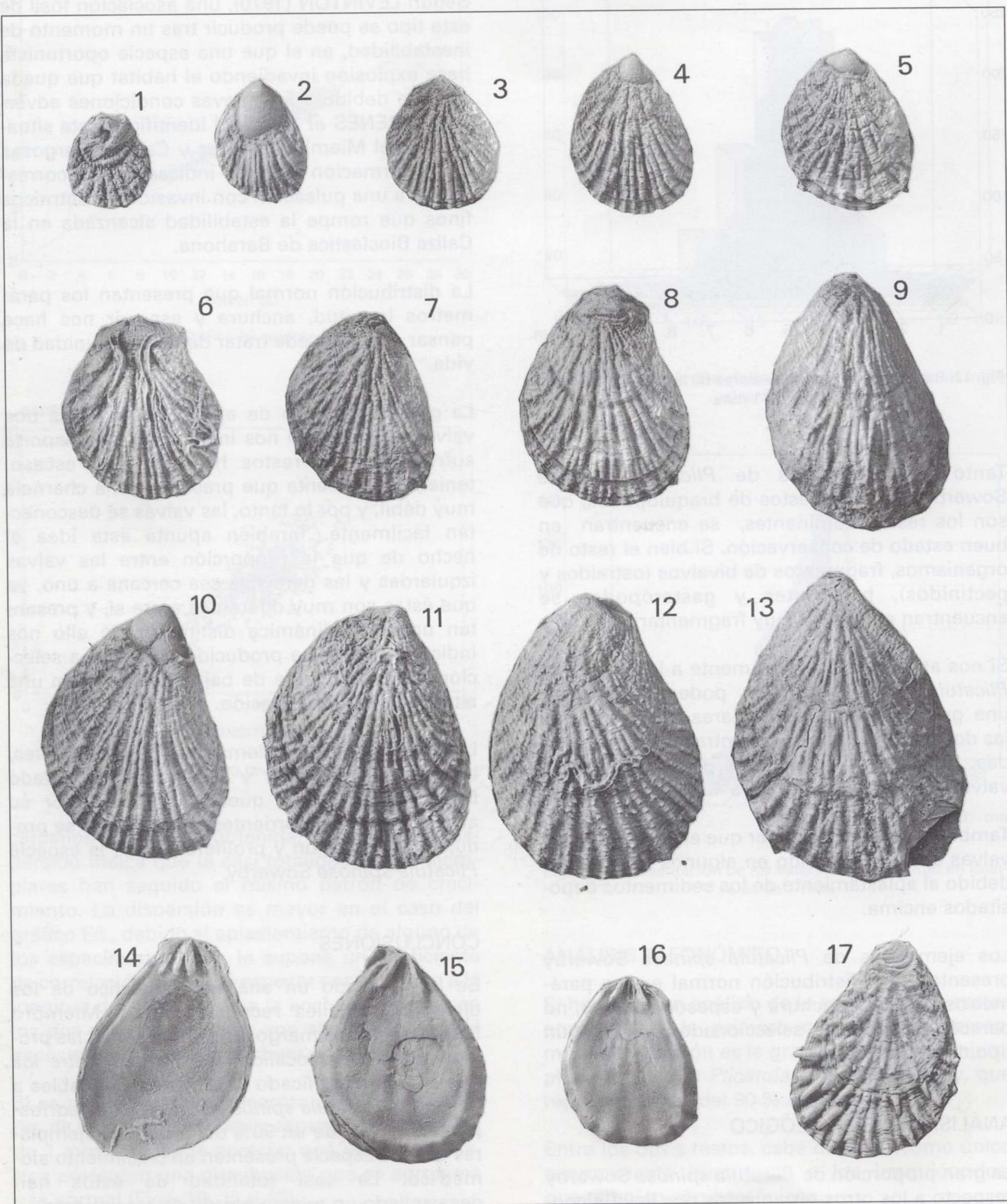
#### CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis estadístico de los ejemplares fósiles recogidos en el Miembro Margas y calizas margosas de Turmiel en las proximidades de la localidad de Turmiel, entre los que se han identificado 2212 restos asignables a la especie *Plicatula spinosa* Sowerby, que corresponden a más de un 90% del total. Los ejemplares de esta especie presentan un crecimiento alo-métrico. La casi totalidad de éstos han desarrollado un mismo patrón de crecimiento.

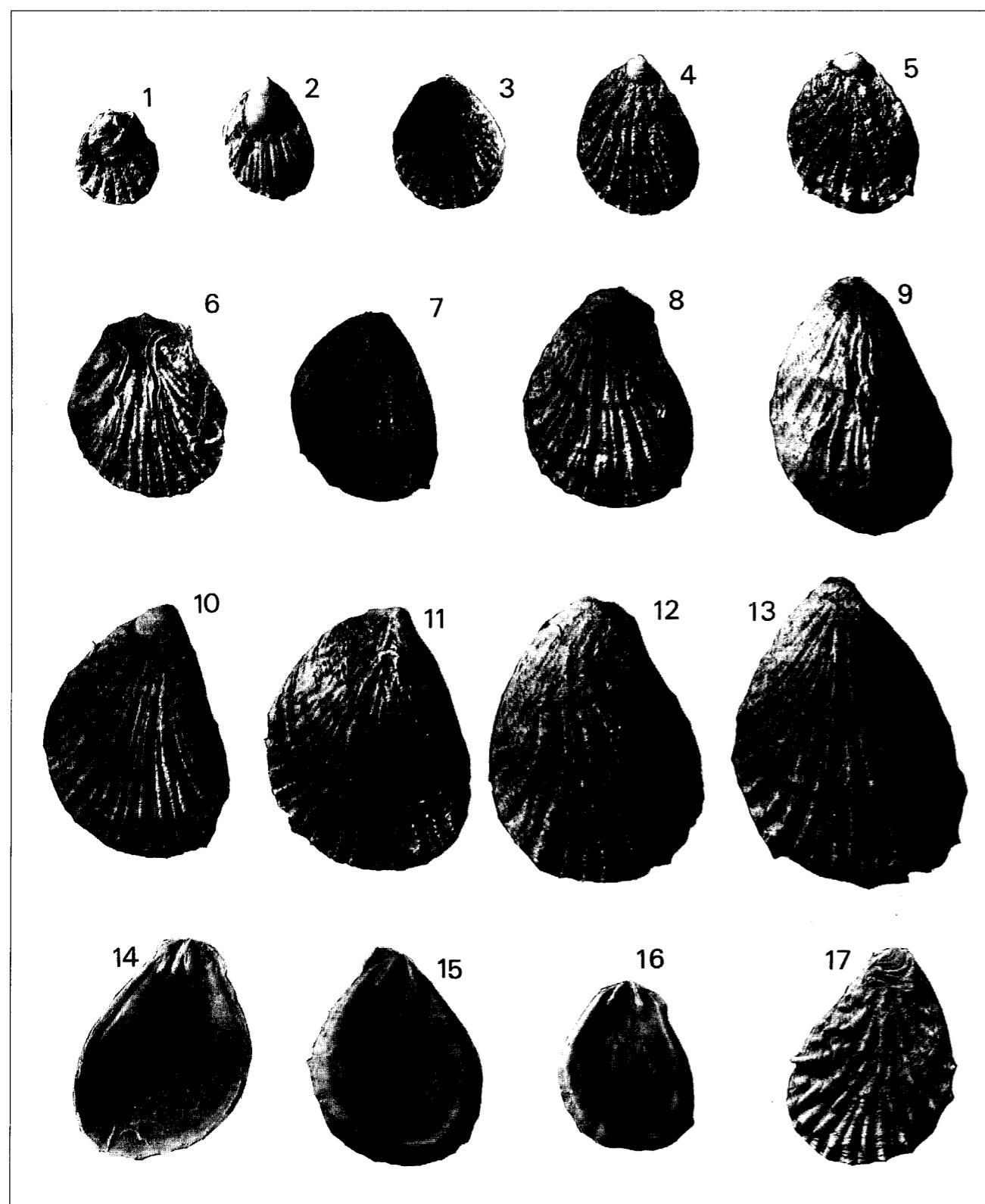
#### ANÁLISIS PALEOECOLÓGICO

La gran proporción de *Plicatula spinosa* Sowerby respecto a los otros organismos nos lleva a con-

## LÁMINA 1



## LÁMINA 1



10

15

16

17

14

Se trata de una asociación de vida casi monoespecífica cuyo componente fundamental es el bivalvo *Plicatula spinosa* Sowerby. Esta se comporta como una especie oportunista, que se instala en un ambiente desfavorable después de un momento de inestabilidad. El ambiente donde se desarrolla es de baja energía y alta tasa de sedimentación.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a ANTONIO GOY e ISABEL RÁBANO por la lectura crítica de este manuscrito y a ULY MARTÍN por las fotografías que ilustran este trabajo.

## REFERENCIAS

- ARÁNZAZU, J. M. (1877): Apuntes para una descripción físico-geológica de las provincias de Burgos, Logroño, Soria y Guadalajara. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 4, 1-47.
- BEHTEL, H. y GEYER, O. (1966): Beiträge zur Stratigraphie und Paläontologie des Jura von Ostspanien III: Stratigraphie und Fossilführung im Unterjura von Albarracín (prov. de Teruel). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 124 (1), 1-52.
- BERNAD, J. (1997). Catálogo de los bivalvos del Lías español depositados en el Museo Geominero (ITGE, Madrid). *Boletín Geológico y Minero*, 108 (1), 3-28.
- BRONN, H. G. (1824). System der urweltlichen Konchylien durch Diagnose, Analyse und Abbildung der Geschlechter erläutert. Heidelberg.
- CALDERÓN (1898). Existencia del infraliásico en España y geología fisiográfica de la Meseta de Molina de Aragón. *Anales de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 27, 177-206.
- CALVO, L. (1895). Geología de los Alrededores de Albarracín.
- D'ORBIGNY (1906-23). *Types du Prodome de Paléontologie stratigraphique Universelle d'Alcide d'Orbigny. Publiés sous la direction de Marcellin Boule*. Tome I: 1-203. Masson et Cie éditeurs. Paris.
- D'ORBIGNY, A. (1850). *Prodrome de paléontologie stratigraphique universelle des animaux mollusques et rayonnés*. 1: IX + 394 pp; 2: 427pp; 3: 189 pp. Paris (Viktor Massin).
- GOLDFUSS 1834-1840. *Petrefacta Germaniae. Part 2 Acephales*: 312 pp. Düsseldorf.

## LÁMINA 1

Figs. 1-13: Sucesión ontogenética de *Plicatula spinosa* Sowerby en los alrededores de Turmiel, representada por las vistas externas de las valvas izquierdas de 13 ejemplares completos.

Fig. 14: Vista interna de una valva izquierda de *Plicatula spinosa* Sowerby.

Figs. 15, 16. Vista interna de dos valvas derechas de *Plicatula spinosa* Sowerby.

Fig. 17. Vista externa de una valva derecha de *Plicatula spinosa* Sowerby.

*Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 30: 319-348.

CASTEL, C. (1881). Descripción física, geognóstica, agrícola y forestal de la provincia de Guadalajara. II. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*. VII: 157-264.

COMAS-RENGIFO, M. J. (1982) El Pliensbachiano de la Cordillera Ibérica. *Tesis Doctoral Universidad Complutense Madrid*, 594 pp.

COMAS-RENGIFO, M. J.; GÓMEZ, J. J.; GOY, A.; ARIAS, C. F.; BERNAD, J.; GARCÍA-JORAL, F.; HERRERO, C.; MARTÍNEZ, G. y PERILLI, N. (1996). The Toarcian in the Rambla del Salto (Sierra Palomera) section. 1st Toarcian and 4th Aalenian working groups meeting. [Fieldtrip Iberian Range Guide-Book]. Department of Paleontology, Universidad Complutense de Madrid (edit.): 27-48.

CORTÁZAR, D. (1875). Descripción física, geológica y agrológica de la provincia de Cuenca. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 3: XVI + 406 pp.

CORTÁZAR, D. (1885). Bosquejo Físico-Geológico y Minero de la Provincia de Teruel. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, XII: 263-607.

CHAPUIS, F. y DEWALQUE, C. (1853). Description des fossiles des terrains secondaires de la province de Luxembourg. *Memoires de la Académie Royale de Belgique*, 25: 303 pp.

DECHASEAUX (1937). *Harpax spinosus* SOWERBY et ses variétés *parkinsoni* BRONN et *pectinoides* LAMARCK. *Bulletin de la Société Géologique de France* (5), t.7: 243-256.

DESLONGCHAMPS, E. (1858). Essai sur les Plicatules fossiles des terrains du Calvados. *Memoires de la Société Linnéenne de Normandie*, 11: 1-164.

D'ORBIGNY (1906-23). *Types du Prodome de Paléontologie stratigraphique Universelle d'Alcide d'Orbigny. Publiés sous la direction de Marcellin Boule*. Tome I: 1-203. Masson et Cie éditeurs. Paris.

D'ORBIGNY, A. (1850). *Prodrome de paléontologie stratigraphique universelle des animaux mollusques et rayonnés*. 1: IX + 394 pp; 2: 427pp; 3: 189 pp. Paris (Viktor Massin).

GOLDFUSS 1834-1840. *Petrefacta Germaniae. Part 2 Acephales*: 312 pp. Düsseldorf.

GOY, A. (1971). El límite Pliensbachiense-Toarciano en Establés (Guadalajara). *Estudios geológicos*, XXVII: 297-304.

GOY, A. (1974): *El Lías de la mitad Norte de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica*. Tesis Doctoral Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid, XV + 940 p. (Inéd.), Resumen: *Publicaciones del Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid*, 14, 1-35.

GOY, A.; GÓMEZ, J. J. y YÉBENES, L. (1976): El Jurásico de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica (mitad Norte). I Unidades Litoestratigráficas. *Estudios geológicos*, 32, 391-423.

GOY, A.; MARTÍNEZ, G.; ARIAS, C.; BERNAD, J.; GARCÍA-JORAL, F.; GÓMEZ, J.J.; HERRERO, C.; PERILLI, N. y URETA, S. (1996a). The Toarcian in the sector located between La Almunia de Doña Godina and Riela. *1st Toarcian and 4th Aalenian working groups meeting. [Fieldtrip Iberian Range Guide-Book]*. Department of Paleontology, Universidad Complutense de Madrid (edit.): 3-23.

GOY, A. y ROBLES, F. (1975): El Jurásico de Turmial (Guadalajara). *Estudios geológicos*, 31, 261-283.

LEVINTON, J. S. (1970). The paleoecological significance of opportunistic species. *Lethaia*, 3, 69-78.

MALLADA, L. (1885): Sinopsis de las especies fósiles que se han encontrado en España. T. II, Terreno Mesozoico (Sistemas Triásico y Jurásico). *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 2 (XII), 1-150.

MELÉNDEZ HEVIA, F. y RAMÍREZ DEL POZO, J. (1972). El Jurásico de la Serranía de Cuenca. *Boletín Geológico y Minero* 83: 313-342.

MOJICA, J. (1979): Über das Mesozoikum im zentralen Teil des nordöstlichen Keltiberikums (Ateca-Schwelle, Umgebung von Nuévalos, Provinz Zaragoza, Spanien). *Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart*, 74, 1-70.

MOUTERDE, R.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, S.; GOY, A.; LINARES, A.; RIVAS, P.; RUGET, C. H. y SUÁREZ-VEGA, L. C. (1978): El Jurásico en la región de Obón (Teruel). *Grupo Español del Mesozoico; Cordillera Ibérica*, 11, (Extr. guía excursiones), 13 p.

PALACIOS, P. (1890). Descripción física, geológica y agrológica de la provincia de Soria. *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 16: 558 pp.

PARKINSON (1811). Observations of some fossil of the strata in the neighbourhood of London. *Transactions Geological Society of London*, I: 420 p. London.

PHILLIPS (1829). *Illustrations of the geology of the Yorkshire Coast*. 192 pp. London (Wilson & Sons).

RÍOS, J. M.; GARRIDO, J. y ALMELA, A. (1944). Reconocimiento geológico de una parte de las provincias de Cuenca y Guadalajara. 1<sup>a</sup> parte. La región de Cuenca-Priego-Cifuentes. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 42: 107-125.

SOWERBY, J. y SOWERBY, J. C. (1818-1846). *Mineral conchology of Great-Britain*. 7 Vol. 1287 pp. B. Meredith London.

TORRUBIA, F.J. 1754. Aparato para la Historia Natural Española. Madrid. Tomo primero. 204 pp.

TRICALINOS, J. (1928): Untersuchungen über den Bau der Keltiberischen Ketten der nordöstlichen Spaniens. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 80 (4), p. 409-482, 3 I., Berlin.

VERNEUIL y COLLOMB (1853). Coup d'oeil sur la constitution géologique de quelques provinces de l'Espagne. *Bulletin Société Géologique de France*, 2<sup>a</sup> Ser., tomo X.

WESTERMAN, G. (1957). Investigaciones bioestratigráficas en el Jurásico de la Sierra de la Demanda (Norte de España). *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 45: 179-214.

YÉBENES, A.; GOY, A. y COMAS-RENGIFO, M.J. 1978. El Lías en el Sector Septentrional de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. *Grupo Español de Mesozoico, Jurásico de la Cordillera Ibérica*. (Guía de Excusiones Jurásico de la Cordillera Ibérica). I, 29 pp., Madrid.

ZIETEN, C. H. (1830). Die Versteinerungen Würtembers. Stuttgart. 1-102.

Original recibido: Marzo de 1998.

Original aceptado: Noviembre de 1998.

## PROPUESTA DE NUEVA NOMENCLATURA PARA LAS UNIDADES DEL CARBONÍFERO INFERIOR DEL SECTOR NORTE DEL ÁREA DEL GUADIATO (CÓRDOBA).

Por P. CÓZAR (\*) y S. RODRÍGUEZ (\*)

### R E S U M E N

Los afloramientos del Carbonífero existentes en los alrededores del Río Guadiato, son conocidos desde antiguo pero presentan muchos problemas nomenclaturales, ya que se han mezclado los nombres utilizados para la cuenca minera de la región con los aplicados a las unidades correspondientes al Carbonífero Inferior. Esta mezcla ha llevado a la confusión en el uso del término de cuenca en sentido sedimentológico con el de cuenca en sentido geográfico o minero. En este artículo se proponen una serie de términos nuevos para evitar esta confusión. La cuenca carbonífera Westfaliana debería denominarse Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel, denominación ya clásica, pero proponemos el término Mississippiana del Área del Guadiato para los afloramientos del Carbonífero inferior.

Asimismo, el estudio en detalle de la estratigrafía del Carbonífero Inferior del área ha permitido comprobar que su división en banda meridional y central (Pérez-Lorente, 1979) es cuanto menos incompleta, por lo que se propone una nueva división en Unidad del Fresnedoso (equivalente a la antigua banda meridional), Unidad de la Sierra del Castillo y Unidad de San Antonio-La Juliana (consideradas previamente como una unidad denominada banda central). Debido a las variaciones litológicas existentes en la zona y a la escasa continuidad lateral de la mayor parte de los cuerpos litológicos de la zona, no se han establecido unidades litoestratigráficas formales.

**Palabras clave:** Ossa-Morena, Viseense superior, Serpujoviense, Unidad del Fresnedoso, Unidad de la Sierra del Castillo y Unidad de San Antonio-La Juliana.

### A B S T R A C T

The nomenclature about the Carboniferous from the Guadiato Valley is confuse and inaccurate. Some terms such as Guadiato Basin and Belmez Basin have been used both, for describing the Westphalian basin and the whole Carboniferous area, and both in the mining sense and the sedimentologic sense. A historic revision of the terms used is shown on Table 1 and 2.

The Westphalian coal basin is completely independent from older Carboniferous outcrops. It should be called Peñarroya-Belmez-Espiel Basin. On the contrary, the Viséan and Namurian outcrops from Guadiato Valley belonging to a single basin which also comprises the Viséan outcrops from Pedroches, Berlanga, Matachel, etc. (Fig. 1) are called as Mississippian from Guadiato Area.

Some new terms are proposed for the units previously described as "banda meridional" and "banda central". "Fresnedoso Unit" is proposed for the previously called "banda meridional"; the previously called "banda central" is divided in two units: a) "Sierra del Castillo Unit" which comprises upper Viséan limestone outcrops located close to the Fresnedoso Unit and bounded by thrusts; and b) "San Antonio-La Juliana Unit" which comprises terrigenous and calcareous rocks, Namurian (Serpukhovian) in age.

**Key words:** Upper Viséan, Serpukhovian, Fresnedoso Unit, Sierra del Castillo Unit, San Antonio-La Juliana Unit, Ossa-Morena.

(\*) Departamento de Paleontología de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s.n., 28034, Madrid, E-mail: Sergrodr@eucmax.sim.ucm.es

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es la propuesta de una nueva terminología para la denominación de las unidades estructurales con sucesiones estratigráficas diferenciadas existentes en el Área del Guadiato, que han sido puestas de relieve durante los trabajos correspondientes a los proyectos PB91-0082 y PB96-0842, y especialmente durante la realización de la Tesis Doctoral del primer firmante.

El Área del Guadiato, ha sido tradicionalmente incluida en la Zona de Ossa-Morena, que está dividida en zonas o dominios, definidos fundamentalmente en los trabajos de CHACÓN et al. (1974), y DELGADO-QUESADA et al. (1977). Los límites de Ossa-Morena, y por tanto los dominios, son ampliamente discutidos por diversos problemas. Existen trabajos más recientes que los anteriormente citados, donde los dominios son actualizados, tales como APALATEGUI et al. (1985c), GABALDÓN et al. (1985a, 1985b), o FALCES (1998).

La zona de estudio se halla comprendida en las hojas 879 (Peñarroya-Pueblonuevo), 880 (Espiel) y 901 (Villaviciosa de Córdoba), del Mapa Geológico de España Escala 1:50.000, en la provincia de Córdoba (Fig. 1). En ella destacan las poblaciones de Peñarroya-Pueblonuevo, Belmez, Espiel y Villaharta; está atravesada por los embalses de San Pedro, Guadiato, Sierra Boyera y Puente Nuevo, todos ellos a lo largo del curso del Río Guadiato. Orográficamente dentro del área Carbonífera del Guadiato, destacan las zonas de Sierra Boyera, Sierra Palacios, Sierra del Castillo, La Sierra de la Estrella y Cerro Cabello, cuyos vértices geodésicos son respectivamente 585, 628, 770, 710 y 670 metros. Los afloramientos se encuentran en un valle rodeado por materiales más duros (fundamentalmente del Precámbrico), que forman las Sierras que lo delimitan.

Los materiales carboníferos, se encuentran limitados entre sí por fracturas y discordancias de dirección NO-SE, y a su vez, también limitados por fracturas en la misma dirección, separando de esta forma las tres bandas (meridional, central y septentrional), mencionadas tradicionalmente por diversos autores.

La estructura de estos materiales está bastante

clara en lo que respecta a la banda septentrional, constituida por un gran sinclinal, con una fractura en su charnela, y con desplazamiento de los materiales (WAGNER y JURADO, 1988). La formación de este sinclinal ha sido explicada posteriormente (WAGNER 1998) más que por esfuerzos perpendiculares, por movimientos laterales. Esta banda está constituida por materiales terrígenos de edad Westfaliense.

La banda meridional queda casi siempre representada como una serie de pequeños anticlinales y sinclinales, en función de la potencia de afloramiento que alcance. Está constituida por lutitas, limolitas y areniscas con algunos niveles de calizas y conglomerados.

La banda central está constituida por materiales muy diversos; hay zonas con abundancia de terrígenos gruesos, pero en general predominan lutitas y margas en las que se emplazan olistolitos de materiales carbonatados. En otras zonas se localizan alternancias de materiales carbonatados y terrígenos. Esta banda presenta problemas de interpretación, pues en ocasiones se representa como un sinclinal completo, y en otras ocasiones como una rampa monocinal. En la mayor parte de las ocasiones, cuando se representa como una rampa monocinal, ésta lo hace adaptándose en profundidad a los sinclinales formados en los materiales circundantes. En cualquier caso la estructura real de esta banda parece ser muy compleja y nuestros estudios sedimentológicos, lito- y bioestratigráficos prueban la existencia de dos unidades estructurales muy distintas.

## REVISIÓN HISTÓRICA DEL PROBLEMA

Los afloramientos del Carbonífero existentes en los alrededores del Río Guadiato, son conocidos desde antiguo pero presentan muchos problemas nomenclaturales de dos tipos principalmente. Por un lado la denominación de conceptos diferentes con un mismo término; se han mezclado los nombres utilizados para la cuenca minera de la región con los aplicados a las unidades correspondientes al Carbonífero Inferior. Esta mezcla ha llevado a la confusión en el uso del término de cuenca en sentido sedimentológico con el de cuenca en sentido geográfico o

minero. Por otro lado la diferenciación de bandas o dominios debe ser modificada a la vista de los nuevos datos lito- y bioestratigráficos.

Para resolver el primer problema se hace precisa una revisión de los términos utilizados y de su mayor o menor propiedad o utilidad. La revisión completa de los antecedentes con discusiones detalladas sería demasiado extensa. Por ello se presenta aquí un resumen en las tablas 1 y 2 y se incluyen comentarios sobre las referencias más importantes. En las tablas se incluye(n) el nombre o nombres utilizados por cada autor(es), especificando los materiales que se incluyen bajo esas denominaciones; se hace siempre referencia a las bandas meridional, central y septentrional, que en los trabajos de APALATEGUI et al. (1985a, 1985b) y APALATEGUI y ROLDÁN (1985), quedan bastante bien definidas.

Como se puede ver en la tablas, los primeros nombres que se usaron para los materiales de la zona estaban íntimamente ligados a las minas de carbón de la zona, fundamentalmente refiriéndose a los materiales como Cuenca de Belmez. Como sabemos actualmente, bajo esta denominación algunos de los primeros autores incluían también sedimentos correspondientes a las bandas central, y meridional, pues se llegan a describir rocas carbonáticas que están ausentes en la cuenca Westfaliense (Tabla 1).

CARANDEL (1922) es el primero en citar el nombre de Peñarroya-Belmez-Espiel, pero la califica como "mancha moscoviena", y se refiere claramente a los materiales de las bandas central y septentrional.

Los nombres utilizados durante un amplio período de tiempo son bastante homogéneos, refiriéndose a la cuenca de Belmez, hasta que ORTUÑO (1971) retoma el nombre de Peñarroya-Belmez-Espiel para los materiales de la banda septentrional. Previamente (en el mismo artículo), utiliza Cuenca del Guadiato para los materiales con carbón, refiriéndose también a la banda septentrional. Para complicar aún más la nomenclatura, utiliza también Cuenca del Guadiato refiriéndose a las tres bandas. De esta forma se mezclan diversas denominaciones, lo que ha provocado que algunos autores hayan utilizado el nombre de la Cuenca del Guadiato refi-

riéndose a la banda septentrional o a las tres bandas, e infiriendo la autoría del nombre a este mismo artículo de Ortúño.

Se puede decir que es a partir de este artículo que quedan en la literatura los nombres de Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel y Cuenca del Guadiato. El primero de estos nombres ha sido utilizado con un único significado, englobando los materiales de la banda septentrional. Bajo el nombre de Cuenca del Guadiato se han incluido las tres bandas, y en algunas ocasiones se ha considerado que la denominación Cuenca del Guadiato incluye la Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel.

La definición de las bandas meridional, central y septentrional tradicionalmente se ha atribuido a PÉREZ-LORENTE (1979). Este autor en ningún momento se refiere a los materiales con esos nombres, sino que describe una serie de rocas sedimentarias e ígneas separadas por cabalgamientos. La existencia de las tres bandas se entresaca de todas las descripciones expuestas en el trabajo, pero nunca con una referencia directa.

En realidad, la denominación de las tres bandas se presenta en los trabajos de APALATEGUI et al. (1985a, 1985b) y APALATEGUI y ROLDÁN (1985), que redefinen las bandas como "Unidad detrítica en facies culm" (banda meridional), "Unidad detrítico-carbonatada" (banda central) y "Unidad detrítica en facies continental" (banda septentrional).

El principal problema nomenclatural que se ha venido arrastrando es el significado del término cuenca como conjunto de materiales y localización geográfica en la que se está explotando un mineral (en este caso carbón), y el significado de Cuenca como conjunto de materiales que se depositaron estratigráficamente a la vez y en conexión o de manera sucesiva con una continuidad en la génesis de los mismos.

El nombre de cuenca de Belmez estaba basado fundamentalmente en la explotación minera. Los nombres de Cuenca del Guadiato y de Peñarroya-Belmez-Espiel parecen tener en cuenta la génesis de los materiales. Los materiales del Westphaliense se formaron en una cuenca independiente

AUTOR O AUTORES	NOMBRE DE LA CUENCA	MATERIALES IMPLICADOS
Parrán 1876	Cuenca de Belmez	Banda central y septentrional.
Mallada 1880	Cuenca de Belmez-Espiel "posible Devoniano"	Banda central y septentrional. Banda meridional.
Calderón 1892	Cuenca de Belmez Cuenca de Espiel	Con significado de cuenca hullera, incluyendo banda central y septentrional.
Mallada 1899	Cuenca de Belmez	Banda meridional, central y septentrional.
Groth 1911a	Cuenca de Belmez	Banda central y septentrional.
Groth 1911b	Cuenca de Belmez	Banda central y septentrional.
Groth 1914	Cuenca de Belmez o Cuenca de Belmez-Adamuz	Banda central y septentrional.
Mallada y Carbonell 1914	Cuenca de Belmez	Banda meridional, central y septentrional.
Carbonell 1920	Cuenca de Belmez o Cuenca de Belmez-Adamuz	Banda meridional, central y septentrional.
Carandel 1922	Mancha Moscoviene de Peñarroya-Belmez-Espiel	Banda central y septentrional.
López Agós 1923	Cuenca de Belmez	Banda meridional, central y septentrional.
Carbonell 1926	Cuenca de Belmez	Banda meridional, central y septentrional.
Carbonell 1927	Cuenca de Belmez	Banda meridional, central y septentrional.
Mallada 1927	Cuenca de Belmez	Banda meridional, central y septentrional.
Carbonell 1929	Cuenca de Belmez-Adamuz	Banda central y septentrional.
Weisflog 1963	Depresión Belmez-Vacar	A nivel geográfico.
Carbonell 1929	Cuenca de Belmez-Adamuz	Banda central y septentrional.
Delgado-Quesada 1971	Cuenca carbonífera de Belmez-Espiel	Banda central y septentrional (meridional ?).
Ortuño 1971	Cuenca del Guadiato	Banda septentrional.
	Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel	Banda meridional, central y septentrional. Banda septentrional.
Cabanás y Cabanás 1974	Valle del Rio Guadiato	A nivel geográfico.
Delgado-Quesada et al. 1977	Cuenca de Peñarroya-Espiel	Banda septentrional
Pérez-Lorente 1979	Cuenca hullera de Belmez	Banda central y septentrional.
Mamet y Martínez 1981	Valle del Guadiato	A nivel geográfico.
Andrewis y Wagner 1983	Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel	Banda septentrional.
Cueto et al. 1983	Cuenca del Guadiato, que incluye la Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel	Banda meridional, central y septentrional. Banda septentrional.
Gabaldón et al. 1983a	Cuenca de Peñarroya-Belmez o Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Gabaldón et al. 1983b	Materiales del Guadiato	Banda meridional, central ? y septentrional ?.
Gabaldón et al. 1983c	Área del Guadiato Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel	Banda meridional, central y septentrional. Banda septentrional

Tabla 1.- Denominaciones utilizadas por los diferentes autores al referirse al Carbonífero de la zona. Se relaciona con las bandas definidas por Pérez-Lorente (1979). Los datos recogidos incluyen el período entre 1876 y 1983.

del resto de los materiales. Esto es aceptado por la mayoría de los autores. Esta cuenca ha sido interpretada como una cuenca de "pull-apart" (GABALDÓN y QUESADA, 1986), y como una cuenca de tipo "strike-slip" (WAGNER, 1998).

La denominación de Cuenca del Guadiato ha sido utilizada también por APALATEGUI et al. (1985a, 1985b) y APALATEGUI y ROLDÁN (1985). En ella incluyen la unidad detrítica en facies continental, la unidad detrítico-carbonatada y la unidad detrítica en facies culm.

La denominación **Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel** (ORTUÑO, 1971) fue propuesta para englobar exclusivamente los materiales westfalianos y se la puede situar perfectamente al incluir las principales localidades del área. Por ello la consideramos idónea para la banda septentrional. Por el contrario no deberían utilizarse Cuenca de Belmez, Belmez-Espiel, Belmez-Adamuz y Guadiato, ya que originalmente no se utilizaron con esta acepción restrictiva y/o el término cuenca no tiene sentido para aplicar a diversas unidades que no tienen relación sedimentaria en origen.

Una vez caracterizada la Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel, que a partir de este momento vamos a considerar como totalmente independiente del resto de los carboníferos existentes, un punto que también parece claro es que los materiales de edad Viseense y Namuriense pertenecían originalmente a una única cuenca. Esto podría llevar a caer en el error de asignarles un nombre. Hemos querido destacar lo de error, no en el sentido genético, sino en el de extensión geográfica de la cuenca, que como es sabido, debido a la fuerte tectónica de Ossa-Morena, puede ser muy distinta de la paleogeografía en la que se depositaron los materiales. Por tanto, lo primero que tendríamos que hacer es delimitar la cuenca o materiales interrelacionados entre los diferentes afloramientos de rocas del Carbonífero Inferior.

La única reconstrucción paleogeográfica de los materiales del Viseense de Ossa-Morena incluye las zonas del Guadiato, Pedroches, Berlanga, etc. (GABALDÓN et al. 1983a, 1983c, 1985a, 1985b, GABALDÓN 1990b). En algunos de estos artículos se utiliza la denominación de **Cuenca carboní-**

**fera del Norte de Ossa-Morena.** Nos parece adecuado para definir estos afloramientos actualmente separados por materiales del Precámbrico, Cámbrico, etc., pero que originalmente formaban una única cuenca sedimentaria. Esto no significa que estemos de acuerdo con todos los detalles del modelo de reconstrucción paleogeográfica, pero sí asumimos que el resultado final de la reconstrucción debe ser parecido al propuesto por dichos autores. Por tanto el nombre de la cuenca es bastante acertado, tanto por los materiales que incluye como su localización geográfica actual. Podría plantearse sin embargo, que según algunos autores parte de estos materiales quedarían fuera de Ossa-Morena propiamente dicha.

Asumiendo entonces en la zona del Guadiato sólo estamos observando una parte de la cuenca, deberíamos referirnos a estos afloramientos bajo el calificativo de **Área del Guadiato.** Hasta el momento, y según la revisión bibliográfica realizada, las áreas que consideramos incluidas en la Cuenca carbonífera del Norte de Ossa-Morena son Berlanga, Matachel, El Casar, Campillo de Llerena, Benajarafe, Guadiato-Guadalmellato, Guadalbarbo y Pedroches (Fig. 1A).

Las áreas que están relacionadas con dicha cuenca pueden tener una variación en edad desde el Tournaisiense-Viseense como Benajarafe (WAGNER et al., 1983a), hasta el Namuriense en la banda central del Guadiato (WAGNER et al., 1983a y RODRÍGUEZ et al., 1996). En esta agrupación hemos separado algunas cuencas como la de Valdeinfierro (tradicionalmente incluidas en las reconstrucciones paleogeográficas de la zona), debido a su edad (Tournaisiense) y a su origen continental como cuenca intramontañosa tectónicamente activa (GABALDÓN et al.), 1983a, 1983b) totalmente independiente de la cuenca marina que se generó en períodos posteriores.

#### DATOS NUEVOS

En el transcurso de nuestros estudios litoestratigráficos, bioestratigráficos y sedimentológicos (CÓZAR, 1994, 1996, 1998, RODRÍGUEZ et al. 1996, RODRÍGUEZ y FALCES, 1996) se han evitado varios hechos que plantean la necesi-

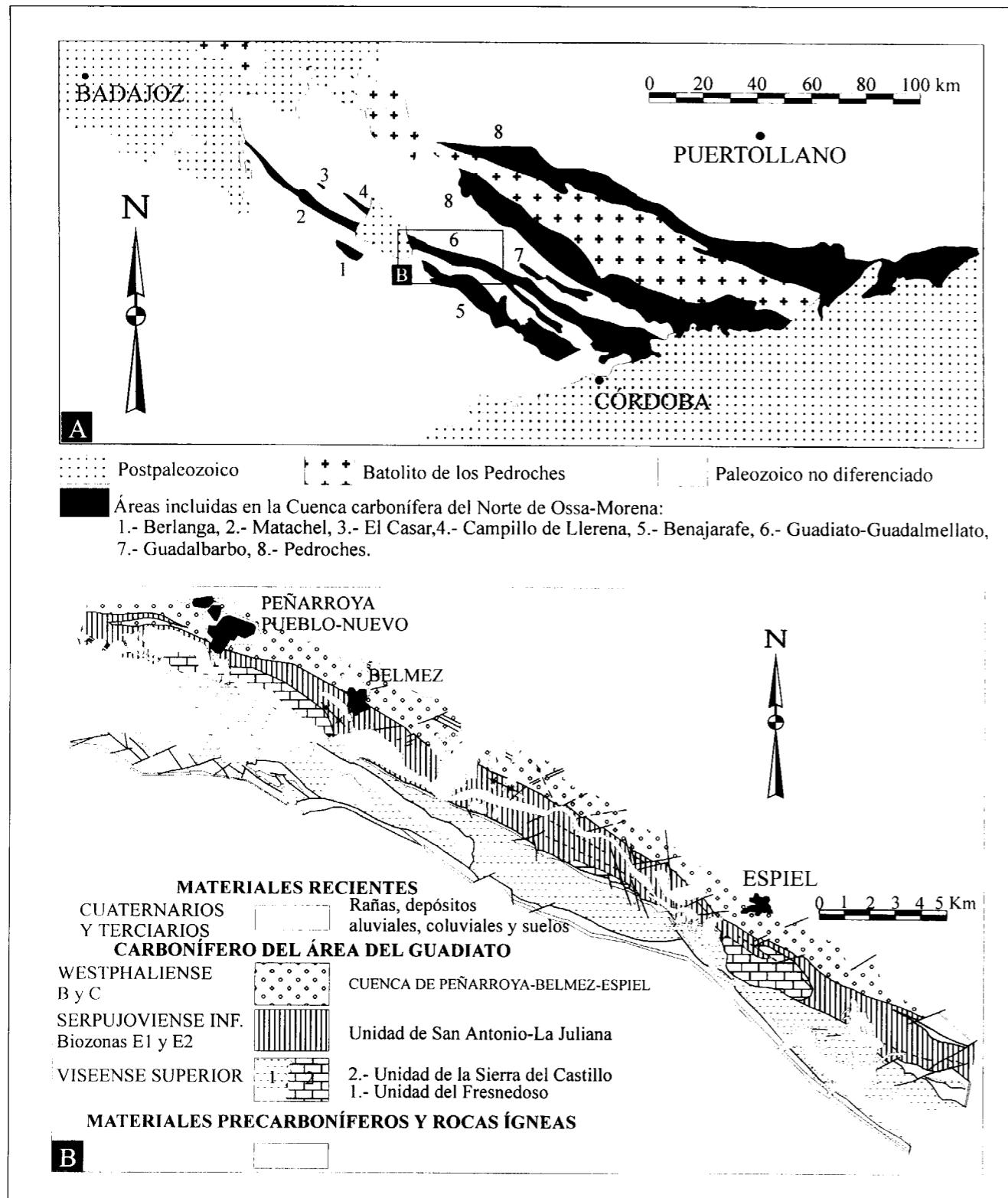


Figura 1.- Localización de la zona de estudio. A: Áreas que consideramos incluidas en la Cuenca Carbonífera del Norte de Ossa-Morena. B: Esquema geológico del sector Norte del Área del Guadiato.

AUTOR O AUTORES	NOMBRE DE LA CUENCA	MATERIALES IMPLICADOS
Julivert 1983	Cuenca de Peñarroya	Banda meridional, central y septentrional.
Quesada 1983	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Wagner et al. 1983a	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Wagner et al. 1983b	Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel	Banda septentrional.
Wagner et al. 1984	Cuenca carbonífera del Guadiato que incluye la Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel	Banda meridional, central y septentrional.
Apalategui et al. 1985a	Cuenca del Guadiato con Unidad detrítica en facies Culm Unidad detrítico-carbonatada Unidad detrítica en facies continental	Banda meridional.
Apalategui et al. 1985b	Cuenca del Guadiato con Unidad detrítica en facies Culm Unidad detrítico-carbonatada Unidad detrítica en facies continental	Banda central. Banda septentrional.
Apalategui y Roldán 1985	Cuenca del Guadiato con Unidad detrítica en facies Culm Unidad detrítico-carbonatada Unidad detrítica en facies continental	Banda meridional.
Azcárate et al. 1985	Cuenca carbonífera del Guadiato	Banda central. Banda septentrional.
Gabaldón et al. 1985a	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Gabaldón et al. 1985b	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Wagner y Jurado 1988	Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel	Banda septentrional.
Gabaldón 1990a	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Gabaldón 1990b	Cuenca del Guadiato que incluye la Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel	Banda meridional, central y septentrional.
Cózar 1994	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Ramírez-Viu 1994	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Moreno-Eirís et al. 1995	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Cózar 1996	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Rodríguez et al. 1996	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Rodríguez y Falces 1996	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Falces 1998	Cuenca del Guadiato	Banda meridional, central y septentrional.
Wagner 1998	Cuenca de Peñarroya	Banda septentrional.

Tabla 2.- Denominaciones utilizadas por los diferentes autores al referirse al Carbonífero de la zona. Se relaciona con las bandas definidas por Pérez-Lorente (1979). Los datos recogidos incluyen el periodo entre 1983 y 1998.

dad de modificar la nomenclatura referente a las unidades incluidas en el Área del Guadiato:

-La denominada banda central está constituida en realidad por dos conjuntos sedimentarios de edades diferentes que están en contacto entre sí

siempre por contactos mecánicos. La mayor parte de los sedimentos incluidos en esta banda son de edad Namuriense, aunque incluyen algunos olistolitos de edad Viseense superior, pero en las proximidades del borde suroccidental se localizan varios afloramientos de grandes dimen-

siones constituidos por materiales carbonatados con intercalaciones terrígenas que son de edad Viseense superior, pero que no son olistolitos. Dichos afloramientos son las Sierras del Castillo y de la Estrella, las calizas que constituyen los relieves del Couce y los afloramientos calcáreos que constituyen una franja continua desde Sierra Boyera hasta la Casa de las Caleras (Fig. 1b, 2). Por su edad estos afloramientos están más relacionados con la banda meridional, de la que están separados por rocas del Precámbrico en el caso de Sierra Boyera o con la que están en contacto, mediante un cabalgamiento como en el caso de la Sierra del Castillo. Sus características litológicas son sin embargo muy diferentes, tanto de la banda meridional como del resto de los materiales incluidos normalmente en la banda central.

- El resto de la denominada banda central está compuesto por dos conjuntos de rocas sedimentarias, uno de origen marino y otro de origen continental (Fig. 2), con características que permite diferenciarlos fácilmente en el campo cuando no están cubiertos (lo que no sucede muy frecuentemente). En el primero de ellos se enclavan olistolitos de muy diverso tamaño, desde decenas de metros hasta más de un kilómetro de diámetro.

Todo ello pone de manifiesto que englobar estos materiales en una misma unidad no se sostiene, por lo que la denominación de banda central no tiene sentido. Si la denominación de banda septentrional debe ser sustituida por la de Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel y la de banda central debe ser descartada (y sustituida por las denominaciones que más adelante se proponen), no tiene sentido tampoco mantener la denominación de banda meridional.

## PROPIUESTA DE NUEVAS UNIDADES

Antes de describir las unidades debemos puntualizar que uno de los apartados que tocaremos en todas las unidades es su edad, que ha sido inferida mediante foraminíferos, en su mayoría endotíridos (*Fusulinina* no *Fusulinida*); la escala bioestratigráfica de referencia es la que se puede consultar en MAMET (1974), y las determinaciones sistemáticas y resultados globales se pueden contrastar en CÓZAR (1998).

## Unidad del Fresnedoso

La zona más sencilla de las estudiadas es la llamada Unidad detrítica en facies culm o banda meridional, tradicionalmente asimilada a la facies Culm, e interpretada por algunos autores como turbiditas (ALMARZA et al., 1973 y PÉREZ-LORENTE 1979), y como tempestitas por otros autores (CUETO et al. 1983; GABALDÓN et al. 1983c; QUESADA 1983; GABALDÓN et al. 1985a; GABALDÓN 1990b; GABALDÓN 1993). A nuestro modo de ver, las dos interpretaciones son correctas, ya que en función de la zona estudiada podemos tener sedimentos de ambos ambientes, incluso mezclados en una única sección. Consideramos que los sedimentos turbidíticos son los más representativos y extendidos de la zona, pero las secciones que hemos encontrado afloran mal o peor aún, normalmente se encuentran sumergidas bajo el agua en los embalses. Debido a estos problemas, la sección más completa es la del Arroyo del Fresnedoso (CUETO et al. 1983, 1985). Si consideramos que ha sido bastante bien estudiada desde primeros de los 80, es una referencia significativa, y por tanto representativa del tipo de materiales a los que nos estamos refiriendo, pizarras y areniscas con algunos niveles de calizas y conglomerados, estos últimos fundamentalmente hacia la base. De esta forma, "Unidad del Fresnedoso" es un término lo suficientemente claro para que cualquier interesado en el área tenga un punto de referencia preciso. La sedimentación en esta Unidad puede comenzar con conglomerados depositados bajo lámina de agua, en un prodelta, seguida de facies inter o submareales, finalmente llega a plataforma externa o talud, en un progresivo proceso de profundización, el cual queda reflejado en la variación de los sedimentos, sea cual sea su ambiente sedimentario de partida en cualquier sección. A pesar de adoptar esta sección como base para el nombre de la Unidad, podemos señalar que sedimentos típicos turbidíticos se pueden observar en el "Culm" de la Alhondiguilla (PÉREZ-LORENTE, 1979), y zonas de transición, con depósitos de tempestitas y turbiditas a techo, se pueden ver en la Sección de Villanueva del Rey y las del Camino del Águila (CÓZAR, 1998). Estas últimas tienen problemas por los malos afloramientos o por estar sumergidas bajo el agua de embalses la mayor parte del tiempo.

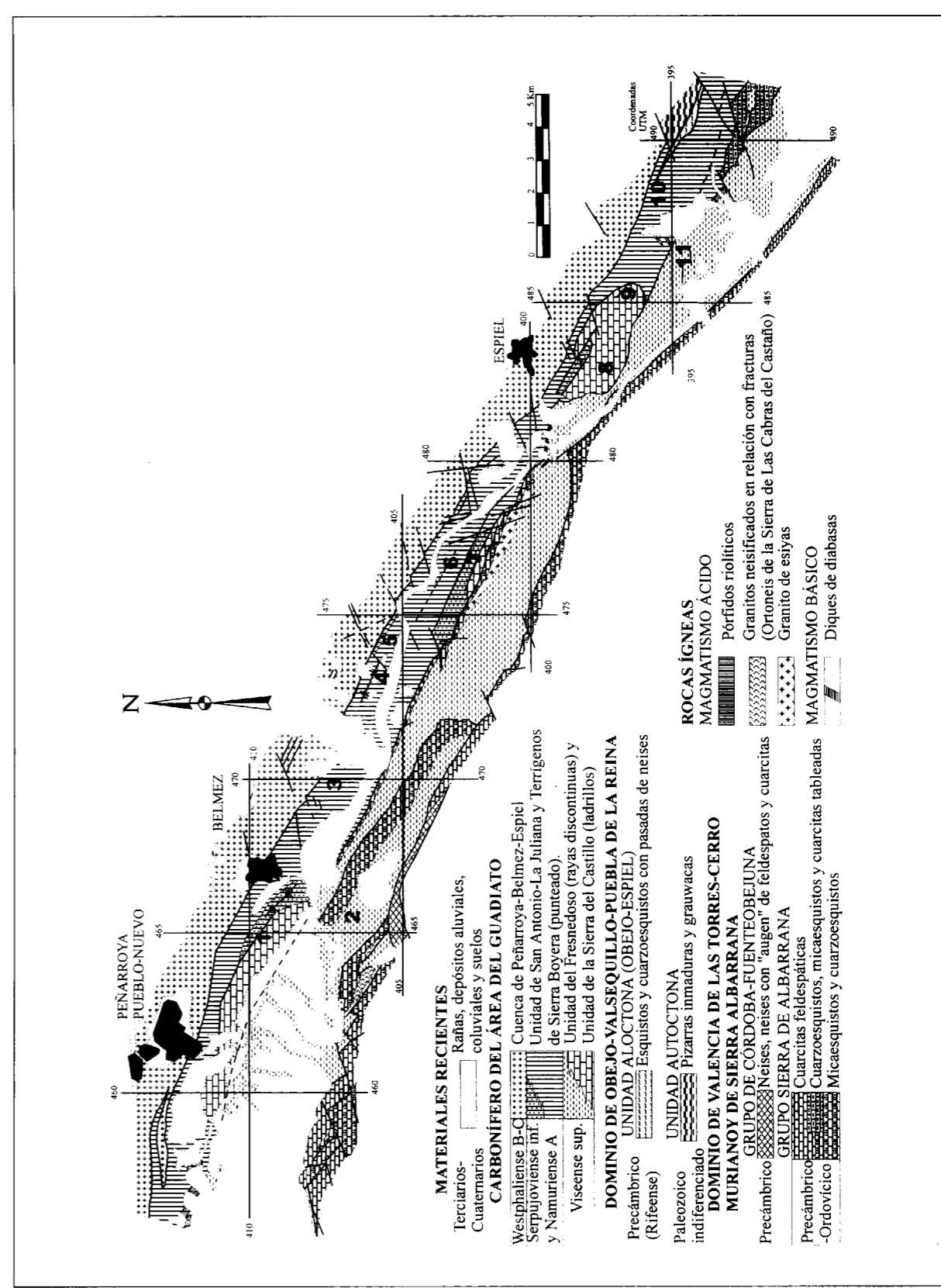


Figura 2.- Mapa geológico del sector Norte del Área del Guadiato. Las localidades citadas en el texto son las siguientes: 1. Sierra Boyera, 2. Arroyo Fresnedoso, 3. Sierra Palacios, 4. San Antonio-La Julianita, 5. Lavadero de la Mina, 6. La Cornuda, 7. El Couce, 8. La Sierra del Castillo, 9. Sierra de la Estrella, 10. Cerro Cabello, 11. Camino del Aguila. (Modificado de Apalategui et al. 1985 a,b; Apalategui y Roldán, 1985)

Otro aspecto que queremos precisar de la Unidad del Fresnedoso es su edad, que tradicionalmente ha sido dada como Viseense medio-superior, basada en las dataciones con foraminíferos de MARTÍNEZ y ORTUÑO (1971) y en PÉREZ-LORENTE (1979) y ARMENGOT y MARTÍNEZ (1972). En la revisión de la Sección del Arroyo Fresnedoso como en otras secciones de la Unidad, la biozona de foraminíferos más antigua obtenida es la Zona 14 (cf. CÓZAR 1998), que es la primera de las zonas del Viseense superior, y por tanto tenemos que descartar la edad de Viseense medio y ceñirnos al superior exclusivamente.

Otro problema que nos hemos encontrado en esta Unidad es su base, que tradicionalmente se ha descrito en los conglomerados del Arroyo Fresnedoso, que no están distribuidos a lo largo de toda la Unidad como se ha dicho repetidamente en la bibliografía, hecho que concuerda con que la edad en la base de las diferentes secciones estratigráficas que hemos levantado, puede variar entre la Zona 14 y Zona 15, y por tanto el cabalgamiento de los materiales de esta Unidad sobre los de la llamada banda central no se produjo de una forma homogénea, utilizando dichos conglomerados como nivel de despegue; en muchos puntos éstos no afloran porque han sido eliminados durante el arrastre mecánico, desgajándose cuñas del bloque principal de la Unidad. Estas cuñas pueden estar tanto enterradas, erosionadas, como totalmente brechificadas.

No se ha datado el techo de la Unidad con precisión, ya que generalmente está representado por materiales siliciclásticos, con una gran potencia desde los últimos bancos de calizas (Zona 15), por lo que no descartamos la posibilidad de que estos siliciclásticos pudieran representar en parte la Zona 16. Un hecho significativo es el paso de arenas y pizarras verdes a pizarras negras, hecho generalizado en la Unidad; hemos querido destacar este cambio ya que en Polonia, Alemania e Inglaterra, el máximo en la transgresión generalizada a la que está sometida Europa, da paso a la sedimentación de pizarras y lutitas negras, que coincide con el límite entre las Zonas 15 y 16 de foraminíferos, o la aparición de la zona de *Chenistria chenistria* de Goniatites (HERBIG,

1998 com. per.). Con esto no queremos afirmar que las pizarras negras correspondan a la Zona 16, sino que existe tal posibilidad, que debería ser contrastada con algún otro grupo fósil, como goniatites o acritarcos.

La Unidad del Fresnedoso está limitada con cabalgamientos hacia el Suroeste (cabalgada por precámbricos). Al Noreste se encuentra descansando sobre materiales precámbricos que cabalgan sobre otros carboníferos o cabalgando directamente sobre éstos. Además existe algún otro cabalgamiento interno, que hace aflorar el Precámbrico, duplicando de esta forma la sucesión (Fig. 2).

La potencia de la Unidad no se puede precisar con mucha exactitud debido a una serie de factores; en primer lugar por la existencia de los cabalgamientos internos; en segundo lugar porque como hemos mencionado, el cabalgamiento que afecta a la base ha eliminado parte de los materiales; en tercer lugar, las pizarras que están a techo también son de potencia muy variable, teniendo un escaso desarrollo en la zona del Arroyo del Fresnedoso, y alcanzando unos 1500 a 2000 metros en la zona del Camino del Águila (ver fig. 2). Una hipotética suma de las diferentes secciones, desde las que tienen en su base conglomerados y datadas como Zona 14, hasta las que son datadas desde la base como Zona 15 y con gran desarrollo de pizarras negras, nos da una potencia aproximada superior a los 3000 metros.

#### Unidad de la Sierra del Castillo

La que tradicionalmente se ha denominado banda central, estaba compuesta por un gran número de bloques de calizas, atribuidos a olis tolitos (WAGNER, com. per., RODRÍGUEZ et al. 1996), o brechas de talud incluidos en una sedimentación detrítica (CABANÁS y CABANÁS 1974), que culmina en facies continentales. Hemos encontrado diferencias entre los bloques de calizas, creemos que suficientemente significativas como para diferenciar dos sectores principales.

Por un lado se encuentran grandes bloques de caliza, en los que podemos observar sucesiones

NOMBRE ANTIGUO	UNIDAD	PISOS
<i>Banda septentrional</i>	Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel	Westphaliense a y b
<i>Banda central</i>	Unidad de San Antonio-La Juliana	Terrigenos de Sierra Boyera
	Unidad de la Sierra del Castillo	Sedimentos Autóctonos
<i>Banda meridional</i>	Unidad del Fresnedoso	Sedimentos Alóctonos
		Viseense sup. (Z. 14-16)
		Viseense sup. (Z. 14-15, 16?)

Tabla 3.- Resumen de las nuevas unidades definidas. Se compara con las denominaciones de las bandas tradicionales.

estratigráficas continuas, siempre de edad Viseense superior, y donde no observamos restos de "debris flow" o de "slump". El emplazamiento de la caliza se ha realizado en un evento que no tiene nada que ver con la sedimentación, sino que es debido a los movimientos tectónicos de la zona en períodos posteriores, de manera que se podrían expresar como pinzamientos sufridos durante el proceso de cabalgamiento de los materiales de edad Viseense superior sobre los del Serpujoviense. De esta forma, estos bloques siempre se encuentran adosados al cabalgamiento que lo separa de la Unidad del Fresnedoso, sirviendo de límite entre ambas unidades. Es de destacar que aunque las rocas presentes en estos bloques son de edad Viseense superior no tienen relación directa con la Unidad del Fresnedoso, puesto que los sedimentos encontrados representan facies de plataforma somera, fundamentalmente carbonática, distintos de los terrígenos de dicha Unidad.

Los bloques incluidos en esta unidad son los de la Sierra del Castillo, El Couce y Sierra Boyera. El más representativo de ellos es el de la Sierra del Castillo, ya que presenta los mejores afloramientos, la mayor potencia y variación de facies (CÓZAR 1994, 1996, 1998, RODRÍGUEZ y FALCES 1996). Por ello se propone como nombre "Unidad de la Sierra del Castillo". En las secciones levantadas en la Unidad hemos obtenido una asociación de foraminíferos comprendida entre las zonas 14 y 16, por tanto su edad también es Viseense superior, con la salvedad que la Zona 16 está representada, y en la Unidad del Fresnedoso no habíamos conseguido datar materiales de esta biozona. La presencia de la Zona 16 en esta Unidad, viene a apoyar la hipótesis que planteamos previamente, es decir, que parte de las piza-

rras negras del techo de la Unidad del Fresnedoso pueden representar la Zona 16 o Viseense terminal.

Puesto que estos bloques deben su emplazamiento a movimientos tectónicos, los límites son siempre fallas, por un lado (SO) están cabalgados por la Unidad del Fresnedoso, y por el otro, están a su vez cabalgando sobre los materiales del Serpujoviense. Debido al origen del emplazamiento de estas calizas la continuidad de los afloramientos es un tanto aleatoria, marcada por la tectónica local.

La potencia de estos materiales también es muy difícil de estimar, debido a la escasa continuidad lateral de los afloramientos (ver fig. 2), y sólo podemos estimarla mediante la suma de las secciones estratigráficas que hemos encontrado con edades diferentes, que alcanza valores de al menos 400 metros.

#### Unidad de San Antonio-La Juliana

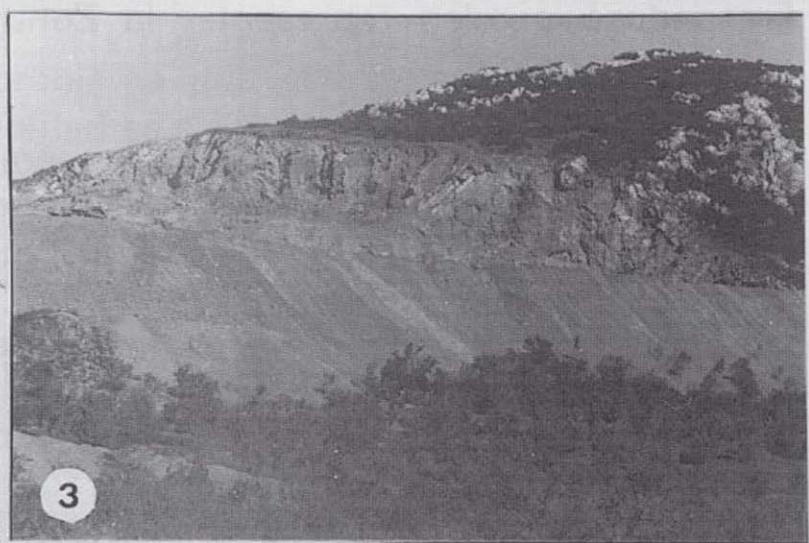
En la llamada banda central, queda una serie de sedimentos detrítico-carbonatados. Los detríticos pueden variar entre pizarras, arenas y conglomerados. Los carbonatos tienen a su vez dos posibles orígenes, por un lado sedimentación autóctona (precipitación del carbonato y movilización de éste), donde podemos encontrar desde margas a calizas, o calizas con influencia de terrígenos, tanto en facies someras (Sección de la Cornuda en CÓZAR, 1998) como en facies profundas (Sección de San Antonio en CÓZAR, 1998). Normalmente estos sedimentos no afloran, ya que están recubiertos por materiales aluviales del Río Guadiato. Entre estos sedimentos



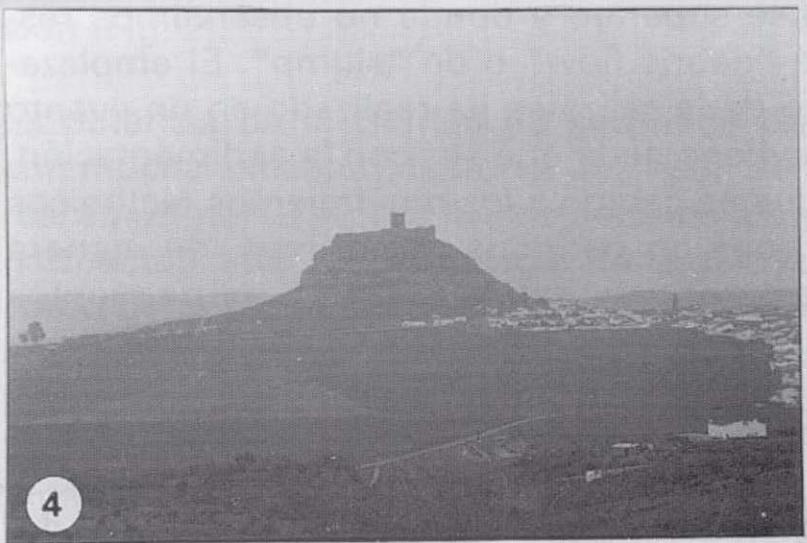
1



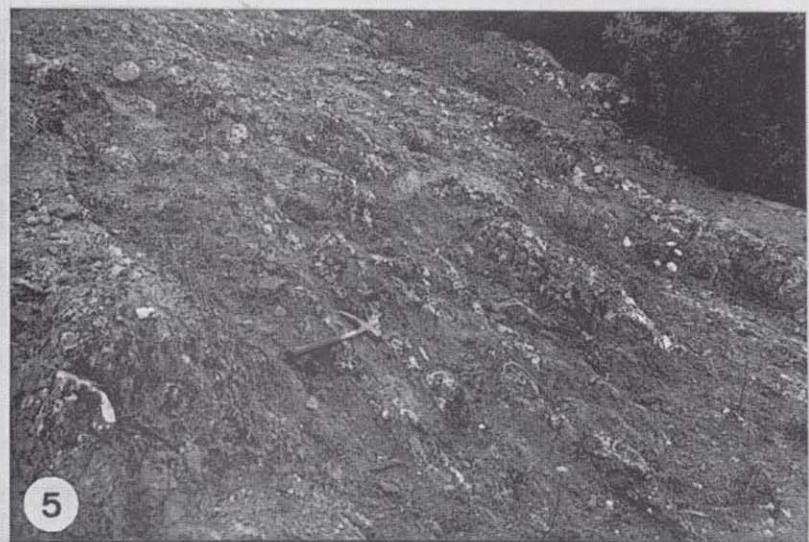
2



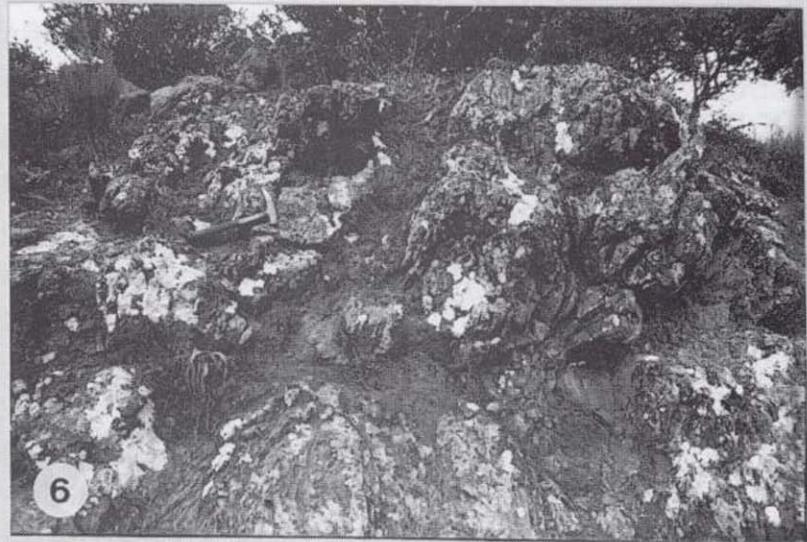
3



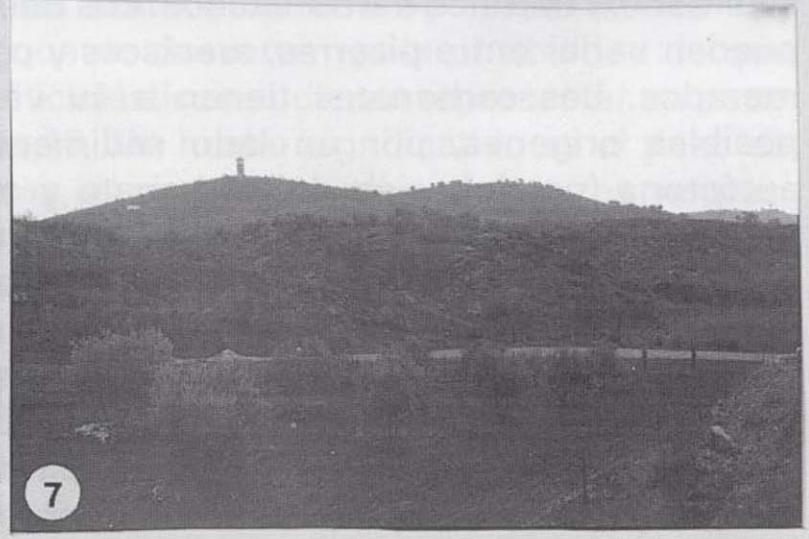
4



5



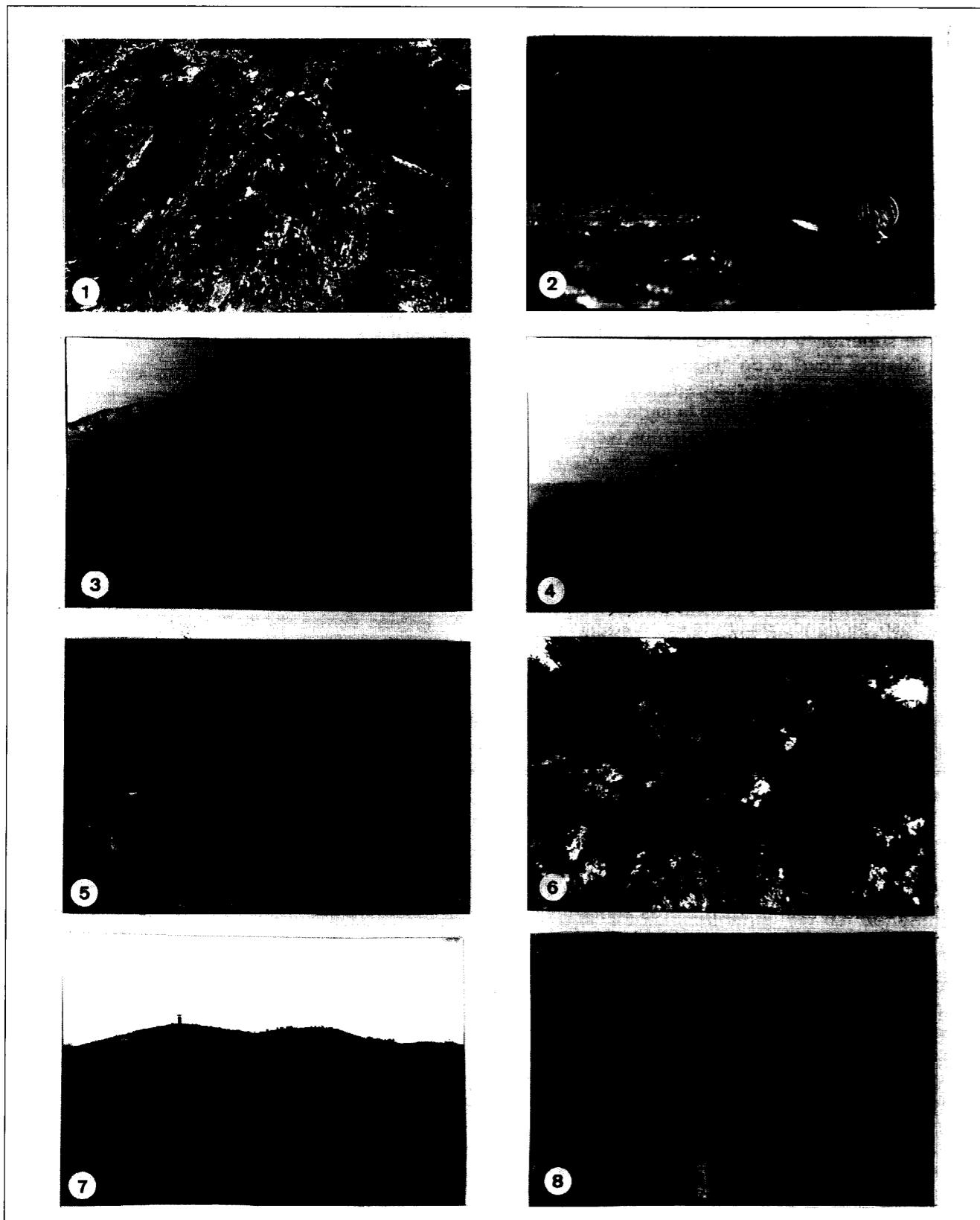
6



7



8



es frecuente la presencia de bloques de calizas masivas, brechoideas u oolíticas, que afloran muy bien (v.g. Castillo de Belmez), pero que generalmente están rodeados de zonas cubiertas. Todos estos bloques de tamaño muy variado venían siendo interpretados como exoolistolitos, emplazados a lo largo de un talud debido a la actividad tectónica existente en ese período de tiempo (WAGNER, 1995 com. personal). La situación real no es tan simple, ya que como se ha indicado en la descripción de la Unidad de la Sierra del Castillo, los grandes bloques dispuestos en el borde suroeste de la banda están emplazados tectónicamente (Unidad de la Sierra del Castillo). Por otra parte, se ha comprobado la existencia tanto de exoolistolitos como de endoolistolitos emplazados entre los sedimentos margosos (CÓZAR 1998).

También existen pequeños afloramientos de calizas con las mismas facies que en los olistolitos. A diferencia de éstos, están brechificados y pueden ser tanto matriz- como granosostenidos. Éstos los hemos considerado como "debris flow" (base de la Sección de San Antonio). Aunque sus dimensiones son pequeñas en general, las masas de calizas que forman Cerro Cabello llegan a tener dimensiones kilométricas en la lateral; están compuestas por la sobreimposición de diferentes "debris" e incluyen algún pequeño olistolito intercalado. La edad que hemos determinado tanto en los olistolitos como en los "debris" (dataciones realizadas sobre los bloques de caliza y no sobre la matriz), es de Viseense superior, desde la Zona 14 hasta la 16. Hemos optado por definir al conjunto de materiales como sedimentación alóctona, en contraste con los sedimentos autóctonos del Serpujoviense. En la sedimentación autóctona de la Unidad

hemos identificado las Zonas 17 y 18, o sus equivalentes E1 y E2, que representan la mitad inferior del Serpujoviense o parte del Namuriense A. Preferimos referirnos al Serpujoviense ya que este piso está definido en sedimentos marinos, al igual que nuestros materiales, mientras que el Namuriense está definido en sedimentos continentales.

La zona donde mejor afloran estos materiales es la que hemos denominado de San Antonio, por su proximidad a la concesión minera de dicho nombre, destacando las secciones de San Antonio y del Lavadero de la Mina. Puesto que la Sección de San Antonio ha sido ya publicada (RODRÍGUEZ et al., 1996), y se encuentra a lo largo del Arroyo de la Juliana, fácilmente localizable en los mapas de la zona, proponemos la denominación de "Unidad de San Antonio-La Juliana" para estos sedimentos carbonatados y terrígenos con olistolitos y "debris flow".

Estructuralmente esta Unidad de San Antonio-La Juliana es la más compleja de todas, con multitud de fallas subparalelas a los grandes cabalgamientos, que repiten la sucesión. Otras fallas subperpendiculares a los mismos, modifican el trazado de un gran sinclinal que define a grandes rasgos la estructura de esta unidad. Esta estructura ya había sido observada por diversos autores (ORTUÑO, 1971, GABALDÓN et al., 1983b, 1983c, AZCÁRATE et al., 1985, APALATEGUI et al., 1985b, APALATEGUI y ROLDÁN, 1985).

Es de destacar que las facies someras (Sección de la Cornuda), nunca están en continuidad con las profundas, sino separadas por alguna de las fracturas antes mencionadas, duplicando los materiales de edad equivalente a lo largo de una

#### LÁMINA I

- Figura 1.- Unidad del Fresnedoso. Sección del Arroyo del Fresnedoso, parte superior. La sedimentación típica está compuesta por areniscas y pizarras en secuencias estratocrecientes.
- Figura 2.- Unidad del Fresnedoso. Sección del Arroyo del Fresnedoso, parte central. Nivel de areniscas con estratificación hummocky. Las tempestitas son habituales en esta sección.
- Figura 3.- Unidad de la Sierra del Castillo. Vista de sección de la Cantera en dicha sierra. Las calizas están bien estratificadas.
- Figura 4.- Olistolito de Belmez. Típica disposición de masas de caliza rodeados por sedimentos blandos en la Unidad de San Antonio-La Juliana.
- Figura 5.- Unidad de San Antonio-La Juliana. Sección del Lavadero de la Mina de San Antonio, base. La sedimentación típica son margas con intercalaciones de calizas.
- Figura 6.- Unidad de San Antonio-La Juliana. Sección del Lavadero de la Mina de San Antonio, base. "Debris flow" calcáreos.
- Figura 7.- Terrígenos de Sierra Boyera.
- Figura 8.- Terrígenos de Sierra Boyera. Base de los canales conglomeráticos, con abundantes restos vegetales.

hipotética tangencial del afloramiento de la Unidad. Por estas razones la potencia total debe ser estimada por la suma de las secciones parciales, consideración que nos lleva a unos 1300 metros aproximadamente.

En esta Unidad de San Antonio-La Juliana se localizan también sedimentos terrígenos (arenas y conglomerados fundamentalmente), en facies deltaicas continentales. Siempre se ha supuesto que constituyen los sedimentos más recientes de la banda central. Esto estaba basado en el reconocimiento de un eje de sinclinal en Sierra Boyera. La presencia de flora en este afloramiento y otros, como el de la mina de El Couce había permitido datarlos como Namuriense A (WAGNER et al., 1983a).

En la sección denominada Lavadero de la Mina (CÓZAR, 1998) se ha constatado que estos terrígenos de origen continental se encuentran en continuidad estratigráfica con los sedimentos marinos, por lo que constituyen los materiales más jóvenes de la unidad. Debido a su origen sedimentario diferente consideramos oportuno distinguir estos materiales del resto de la Unidad, por lo que nos referiremos a ellos como "Terrígenos de Sierra Boyera".

La disposición de la Unidades en el Área queda reflejado en la fig. 2, y algo más simplificado en la fig. 1B, en la que destacamos los afloramientos de la Cuenca de Peñarroya-Belmez-Espiel y las Unidades del Fresnedoso, Sierra del Castillo y San Antonio-La Juliana. Las equivalencias de las nuevas denominaciones y la edad de los sedimentos presentes en cada una se incluyen en la tabla 3.

## CONCLUSIONES

La nomenclatura usada para denominar habitualmente a los materiales carboníferos del Valle del Guadiato es confusa e incorrecta. Por ello se propone una nomenclatura que adopta los términos más correctos o apropiados de entre los presentes en la bibliografía e incluye nuevas denominaciones para las unidades estructurales con sedimentación característica que han sido identificadas en el Carbonífero Inferior de la región:

- La cuenca conteniendo sedimentos del Westfaliense que es independiente de los sedimentos carboníferos más antiguos (Viseense superior y Namuriense) debería denominarse Cuenca Carbonífera de Peñarroya-Belmez-Espiel (ANDREIS & WAGNER, 1983; WAGNER et al., 1983b).

- Proponemos el término "Unidad del Fresnedoso" para la habitualmente denominada banda meridional.

- La habitualmente denominada banda central comprende dos unidades bien diferenciadas, separadas entre sí por importantes fracturas. Proponemos la denominación "Unidad de la Sierra del Castillo" para los afloramientos constituidos fundamentalmente por carbonatos del Viseense superior situados en el borde septentrional de los embalses de Puente Nuevo y Sierra Boyera y en la zona de El Couce, y la denominación "Unidad de San Antonio-La Juliana" para los terrígenos y carbonatos de edad Namuriense o Serpujoviense, con olistolitos viseenses. En esta última unidad pueden diferenciarse materiales terrígenos gruesos de origen continental que pueden denominarse "Terrígenos de Sierra Boyera".

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la colaboración en el campo y en el laboratorio a todos aquellos que han participado en los proyectos subvencionados de la DGICYT PB 91-0083 y PB 96-0842, durante los cuales se han realizado las observaciones que han llevado a la presente propuesta. Asimismo queremos agradecer la revisión del manuscrito por Santiago Falces y las observaciones realizadas por Octavio Apalategui y por otro revisor anónimo que han servido para mejorar sustancialmente este manuscrito.

## REFERENCIAS

- ALMARZA, J., BURGOS, J.C., CRESPO, J.L. y MATAS, J. (1973).- Estudio de una serie detritica en la cuenca carbonífera de Peñarroya-Belmez. Trab. Práct. de Sedimentología Univ. Granada, Inédito.
- ANDREIS, R.R. y WAGNER, R.H. (1983).- Estudio de los abanicos aluviales en el borde norte de la cuenca Wetsphaliense B de Peñarroya-Belmez (Córdoba). In: Contributions to the Carboniferous geology and paleontology of the Iberian Peninsula, M.J. Lemos de Sousa (Ed.); Inst. Nac. de Invest. Cient. (INIC), p. 171-223.
- APALATEGUI, O., BORRERO, J., HIGUERAS, P., ROLDÁN, F.J. y SÁNCHEZ-CARRETERO, R. (1985a).- Memoria del mapa de Villaviciosa de Córdoba (901). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Inst. Geol. y Min. de España, 66 p.
- APALATEGUI, O., BORRERO, J. E HIGUERAS, P. (1985c).- División en grupos de rocas en Ossa-Morena oriental. En: 5<sup>a</sup> Reunión del Grupo de Ossa-Morena, Instituto Geológico y Minero de España, Temas Geol. y Min., 7, p. 73-80.
- APALATEGUI, O., HIGUERAS, P., PÉREZ-LORENTE, F. y ROLDÁN, F.J. (1985b).- Memoria del mapa de Espiel (880). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Inst. Geol. y Min. de España, 85 p.
- APALATEGUI, O. y ROLDÁN, F.J. (1985).- Memoria del Mapa de Peñarroya-Pueblonuevo (879). Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Inst. Geol. y Min. de España, 62 p.
- AZCÁRATE, J.I., OCÓN, J., RÍOS, S., ROBREDO, J. y RODRÍGUEZ, P. (1985).- Aportación a la interpretación de la cuenca carbonífera del Guadiato en las inmediaciones de Villanueva del Rey. X Cong. Inter.Strat. et Géol. du Carbonifère, I, p. 519-522.
- CABANÁS, R. (1963).- Contribución al estudio del Carbonífero de los alrededores de Córdoba. Dos nuevos yacimientos fosíferos del Viseense superior. Brev. Geol. Astur., 7, p. 63-67.
- CABANÁS, R. (1964).- Notas estratigráficas de la Provincia de Córdoba. Notas y Com. Inst. Geol. y Min. de España, 74, 69-74.
- CABANÁS, R. y CABANÁS, R. (1974).- Failles inverses et chevauchements dans le Pré cambien et le Carbonifère du Nord de la Province de Cordoue (Espagne). C. R. Acad. des Sci., Paris, 278, série D, p. 2271-2274.
- CALDERÓN, S. (1878).- Contribuciones al estudio de la fosforita de Belmez. An. Soc. Esp. Hist. Nat., VII, cuaderno 1º, p. 35-51.
- CALDERÓN, S. (1892).- Nota preliminar sobre la edad de las cuencas carboníferas del mediodía de España. An. Soc. Esp. Hist. Nat., Serie II, I, (XXI), p. 13,21.
- CARANDEL, J. (1922).- Contribución a la petrografía de la Sierra Morena. Rocas de Adamuz (Córdoba). Bol. R. Soc. Esp.Hist. Nat., 22, p. 312-315.
- CARBONELL, A. (1920).- Nuevos antecedentes acerca de la prolongación oriental de la cuenca de Belmez. Bol. Inst. Geol. de España, XLI, I, 3<sup>a</sup> serie, p. 281-309.
- CARBONELL, A. (1926).- La Sierra de Córdoba (borde meridional de la Meseta Ibérica). Excursión A-5. En XIV Congreso Geológico Internacional, Madrid, Inst. Geol. de España, Libro-guía de excusiones: "De Sierra Morena a Sierra Nevada", 16 p.
- CARBONELL, A. (1927).- Tectónica andaluza. Bol. Inst. Geol. y Min. de España, p. 1-127.
- CARBONELL, A. (1929).- Cobijaduras hercinianas en la cuenca de Belmez-Adamuz. Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España, 2, p. 87-90.
- CHACÓN, J., DELGADO-QUESADA, M. y GARROTE, A. (1974).- Sobre la existencia de dos diferentes dominios de metamorfismo regional en la banda Elvas-Badajoz-Córdoba (Macizo Hespérico Meridional). Bol. Geol. y Min., 85(VI), p. 713-717.
- CÓZAR, P. (1994).- Bioestratigrafía con foraminíferos del Carbonífero Inferior de la Sierra del Castillo (Cuenca del Guadiato, Córdoba). Tesis de licenc., Univ. Complutense de Madrid, inédita, 271 p.
- CÓZAR, P. (1996).- Biozonas de foraminíferos de la Sierra del Castillo (banda central de la Cuenca del Guadiato, Córdoba). Col. Pal., 48, p.47-72.
- CÓZAR, P. (1998).- Bioestratigrafía con foraminíferos del Carbonífero Inferior del Sector Norte del área del Guadiato. Tesis doct., Univ. Complutense de Madrid, Inédita, 590 p.
- CUETO, L.A., GABALDÓN, V. y QUESADA, C. (1983).- Banda Meridional de la cuenca del Guadiato. En: Folleto-guía de la excursión, 6-8 Abril 1983. V<sup>a</sup> Reunión del Grupo de Ossa-Morena. El Carbonífero inferior del Norte de la zona de Ossa-Morena, p. 42-50.
- CUETO, L.A., GABALDÓN, V. y QUESADA, C. (1985).- Banda Meridional de la cuenca del Guadiato. En: V<sup>a</sup> Reunión del Grupo de Ossa-Morena, Instituto Geológico y Minero de España, Tem. Geol. y Min., 7, p. 126-137.
- DELGADO-QUESADA, M. (1971).- Esquema geológico de la hoja nº 878 de Azuaga (Badajoz). Bol. Geol. y Min., LXXXII(III-IV), p. 277-286.
- DELGADO-QUESADA, M., LIÑÁN, E., PACUAL, E. y PÉREZ-LORENTE, F. (1977).- Criterios para la diferenciación de dominios en Sierra Morena central. Studia Geol., 12, p. 75-90.
- FALCES, S. (1998).- Estudio de los corales rugosos solitarios y sin dispeimtos del Carbonífero de Ossa-Morena septentrional. Tesis doct., Univ. Complutense de Madrid, 620 p. Inédita.
- GABALDÓN, V. (1990a).- Plataformas siliciclásticas externas: Facies y su distribución areal (Plataformas dominadas por tormentas). Parte I: Procesos sedimentarios y facies. Bol. Geol. y Min., 101(5), p. 701-760.
- GABALDÓN, V. (1990b).- Plataformas siliciclásticas externas: Facies y su distribución areal (Plataformas dominadas por tormentas). Parte II: Análisis de cuencas. Bol. Geol. y Min., 101(6), p. 827-857.
- GABALDÓN, V. (1993).- The Lower Carboniferous of Ossa-Morena, Spain. A model of an ancient storm-dominated shelf. C. R. XII Inter. Cong. Carboniferous-Permian, Buenos Aires 1993, 2, p. 437-452.
- GABALDÓN, V., GARROTE, A., y QUESADA, C. (1983a).- Cuenca de Valdeinfierro y Cuenca de Benajarafe. En: V<sup>a</sup> Reunión del Grupo de Ossa-Morena. El Carbonífero Inferior

- del norte de la zona de Ossa-Morena. Folleto-guía de la Excursión, 6-8 Abril 1983, p. 7-25.
- GABALDÓN, V., GARROTE, A., y QUESADA, C. (1983b).- El Carbonífero Inferior del norte de la zona de Ossa-Morena. Introducción. En: V<sup>a</sup> Reunión del Grupo de Ossa-Morena. El Carbonífero Inferior del norte de la zona de Ossa-Morena. Folleto-guía de la Excursión, 6-8 Abril 1983, p. 1-7.
- GABALDÓN, V., GARROTE, A., y QUESADA, C. (1983c).- The Lower Carboniferous in the Southern Strip of the Guadiato Area. In: C. Quesada y A. Garrote (Codired.), Field Trip D, Carboniferous Geology of the Sierra Morena. X Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère, Madrid 1983, EN. Adaro de Investigaciones Mineras, p. 32-39.
- GABALDÓN, V., GARROTE, A., y QUESADA, C. (1985a).- El Carbonífero inferior del norte de la zona de Ossa-Morena (SO de España). C. R. X Congr. Inter. Strat. et Geol. du Carbonifère, Madrid 1983, Inst. Geol. y Min. de España, 3, p. 173-186.
- GABALDÓN, V., GARROTE, A., y QUESADA, C. (1985b).- Geología del Carbonífero Inferior del norte de Ossa-Morena. Introducción a la excursión 5<sup>a</sup> Reunión del Grupo de Ossa-Morena. En: V<sup>a</sup> Reunión del Grupo de Ossa-Morena, Instituto Geológico y Minero de España, Tem. Geol. y Min. 7, p. 101-105.
- GABALDÓN, V. y QUESADA, C. (1986)..- Exemples de bassins houillers limniques du sud-ouest de la Péninsule Ibérique: évolution sédimentaire et contrôle structural. Mém. Soc. géol. France, n.s., 149, p. 27-36.
- GABALDÓN, V., WAGNER, R.H. y WINKLER-PRINS, C. (1983d).- The Central Strip of the Guadiato Area (late Viséan-early Namurian). In: C. Quesada y A. Garrote (Codired.), Field Trip D, Carboniferous Geology of the Sierra Morena. X Congr. Inter. Strat. et Geol. du Carbonifère, Madrid 1983, EN. Adaro de Invest. Min., p. 65-67.
- JULIVERT, M. (1983).- El Carbonífero: Evolución de la sedimentación y desarrollo de la orogénesis Herciniana. En: Libro Jubilar J.M. Ríos, Geología de España, I, Publ. del Inst. Geol. y Min. de España, p. 311-338.
- LÓPEZ-AGÓS, E. (1923).- Síntesis paleontológica del Carbonífero español II. Bol. R. Soc. Esp., p. 302-312.
- MALLADA, L. (1880).- Reconocimiento geológico de la provincia de Córdoba. Bol. Com. del Mapa Geol. de España, VII, p. 1-55.
- MALLADA, L. (1889).- Memoria descriptiva de la cuenca carbonífera de Belmez. Bol. Com. del Mapa Geol. de España, XXVI, p. 1-80.
- MALLADA, L. (1927).- Sistemas Devoniano y Carbonífero. En: Explicación del Mapa Geológico de España. Bol. Com. del Mapa Geol. de España, III, p. 323-357.
- MALLADA, L. y CARBONELL, A. (1914).- Zona sur de España. En: L. Adaro (Coord.), España. Congreso Geológico internacional del Canadá, Bol. del Inst. Tecn. y Geomin. de España, p. 231-234.
- MAMET, B.L. y MARTÍNEZ, C. (1981).- Late Visean Microfossils of the las Caleras Bajas Limestone (Cordoba, Spain). Rev. Esp. de Micropal., 13(1), p. 105-118.
- MORENO-EIRIS, E., PEREJÓN, A., RODRÍGUEZ, S. y FALCES, S. (COL. CÓZAR, P., FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, E. y FERNÁNDEZ-REMOLAR, D.) (1995).- Field Trip D: Palaeozoic Cnidaria and Porifera from Sierra Morena. VII International Symposium on fossil Cnidaria and Porifera, Madrid 1995, 68 p.
- ORTUÑO, M.G. (1971).- Middle Westphalian strata in South-West Spain. C. R. 6<sup>e</sup> Con. Inter. Carbonifère, 3, p. 1275-1293.
- PARRÁN, M. (1876).- Nota sobre la geología de la cuenca de Belmez. Bol. Com. del Mapa Geol. de España, III, p. 169-175.
- PÉREZ-LORENTE, F. (1979).- Geología de la Zona de Ossa-Morena al norte de Córdoba (Pozoblanco-Belmez-Villaviciosa de Córdoba). Tesis Doct. Univ. Granada, 281, 340 p.
- QUESADA, C. (1983).- El Carbonífero de Sierra Morena. En: C. Martínez-Díaz (Coord.), Carbonífero y Pérmico de España. Ministerio de Industria y Energía, Inst. Geol. y Min. de España, p. 243-278.
- RAMÍREZ-VIU, F. (1994).- Estudio de los corales rugosos del Carbonífero del sector del Arroyo de la Juliana (Cuenca del Guadiato, Córdoba). Tesis de Licenc. Univ. Complutense de Madrid, 84 p. Inédita.
- RILEY, N.J. (1993).- Dinantian (Lower Carboniferous) biostratigraphy and chronostratigraphy in the British Isles. Jour. Geol. Soc., London, 150, p. 427-446.
- ROBARDET, H., WEYANT, M., LAVEINE, J.P. ET RACHEBOEUF, P. (1986).- Le Carbonifère Inférieur du Synclinal du Cerrón del Hornillo (Province de Seville, Espagne). Rev. Paléobiol., 5(1), p. 71-90.
- RODRÍGUEZ, S. (1992).- Evolución de la cuenca. En: Análisis paleontológico y sedimentológico de la cuenca carbonífera de Los Santos de Maimona (Badajoz). Col. Pal., 44, p. 249-256.
- RODRÍGUEZ, S. y FALCES, S. (1996).- Los corales rugosos del Carbonífero de Ossa-Morena: estado actual de los conocimientos. Rev. Esp. Pal., Núm. Extra., p. 97-102.
- RODRÍGUEZ, S., CALVO-GONZÁLEZ, A., CÓZAR, P. y FALCES, S. (1996).- Sucesiones carbonatadas de edad Namuriense en la banda central de la cuenca del Guadiato (Córdoba). En: T. Palacios y R. Gozalo (Eds.). Com. XII Jor. de Pal., Badajoz, p. 105-108.
- WAGNER, R.H., COQUEL, R. y BROUTIN, J. (1983A).- Mississippian floras of the Sierra Morena, SW Spain: a progress report. In: M.J. Lemos de Sousa (Ed.), Contributions to the Carboniferous Geology and Paleontology of the Iberian Peninsula. P. 101-126.
- WAGNER, R.H. EN WAGNER, R.H., COQUEL, R., GABALDÓN, V., ROBLEDO, J., QUESADA, C., HERNÁNDEZ, J. y RODRÍGUEZ, P. (1983b).- The Westphalian B of the Peñarroya-Belmez-Espiel Coalfield. In: Field trip D, X Congr. Inter. Strat. et Geol. du Carbonifère, Madrid 1983.

## APÉNDICE

## SITUACIÓN DE LAS LOCALIDADES MENCIONADAS

## Localidad

Localidad	Coordenadas UTM
Sierra Boyera	409-465
Sierra Palacios	407-470
Arroyo Fresnedoso	407-466
San Antonio-La Juliana	406-473
Lavadero de la Mina	406-474
La Cornuda	403-477
El Couce	402-477
Sierra del Castillo	398-483
Sierra de la Estrella	397-485
Cerro Cabello	395-489
Camino del Águila	394-486

Original recibido: Diciembre de 1998.

Original aceptado: Febrero de 1999.

# INTERPRETACIÓN DEL VUELO MAGNÉTICO Y RADIOMÉTRICO DE LA FAJA PIRÍTICA EN LAS HOJAS A E. 1/25.000, Nº 959-I VILLANUEVA DE LAS CRUCES Y 960-II BERROCAL.

Por J. L. GARCÍA LOBÓN (\*)

## R E S U M E N

Se presenta aquí una interpretación de detalle de parte del vuelo magnético y radiométrico de alta resolución de la Faja Pirítica Española (1997), en concreto, la correspondiente a las hojas 1:25.000 Villanueva de las Cruces (959-I) y Berrocal (960-II). Se ha pretendido alcanzar el objetivo de apoyar la cartografía geológica a esa escala en ambas hojas realizada por el ITGE en 1998. Revisados los datos disponibles de petrofísica, se realiza una descripción de las respuestas magnéticas y radiométricas de las unidades litoestratigráficas, acompañada de su interpretación estructural mediante el método de Euler, y del análisis de su ubicación gravimétrica. Tanto la estructura geológica como los límites litológicos quedan mejor definidos que lo indicado por la cartografía previa.

El trabajo demuestra las elevadas posibilidades para la geología de superficie y subsuelo del uso conjunto de los tres métodos regionales de los que existen datos en toda la Faja: magnético, radiométrico y gravimétrico. Su explotación mediante SIG constituye parte esencial de la cartografía moderna de la Faja, y junto con la información de otras bases de datos como petrofísica, geoquímica, indicios y sondeos, un apoyo inestimable para la prospección minera en ella.

*Palabras clave:* Métodos magnético y radiométrico, Geofísica aeroportada, Faja Pirítica.

## A B S T R A C T

An interpretation of a recent (1997) high resolution radiometric and magnetic flight over the Spanish Pyrite Belt is presented. The work, restricted to the area of the 1:25.000 sheets 959-I and 960-II, served as an aid to their geological mapping carried out by ITGE in 1998. The magnetic and radiometric signatures of the several units involved are described, along with their gravity responses. The magnetic and gamma-ray spectrometric survey has resulted in better definition of both geological structure and lithological boundaries than indicated in previous maps.

The new high resolution airborne data, coupled with the previously available gravity survey and other SIG datasets (petrophysical, geochemical and hole data), are now seen as essential components of the modern geological mapping and an invaluable support for the mineral deposit search in the Spanish Pyrite Belt.

*Key words:* Magnetic and radiometric methods, Airborne geophysics, Pyrite Belt.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los resultados que se van a analizar son los del Proyecto "Exploración aeromagnética y radiométrica de la Faja Pirítica y Áreas Limítrofes 1997".

(\*) Área de Geofísica. Instituto Tecnológico Geominero de España. C\ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid.

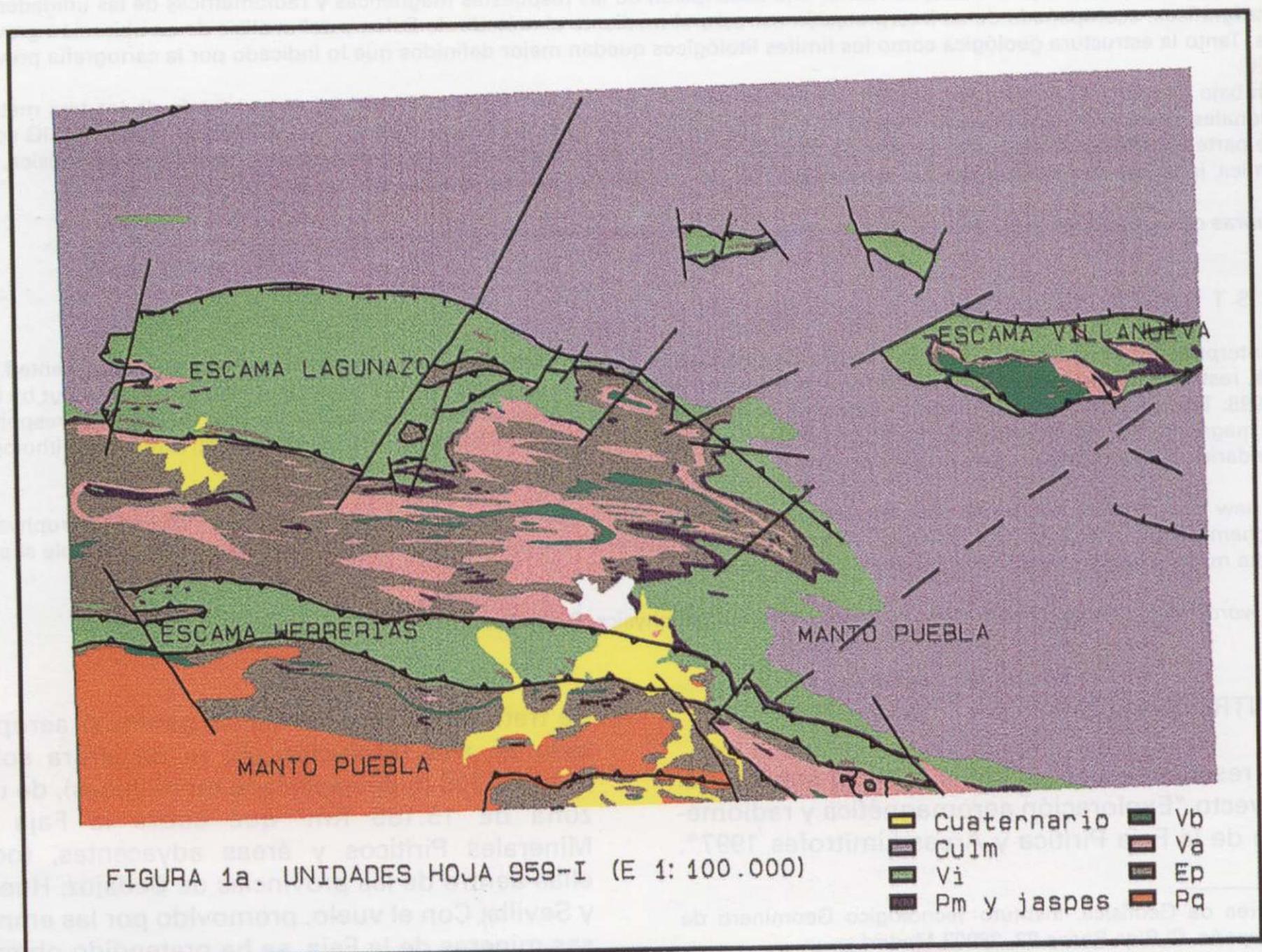
Se trata de un levantamiento geofísico aeroportado de alta resolución (80 m de altura sobre terreno, 250 m de espaciado entre líneas), de una zona de 15.185 Km<sup>2</sup> que cubre la Faja de Minerales Piríticos y áreas adyacentes, todas ellas dentro de las provincias de Badajoz, Huelva y Sevilla. Con el vuelo, promovido por las empresas mineras de la Faja, se ha pretendido obtener

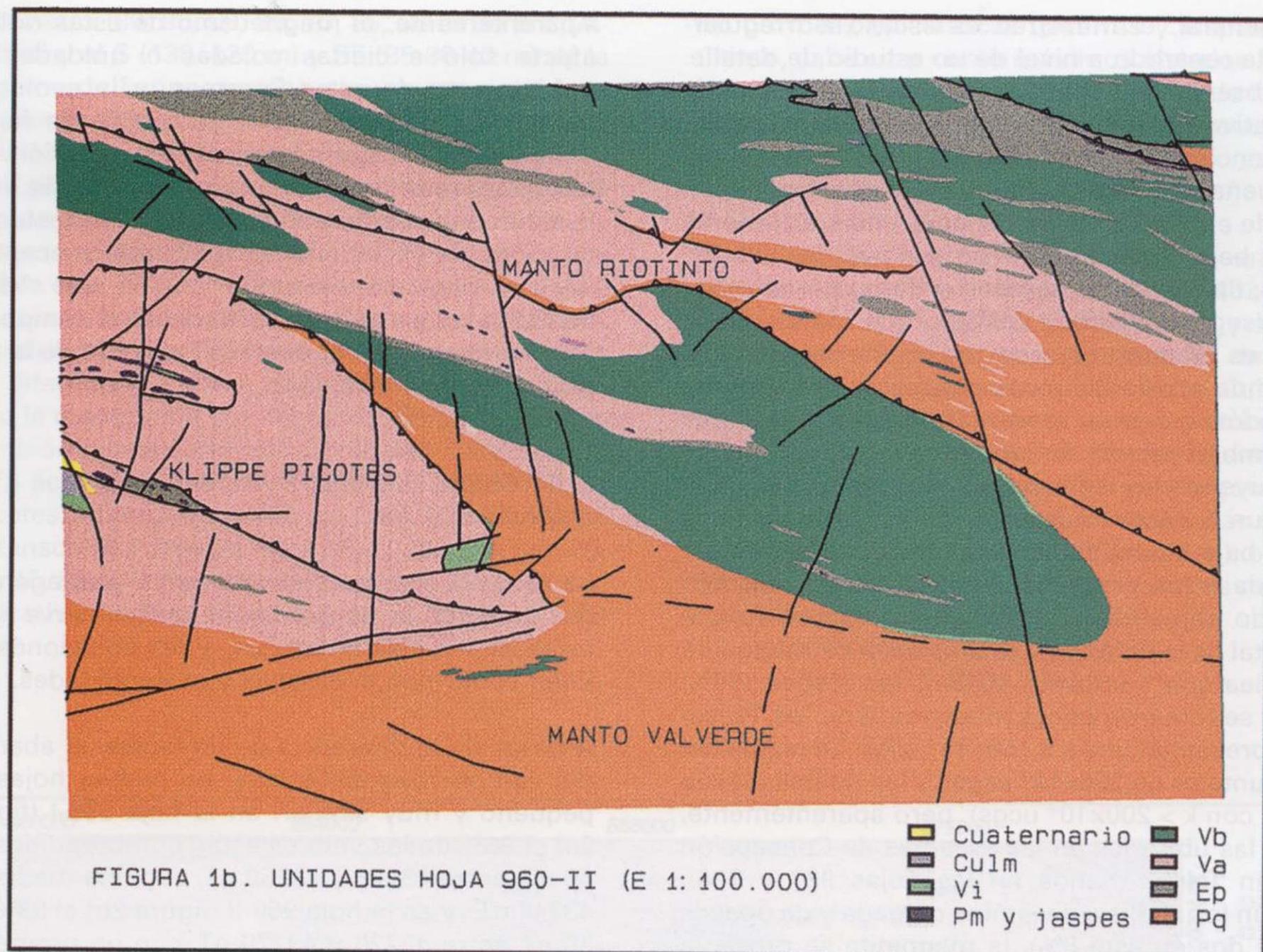
información geofísica infraestructural que permita apoyar proyectos de cartografía geológica en general y de búsqueda de yacimientos.

Además de los registros del vuelo (archivos de línea) y mallas procesadas (informe 40464 del fondo documental del ITGE), para la interpretación se hace uso de las bases de datos institucionales del ITGE, como la de cartografía geológica (revisión del MAGNA 1:50.000 en el "Proyecto Integrado geológico y metalogenético de la Faja Pirítica. Fase I. 1995", informe 40445, con su síntesis y nomenclatura de unidades litoestratigráficas y estructurales); la de indicios mineros y sondeos mecánicos; la gravimetría estructural de la Faja de 1992 (informe 40415); y el modelo digital de terreno del Servicio Geográfico del Ejército. En las figuras 1a y 1b se observa la síntesis de unidades de las hojas, constituida en resumen por pizarras y cuarcitas del Devónico Superior

(Pq), volcanitas básicas, intermedias y ácidas y epiclastitas (Vb, Va, Vi, Ep respectivamente) del Complejo Volcánico Sedimentario (CVS. Tournasiense-Viseense), y pizarras y grauwacas del grupo Culm (Carbonífero Superior). No detallamos las unidades estructurales (mantos y escamas), pero aludiremos cuando sea necesario a las indicadas en dichas figuras.

El análisis magnético se realiza con la imagen de campo total, sobre la que se establece la zonación básica, la imagen de gradiente vertical, sobre la que se localizan los ejes anómalos, y los mapas de Euler que confirman las anomalías y proporcionan rangos de profundidad. La radiometría se interpreta con el mapa ternario, teniendo en cuenta los contenidos de cada radioelemento por formación. Por último, se cruzan las respuestas magnéticas y radiométricas con datos gravimétricos y topográficos. La aplicación





usada ha sido el paquete OASIS de Geosoft con apoyo del SIG Arc/Info, gestor institucional de las bases del ITGE.

Una descripción más extensa de la que aquí se presenta es la de los respectivos informes de interpretación de cada hoja (40469 y 40474). Para una visión regional de las anomalías magnéticas de la Faja pueden consultarse el informe 40445 o GARCÍA et al (1998).

## 2. PETROFÍSICA

Durante la realización del citado "Proyecto Integrado. Fase I" se recogieron un total de 1222 muestras de las que se determinó (informe 40454, 1996), entre otros parámetros, su densidad  $d$  y susceptibilidad magnética  $k$ , ambas aparentes. Recuérdese que la susceptibilidad depende del contenido en minerales ferromagné-

ticos de la roca (como regla general, es del orden de 0.003 veces el porcentaje de magnetita), de sus condiciones de cristalización y enfriamiento posterior (oxidación deutérica, exolución), y de su historia postformacional (metamorfismo, cataclasis, alteración). Los rangos y promedios para las 92 muestras de las dos hojas son:

	MUESTRAS	RANGO $k \text{ ucgx}10^6$	MEDIA $k$ $\text{ucgsx}10^6$	RANGO $d$ g/cc	MEDIA $d$ g/cc
BASALTOS (Vb)	14	30-146	62	2.78-3.08	2.94
DIABASAS	4	25-70	53	2.89-2.98	2.95
ANDESITAS (Vi)	6	30-53	39	2.61-2.78	2.70
DACITAS (Va)	12	9-87	34	2.35-2.83	2.69
RIOLITAS (Va)	9	10-62	33	2.41-2.73	2.58
PIRITA	7	18-86	52	3.45-4.87	4.39
GRAUWACAS	4	10-38	26	2.54-2.63	2.60
PIZARRAS	36	2-65	31	2.20-2.69	2.51

TABLA I. Resumen de datos de Petrofísica en las hojas 959-I y 960-II

En general, el muestreo es escaso e irregularmente repartido a nivel de un estudio de detalle. Se observa que mientras existen contrastes significativos de densidad, las susceptibilidades se diferencian muy poco, siendo en todo caso muy pequeñas. Lo mismo ocurre en el muestreo total, donde el 96% de las mediciones alcanzan valores muy bajos, inferiores a un umbral de  $200 \times 10^{-6}$  ucgs, típicos de un comportamiento paramagnético (según HENKEL, 1994), lo que indica que la Faja es en conjunto una región demagnetizada. Dejando aparte las rocas plutónicas (y los casos anecdóticos), sólo presentan valores superiores al umbral citado las rocas volcánicas básicas (incluyendo las diabasas además de los basaltos) con un 5.2% de muestras con  $k > 200 \times 10^{-6}$  ucgs ("La baja susceptibilidad del conjunto puede ser debida a los procesos de alteración a que han estado sometidas estas rocas; el opaco fundamental es la ilmenita y la presencia de magnetita es aleatoria". Informe 40454); los jaspes (36%, pero se tomaron pocas muestras; 8 de los 11 jaspes presentan una  $k > 150 \times 10^{-6}$  ucgs. La media del conjunto es de  $206 \times 10^{-6}$  ucgs); y las riolitas (8% de ellas con  $k > 200 \times 10^{-6}$  ucgs), pero aparentemente, sólo las ubicadas en las escamas de Concepción y San Telmo (banda en las hojas 937 y 938). Según los análisis de lámina delgada y de opacos (sólo dos en este 8%), la magnetita se presenta en forma de disseminación de cristales idiomorfos, con hematites (martita) secundario de ella. En ninguno de los 78 estudios de opacos realizados se detectó la presencia de pirrotina como posible fase magnética de la muestra.

Se concluye que las anomalías magnéticas de la Faja residen en el CVS. Ahora bien, dadas las bajas susceptibilidades de las volcanitas básicas y la agrupación geográfica de las riolitas más magnéticas, como los jaspes constituyen una litología marginal (pero significativa, pudiendo dar lugar a anomalías magnéticas locales importantes como lo atestiguan los mapas del vuelo), de todos estos aspectos se deriva la no existencia de marcador magnético regional en la Faja más particularizado que el CVS en su conjunto (informe 40445). Respecto a la situación de las riolitas de mayor susceptibilidad, v.g., entre las 34 de la Escama de Concepción 11 tienen  $k > 200 \times 10^{-6}$  ucgs (el 32%. Para este grupo el rango es 289-883 y la media  $563 \times 10^{-6}$  ucgs). De las otras 23, 10 son del tipo tectonizada o desvitrificada.

Aparentemente, el magnetismo de estas riolitas afecta sólo a ciertas coladas o unidades de enfriamiento de estas Escamas, y la evolución posterior a su emplazamiento reduce de forma drástica sus susceptibilidades. En conclusión, faltan determinaciones en muestreos de más detalle tanto en superficie como en sondeos (estudios de modo de yacer, análisis químicos, susceptibilidad y paleomagnetismo), por lo que "**debe investigarse en mayor profundidad el comportamiento magnético general de las rocas de la faja píritica**" (informe 40454).

### 3. INTERPRETACIÓN DE ANOMALÍAS MAGNÉTICAS

La zonación básica se realiza con la imagen de campo total, la de gradiente vertical sirve para localizar los ejes anómalos, y las soluciones de Euler confirman anomalías y profundidades.

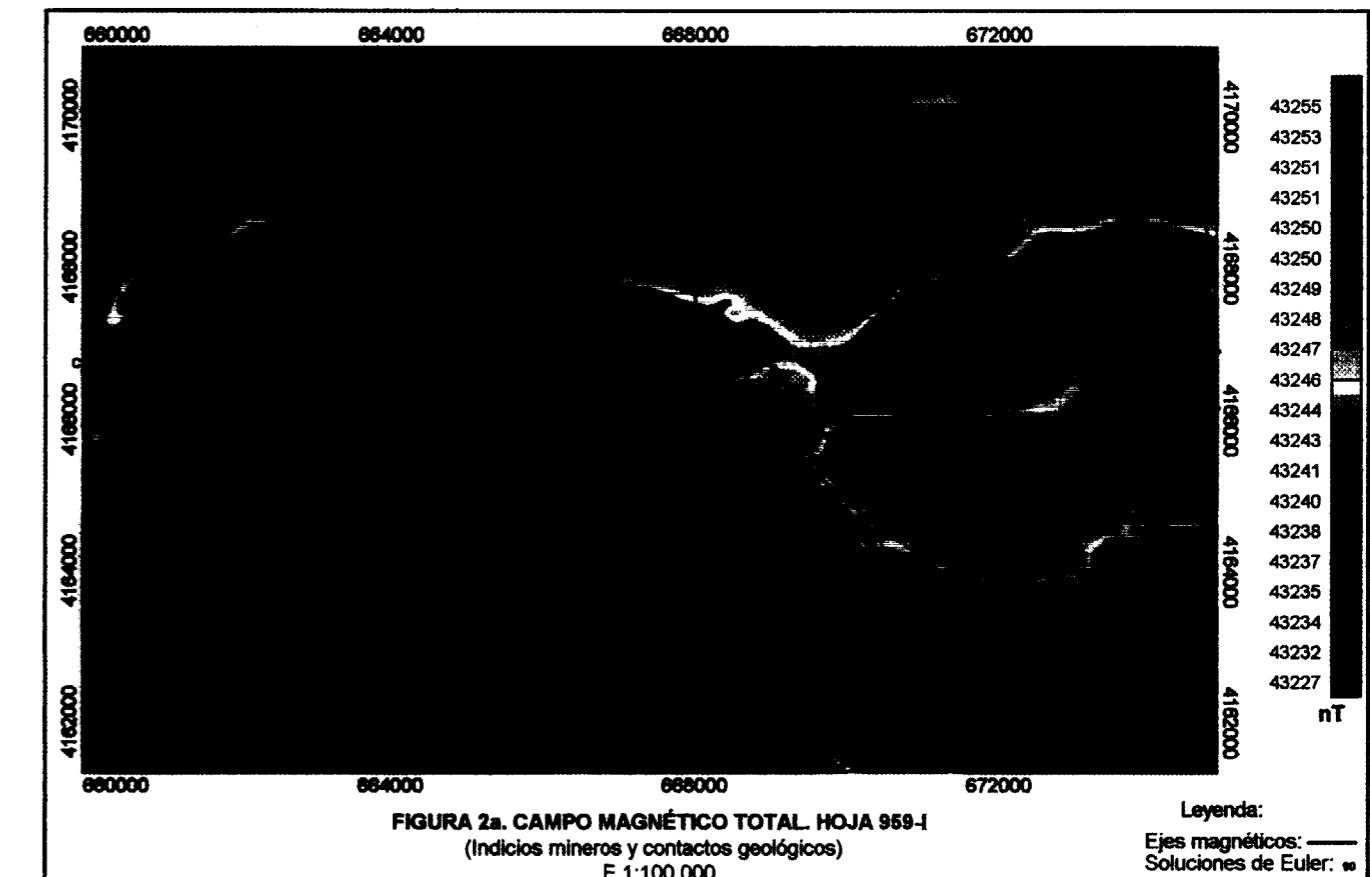
A pesar de la diferencia de litologías, el abanico del campo magnético total en ambas hojas es pequeño y muy similar: en la hoja 959-I (figura 2a) el 96% de los valores están comprendidos en 40 nT, entre 43220 y 43260 nT, con una media de 43244 nT, y en la hoja 960-II (figura 2b) el 99% en 50 nT entre 43220 y 43270 nT, con un promedio de 43238 nT (estadísticas de datos en malla). Esta situación es normal en la Faja Píritica y consecuente con su bajo perfil de susceptibilidades ya comentado en el apartado anterior. No obstante, las hojas presentan anomalías diversas (tipos dique, placa, y dipolares), que se van a etiquetar y enumerar según su profundidad de Euler (véase más abajo la aplicación del método). Las anomalías, algunas someras (<100 m) y otras profundas (centenares de metros), se ubican en zonas magnéticas de diferente textura, pero de notable consistencia en cuanto a rangos en ambas hojas (figuras 2a y 2b):

**A)** Zonas de campo alto, superior a los 43250 nT (tonos rojos). En la hoja 959-I se ubican en su mitad N y tercio E, principalmente en Culm, reflejando accidentes de cierta extensión y profundidad intermedia (diversas soluciones de Euler entre 150-250 m al N, 500 m al E). Esta zona de máximos incluiría también el conjunto de anomalías someras de origen no muy claro, pero que aparecen relacionadas con jaspes, v.g., en todo el

perímetro (80, 90, 60, 30, 70, 85, 35 m de profundidad) y al S (130, 120 m) y SE (85-30-40 m) de la escama de Lagunazo (con alguna anomalía más profunda -250, 290 m- en su interior). En la hoja 960-II las zonas de campo elevado se localizan casi siempre sobre los afloramientos de rocas Vb donde no se representa ni etiqueta ningún eje. Es espectacular la coincidencia de la anomalía magnética con el gran afloramiento central de este tipo de volcanitas. Obsérvese que en el área de la esquina NE de la hoja la respuesta de estas rocas es diferente. La firma radiométrica aquí sugiere que la mayoría no son rocas Vb. Otras anomalías también destacables en la hoja 960-II son las del CVS ácido de su tercio central y O (klippe de los Picotes), tanto en relación con afloramientos extensos de rocas Va (ejes 45, 40, 90, 70-100, 20-40, 45, 80 m) como con otros pequeños pero significativos (conjunto de máximos 30, 65, 60, 30

m) de rocas epiclásicas (pizarras y jaspes). Por último, cabe citar como máximos aislados los de las esquinas SE (90 m) y SO (110-50 m) de la hoja que son anomalías que indican la presencia del CVS próximo a la superficie, permitiendo evaluar la potencia del Pq sobre ellas.

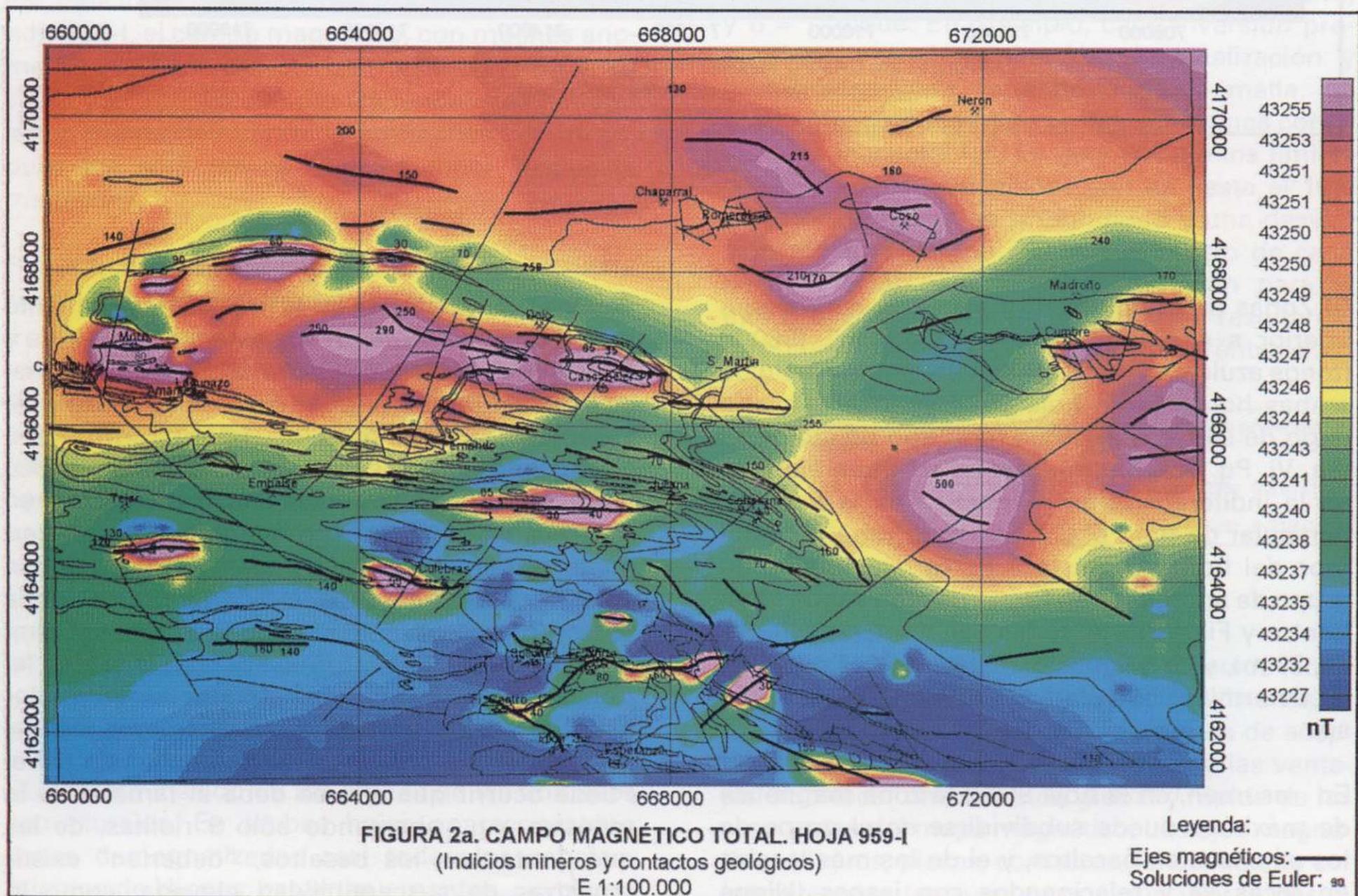
**B)** Zonas de campo intermedio, en un entorno aproximado de 5 nT alrededor de los 43242 nT (959-I) y 43237 nT (960-II) (tonos verdes y amarillos). Caracterizan las rocas epiclásicas del CVS en general, y algunas áreas del Pq y Culm en transición a un CVS más o menos próximo en superficie o en profundidad. Ocurren asimismo en buena parte de las rocas Va y en algunas de las consideradas Vb, como las citadas más arriba al NE de la hoja 960-II (ejes 30, 100, 65 m), o en la Escama de Villanueva donde los basaltos no producen anomalía magnética.

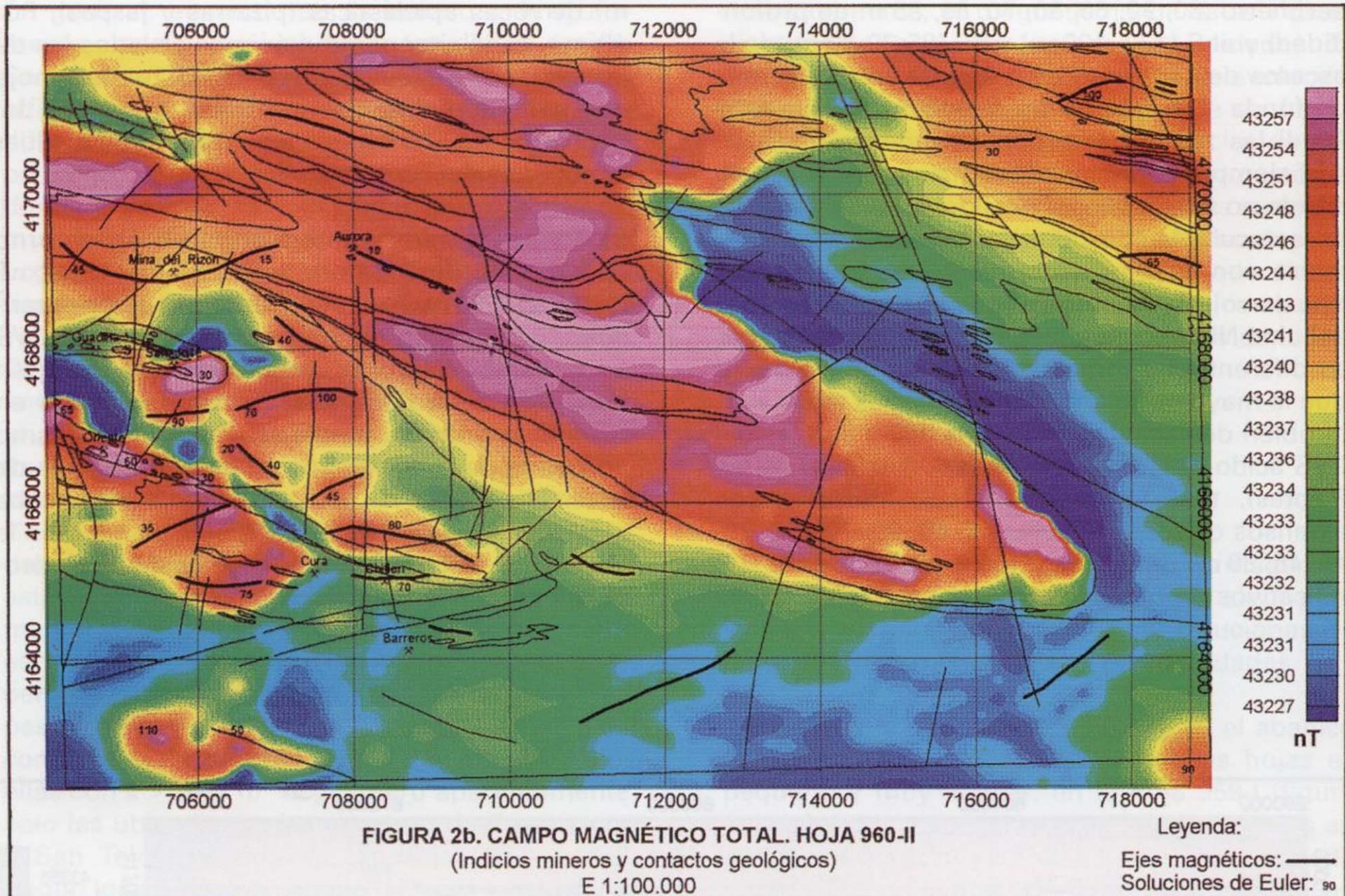


perímetro (80, 90, 60, 30, 70, 85, 35 m de profundidad) y al S (130, 120 m) y SE (85-30-40 m) de la escama de Lagunazo (con alguna anomalía más profunda -250, 290 m- en su interior). En la hoja 960-II las zonas de campo elevado se localizan casi siempre sobre los afloramientos de rocas Vb donde no se representa ni etiqueta ningún eje. Es espectacular la coincidencia de la anomalía magnética con el gran afloramiento central de este tipo de volcanitas. Obsérvese que en el área de la esquina NE de la hoja la respuesta de estas rocas es diferente. La firma radiométrica aquí sugiere que la mayoría no son rocas Vb. Otras anomalías también destacables en la hoja 960-II son las del CVS ácido de su tercio central y O (klippe de los Picotes), tanto en relación con afloramientos extensos de rocas Va (ejes 45, 40, 90, 70-100, 20-40, 45, 80 m) como con otros pequeños pero significativos (conjunto de máximos 30, 65, 60, 30

m) de rocas epiclásticas (pizarras y jaspes). Por último, cabe citar como máximos aislados los de las esquinas SE (90 m) y SO (110-50 m) de la hoja que son anomalías que indican la presencia del CVS próximo a la superficie, permitiendo evaluar la potencia del Pq sobre ellas.

**B)** Zonas de campo intermedio, en un entorno aproximado de 5 nT alrededor de los 43242 nT (959-I) y 43237 nT (960-II) (tonos verdes y amarillos). Caracterizan las rocas epiclásticas del CVS en general, y algunas áreas del Pq y Culm en transición a un CVS más o menos próximo en superficie o en profundidad. Ocurren asimismo en buena parte de las rocas Va y en algunas de las consideradas Vb, como las citadas más arriba al NE de la hoja 960-II (ejes 30, 100, 65 m), o en la Escama de Villanueva donde los basaltos no producen anomalía magnética.

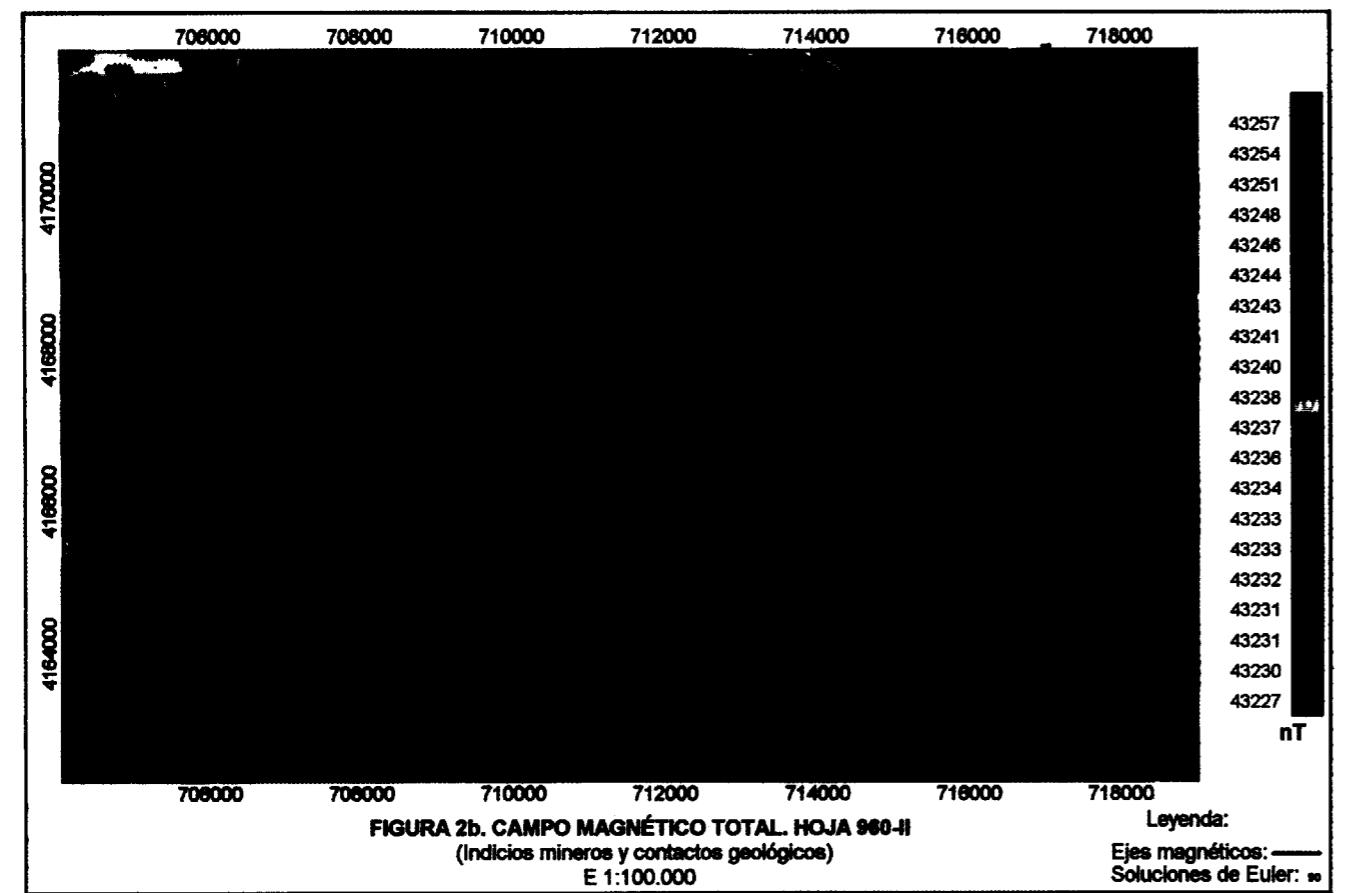




C) Zonas de tranquilidad magnética, con campo inferior a 43237 nT (959-I) y 43232 nT (960-II) (tonos azules). Corresponden en general al Pq de ambas hojas. En la hoja 959-I se localizan a lo largo de su tercio S sobre todo tipo de litologías (Va, Vi, Pq, Ep y Culm). Este es un buen ejemplo de la indiferenciación magnética de la Faja, en particular de todo el CVS. En esta zona de mínimos del borde S, destaca de forma notable un grupo de anomalías en forma de arco según Filón Centro y Filón Norte: todas son someras (40, 80, 60, 30 m), y de asignación cartográfica imposible de determinar con el nivel de detalle de la síntesis.

En resumen, en la hoja 960-II la zona magnética de máximos puede subdividirse en el grupo de los extensos en basaltos, y el de los más locales en rocas Va y relacionados con jaspes (klippe

Picos y su periferia). En la hoja 959-I el conjunto de máximos comprende los extensos del Norte y Este en Culm, los locales probablemente originados por jaspes en el perímetro de la Escama de Lagunazo, y máximos de Filón Centro-Filón Norte. Este tipo de campo no es el característico de muchas de las litologías en cuestión (Culm en 959-I, Va en 960-II), por lo que queda por discernir el origen de estas anomalías. El cruce con datos gravimétricos, no indica la presencia de rocas Vb en profundidad en ambos casos (Culm, Va). Los datos de susceptibilidad de la tabla I (el muestreo de las hojas no detecta ningún valor superior a  $200 \times 10^{-6}$  uGcs, ni se recogieron jaspes) no justifican la presencia de anomalías en el Va. Puede ocurrir que ello se deba al tamaño de la muestra, v.g., abarcando sólo 9 riolitas, de las que, junto con los basaltos, "deberían" existir muestras de susceptibilidad elevada, como lo



C) Zonas de tranquilidad magnética, con campo inferior a 43237 nT (959-I) y 43232 nT (960-II) (tonos azules). Corresponden en general al Pq de ambas hojas. En la hoja 959-I se localizan a lo largo de su tercio S sobre todo tipo de litologías (Va, Vi, Pq, Ep y Culm). Este es un buen ejemplo de la indiferenciación magnética de la Faja, en particular de todo el CVS. En esta zona de mínimos del borde S, destaca de forma notable un grupo de anomalías en forma de arco según Filón Centro y Filón Norte: todas son someras (40, 80, 60, 30 m), y de asignación cartográfica imposible de determinar con el nivel de detalle de la síntesis.

En resumen, en la hoja 960-II la zona magnética de máximos puede subdividirse en el grupo de los extensos en basaltos, y el de los más locales en rocas Va y relacionados con jaspes (klippe

Picos y su periferia). En la hoja 959-I el conjunto de máximos comprende los extensos del Norte y Este en Culm, los locales probablemente originados por jaspes en el perímetro de la Escama de Lagunazo, y máximos de Filón Centro-Filón Norte. Este tipo de campo no es el característico de muchas de las litologías en cuestión (Culm en 959-I, Va en 960-II), por lo que queda por discernir el origen de estas anomalías. El cruce con datos gravimétricos, no indica la presencia de rocas Vb en profundidad en ambos casos (Culm, Va). Los datos de susceptibilidad de la tabla I (el muestreo de las hojas no detecta ningún valor superior a  $200 \times 10^{-6}$  ucgs, ni se recogieron jaspes) no justifican la presencia de anomalías en el Va. Puede ocurrir que ello se deba al tamaño de la muestra, v.g., abarcando sólo 9 riolitas, de las que, junto con los basaltos, "deberían" existir muestras de susceptibilidad elevada, como lo

atestiguan sus anomalías en la hoja 960-II. También puede suceder que las susceptibilidades en superficie no sean fiel reflejo de los valores en profundidad, factor que puede ser decisivo en un muestreo tan reducido. Obviamente se requieren muestreos más detallados para alcanzar conclusiones definitivas sobre el origen de las anomalías, con más razón tratándose de un parámetro como la susceptibilidad con fuertes variaciones locales en tramos de litologías aparentemente homogéneas.

En general, la hoja 960-II es un buen ejemplo del comportamiento magnético de las rocas de la Faja Pirítica, ya citado, en el que el marcador magnético global es el CVS frente a los metasedimentos paramagnéticos del Pq y Culm, si bien son posibles todo tipo de situaciones (campo alto, intermedio o bajo) sobre todo tipo de litologías (volcanitas y epiclastitas), como se pone de manifiesto en la hoja 959-I. En términos de variedad magnética, es interesante el tercio O de la hoja 960-II, donde por otro lado aparecen todos los indicios mineros localizados en ella. En la hoja 959-I, el campo magnético, con muchas anomalías en Culm, caracteriza mal la cartografía de superficie, reflejando sólo las tendencias generales y apenas los cambios litológicos concretos, pues los sólo jaspes parecen tener respuesta magnética.

Por lo que se refiere a la interpretación estructural del magnetismo interesa:

- La delineación de discontinuidades magnéticas que implican masas de basamento manifestadas por cambios notables de la tendencia magnética (en la hoja 959-I pasa de EO a ESE, a través de la línea NE-SO que une Villanueva y Tharsis), o por la existencia de gradientes elongados que puedan suponer cuerpos ubicados a profundidad kilométrica, como el de la zona N de la misma hoja que eleva el campo magnético en unos 10 nT, si bien puede ser efecto de una superposición de anomalías originadas en cuerpos emplazados a profundidad hectométrica (figura 2a).

- La determinación de los límites de las unidades estructurales. En ambas hojas aparecen como zonas demagnetizadas casi todos los cabalgamientos de klippe, escamas y mantos, cuyo con-

torno produce mínimos claros de gradiente vertical (figura 3a).

- La mayoría de las fallas tiene este mismo carácter, mostrando excelentes respuestas como discontinuidades en la imagen de gradiente vertical, siendo el uso de ésta muy recomendable para su seguimiento (figura 3a). Las discontinuidades de este gradiente que atraviesan contactos geológicos pueden representar zonas de fractura sin o con desplazamiento mínimo. Su importancia debe ser contrastada con los datos gravimétricos de las hojas.

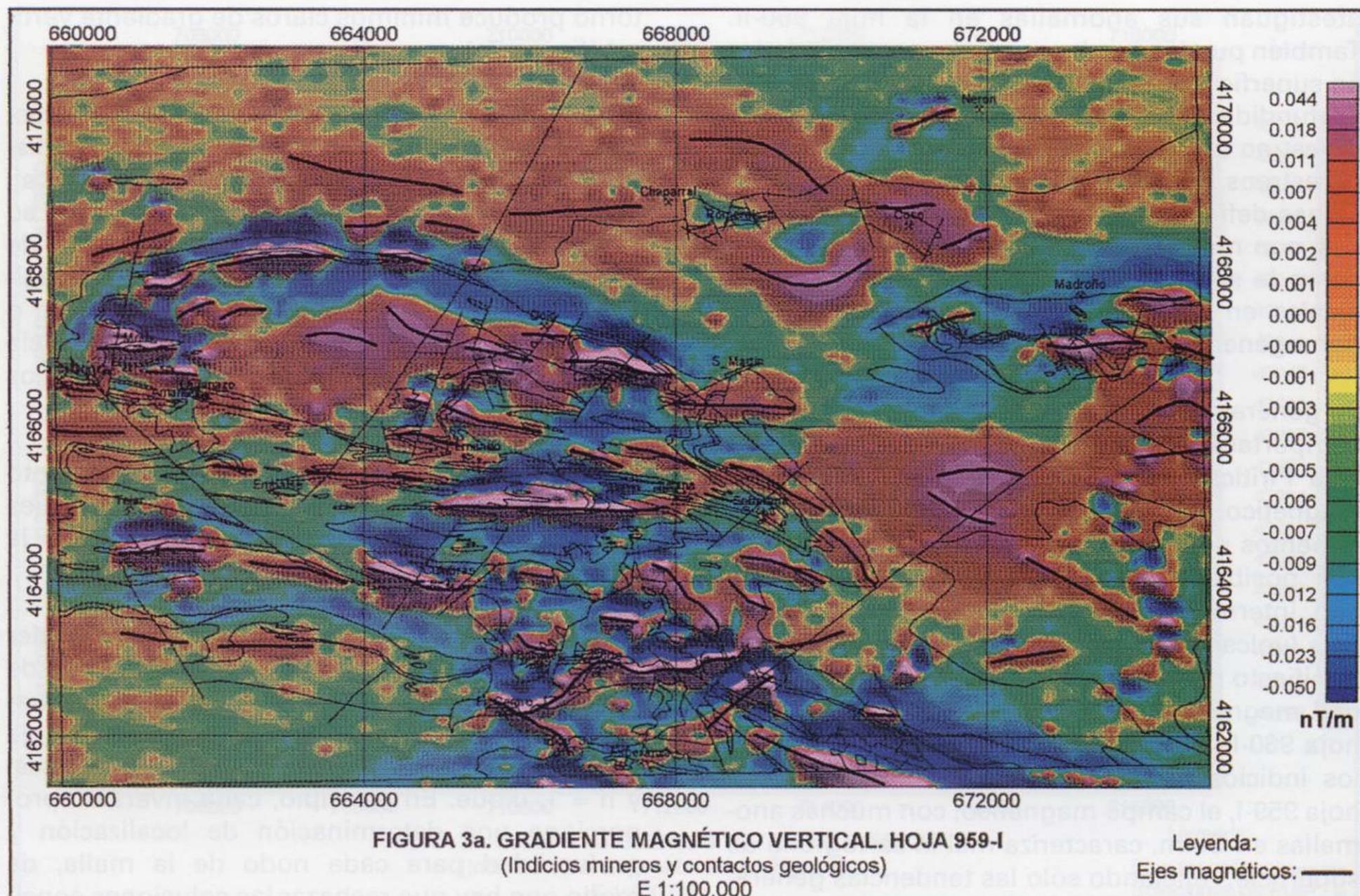
- También existen estructuras de plegamiento que en la imagen del gradiente vertical dan ejes de anomalías arrostradas, que complican la interpretación de las fallas.

Finalmente, respecto a la Deconvolución de Euler (REID et al, 1990), se ha aplicado un esquema de inversión en ventanas de 10x10 celdas (100 ecuaciones) sobre la malla completa de cada hoja para valores del índice estructural  $n = 0.5$ , placa, y  $n = 1$ , dique. En principio, cada inversión proporciona una determinación de localización y profundidad para cada nodo de la malla, de modo que hay que rechazar las soluciones consideradas inaceptables. En este trabajo los límites de admisión de soluciones son de hasta el 10% de error de ajuste en profundidad y una desviación máxima de 750 m entre el centro de cada deconvolución y el de cada solución para el índice 0.5 (7% y 400 m para  $n = 1$ ), resultando (profundidades en m, media entre paréntesis):

Fuente	índice estructural	Celda (m)	Nº de soluciones 959-I 960-II	Rango profundidad 959-I 960-II
Placa	0.5	100 (10x10)	2114 4228	0-620 (236) 0-518 (108)
Dique	1	50 (10x10)	8446 15476	0-317 (129) 0-316 (137)

Tabla II. Determinaciones de Euler

A pesar de la sensibilidad frente a diversos factores (índice, tamaño de celda y número de ellas en la ventana de deconvolución, y criterios de aceptación de soluciones), el método tiene las ventajas de ofrecer una solución global y rápida de las respuestas del mapa magnético. Los ejes magnéticos (diques, placas, contactos, fallas) han de ser interpretados tanto en su posición (por la deslo-

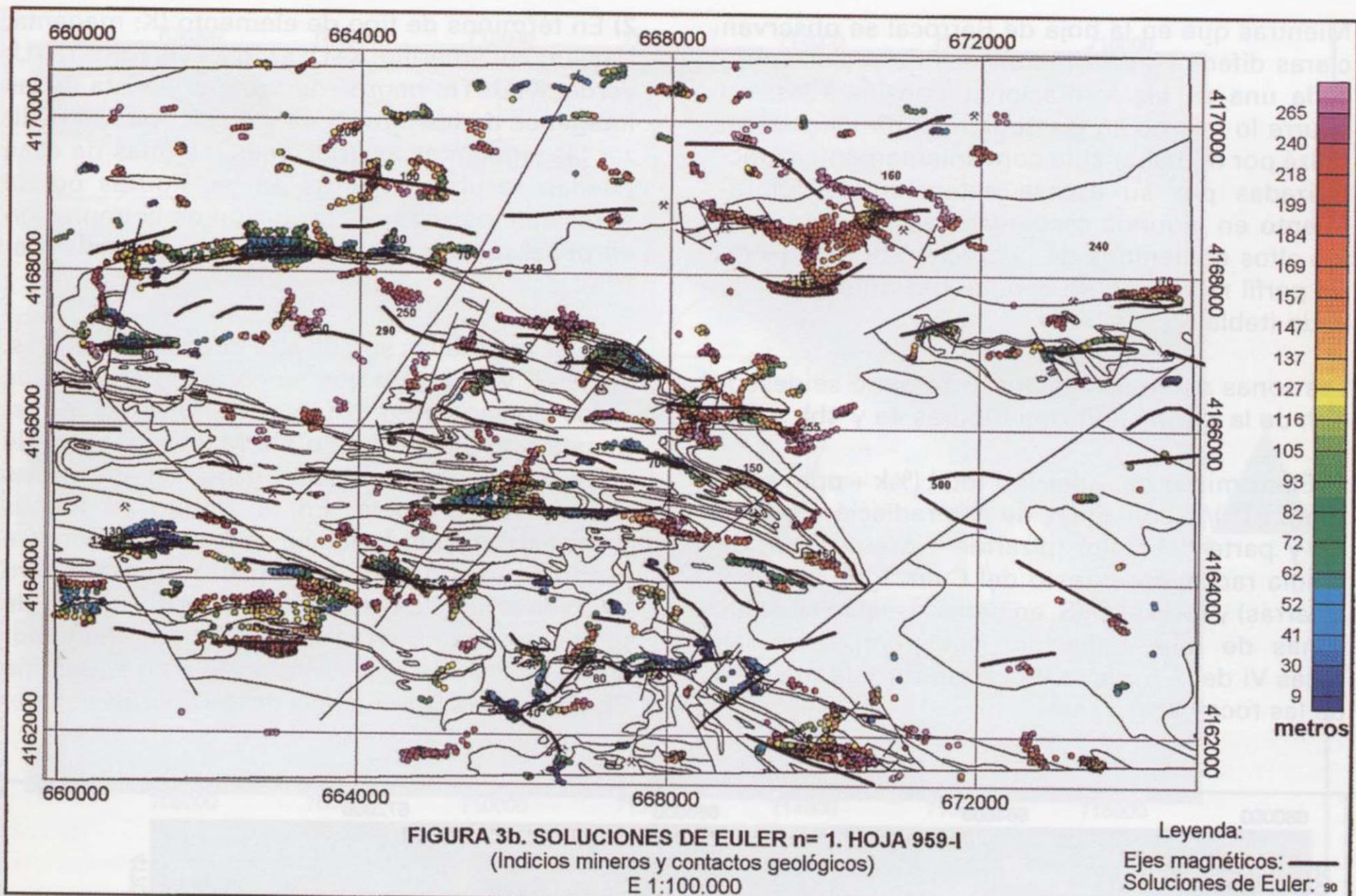


calización de las determinaciones), como en su profundidad (variable según el gradiente a lo largo de cada eje, que puede verse afectado por variaciones de altura). El problema de la deslocalización puede remediararse en parte considerando los ejes de gradiente vertical, por lo que éstos se han trasladado a la figura 3b con las determinaciones de Euler para el índice  $n = 1$ . Como estas profundidades son muy sensibles a los factores arriba citados, conviene compararlas con los resultados de otros métodos, v.g., modelos 2D o profundidades gráficas, según la extensión de la línea de máxima pendiente de la anomalía en perfil (SPECTOR y LAWYER, 1995). En la tabla III adjunta se observa que las profundidades de Euler y gráficas son comparables en general, y que aquéllas tienden a ser algo más profundas con el aumento del índice (en las figuras 2a y 3b las soluciones en negrita corresponden a  $n = 0.5$ ).

#### 4. RADIOMETRÍA

Las medidas radiométricas provenientes de un espectrómetro aéreo calibrado constituyen una buena aproximación de los contenidos de radioelementos de las rocas (con la excepción del U, pues su serie de desintegración suele encontrarse en desequilibrio), de manera que cada registro radiométrico puede considerarse una medida geoquímica (con medios geofísicos), de la distribución de los radioisótopos naturales  $^{40}\text{K}$ ,  $^{235}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$ , y  $^{232}\text{Th}$ .

Diferentes tipos de roca tienen diferentes contenidos de radioisótopos según su evolución magnética y ciclo geoquímico posterior (DARNLEY y FORD, 1987), pero la amplitud de los rangos de variación hace que una determinada proporción de éstos no identifique únicamente un tipo lito-



lógico. No obstante, hoy se admite que la radiometría aeroportada, a través del mapa radiométrico ternario K-U-Th, ofrece la imagen geofísica

de más calidad como instrumento de correlación con la cartografía geológica de superficie.

En el caso de las hojas de Villanueva (959-I) y Berrocal (960-II), proyectando mediante una técnica clásica de superposición en SIG los polígonos geológicos digitales codificados para cada formación sobre las mallas de %K, ppm eU y ppm eTh, se obtienen mallas parciales por formación para cada radioelemento, cuyos promedios para el conjunto de datos de cada malla se presentan en la tabla siguiente:

Prof. Euler n = 1 Ventana = 500	Prof. Euler n = 0.5 Ventana = 1 Km	Profundidades gráficas Profundidad	Perfil	Y
-	500	385	L1630	4165150
210	170	285	L1637	4167850
30	-	22	L1641	4162650
60	-	31	L1644	4162850
85	35	62	L1648	4166750
40	30	27	L1650	4164900
40	-	27	L1653	4162300
55	-	52	L1659	4164000
250	290	192	L1661	4167000
150	150	161	L1661	4169250
60	30	28	L1665	4168150
140	-	77	L1665	4164100
180	140	-	-	4163200
120	130	36	L1671	4164400
80	60	20	L1672	4167000

TABLA III. Comparación de profundidades. Hoja 959-I

	% K	ppm eU	ppm eTh	
Culm	959-I 3.19	960-II -	959-I 2.66	960-II 14.40
Vi	2.38	-	2.08	-
Vb	2.48	1.05	1.64	0.86
Va	2.50	2.07	1.92	1.50
Ep	2.75	2.53	1.94	1.59
Pq	2.95	3.59	2.37	2.31
				15.16
				15.80

TABLA IV. Promedios de contenidos en radioelementos según valores en malla

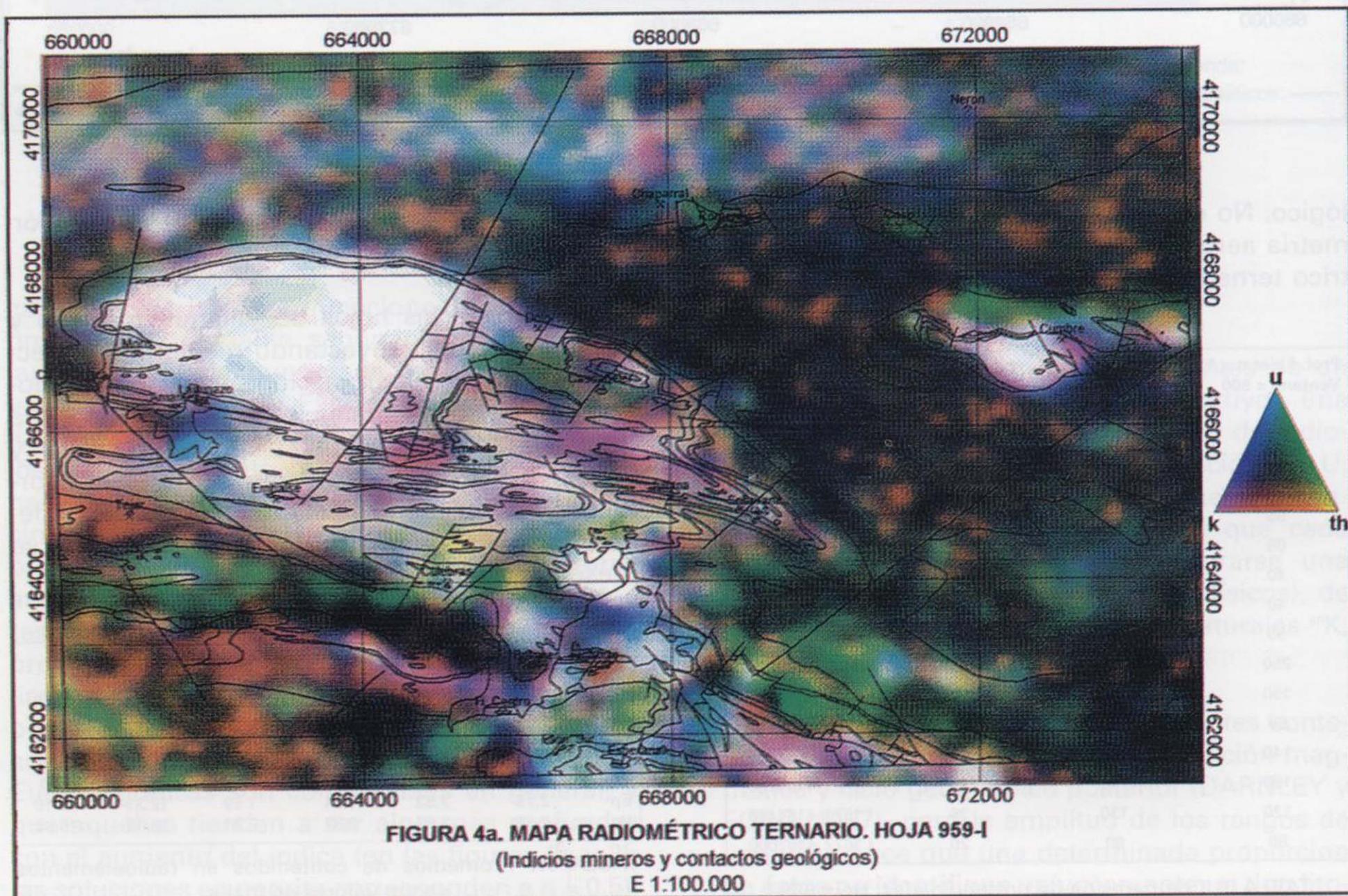
Mientras que en la hoja de Berrocal se observan claras diferencias en los niveles de radiación de cada una de las formaciones consideradas, no ocurre lo mismo en las de la hoja de Villanueva, quizás por no haber sido convenientemente caracterizadas por su escasa extensión de afloramiento en algunos casos (v.g., sorprenden aquí los altos contenidos de las rocas Vb), dentro de un perfil radiactivo en general bastante más elevado (tabla IV).

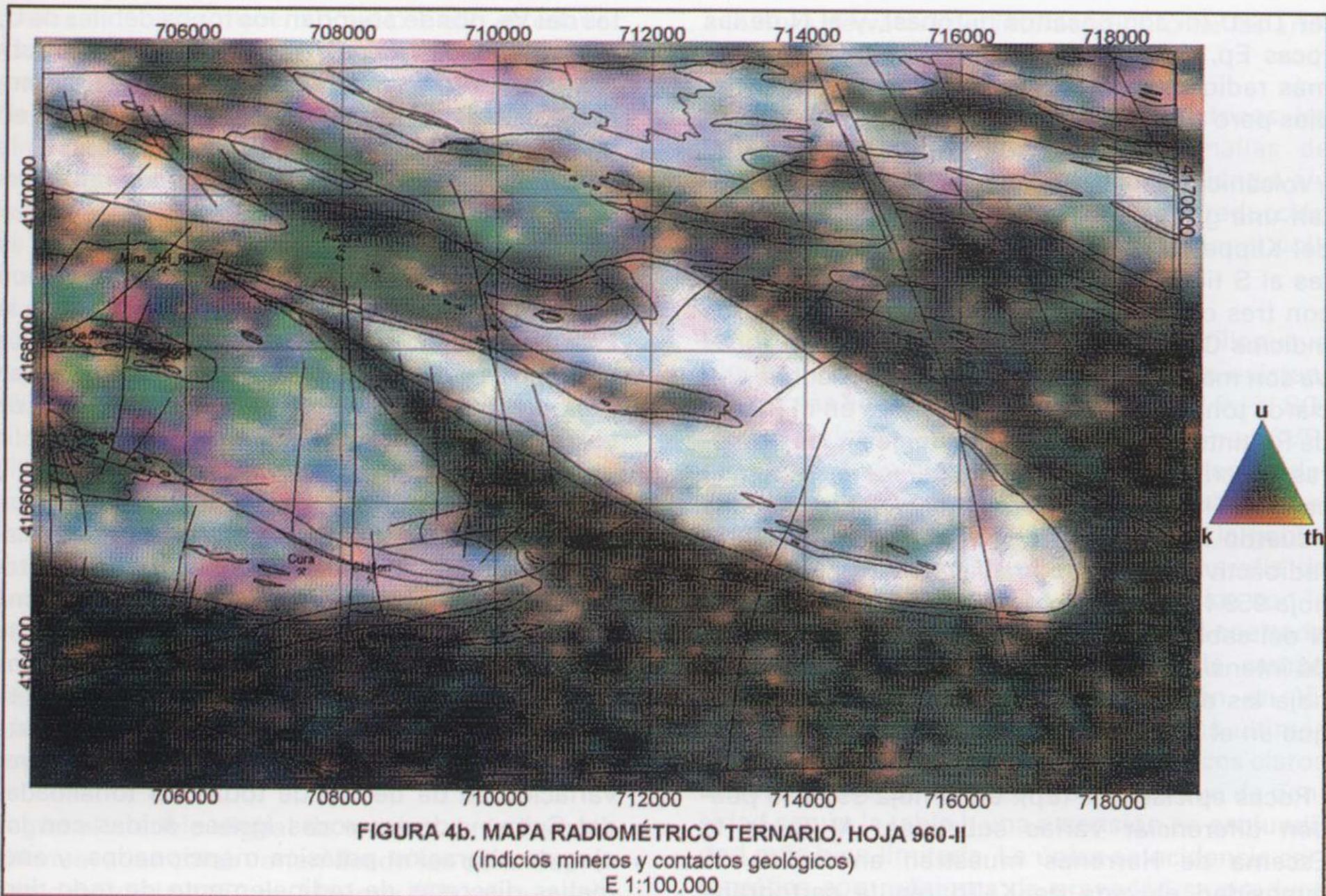
Las zonas anómalas del mapa ternario se describen de la siguiente forma (figuras 4a y 4b):

**1)** En términos de radiación total (%k + ppm eU + (ppm eTh)/4) son zonas de alta radiación todo el Pq y parte del Culm (pizarras y grauwacas); de media radiación el resto del Culm (grauwacas y pizarras) y todo el CVS en general, salvo el de las zonas de baja radiación, que comprende las rocas Vi de la Escama de Lagunazo y la mayoría de las rocas Vb.

**2)** En términos de tipo de elemento (K: magenta; U: cian; Th: amarillo; K+U: azul; K+Th: rojo; Th+U: verde; K+U+Th: negro –neutro–), a la vista de las imágenes de las figuras 4a y 4b se podrían realizar las siguientes asignaciones (algunas de ellas pueden resultar dudosas en las figuras por la apreciable pérdida de resolución de la impresión en papel respecto al despliegue en pantalla gráfica):

-Pq: las anomalías son de alta intensidad neutras, de Th+K y Th+U (lo que se corresponde con los datos presentes en la tabla IV). Th+K es la respuesta dominante del Pq del Manto de Valverde y Th+U la del de Puebla de Guzmán en los mapas regionales del vuelo. En el ámbito de ambas hojas existen subzonaciones que pueden deberse a un Pq más o menos pelítico o arenoso, pero también a efectos topográficos (v.g., dentro de todo el margen S de la hoja 960-II dominado por la red de drenaje del río Tinto. Aquí en la esquina SE se observa la influencia de los aportes del dre-





naje en los tonos azulados más débiles que el resto). Por todo ello es arriesgado establecer diferencias radiométricas entre los Pq de los diferentes mantos presentes. Lo que sí se puede afirmar es que las pizarras del Pq son claramente más radiactivas que las del CVS (Ep. Tabla IV).

- Culm (hoja 959-I): se puede diferenciar el Culm de grauwacas y pizarras, con todo tipo de anomalías de U, K, Th, K+Th y U+Th, del Culm de pizarras y grauwacas con anomalías de alto nivel principalmente neutras y de K+Th, y en menor medida de K+U. Se observa que la coincidencia de estas dos zonas generales con los límites cartográficos MAGNA no es exacta, existiendo un buen número de subzonaciones radiométricas en ambas.

- Volcánicas intermedias (Vi. Hoja 959-I): dejando aparte las Vi de la Escama de Lagunazo, sin respuesta radiométrica, su firma general es de U+Th

(Vi de las Escamas de Herrerías y Villanueva), aunque también presenta anomalías de K+U en el Manto de Puebla al SE de la Escama de Lagunazo.

- Volcánicas básicas (Vb): los afloramientos de estas rocas se distinguen con facilidad por ser los de menor radiación natural. En la hoja 960-II el del N es ligeramente más radioactivo, con algunos tonos de U (al S) y K (al N. Aquí la radiometría está distinguiendo las tobas básicas al N de los basaltos del S). Al otro lado de la falla Eduardo, en el sector NE es preciso una revisión cartográfica (ya se ha señalado el magnetismo intermedio de las supuestas rocas Vb de esta zona, diferente del resto): la radiometría distingue aquí tres bandas o tipos de rocas Vb y sólo una de ellas, la central y al S del afloramiento de rocas Ep de este sector, tiene una respuesta similar a la de los basaltos del afloramiento N al O de la falla. Al S de esta banda existe otra con carác-

ter Th+U (ni son basaltos ni tobas), y al N de las rocas Ep, otra banda (U y Th+K, y K) bastante más radioactiva (pueden ser volcanitas intermedias pero no basaltos).

- Volcánicas ácidas (Va): en la hoja 960-II presentan una gran variedad de respuestas. Las rocas del Klippe de la Sierra de los Picotes y adyacentes al S tienen un perfil muy bajo general de U, con tres claros ejes de K (el más al S según los indicios Cura-Chiflón). Al N del Klippe las rocas Va son más radiactivas que las de los Picotes, con claros tonos de Th+U. Más al N, y ya en el Manto de Riotinto, las rocas Va se asemejan a las primeras descritas, sugiriéndose diversos ejes potásicos, de Th+U y K+Th. Por último, al E de la falla Eduardo las rocas Va del NE, son las de mayor radioactividad con anomalías de K y K+U. En la hoja 959-I presenta anomalías de Th, U y U+Th al N del cabalgamiento de la Escama de Herrerías, de intensidad media a débil. En el borde S de la hoja las anomalías son de K y de K+U, al igual que en el Va de la Escama de Villanueva.

- Rocas epiclásticas (Ep): en la hoja 959-I se pueden diferenciar varias subzonas. Al S de la Escama de Herrerías muestran anomalías de intensidad elevada de K+Th (en la cartografía 1:25.000 en curso este área se considera Pq). Al N de esta escama, en el borde O de la hoja las epiclástitas presentan también tonos de K+Th; a partir de aquí hacia el E se tornan menos radiactivas, incluso con zonas de intensidades bajas, con anomalías de U y K+U. Este mismo tipo de anomalías aparecen en el borde S de la hoja. En la hoja 960-II estas rocas emiten algo más de radiación, a menudo de carácter neutro. Las pizarras del extremo NE son las más radiactivas: los dos afloramientos de este sector dan firmas neutras y de K de intensidad elevada.

En la tabla IV se puede observar como, en efecto, el Culm presenta gran variedad de anomalías de perfil medio e intenso de los tipos arriba mencionados, con varios ejes con tendencias potásicas y de U. El Pq es la unidad más radiactiva (si bien comprende tonos más débiles de red de drenaje), siendo el Th el elemento que más contribuye a la radiación (tabla IV). En el Ep aparecen principalmente anomalías potásicas (K+Th, K+U y K), con pocas anomalías de U (tabla IV). Además de por su mayor intensidad, esto diferencia las epiclásti-

tas del Va, donde abundan los tonos débiles de U; no obstante, las rocas Va presentan también subzonaciones con tendencias de K y algunas anomalías de Th; de modo que se caracterizan en general por su gran variedad radiométrica, en la que dominan firmas de U y K. Finalmente, respecto del resto de las volcanitas, se pueden distinguir por la baja intensidad las Vb, y por la señal en general intermedia de U+Th las Vi (con la excepción de la baja intensidad en las Vi de la Escama de Lagunazo). Destacar las apreciables diferencias de contenidos (tabla IV) y respuestas radiométricas (figuras 4a y 4b) de todo tipo de volcanitas y Pq en cada hoja.

En resumen, las diferencias de la tabla IV se reflejan en el mapa ternario donde quedan perfectamente cartografiadas las distintas unidades litoestratigráficas de las hojas cuando tienen una extensión superficial suficiente (especialmente clara es la distinción entre Pq, Culm y rocas ígneas). Además dichas unidades son susceptibles de ser divididas desde el punto de vista radiométrico en varias subzonas (v.g., la mayor variación se da dentro de todas las tonalidades del Culm, y de las rocas ígneas ácidas con los ejes de alteración potásica mencionados, y anomalías discretas de radioelemento de todo tipo. Algunas de las subzonaciones coinciden con fallas).

La combinación de anomalías magnéticas y radiométricas caracteriza muy bien unidades como Pq y volcanitas intermedias y básicas, sirviendo para resolver posibles ambigüedades cartográficas. En la hoja 960-II los datos radiométricos presentan una buena correlación aparente con los magnéticos, aparente por que no conocemos la causa última de las anomalías (la relación geométrica tiende a situar los ejes radiométricos al S de los magnéticos), cosa que no ocurre en la hoja 959-I lo que es consecuente con su magnetismo.

## 5. CRUCE CON DATOS GRAVIMÉTRICOS

Se decidió cruzar ambos juegos de anomalías contra los datos gravimétricos, lo cual permitiría comprobar, v.g., si algunas de las anomalías magnéticas fueran debidas a rocas densas no aflorantes, además de servir para evaluar ano-

malías de interés minero. Previo a ello es conveniente ubicar las anomalías en el contexto topográfico de la hoja (modelo de terreno del Servicio Geográfico del Ejército), por la posible incidencia tanto de las redes de drenaje en la interpretación radiométrica, como de efectos topográficos en las anomalías gravimétricas. Además, en áreas de topografía severa, por las limitaciones de maniobrabilidad del avión y seguridad del vuelo, se tiene que volar más alto, con la consiguiente disminución (exponencial) del nivel de cuentas registradas en todos los canales (v.g., de 100 a 150 m se reduce a la mitad). Las estadísticas de altura radar del vuelo en los perfiles de la hoja de Villanueva arrojan un valor mínimo de 57 m, máximo de 252 m y medio de 96.5 m. En la de Berrocal estas cifras son 60, 258 y 122 m, respectivamente. Las alturas medias resultan algo elevadas respecto a la nominal del vuelo (80 m), en parte debido a los accidentes relacionados con los respectivos ríos, Odiel y Tinto, de cada hoja. Las variaciones de altura pueden afectar también a los gradientes magnéticos entre perfiles (y por tanto a las determinaciones de Euler y gráficas).

Según el modelo digital de terreno de la hoja de Villanueva las cotas varían desde las de la depresión del Odiel (< 150 m. Mínima: 100 m), a las de las elevaciones de la zona de Tharsis (> 250 m. Máxima: 342, media: 206 m). En la hoja de Berrocal lo hacen desde las de la depresión del Tinto (< 150 m), a las de las Sierras de los afloramientos central y N de rocas Vb, y Va de la Sierra de los Picotes (> 370 m. Cota máxima: 423 m), pasando por las cotas medias entre los 280 y 300 m. Aunque las diferencias de nivel no son importantes, en la hoja 960-II el relieve es lo suficientemente accidentado como para esperar efectos topográficos sobre las anomalías geofísicas. La mayor parte de los ejes magnéticos interpretados no siguen accidentes topográficos, pero son posibles efectos de relieve en el caso de anomalías débiles (no por inducción, despreciable en un contexto de baja susceptibilidad y sin grandes desniveles como el de la Faja, sino por amortiguación diferencial de anomalías por variaciones de altura entre perfiles). Ocurren también posibles correlaciones topográficas o de red de drenaje en varias subzonaciones radiométricas en Pq como se ha citado en el apartado anterior. Todo ello debe tenerse especialmente en cuenta

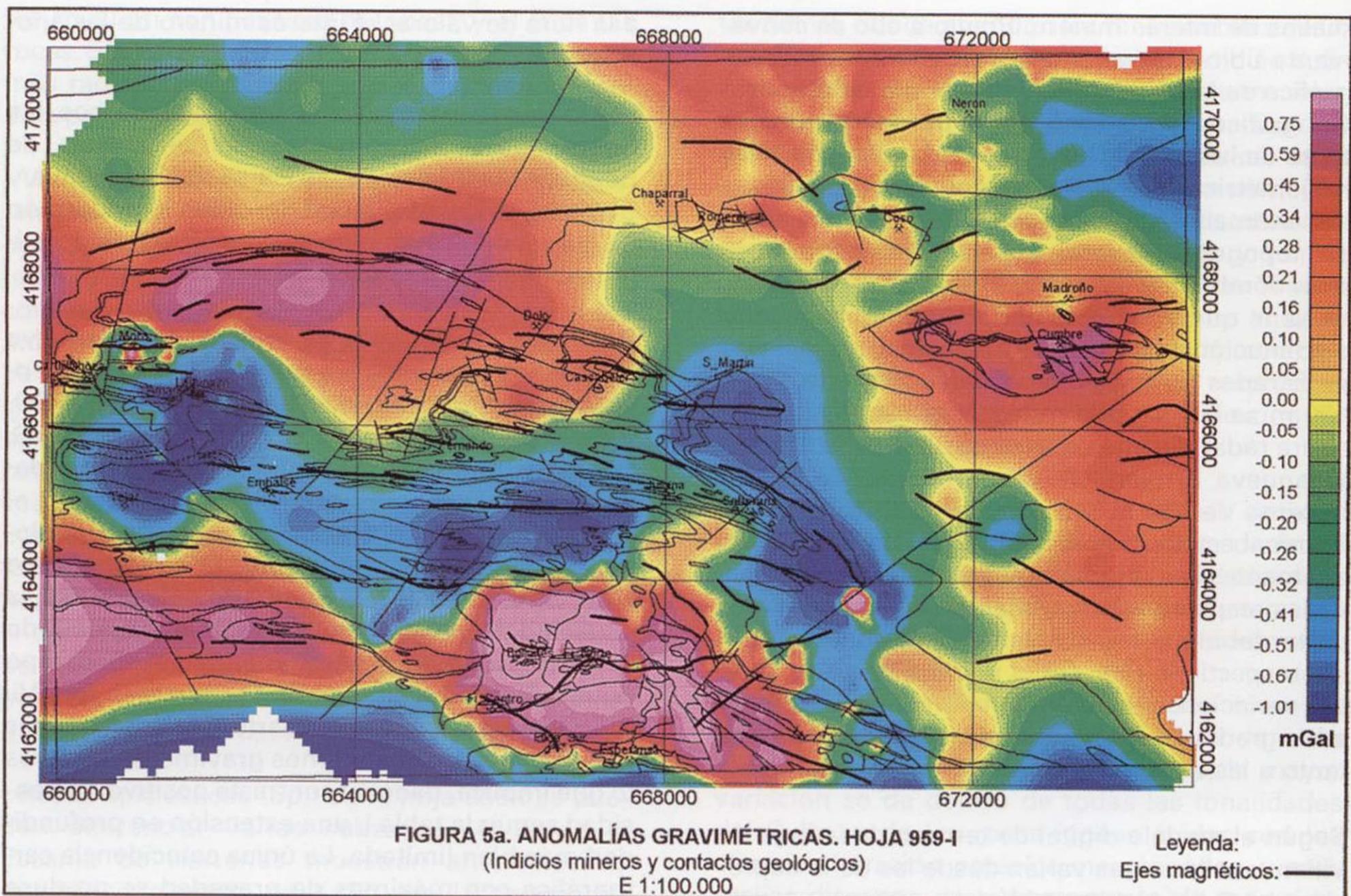
a la hora de valorar el interés minero de las anomalías en cuestión.

Por lo que respecta a los datos gravimétricos, las figuras 5a y 5b contienen las anomalías de Bouguer residuales de las Hojas de Villanueva y Berrocal, calculadas a una densidad de reducción de 2.6 g/cm<sup>3</sup> (se ha eliminado una regional polinómica de tercer grado).

Del mapa de Bouguer de la Hoja de Villanueva (figura 5a) sorprende en primer lugar la existencia de más anomalías de gravedad en el Pq al SO, y en el Culm al N y E de la hoja, que en el CVS. Por tanto, dado que las litologías de estas unidades son más ligeras que el resto (tabla I), el campo gravimétrico debe ser explicado por la geología del subsuelo más que por la cartografía de superficie, lo que en buena parte coincide con la situación del magnetismo descrita en el apartado 3, no existiendo apenas anomalías de campo potencial en rocas Va, Ep, y también en Vi. Precisamente una buena parte de éstas últimas rocas se localiza en mínimos gravimétricos claros lo que implica, dado su contraste positivo de densidad según la tabla I, una extensión en profundidad más bien limitada. La única coincidencia cartográfica con máximos de gravedad se produce sobre los basaltos de la Escama de Villanueva. Hay que suponer la presencia en profundidad de este tipo de rocas en zonas como el límite N de la Escama de Lagunazo y en el Pq al SO.

Respecto a la situación gravimétrica de los ejes magnéticos se puede señalar: a) Máximos magnéticos en posición de mínimo gravimétrico: ejes del tercio central de la hoja al S y SE de la Escama de Lagunazo; b) Máximos magnéticos en posición de máximos gravimétricos: ejes del Pq del S y SO de la hoja y de la zona de Tharsis. La textura de las anomalías magnéticas y gravimétricas es tan diferente que su origen es probablemente distinto; y, c) Máximos y ejes magnéticos en zonas gravimétricas de carácter intermedio (zonas de gradiente): en general todos los ejes del Culm y los del Centro y N de la Escama de Lagunazo.

Puede concluirse por tanto que se da poca relación entre las anomalías magnéticas y gravimétricas que parecen tener un origen diferente tanto en el Pq, donde los máximos gravimétricos tie-

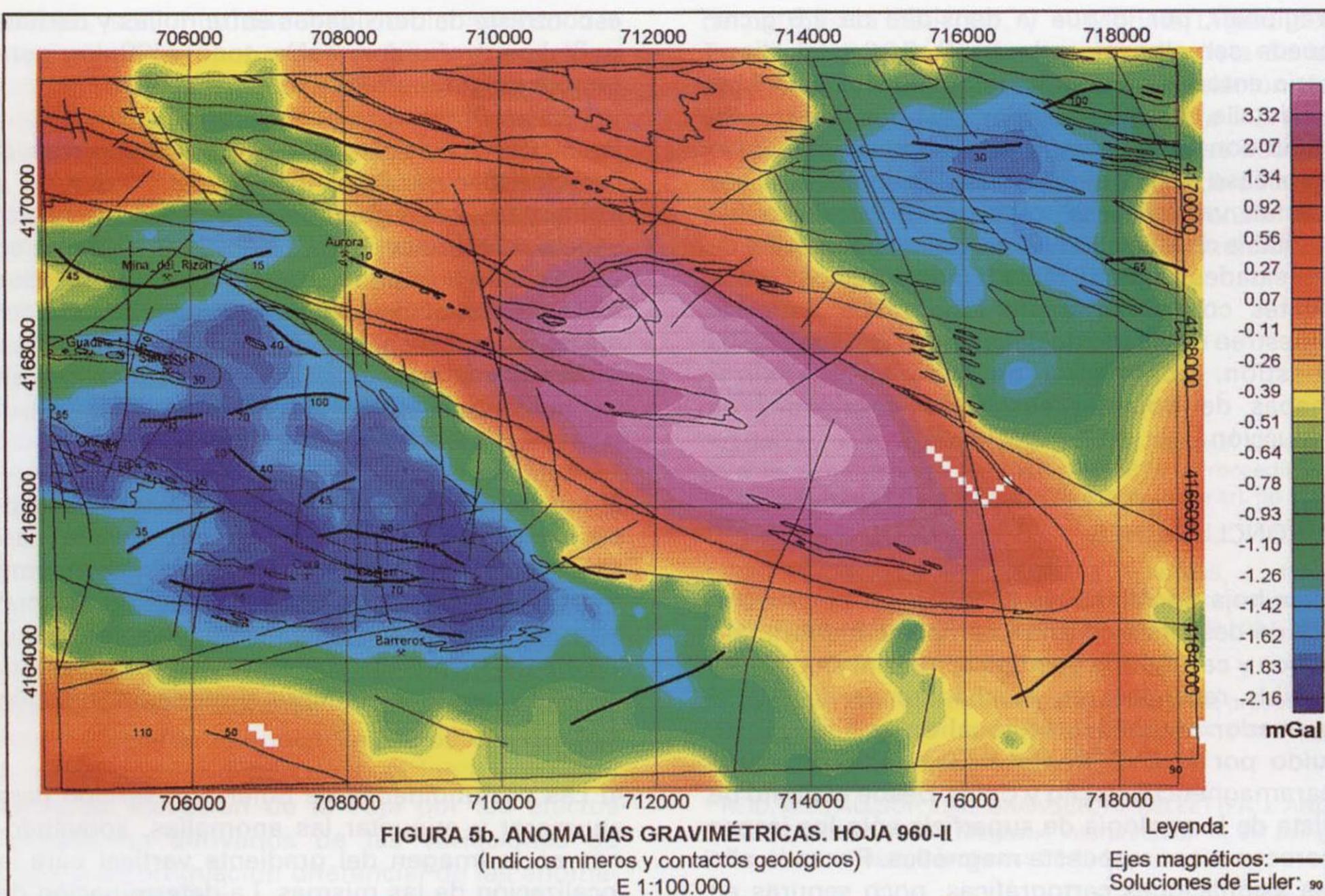


nen un carácter regional (un gran eje que sigue el límite NE del antiforme de Puebla de Guzmán), frente a la limitada extensión de las anomalías magnéticas; como en el Vi, bajo el que es probable que existan rocas Vb que no originan las anomalías magnéticas enumeradas en el apartado 3; como en el Culm, donde con la mayor profundidad de las anomalías la dificultad de relacionar gravimetría y magnetismo es superior, pues las texturas y localizaciones siguen siendo diferentes tanto en el grupo de ejes magnéticos del N y NE, como en los del E y SE que se encuentran en situación gravimétrica poco clara.

En cambio sí existe relación entre alguna discontinuidad magnética, las más importantes en particular, y zonas de gradiente o de rupturas de ejes gravimétricos; como por ejemplo la NE-SO según los indicios S. Martín-S. Fernando o la NO-SE próxima a Romeral. Esto confirma su interpreta-

ción (los gradientes gravimétricos suelen suponer discontinuidades de cambio de tendencia y textura de anomalías magnéticas).

En la hoja de Berrocal (figura 5b) el mapa de Bouguer presenta un mayor rango de variación (unos 5.5 mGal frente a 1.75 mGal en el caso de la hoja anterior), mostrando una serie de anomalías positivas sobre todo en el CVS básico y el Pq (más o menos coincidentes con las magnéticas, figuras 2b y 5b), con la importante excepción de todo el sector NE de la hoja que aparece como una gran zona de mínimos gravimétricos. Como ocurre con el magnetismo y la radiometría, el campo gravimétrico en este sector no es el correspondiente a rocas Vb. Por lo que respecta a la respuesta del CVS fuera del sector NE, las rocas Vb aparecen bien cartografiadas, mientras que las Va parecen ubicarse en zonas de campo gravimétrico bajo (intermedio en algunos casos).



Destaca la cartografía gravimétrica de las rocas Va del klippe de los Picotes, donde la mayoría de los máximos y ejes magnéticos se encuentran en posición de mínimo gravimétrico (con algún máximo relativo como el del eje 70-100), salvo algunos casos (45 y 35) donde la coincidencia con el máximo de gravedad puede ser accidental, puesto que los ejes gravimétricos son más anchos, las tendencias y curvado no son exactamente los mismos, como tampoco la profundidad de la anomalía (más profunda la gravimétrica). Por tanto, dejando aparte las situaciones máximo-máximo que sí parecen ser debidas a rocas Vb, casi la totalidad de ejes magnéticos en rocas Va del sector O de la hoja no parecen originarse en volúmenes (al menos de importancia) de rocas densas y de mayor susceptibilidad como las Vb. Se insiste de nuevo, como se hizo al final del apartado 3, en las carencias del muestreo de susceptibilidades para el detalle de este

estudio; debe haber tramos de mayor susceptibilidad en las riolitas, similares a los requeridos por los modelos 2D, o zonas con jaspes en profundidad.

Convendría mencionar finalmente que en la hoja de Berrocal existen posibilidades de correlación entre Bouguer y topografía en buena parte de las rocas Va y Vb. Dejando aparte las rocas Vb, interesa destacar la situación de las Va de la Sierra de los Picotes. En efecto, en tales zonas en principio una densidad de reducción de  $2.6 \text{ g/cm}^3$  puede ser correcta o ligeramente baja (densidad media de las rocas Va =  $2.65 \text{ g/cm}^3$ , informe 40454 ó  $2.64 \text{ g/cm}^3$  según la tabla I, incluyendo riolitas y dacitas), por lo que a priori no debería existir correlación o coincidir, aproximadamente, máximos gravimétricos con elevaciones topográficas. Contradicitoriamente, el klippe, en general con cotas medias y altas, es un mínimo extenso

(regional), por lo que la densidad de  $2.6 \text{ g/cm}^3$  puede ser algo elevada para ellas (y el klippe sería entonces fundamentalmente riolítico). Más en detalle, existen máximos relativos que sí coinciden con altos topográficos, como se ha citado en el caso del eje 70-100 m. Puede ocurrir que existan variaciones litológicas en rocas Va (de riolitas a dacitas con el consiguiente contraste de densidades según la tabla I) más o menos coincidentes con el accidente topográfico aquí; un muestreo detallado de densidades resolvería esta cuestión. Convendría en todo caso analizar mapas de Bouguer con otras densidades de reducción (v.g.,  $2.55$  y  $2.65 \text{ g/cm}^3$ ).

## 6. CONCLUSIONES

1) La hoja de Villanueva (959-I) es un buen ejemplo de desconexión entre comportamiento magnético y cartografía geológica, pues ni siquiera es posible reconocer en muchas zonas de ella el marcador magnético regional en la Faja constituido por el CVS frente a los metasedimentos paramagnéticos del Pq y Culm. Desde el punto de vista de la geología de superficie sólo los jaspes parecen tener respuesta magnética. Por todo ello las asignaciones cartográficas, poco seguras en la Faja en general donde es sabido que dentro del CVS son posibles todo tipo de situaciones (campo alto, intermedio o bajo) sobre todo tipo de litologías, son impracticables en esta hoja. En cambio, en la hoja de Berrocal (960-II), aún siendo cierto lo anterior, el comportamiento magnético es más predecible, con alguna coincidencia cartografía-magnetismo espectacular, dentro de un contexto diverso de anomalías.

2) Se ha destacado la existencia de un buen número de ejes magnéticos anómalos, agrupables en dos categorías: A) Los someros (profundidades del orden de decenas de m). En la hoja de Villanueva los más numerosos son los relacionados con jaspes (Perímetro de la Escama de Lagunazo y las áreas al S y SE de él). También convendría destacar, en otro contexto, las anomalías de la zona de Tharsis. En la hoja de Berrocal los ejes magnéticos anómalos, además de en los basaltos, se concentran en el tercio O de la hoja, en especial en las rocas Va del klippe de la Sierra de los Picotes, donde las pequeñas anomalías gravimétricas pueden explicarse por

el contraste de densidades entre riolitas y dacitas; y, B) Los profundos, sobre todo en Culm, pero también alguno en Pq y Vi.

Puesto que este tipo de campo alto no es el característico de las litologías del Pq, Va, Vi y Culm, y los datos gravimétricos descartan la presencia de volúmenes importantes de rocas Vb en estas zonas, a falta de muestreos más detallados tanto en superficie como en sondeos, queda por discernir la causa segura de tales respuestas. Deben existir tramos de mayor magnetismo en las riolitas (como lo exigen los modelos 2D), o jaspes magnéticos en profundidad.

3) Los límites de las unidades estructurales (klippes, escamas y mantos), se manifiestan casi siempre como zonas demagnetizadas, de mínimo o mínimo relativo. Las fallas tienen en general este mismo carácter. Muchas de ellas tienen una excelente respuesta en la imagen de gradiente vertical, siendo fácilmente prolongables según ésta.

4) Las profundidades de Euler han servido para enumerar y etiquetar las anomalías, apoyándonos en la imagen del gradiente vertical para la localización de las mismas. La determinación de profundidades debe cruzarse con otros métodos (gráficos, modelos).

5) En el mapa radiométrico ternario quedan perfectamente cartografiadas las distintas unidades litoestratigráficas de cada hoja cuando tienen suficiente extensión de afloramiento. Éstas son susceptibles de ser subdivididas desde el punto de vista radiométrico en varias subzonas: tanto en Va, Ep, Vi, Culm y Pq. Es notable la diferencia del nivel de radiación entre las dos hojas, pero es en la de Berrocal, de perfil más bajo, donde los contrastes entre formaciones son más acusados.

Respecto a la interpretación del significado de las subzonaciones, algunas obviamente fáciles de detectar en superficie (clorificaciones o sericitaciones), pero otras sin duda disimuladas para el geólogo de campo, se requiere la realización de trabajos de detalle sobre terreno con espectrómetros portátiles. Este tipo de trabajo permitiría realizar diferenciaciones más finas. Aunque en el ámbito de la hoja de Berrocal las zonaciones en pizarras (diferencias entre ellas en los mantos de

la hoja), son muy dudosas por lo ruidoso del mapa en el Pq (topografía y redes de drenaje), se podrían establecer probablemente zonaciones más nítidas y correlaciones estratigráficas en las pizarras de Culm y Pq en otros sectores, como en la hoja de Villanueva. En cambio, son claras las diferencias radiométricas de las pizarras del Pq con las pizarras Ep del CVS. El cruce de los contenidos en radioelementos con otros parámetros físicos de la roca en muestreos detallados podría aclarar el significado de ciertas anomalías magnéticas o pesadas en la Faja, como en las escamas con riolitas de mayor magnetismo o en las posibles zonaciones por densidad en pizarras. Se tiene la impresión de que ésta sería una línea de trabajo muy prometedora.

6) La combinación de anomalías magnéticas y radiométricas caracteriza muy bien unidades como Pq y volcanitas intermedias y básicas, sirviendo para resolver posibles ambigüedades cartográficas. A la hora de cruzar anomalías no deben olvidarse tampoco los datos disponibles de la gravimetría estructural, ni los del modelo digital de elevación de la Faja por los efectos topográficos derivados de las variaciones de altura y amortiguación diferencial de las anomalías. Del análisis efectuado se concluye que se da poca relación entre cartografía geológica y gravimetría, salvo en las rocas Vb en general y las Va del Klippe de los Picotes de la hoja de Berrocal. Algo similar ocurre entre la gravimetría y el magnetismo, siendo las fuentes probables respectivas diferentes. Esta conclusión es claramente apoyada por los modelos 2D.

Por tanto, son patentes las elevadas posibilidades cartográficas (de superficie y subsuelo) del uso conjunto de los métodos regionales de los que existen datos en toda la Faja: magnético, radiométrico y gravimétrico. Aquí se ha realizado un esfuerzo para integrar los resultados ofrecidos por los tres métodos, en un entorno SIG. También se han utilizado los recursos de las bases digitales de geología, indicios y muestras

de petrofísica del ITGE, y el Modelo Digital del Terreno del SGE. Desde el punto de vista de la prospección minera es evidente una relación de proximidad entre anomalías del vuelo e indicios mineros (v.g., figuras 2a y 2b), si bien se necesitan datos de petrofísica y geoquímica de detalle, a nivel de las anomalías, para comprender las complejas relaciones entre éstas y los indicios.

## REFERENCIAS

### Artículos

\* DARNLEY, A. G. AND FORD, K. L., 1987. Regional airborne gamma-ray surveys. *Exploration'87 Proceedings. Geophysical methods: advances in the state of the art.* pp 229-240.

\* GARCÍA, J.L., PLATA, J., RUBIO, F., y NAVAS, J., 1998. Cartografía regional del ITGE en la Faja Pirítica. Ponencias del IV Simposio de sulfuros polimetálicos de la Faja, pp. 1-20. Lisboa.

\* HENKEL J., 1994, Standard diagrams of magnetic properties and density: a tool for understanding magnetic petrology. *Journal of Applied Geophysics* 32: 43-53.

\* REID, A.B., ALLSOP, J.M., GRANSER, H., MILLETT, A.J. AND SOMERTON I.W., 1990, Magnetic interpretation in 3D using Euler deconvolution. *Geophysics* 55:80-91

\* SPECTOR, A., AND LAWLER, T. L., 1995, Application of aero-magnetic data to mineral potential evaluation in Minnesota. *Geophysics* 60: 1704-1714.

### Informes Fondo documental ITGE

\* Informe 40415. Gravimetría estructural en la faja de minerales piríticos del SO de España. 1992.

\* Informe 40445. Proyecto Integrado de Estudio Geológico y Metalogenético de la Faja Pirítica. Fase I. Proceso de datos e interpretación regional. 1995.

\* Informe 40454. Proyecto Integrado de Estudio Geológico y Metalogenético de la Faja Pirítica. Fase I. Petrofísica. 1996.

\* Informe 40464. Exploración aeromagnética y radiométrica de la Faja Pirítica y zonas limítrofes. 1997.

\* Informe 40469. Análisis de detalle del vuelo magnético y radiométrico de la Faja Pirítica en la hoja 1:25.000 960-II Berrocal. 1998.

Original recibido: Enero de 1999.  
Original aceptado: Mayo de 1999.

# CARACTERÍSTICAS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES EN DEPÓSITOS DE ARCILLAS MAGNÉSICAS DE LA CUENCA DE MADRID. II. BENTONITAS (SECTOR CABANAS DE LA SAGRA-YUNCLILLOS).

Por M. POZO (\*), J. CASAS (\* y \*\*), J. L. MARTÍN DE VIDALES (\*),  
J. A. MEDINA (\*) y J. A. MARTÍN RUBÍ (\*\*\*)

## R E S U M E N

El objeto de este estudio consiste en establecer las variaciones composicionales y texturales en litofacies conteniendo bentonitas de la zona Cabañas de la Sagra-Yunclillos. A través de observaciones de campo se han distinguido tres litofacies bentoníticas: masivas, con estructura prismática e intraclásticas.

Los resultados mineralógicos indican que las bentonitas masivas y las de estructura prismática están compuestas fundamentalmente por saponita, mientras que la bentonita intraclástica está formada por interestratificados irregulares de kerolita/estevensita. Paralelamente, se han observado valores de CEC muy variables y diferentes comportamientos en ATD-TG.

Desde el punto de vista petrográfico, se han reconocido varios rasgos edáficos lo que sugiere el desarrollo de paleosuelos. Los estudios de microfábrica muestran distintas morfologías de esmectitas, agregados coloformes y sepiolita, ésta última asociada tanto a partículas de esmectita como a finas películas que recubren superficies.

*Palabras clave:* Bentonita. Saponita. Estevensita. Cuenca de Madrid. Interestratificados.

## A B S T R A C T

The scope of this paper is to establish the compositional and textural variations in bentonite-bearing lithofacies in the Cabañas de la Sagra-Yunclillos zone. From the field work three bentonite lithofacies have been differentiated: massive, with prismatic structure and intraclastic.

The mineralogical results indicate that massive and prismatic structured bentonites are composed mostly of saponite, but intraclastic bentonites are made up of kerolite/stevensite randomly mixed layers. Moreover, different CEC values and behaviour on thermal analysis (DTA/TG) have been observed.

From a petrographic point of view several pedogenic features have been recognized, suggesting paleosols development. Microfabirc studies show different morphologies for smectites, presence of colloform aggregates and sepiolite associated both to smectite particles and as thin films coating surfaces.

*Key words:* Bentonite. Saponite. Stevensite. Madrid Basin. Mixed layers.

(\*) Depto. de Q.A., Geología y Geoquímica, Fac. de Ciencias. U.A.M. Cantoblanco. 28049 MADRID.

(\*\*) Centro de Ciencias Medioambientales. C.S.I.C. Serrano 115. 28006 MADRID.

(\*\*\*) Instituto Tecnológico Geominero de España. Tres Cantos. MADRID.

## 1-INTRODUCCIÓN

### 1.1 Objetivos y antecedentes bibliográficos

En un trabajo anterior (POZO *et al.*, 1999) exponían, como un hecho significativo en la cuenca de Madrid, la variedad y potencia de los depósitos de arcillas magnésicas, tanto fibrosas (sepiolita, paligorskita) como no fibrosas (kerolitas, bentonitas). Ese trabajo, dedicado a las kerolitas, fue el primero de una serie que pretende exponer no sólo los aspectos composicionales de los diversos depósitos estudiados, sino de manera especial y novedosa los aspectos texturales, responsables en muchos casos del comportamiento industrial de las arcillas.

En éste y sucesivos trabajos se va a dedicar una especial atención a los depósitos de lutitas magnésicas esmectíticas de interés tecnológico (bentonitas). El término bentonita se va a aplicar a una arcilla o lutita compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, con independencia de su génesis y modo de presentarse, y cuyas propiedades físicas vienen condicionadas por esa mineralogía (GRIM & GUVEN, 1978).

Se han seleccionado tres zonas de estudio: (I) Cabañas de la Sagra/Yuncillos, (II) Magán y (III) Yuncos. La elección de estos tres depósitos se debe a la potencia y calidad de las bentonitas (actualmente en explotación) y su contexto sedimentario.

Las bentonitas de Cabañas de la Sagra/Yuncillos y Yuncos se asocian a depósitos detríticos ligados a facies distales de abanicos aluviales (POZO *et al.*, 1992 a). En la zona de Yuncos se observa una clara influencia del Sistema Central y en la de Cabañas la posible participación de aportes del Macizo de Toledo. La diferencia mineralógica más significativa entre ambas zonas es la presencia de abundante material silíceo (sílex) asociado a las bentonitas en Cabañas de la Sagra/Yuncillos (BUSTILLO, 1976). El depósito de Magán, por su parte, se asocia a un margen lacustre con desarrollo de encaramamientos palustres (POZO *et al.*, 1992b).

En este trabajo se estudian los rangos compositionales y variabilidad textural de las bentonitas del sector de Cabañas de la Sagra/Yuncos. Con el

objetivo de que sirva de referencia se ha hecho un especial esfuerzo en la selección de fotografías representativas de los materiales estudiados, procedentes tanto de láminas delgadas como de muestras examinadas mediante microscopía electrónica de transmisión y barrido.

Los aspectos geológicos de esta región, con descripción de las unidades litoestratigráficas y un mapa geológico general se recogen en MARTÍN ESCORZA *et al.*, (1973). Estos autores diferencian la unidad cronoestratigráfica M.2 donde incluyen el dominio "Rielves-Yuncillos-Chozas de Canales" caracterizado por facies de origen químico carbonático que varía lateralmente hacia sepiolitas y microconglomerados con cemento calcáreo. La presencia de bentonitas en esta zona se cita en el informe de ENADIMSA (1975, pp. 134-139) sobre la investigación nacional de bentonitas, en el que se incluye un mapa geológico con la distribución de arcillas magnésicas (bentonita y sepiolita) y sílex, así como el estudio mineralógico de muestras pertenecientes al Cerro de las Peñas próximo a Cabañas de la Sagra.

El estudio mineralógico más completo de esta zona es el realizado por GARCÍA (1988), GARCÍA *et al.* (1988) y GARCÍA *et al.* (1990). En estos trabajos se señala la coexistencia en los depósitos de Cabañas de la Sagra-Yuncillos de bentonita y sepiolita, incluyéndolos en la unidad que denominan unidad M.3 (Arenas finas con sepiolita, sílex y carbonatos), interpretando estos depósitos como resultado de la sedimentación en surcos ligados a "sand flats" en facies distales de abanicos aluviales, de compleja distribución lateral. Basándose en las fórmulas estructurales concluyen que la esmectita trioctaédrica es saponita. A esta misma conclusión han llegado SANTAREN *et al.* (1996) en el estudio de bentonitas de esta zona.

Más recientemente, POZO *et al.* (1998a) han identificado en la zona de Cabañas de la Sagra-Yuncillos fases magnésicas de interestratificados kerolita/estevensita. Estos autores relacionan los depósitos de bentonita con aguas someras en entornos palustres (ponds), originados en una zona de transición entre un margen lacustre salino-alcalino (que actuaría como fuente de magnesio) y la entrada de materiales clásticos finos (suministradores de aluminio, potasio y hie-

rro) con aguas subterráneas cargadas en sílice en un complejo distal de abanicos aluviales. Como resultado de procesos de transformación y neoformación se formarían arcillas magnésicas de tipo saponítico o estevensítico. Posteriores procesos postsedimentarios, donde adquiere mayor relevancia el papel de las aguas subterráneas, serían los causantes en primer lugar de la génesis de sepiolita, y finalmente, de la formación de sílex. La inestabilización de las arcillas magnésicas tempranamente formadas y altamente reactivas podría constituir, al menos localmente, una fuente adicional de sílice.

### 1.2. Marco geológico y puntos muestreados

La zona estudiada se localiza a unos 52 km al sur de Madrid capital y a unos 20 km al norte de la población de Toledo, en las proximidades de las localidades de Cabañas de la Sagra y Yuncillos. En el contexto geológico de la cuenca de Madrid estos depósitos de bentonita y sepiolita pueden encuadrarse en la Unidad Intermedia del Mioceno (Aragonense-Vallesiense), unidad en la que es característica la presencia de arcillas magnésicas (ORDÓÑEZ *et al.*, 1991); éstas se distribuyen en forma de banda con dirección NE-SO al sur de Madrid capital.

La unidad que contiene las bentonitas se dispone sobre una serie detrítica formada por arenas finas arcósicas de color pardo amarillento, aflorando en una banda discontinua con orientación NE-SO, donde se asocia a sepiolita, dolomías y sílex. (Figura 1A). Lateralmente, las arenas finas pardas pueden pasar a facies de arenas o de arcillas rojas. De acuerdo con GARCÍA *et al.* (1990), el área madre de las primeras se localiza en el Sistema Central y la de las facies rojas, en los Montes de Toledo.

Como resultado del trabajo de campo se han establecido tres unidades en la zona estudiada (Figura 1B): la Unidad Magnésica Inferior (UMI), la Unidad Detritica (UD) y la Unidad Magnésica Superior (UMS). La UMI es sólo visible en cortes o canteras profundas y sondeos. En los puntos donde se ha tenido acceso a la misma el material predominante es sepiolita, por lo que no se ha muestreado para su estudio. La UD comprende arenas finas, limos y arcillas de tono marrón

amarillento y afloran extensamente en la zona. Sobre la anterior se dispone la UMS, esta unidad

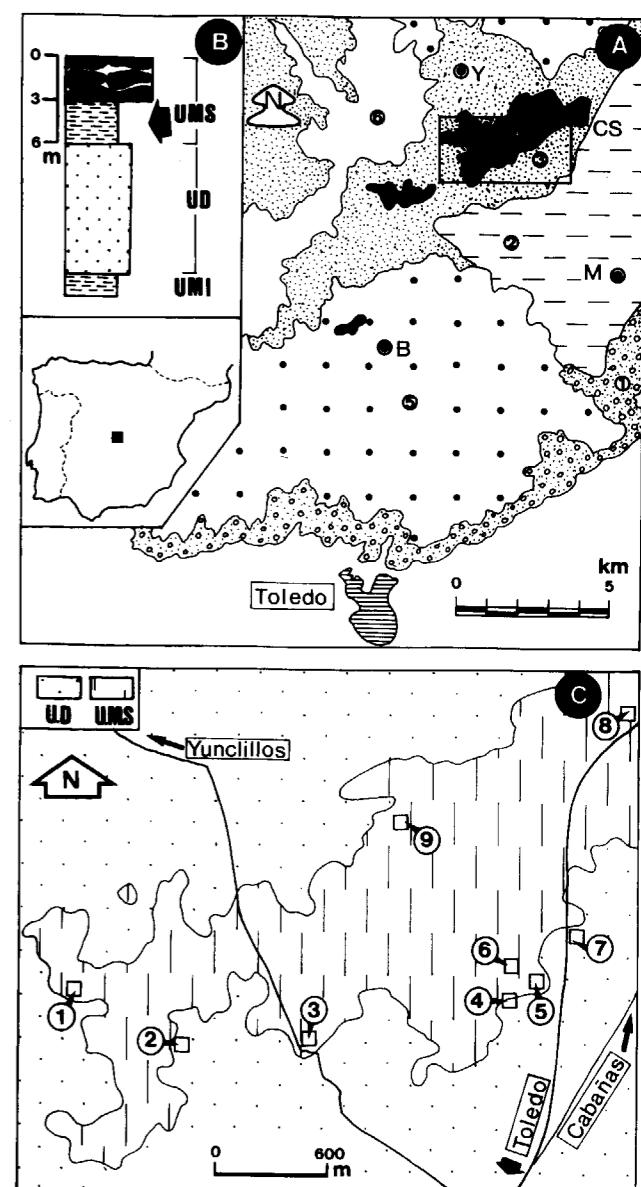


Figura 1(A). Esquema geológico y de situación de la zona estudiada (recuadro). Adaptado de GARCÍA *et al.* (1990). (1) Arenas rojas. (2) Arcillas rojas. (3) Arenas arcósicas finas (Unidad Detritica). (4) Arcillas magnésicas (bentonita, sepiolita), dolomía y sílex. (5) Arenas arcósicas gruesas. Y. Yuncillos. CS. Cabañas de la Sagra. M. Magán. B. Bargas. (B) Unidades diferenciadas: Unidad Magnésica inferior (UMI), Unidad Detritica (UD) y Unidad Magnésica Superior (UMS). La flecha indica el tramo lutítico estudiado en éste trabajo. (C) Mapa de localización de las secciones estudiadas en el sector de Cabañas de la Sagra-Yuncillos. Los números incluidos en círculos indican las columnas litológicas muestreadas. UD. Unidad Detritica. UMS. Unidad Magnésica Superior.

está constituida predominantemente por arcillas magnésicas y, hacia el SO en cerros testigo se ha observado un buen desarrollo de las dolomías. Un rasgo común a lutitas y carbonatos es la existencia de fenómenos de silificación en diverso grado, llegando a formar potentes costras que son responsables de las características geomorfológicas de la zona. Dentro de la UMS las bentonitas se presentan en dos asociaciones de facies relacionadas lateralmente. La asociación de facies I (secciones 1 a 4) está caracterizada por el paso en la vertical de bentonitas masivas a bentonitas con estructura prismática (pedalidad) incluyendo nódulos de chert y finalmente una costra silícea (Figura 2a). La asociación de facies II (secciones 5 a 9) muestra el paso de bentonitas masivas a bentonitas intraclásicas que pueden presentar a techo una potente costra silícea (Figura 2d). En estas litofacies son muy frecuentes los rasgos de emersión con evidencias de bioturbación (raíces y excavadores), disyunción prismática y "slickensides", que indican el desarrollo de paleosuelos (POZO *et al.*, 1998 b).

El esquema geológico de la zona estudiada y la localización de los puntos muestreados se recoge en la figura 1C. Un ejemplo de distribución lateral de las unidades diferenciadas en tres secciones según la dirección oeste-este, se muestra en la figura 3.

Figura 2.

- a) Aspecto de campo de la asociación de facies I. Se observan bentonitas masivas (a) y con estructura prismática (b). En esta última destaca el desarrollo de pedalidad como resultado de la interacción entre "slickensides" y disyunción vertical. A techo se observa una costra blanca (e) con abundantes nódulos de sílex y en la parte inferior, la flecha indica un lentejón de dolomita. (escala 2 metros).
- b) Textura característica de las bentonitas con estructura prismática. Afectando a la masa arcillosa (A) destaca la marcada orientación de arcillas birrefringentes (flechas) y de huecos de tipo canal relacionados con la actividad de raíces. También se muestran masas opacas y rotas (C), como rellenos de porosidades secundarias de bioturbación. En indicios granos de cuarzo detritico (Q). (N+). (barra=0,2 mm)
- c) Textura representativa de una bentonita masiva de la asociación de facies I. Destaca la existencia de bioturbación (B) por organismos excavadores ("burrows") afectando a la masa arcillosa (A), terrígenos dispersos de pequeño tamaño y abundantes fábricas birrefringentes. (N+). (barra=0,3 mm)
- d) Afloramiento mostrando el contacto entre el techo de la Unidad Detritica (UD) diferenciada y la asociación de facies II (Unidad Magnésica Superior, UMS). El techo de la DU está constituido por lutitas limo-arenosas de tono marrón amarillento con evidencias de exposición (bioturbación, brechas de desecación). La asociación de facies II está compuesta por bentonitas masivas (a) con estratificación gruesa y abundantes "slickensides". Por encima, en contacto irregular, se disponen bentonitas intraclásicas (b) y a techo una costra silícea (c). (Como escala de referencia la potencia de (a) es de 1,6 metros).
- e) Textura representativa de una bentonita intraclásica, mostrando estructura granular constituida por agregados de lutita subredondeada, grano-soportada y con recubrimientos cutánicos opacos (A). Entre gránulos se reconoce una pasta arcillosa con tendencia a la isotropía (B). (N+). (barra=0,1 mm)
- f) Textura característica de una bentonita masiva. La masa arcillosa, muy compacta, apenas presenta porosidad secundaria (A). Dispersos se observan algunos granos de cuarzo (B) y un intraclasto redondeado (C) alrededor del cual se desarrolla una fábrica birrefringente granoestriada. (N+). (barra=0,1 mm).

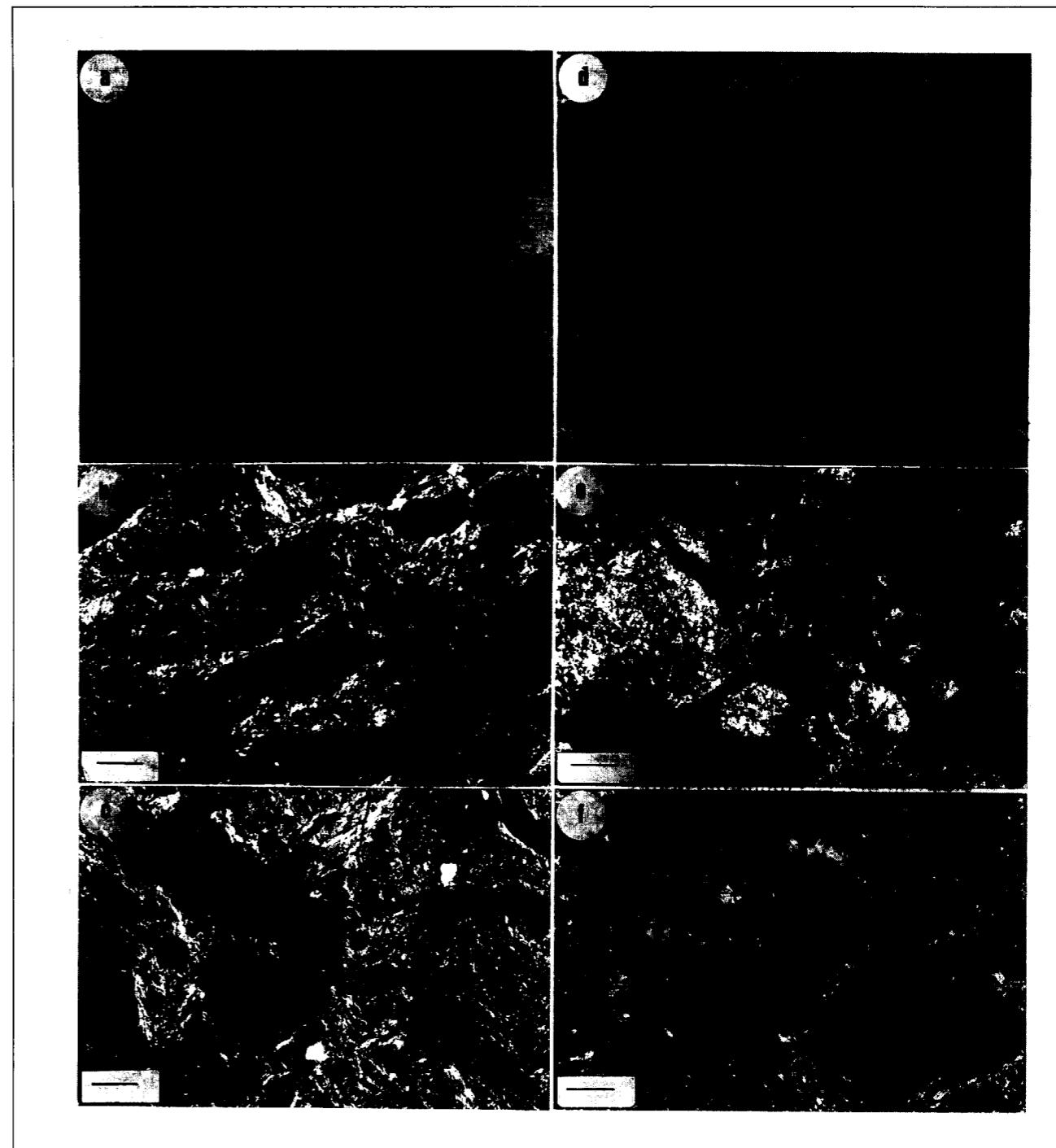
STA 781. Todas las muestras se trataron en aire estático con una velocidad de calentamiento de 10°C/min, en el rango de temperaturas de 25 a 1100°C, utilizándose corindón como material de referencia.

Para el análisis químico de los elementos mayores se utilizó la fluorescencia de rayos X (FRX) sobre perla, con excepción del sodio que se determinó por espectrofotometría de absorción atómica con llama. Los elementos traza, Rb, Sr y

## 2-METODOLOGÍA ANALÍTICA

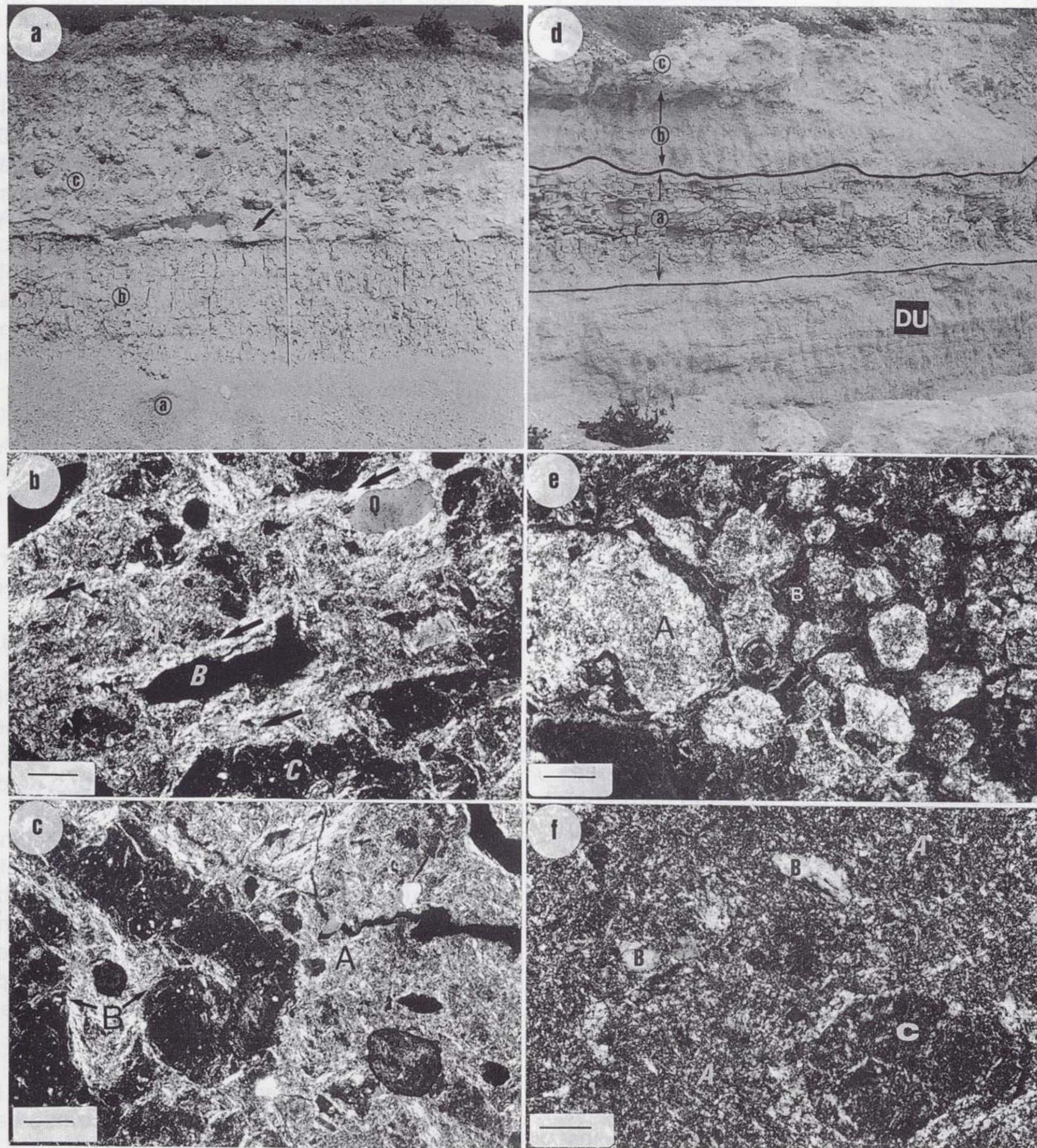
En las 10 muestras seleccionadas se ha estudiado la mineralogía el químismo y sus capacidades de cambio. El estudio mineralógico se ha realizado mediante difracción de rayos X tanto para muestra total pulverizada como para la fracción menor de 2µm obtenida por dispersión y sedimentación en medio acuoso. La caracterización de los constituyentes de la fracción arcilla se ha efectuado sobre agregados orientados de muestras homogeneizadas en Mg<sup>2+</sup>, solvatadas con etilenglicol y tratadas térmicamente a 550°C. En la estimación semicuantitativa de las especies minerales detectadas se han utilizado los poderes reflectantes de SCHULTZ (1964) para muestra total, y BARAHONA (1974) y VAN DER MAREL (1966) en agregados orientados de la fracción arcilla.

El estudio térmico ATD-TG se ha obtenido simultáneamente en un analizador térmico STANTON



STA 781. Todas las muestras se trataron en aire estático con una velocidad de calentamiento de 10°C/min, en el rango de temperaturas de 25 a 1100°C, utilizándose corindón como material de referencia.

Para el análisis químico de los elementos mayores se utilizó la fluorescencia de rayos X (FRX) sobre perla, con excepción del sodio que se determinó por espectrofotometría de absorción atómica con llama. Los elementos traza, Rb, Sr y



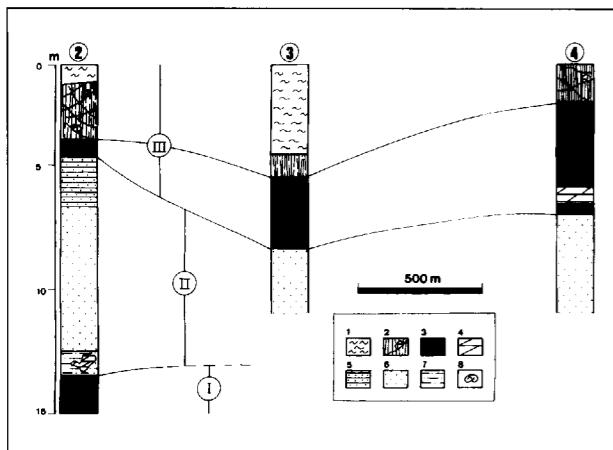


Figura 3. Correlación de las secciones 2, 3 y 4 localizadas en la figura 1C, mostrando las tres unidades diferenciadas: UMI, UD y UMS. 1. Sílex. 2. Bentonitas con estructura prismática. 3. Bentonitas masivas. 4. Dolomías. 5. Lutitas arenosas laminadas. 6. Arenas arcósicas. 7. Limos arenosos. 8. Nódulos de sílex.

Zr se analizaron por F.R.X. sobre pastilla prensada y el Li mediante absorción atómica con llama. El F se determinó, previa pirólisis, por colorimetría con alizarina y el resto de los elementos mediante espectrofotometría de emisión ICP con ataque ácido. En tres muestras seleccionadas se analizó la fracción menor de  $2\mu\text{m}$  saturada en  $\text{Sr}^{2+}$ , con el fin de establecer su fórmula cristaloquímica.

Para la determinación de los cationes de cambio, las muestras fueron homionizadas en  $\text{Sr}^{2+}$  ( $\text{SrCl}_2$ , 0,6 N). En los extractos se determinaron  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  por espectrofotometría de absorción atómica, correspondiendo a los cationes "lavables" y de cambio. Las muestras homionizadas en  $\text{Sr}^{2+}$  fueron sometidas a sucesivos lavados con una disolución de  $\text{CaCl}_2$ , 0,3 N. El  $\text{Sr}^{2+}$  intercambiado fue medido por espectrofotometría de absorción atómica, obteniéndose así la capacidad total de cambio (CEC).

En el estudio textural de las bentonitas se han examinado petrográficamente 50 láminas delgadas. Estas muestras se trajeron previamente con "epoxy" antes de ser cortadas, puliéndose posteriormente con petróleo para evitar su desintegración en contacto con el agua. En las descripciones micromorfológicas se ha seguido la terminología de BREWER (1976), BULLOCK *et al.*

(1985), MEYER (1987) y JONGERIUS & RURTHERFORD (1979).

Se han estudiado 25 muestras no disturbadas mediante SEM con un equipo PHILIPS XL-30 con sistema analítico EDX incorporado, previa metilización con oro de la fractura fresca seleccionada. Se eligieron 8 muestras que, tras el adecuado tratamiento, fueron estudiadas por TEM con un equipo JEOL JEM 1016.

En dos muestras representativas se ha realizado el análisis granulométrico mediante difracción de rayo láser en un equipo COULTER LS-100. La muestra fue previamente dispersada en una solución acuosa al 1% de hexametafosfato sódico mediante agitación magnética durante 30 minutos.

### 3-ASPECTOS COMPOSICIONALES

#### 3.1. Mineralogía global del depósito

Desde el punto de vista mineralógico se han establecido tres asociaciones en la UMS, que se relacionan seguidamente:

a) Bentonitas masivas y con estructura prismática: Filosilicatos (esmectita trioctaédrica-illita/mica-sepiolita)>> feldespatos-cuarzo> dolomita-calcita> m. pesados (turmalina-circón).

Estos materiales superan el 85% de filosilicatos con baja proporción en cuarzo y feldespatos, que excepcionalmente alcanzan juntos el 15%, ocasionalmente en indicios (<5%) calcita y dolomita.

En la fracción arcilla predomina la esmectita trioctaédrica con un valor medio superior al 90%, muy subordinada se reconoce illita. En las bentonitas masivas la sepiolita está ausente o en muy baja proporción (<10%). Contrariamente, en las bentonitas con estructura prismática la sepiolita es frecuente, llegando a alcanzar puntualmente el 40%.

b) Bentonitas intraclásicas: Filosilicatos (kerolita/estevensita-sepiolita-illita) >>cuarzo>feldespatos-dolomita.

Mineralógicamente predominan los filosilicatos

con porcentajes superiores al 90%, en función de la proporción de cuarzo autigénico o de carbonatos (calcita, dolomita) presentes. En la fracción arcilla predomina el interestratificado kerolita/estevensita con sepiolita en proporción variable.

c) Lutitas sepiolíticas: Filosilicatos (sepiolita-esmectita trioctaédrica-illita)>cuarzo>calcita.

Presentan una composición constituida por filosilicatos con porcentajes superiores al 85% y proporciones variables de cuarzo autigénico y calcita. En la fracción arcilla se caracterizan por presentar un predominio de sepiolita sobre la esmectita trioctaédrica e indicios de illita.

Los términos masivos constituyen la bentonita objeto de explotación en esta zona, donde pueden llegar a potencias de 2 m. La costra silícea asociada a estos materiales está constituida por cuarzo, detectándose ocasionalmente asociados carbonatos (dolomita y calcita).

Como ejemplo de distribución mineralógica en la vertical se recoge en la figura 4 una columna general del yacimiento con la composición mineral en la fracción total y arcilla (<2 $\mu\text{m}$ ). Sobre las

arenas y lutitas limo-arenosas del techo de la UD se presentan dos secuencias con arcillas magnésicas dentro de la UMS, que incluyen los tres tipos de bentonitas diferenciadas: masivas, con estructura prismática e intraclásicas.

### 3.2 Estudio mineralógico de las bentonitas seleccionadas

#### 3.2.1 Difracción de rayos X (DRX)

a) Bentonitas masivas y con estructura prismática. (SAG-1-3, CABA-4, CÑ-1-1, CÑ-2-2, CÑ-3-0, MOR-3, CAG-3, YU-1-10).

Se caracterizan por la presencia casi exclusiva de filosilicatos, con espaciado intenso en torno a 14 Å y otros dos de menor intensidad a 4.54 y 2.56 Å. Por otra parte, los espaciados correspondientes a la reflexión d(060) se presentan entre 1.523 y 1.528 Å indicando el carácter trioctaédrico de los filosilicatos presentes. En todas las muestras se observan también reflexiones correspondientes al cuarzo, pero sólo como indicios (Figura 5a, b y c). El estudio de los diagramas orientados y glicolados permite afirmar que el mineral predomi-

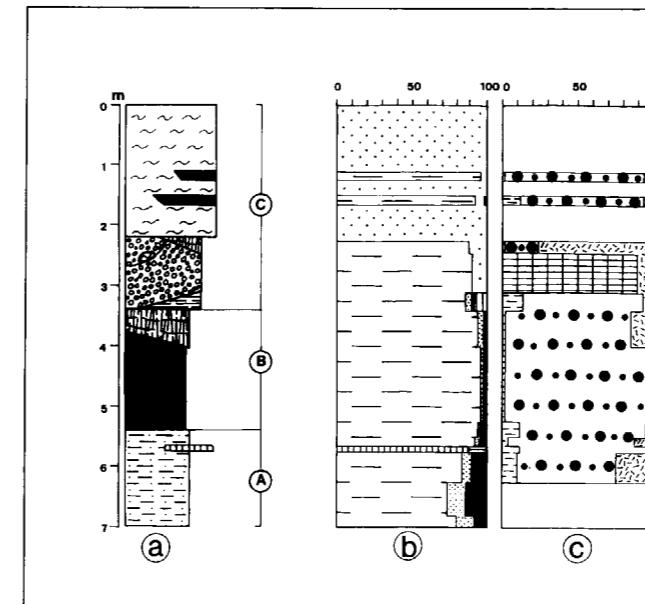


Figura 4. Sección litológica tipo en el sector de Cabañas de la Sagra-Yunclillos, (a), mostrando la distribución mineralógica total (b) y de la fracción arcilla (c). (A) techo de la UD. (B) y (C) tramo bentonítico masivo e intraclástico en la UMS.

LEYENDA	
(a)	SILEX
(b)	FILOSILICATOS
	CUARZO (SILEX)
	CUARZO DETRÍTICO
	CALCITA
	DOLOMITA
	FELDESPATOS
	ESMECTITA
	ILLITA
	SEPIOLITA
	CALIZAS
(c)	INTERESTRATIFICADO KEROLITA-ESTEVENSITA

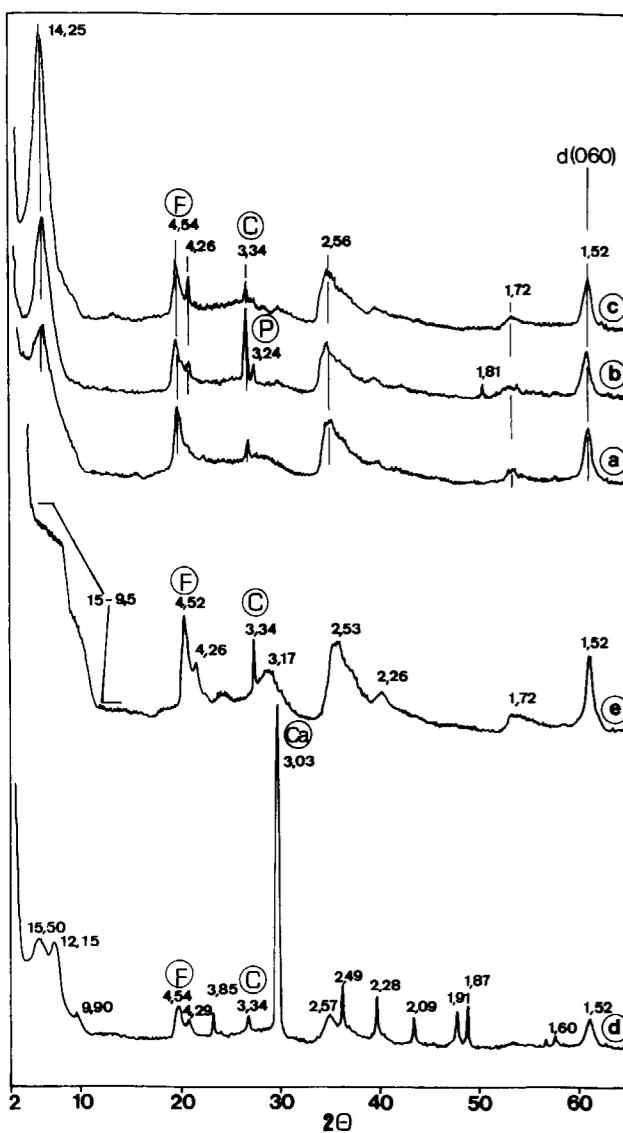


Figura 5. Diagramas de rayos X representativos. Muestras en polvo con indicación de los espaciados ( $\text{\AA}$ ). Bentonitas masivas y con estructura prismática (muestras a, b c y d). Bentonitas intraclásticas (muestra e). F. filosilicatos. C. cuarzo. P. plagioclasa. Ca. calcita.

minante es una esmectita que expande hasta 17.2-17.4  $\text{\AA}$  tras el tratamiento con etilenglicol, y colapsa a 10  $\text{\AA}$  tras tratar el orientado potásico a 550°C. En alguna muestra, y sólo como indicios se identifican illita y rara vez sepiolita. La cristalinidad de la esmectita es, en general, elevada (índice de Biscaye (IB) > 0,7), excepto en las muestras muy bioturbadas (IB = 0,45 en CN-1-1) o con estructura prismática (IB = 0,64 en YU1-10).

(pérdida de agua estructural) de las esmectitas trioctaédricas, saponita o estevensita. Por otra parte, este doblete se atribuye a la presencia de algunas interláminas brucíticas distribuidas desordenadamente, por lo que una pequeña proporción de la estructura se transforma, a estas temperaturas, en clorita trioctaédrica.

#### Tipo 2. (Figura 7b). (CN-1-1, SAG-1-3).

Presenta un sólo pico endotérmico a 804-810°C, lo que indica que en éstas no hay interláminas brucíticas desordenadas en la esmectita trioctaédrica.

#### Tipo 3. (Figura 7c). (CN-3-0, MOR-3).

Se caracterizan por la presencia de un exotérmico a 816-835°C. Este pico corresponde al cambio de fase que tiene lugar a altas temperaturas por descomposición térmica y recristalización de enstatita.

La totalidad de las muestras presentan un fuerte pico endotérmico con un máximo en torno a los 90°C y que es debido a la pérdida de agua ceólica de los filosilicatos.

El Análisis Termogravimétrico (TG), pone de manifiesto que la pérdida de peso total entre 20 y 1000°C es similar para la mayor parte de las muestras: 14,95-18,76%; únicamente la muestra CN-2-2 presenta una pérdida significativamente mayor (22,54%). En el rango de 200 a 700°C presentan pérdidas de peso entre 1,85 y 2,80% que se producen de forma continua. La pérdida de agua estructural debida a la deshidroxilación de las esmectitas trioctaédricas tiene lugar entre 770 y 1000°C, con valores que varían entre 2,50 y 2,90% (muestras CAG-3, CN-1-1, CN-2-2, CABA-4, SAG-1-3 y YU1-10). Estas pérdidas de peso se encuentran considerablemente por debajo del valor teórico, alrededor del 5%, por lo que parte del agua estructural se pierde a temperaturas inferiores a los 770°C. Este hecho se encuentra corroborado por la ligera y continua pendiente que presentan las curvas de TG entre 200 y 770°C. Por otra parte, en las muestras que no contienen sepiolita ni dolomita, los escasos porcentajes de illita, cuarzo y feldespatos, no justifican pérdidas de peso tan pequeñas en el rango de temperaturas donde se produce la deshidroxili-

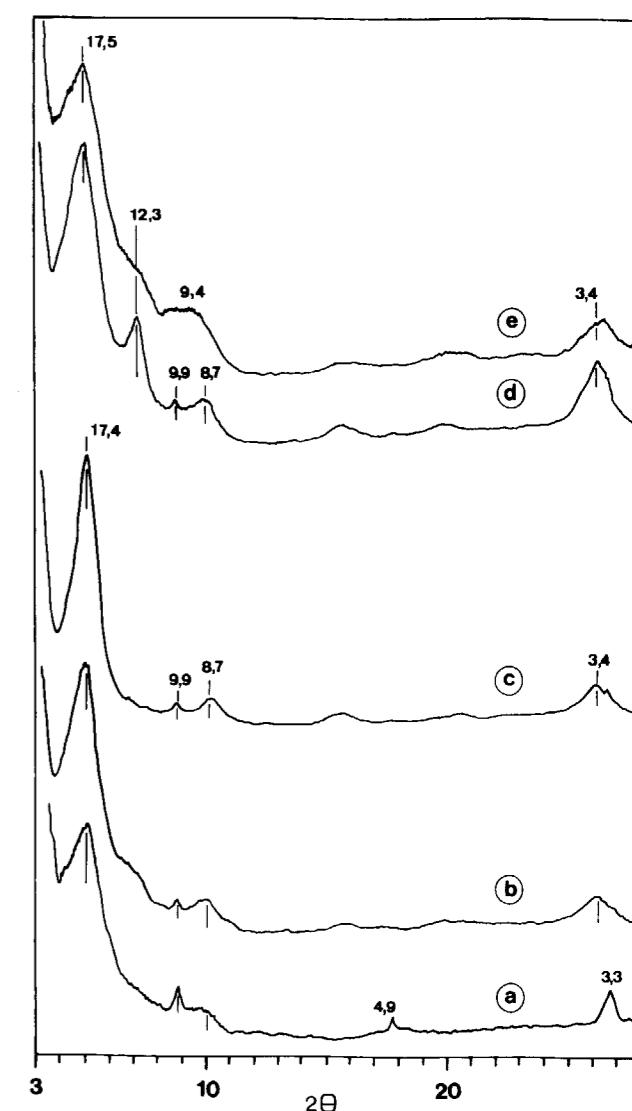


Figura 6. Diagramas de rayos X representativos. Muestras de fracción arcilla (<2 $\mu\text{m}$ ) orientadas y solvatadas con etilenglicol. Bentonitas masivas y con estructura prismática (muestras a, b c y d). Bentonitas intraclásticas (muestra e).

lación. Se concluye por tanto que el proceso de la deshidroxilación de las esmectitas trioctaédricas tiene lugar en un amplio rango de temperaturas que debe comenzar en torno a los 300°C. Finalmente, las pérdidas de peso entre 20 y 200°C son debidas a la pérdida de agua ceólica que, en el caso de las muestras fundamentalmente esmectíticas, supone entre un 11 y un 17% dependiendo de la cristalinidad y del catión de cambio predominante.

Muestra	ATD	TG (pérdidas en %)					TOTAL
		(20-105°C)	(105-200°C)	(200-770°C)	(770-1000°C)		
SAG-1-3	90 (-), 810 (-)	9.45	3.20	2.40	2.65	17.70	
CABA-4	95 (-), 808 (-), 826 (-)	8.50	2.95	2.35	2.50	16.30	
CÑ-1-1	83 (-), 804 (-)	8.35	2.10	2.80	2.55	15.80	
CÑ-2-2	81 (-), 804 (-), 826 (-)	14.35	3.35	2.34	2.55	22.54	
CÑ-3-0	83 (-), 803 (-), 818 (+)	11.75	3.05	2.90	2.70	20.40	
MOR-3	89 (-), 818 (-), 834 (+)	8.76	4.02	3.48	2.50	18.76	
CAG-3	89 (-), 803 (-), 818 (-)	8.70	3.25	1.85	2.85	16.65	
CÑ-3-5	86 (-), 816 (-)	8.85	1.90	2.70	2.85	16.30	
SAG-1-6	86 (-), 818 (-), 822 (-)	7.70	1.55	2.80	2.90	14.95	
YU-1-10	87 (-), 807 (-), 822 (-)	8.70	2.75	2.75	2.70	16.90	

Tabla 1. Análisis térmico diferencial (ATD). Relación de endotérmicos (-) y exotérmicos (+) en muestras seleccionadas. Análisis termogravimétricos (TG). Pérdidas de peso en % para diversos rangos de temperatura.

### 3.3 Características químicas

#### 3.3.1 Análisis químicos

Los análisis químicos de las muestras seleccionadas (Tabla 2) ponen de manifiesto un elevadísimo contenido en MgO, en todos los casos superior al 20%. El MgO se presenta en el rango entre 22,36 y 26,38%, con proporciones de SiO<sub>2</sub> entre 46,92 y 56,17%. El contenido en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es muy variable, oscilando entre 2,77 y 5,36% en bentonitas masivas y con estructura prismática, mientras que en las bentonitas intraclásticas desciende por debajo del 2%. Una tendencia similar se ha observado con el K<sub>2</sub>O y el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en las bentonitas masivas y con estructura prismática, con porcentajes en los rangos 0,15-1% y 0,83-1,69% respectivamente. En las bentonitas intraclásticas tanto el K<sub>2</sub>O como el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se encuentran por debajo del 0,5%.

Entre los elementos traza (Tabla 3) es de destacar la variabilidad en el contenido en flúor y los bajos contenidos en litio (<500 ppm). En la figura 8 se recoge la distribución en la vertical de diversos elementos significativos en una sección general del depósito de Cabañas de la Sagra-Yunclillos.

Destaca la excelente correlación positiva existente entre el aluminio, el hierro y el potasio cuyos contenidos decrecen de base (lutitas limoarenosas) a techo (bentonitas intraclásticas) de la sección. Inversamente, el magnesio muestra sus mayores porcentajes en los materiales constituidos por el interestratificado kerolita/estevensita, decreciendo en lutitas intercaladas entre la costra silícea, como resultado de procesos de silificación. Llama la atención el comportamiento del litio que muestra su máximo contenido en las bentonitas masivas, disminuyendo notablemente su proporción en las bentonitas intraclásticas. Este hecho puede estar en relación con fenómenos de removilización del litio por lavado, en etapas posteriores de endulzamiento, según el modelo sugerido por POZO *et al.* (1999 b). Destaca el paralelismo existente entre el contenido en litio, la cristalinidad de la esmectita (IB) y la capacidad de cambio de la bentonita (CEC).

#### 3.3.2 Fórmulas cristaloquímicas

El análisis químico de las muestras en fracción inferior a 2 µm y saturadas en Sr<sup>2+</sup> ha permitido el cálculo de tres fórmulas cristaloquímicas repre-

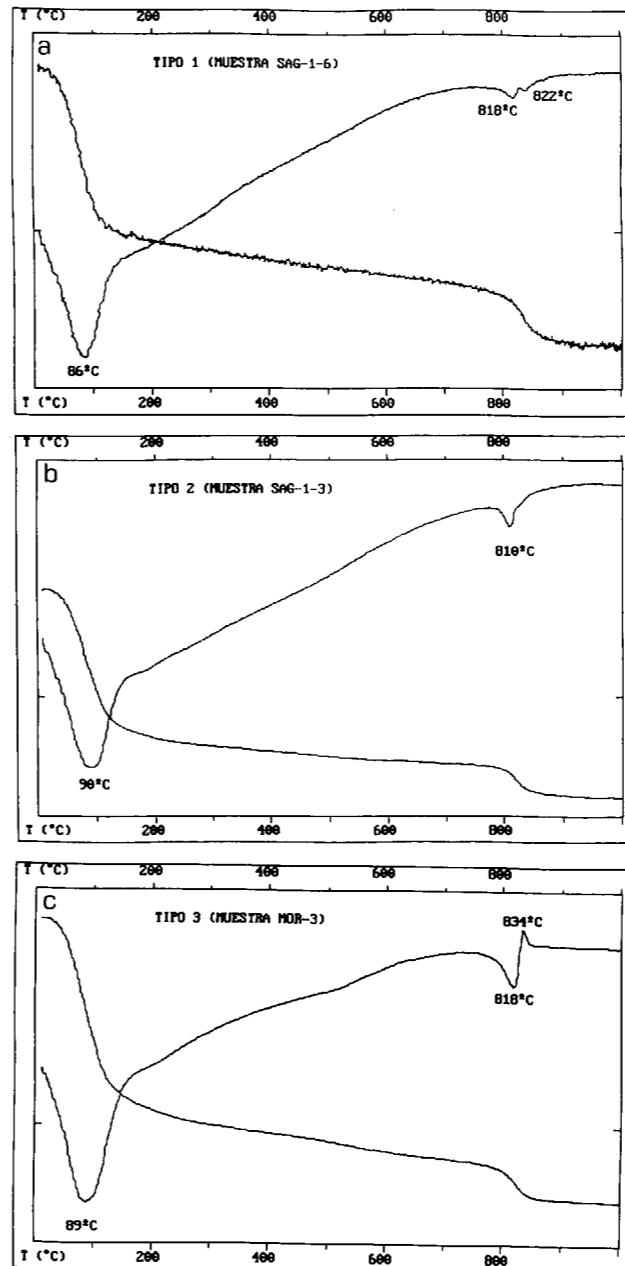


Figura 7. Análisis térmico diferencial y termogravimétrico. En función de su comportamiento térmico se han diferenciado tres tipos que se establecen por la existencia (tipo 3) o ausencia (tipo 1 y 2) de un exotérmino entre 816 y 835 °C.

sentativas de los dos tipos principales de bentonitas: Masivas (dos muestras) e intraclásticas (una muestra). En la tabla 4 se recogen los resultados obtenidos, poniéndose de manifiesto variaciones significativas en el tipo de esmectita trioc-

taédrica predominante en las bentonitas masivas. La muestra MOR-3 se caracteriza por tener una carga laminar de -0.63 y exclusivamente tetraédrica, con una ocupación octaédrica de 5.85, por lo que sería de carácter claramente saponítico.

En la muestra CAG-3 se observa una menor carga laminar (-0.52) de carácter predominantemente tetraédrico, siendo la ocupación octaédrica de 5.82. Estas características corresponden a una saponita, aunque en la muestra debe de estar presente alguna proporción de estevensita que justifique la baja carga global y el grado de ocupación octaédrica.

Por su parte, la muestra SAG-1-6, representativa de las bentonitas intraclásticas, presenta una carga total de -0.39 repartida entre la capa octaédrica y la tetraédrica, con una ocupación octaédrica de 5.85, lo que, confirma la interpretación mineralógica, es decir, que corresponde a un interestratificado kerolita/estevensita, en el que la proporción de esta última es mayoritaria.

Si relacionamos estas fórmulas con las calculadas por otros autores en esta misma zona, vemos que las correspondientes a bentonitas masivas son equiparables a la obtenida por SANTAREN *et al.*, (1996) que clasifica como saponita una muestra con la siguiente fórmula: [Si<sub>3.68</sub>Al<sub>0.32</sub>] [Al<sub>0.05</sub>Fe<sup>+3</sup><sub>0.08</sub>Mg<sub>2.68</sub>Ti<sub>0.01</sub>] O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub>. Si bien nuestras fórmulas son similares, se advierte en este caso una carga global mucho menor (0.52 y 0.63 frente a 1.06) lo que puede ser debido a pequeñas proporciones de estevensita en nuestras muestras. Por lo que respecta a la fórmula dada por GARCÍA *et al.* (1988): [Si<sub>7.54</sub>Al<sub>0.50</sub>] [Al<sub>0.18</sub>Fe<sup>+3</sup><sub>0.12</sub>Mg<sub>5.50</sub>] O<sub>20</sub> (OH)<sub>4</sub>, posee una carga laminar semejante a la clasificada por nosotros como bentonita intraclástica (0.44 frente a 0.38), pero en el caso de su muestra, esta carga es debida casi exclusivamente a sustituciones tetraédricas, mientras que, en el nuestro, el origen de la carga está repartido entre ambas capas.

#### 3.3.3 Capacidades de cambio (CEC) y cationes de cambio

Los valores obtenidos en las muestras analizadas se recogen en la Tabla 5. Las capacidades de

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ppc	SiO <sub>2</sub> /MgO molar
1 (SAG-1-3)	49.52	5.36	1.69	0.40	0.31	0.03	1.00	22.36	0.32	0.04	18.96	1.49
2 (CABA-4)	50.61	3.91	1.09	0.35	0.23	0.01	0.61	24.36	0.13	0.03	18.66	1.39
3 (CN-1-1)	51.31	3.21	1.09	0.41	0.16	0.01	0.36	25.25	0.12	0.02	18.24	1.36
4 (CN-2-2)	51.03	2.83	0.88	0.30	0.17	0.01	0.22	25.25	0.28	0.03	19.00	1.36
5 (CN-3-0)	47.22	3.59	0.98	1.21	0.20	0.02	0.25	24.14	0.09	0.01	27.27	1.31
6 (MOR-3)	46.92	4.98	1.66	0.26	0.28	0.02	0.48	23.75	0.07	0.14	20.85	1.32
7 (CAG-3)	51.88	3.35	0.87	0.83	0.19	0.01	0.62	24.47	0.09	0.03	17.65	1.42
8 (CN-3-5)	54.11	1.11	0.37	0.31	0.06	0.01	0.05	26.38	0.16	0.01	14.42	1.38
9 (SAG-1-6)	56.17	1.73	0.33	0.29	0.04	0.01	0.36	25.83	0.25	0.07	12.90	1.41
10 (YU-1-10)	51.19	2.77	0.83	0.93	0.14	0.02	0.16	25.00	0.08	0.03	18.85	1.37
Análisis químicos de muestra total												

Tabla 2. Análisis químicos de los elementos mayoritarios en las diez muestras seleccionadas.

Muestra	Rb	Sr	Zr	F	Li	Ba	Cr	Nb	V	Zn
1 (SAG-1-3)	61	113	126	4500	420	128	20	16	21	23
2 (CABA-4)	39	89	108	4830	390	107	17	14	21	13
3 (CN-1-1)	39	49	65	5320	404	71	24	12	24	37
4 (CN-2-2)	24	53	95	5180	410	47	11	15	20	<10
5 (CN-3-0)	28	104	108	4728	340	92	19	12	24	37
6 (MOR-3)	n.a.	42	n.a.	3900	204	282	27	13	34	29
7 (CAG-3)	35	67	105	8760	565	93	8	16	12	<10
8 (CN-3-5)	11	25	46	3680	320	80	16	10	27	18
9 (SAG-1-6)	17	36	40	3450	210	78	25	13	22	20
10 (YU-1-10)	20	53	70	4760	330	37	11	13	17	13

Tabla 3. Análisis químicos de los principales elementos traza en las diez muestras seleccionadas.

cambio son en general bajas, oscilando entre 41,3 y 70,7 (cmol.Kg<sup>-1</sup>), observándose los valores más bajos en las bentonitas intraclásticas. En función del tipo de bentonita y con la aportación de otros análisis de muestras no recogidos en la tabla, se han obtenido los siguientes rangos y valores medios:

a) Bentonitas masivas y con estructura prismática (22 muestras). Rango 40,5-71,6 y valor medio de 55,04 (cmol.Kg<sup>-1</sup>). Los valores más bajos se han observado en muestras con pedalidad, mayor grado de bioturbación o presencia de sepiolita.

b) Bentonitas intraclásticas (6 muestras). Rango 22,6-42,3 y valor medio de 37,3 (cmol.Kg<sup>-1</sup>). La presencia ocasional de carbonatos, sepiolita y sobre todo de cuarzo autigénico sería responsable de las variaciones observadas.

Entre los cationes de cambio se pone de manifiesto, en todos los casos, el predominio de Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup> y muy subordinados Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>.

Como se recoge en la tabla 5 el amplio rango de valores encontrados se relaciona directamente con el contenido en esmectita y la cristalinidad de la misma. Así, aquellas muestras que presentan alto contenido en esmectita (>90%) y elevados índices de cristalinidad (IB>0,6) tienen elevados CEC (>50 cmol.Kg<sup>-1</sup>); por el contrario las muestras con esmectitas de baja cristalinidad (IB<0,4) tienen CEC considerablemente bajos (<45 cmol.Kg<sup>-1</sup>). En conjunto, estos valores de capacidad total de cambio ponen de manifiesto, como se observó también en las fórmulas cristaloquímicas, que las esmectitas son trioctaédricas (saponita y/o estevensita) y de baja carga. La correlación existente entre capacidad de cambio, quimismo y cristalinidad de la esmectita, se recoge en la figura 8.

## CARACTERÍSTICAS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES EN DEPÓSITOS DE ARCILLAS MAGNÉSICAS DE LA CUENCA DE MADRID. II. ...

## 4.1 Bentonitas masivas

Con potencias entre 0,7 y 2,10 m, presentan tonos marrón amarillentos a gris verdoso o verdes, a veces con tintes rosáceos, de aspecto terroso a céreo, con zonas parcheadas donde la lutita de tono más claro parece englobar a otra más oscura. Predomina el aspecto masivo, pero con evidencias de bioturbación de raíces a techo de los tramos, donde se observan rellenos arcillosos más oscuros (0,5 cm de sección) en perforaciones que se disponen paralelamente y perpendicularmente a la superficie horizontal. En otros puntos de un mismo tramo se reconocen además incipientes disyunciones prismáticas (20 cm de altura) con evidencias de cementación (endurecimiento) de la lutita y tinciones locales de pirolusita. En capas superiores a 1 m se observa una cierta estratificación gruesa rota por frecuentes planos de "slickensides".

Petrográficamente, se caracterizan por mostrar una baja porosidad. Las lutitas se presentan con aspecto homogéneo y muy compactas ("chert-like") con muy pocos huecos, fundamentalmente planares. El esqueleto está constituido por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita, fragmentos de roca, circón y turmalina; estos clastos se presentan dispersos en baja proporción y con tamaños inferiores a 500 µm. En muestras de la base del tramo, es frecuente encontrar intraclastos (1-5 mm), ocasionalmente isotropizados, de lutita retrabajada procedente de la litofacies infrayacente (Figura 2f).

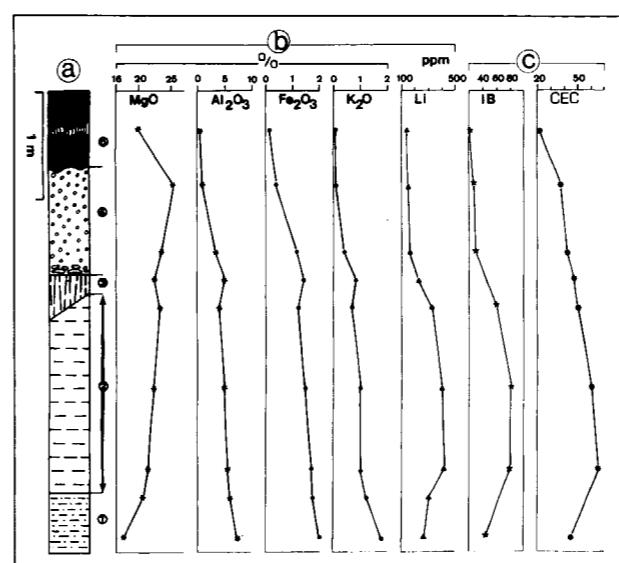


Figura 8. Sección tipo del depósito de bentonitas de Cabañas de la Sagra-Yuncillos (a), mostrando la distribución de los elementos químicos más significativos (b), así como su comparación con la cristalinidad de la esmectita (IB, índice de Biscaye) y la capacidad total de cambio (CEC) en cmol (+). Kg<sup>-1</sup> (c).

(1) Lutitas limo-arenosas; (2) B. masivas; (3) B. con estructura prismática; (4) B. Intraclásticas; (5) Sílex

## 4-ESTUDIO TEXTURAL DE LAS BENTONITAS

El estudio petrográfico de 50 muestras de bentonitas ha permitido establecer diversos tipos texturales en las litofacies bentoníticas diferenciadas: masiva, con estructura prismática e intraclástica.

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	Li <sub>2</sub> O	ppc
1 (CAG-3)	52.68	3.15	0.87	0.07	0.09	0.01	0.23	25.71	0.07	0.05	2.68	0.05	14.41
3 (SAG-1-6)	56.17	1.73	0.33	0.19	0.04	0.01	0.13	27.49	0.08	0.06	1.75	0.03	11.80
4 (MOR-3)	51.03	5.19	1.62	0.20	0.22	0.05	0.36	25.61	0.05	0.06	2.92	0.03	12.90
CAG-3	[Si <sub>7.61</sub> Al <sub>0.39</sub> ] [Al <sub>0.15</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.09</sub> Ti <sub>0.01</sub> Mg <sub>6.55</sub> Li <sub>0.03</sub> ] O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub> Ca <sub>0.01</sub> Na <sub>0.02</sub> K <sub>0.04</sub> Sr <sub>0.22</sub>	C. IV=-0.39	C. VI=+0.13	$\Sigma$ Cat.VI=5.82	X=0.52								
SAG-1-6	[Si <sub>7.61</sub> Al <sub>0.39</sub> ] [Al <sub>0.09</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.03</sub> Mg <sub>5.71</sub> Li <sub>0.02</sub> ] O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub> Ca <sub>0.03</sub> Na <sub>0.02</sub> K <sub>0.02</sub> Sr <sub>0.14</sub>	C. IV=-0.19	C. VI=-0.20	$\Sigma$ Cat.VI=5.85	X=0.38								
MOR-3	[Si <sub>7.39</sub> Al <sub>0.70</sub> ] [Al <sub>0.17</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0.17</sub> Ti <sub>0.02</sub> Mn <sub>0.01</sub> Mg <sub>5.46</sub> Li <sub>0.02</sub> ] O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub> Ca <sub>0.03</sub> Na <sub>0.02</sub> K <sub>0.07</sub> Sr <sub>0.24</sub>	C. IV=-0.70	C. VI=+0.06	$\Sigma$ Cat.VI=5.85	X=0.63								

Calculadas a partir de análisis químicos de fracción menor de 2µm tras saturación de las muestras con SrCl<sub>2</sub>

Tabla 4. Análisis químicos y fórmulas mineralógicas en muestras representativas de los materiales estudiados.

BENTONITAS	I. B.	MUESTRA	SiO <sub>2</sub> / MgO molar	CEC	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
<b>a) Masivas</b>	0.82	(1) SAG-1-3	1.49	65.1	10.2	53.5	-	1.1
	0.73	(2) CABA-4	1.39	58.5	7.5	51.4	-	1.8
	0.45	(3) CN-1-1	1.36	43.4	<0.1	43.2	-	1.3
	0.81	(4) CÑ-2-2	1.36	53.1	0.2	51.4	-	1.1
	0.78	(5) CÑ-3-0	1.31	55.9	4.6	53.5	-	1.1
	0.81	(6) MOR-3	1.32	70.0	4.9	57.7	1.7	1.6
	0.89	(7) CAG-3	1.42	59.3	16.3	37.1	-	2.3
<b>b) Intraclásicas</b>	0.27	(8) CÑ-3-5	1.38	41.3	10.8	25.2	1.7	3.6
	0.34	(9) SAG-1-6	1.41	42.3	12.5	28.2	0.7	0.9
<b>c) Con estructura prismática</b>	0.64	(10) YU-1-10	1.37	50.8	13.7	37.0	-	0.3

\* Índices de Biscaye de esmectitas

Tabla 5. Capacidad de cambio y cationes de cambio (cmol<sub>e</sub>.Kg<sup>-1</sup>) en muestras representativas de los tres tipos de bentonitas estudiados. Se incluyen los índices de cristalinidad de Biscaye y la relación molar SiO<sub>2</sub>/MgO.

En muestras pertenecientes al techo de la capa son frecuentes los huecos de tipo canal, que pueden afectar a abundantes pedotúbulos cilíndricos (raíces, excavadores) conteniendo rellenos clásticos arcillosos con huecos de empaquetamiento compuesto. Son frecuentes las fábricas birrefringentes de tipo granoestriado, poroestriado, monoestriado y biestriado especialmente a techo, donde los rasgos de exposición son más acusados.

En las lutitas, son frecuentes los cutanes arcillosos birrefringentes (argilanes) que pueden alcanzar 130 µm de grosor, asociados a los huecos (sobre todo canales) y especialmente en planos de "slickensides" (Figura 9a). Ocasionalmente hay cutanes de iluviación. En alguna sección (Figura 1C, sección 9) se han detectado además ferranes y manganes alrededor de las morfologías lutíticas. Asimismo se han detectado carbo-

natos de forma ocasional, bien como agregados micríticos (<10µm) de composición dolomítica o como placas esparísticas (calcita) en poros (Figura 9e). En algunas muestras, la bioturbación de excavadores (agrotúbulos, estrictúbulos) y de raíces (0,54 mm de sección) es tan intensa que la textura lutítica original se pierde, presentando un aspecto caótico.

En muestras de secciones pertenecientes a la asociación de facies I (Figura 1C, secciones 1 y 2) destaca un fuerte desarrollo de las fábricas birrefringentes y de los poros en canal ligados a raíces pequeñas (0,50 mm de sección) con cutanes de arcillas microlaminadas. Estas perforaciones pueden afectar a pedotúbulos con rellenos de agregados arcillosos y terrígenos (Figura 2c).

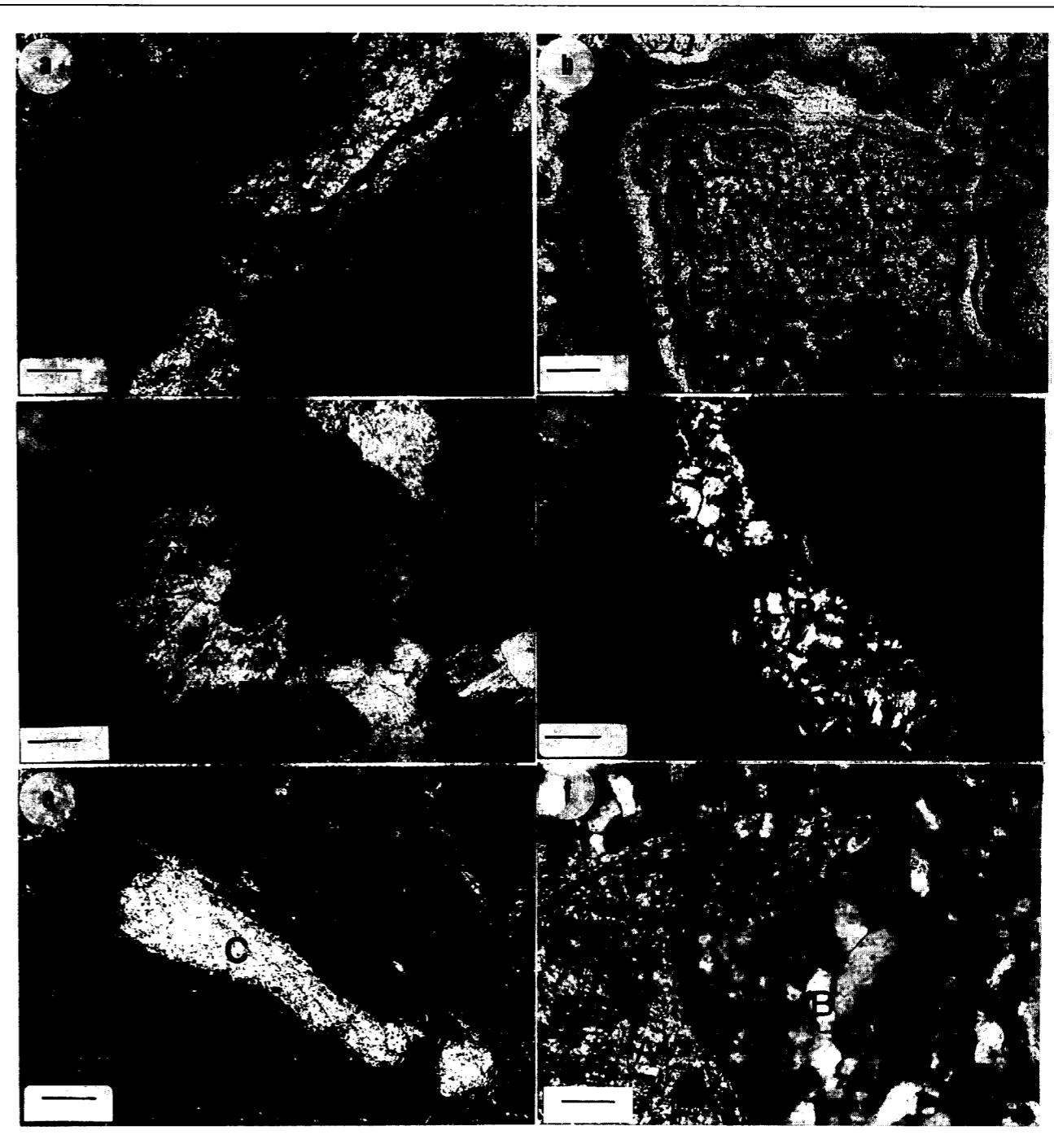
En muestras con sepiolita en proporción impor-

Figura 9.

- a) Cutanes de tensión (B) ligados a "slickensides" afectando a la masa lutítica (A) en una muestra de bentonita masiva. (N+). (barra= 0,1 mm).
- b) Detalle de envueltas microlaminadas (C) alrededor de morfologías con fábrica granular (B) en una bentonita intraclásica (A), donde se reconoce un crecimiento preferente de las láminas (flechas). (N-). (barra= 0,2 mm).
- c) Fenómenos de carbonatación en las bentonitas. Mosaicos esparcidos de calcita (B) invaden la lutita dejando como relictos agregados redondeados (A). (N+). (barra=0,3 mm).
- d) Relleno de cuarzo autigénico (B) en canales de bioturbación de raíces (flechas) que afectan al material bentonítico (A). (N+). (barra=0,1 mm).
- e) Rellenos de calcita esparcita (C) en canales de bioturbación de raíces (B) afectando a la masa arcillosa (A) de la bentonita. (N+). (barra=0,2 mm).
- f) Detalle de la silificación, por mosaicos de cuarzo (B), de un nivel lutítico constituido por esmectita y sepiolita (A). (N+). (barra=0,1 mm).

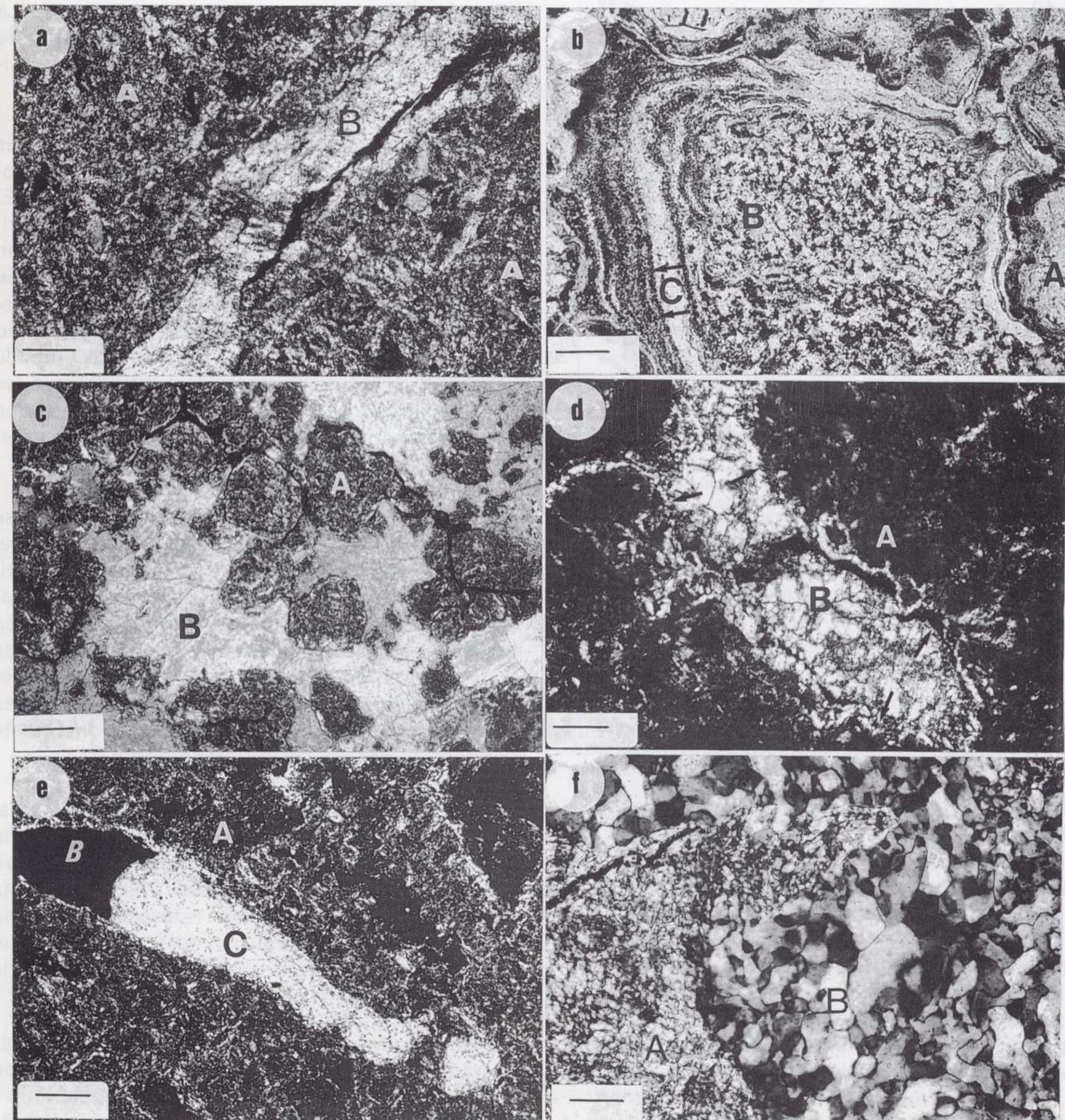
tante se han observado fenómenos de nodulización y recubrimientos con fábricas perpendiculares a las superficies afectadas.

El análisis granulométrico de una muestra representativa de esta litofacies se recoge en la figura 10a.



tante se han observado fenómenos de nodulización y recubrimientos con fábricas perpendiculares a las superficies afectadas.

El análisis granulométrico de una muestra representativa de esta litofacies se recoge en la figura 10a.



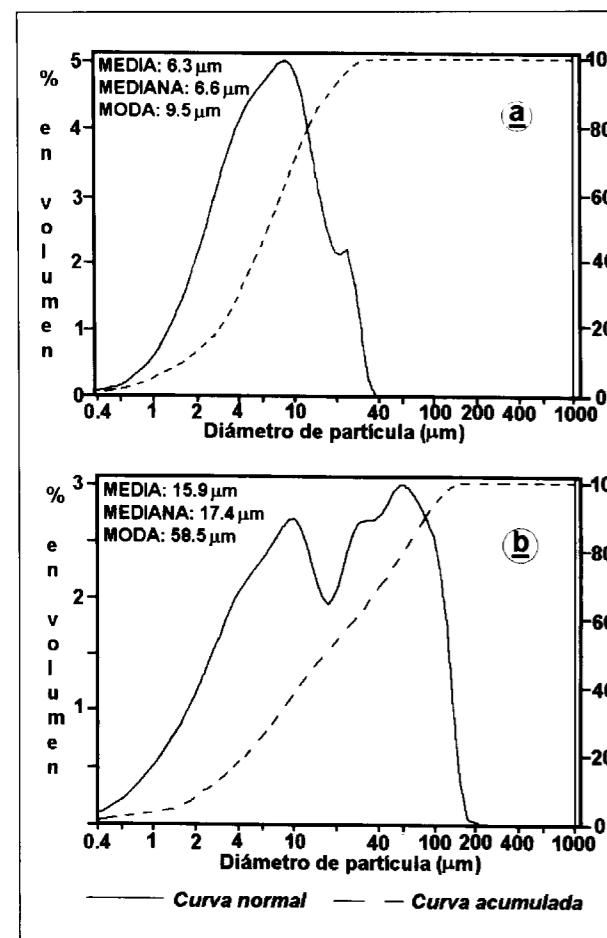


Figura 10. Análisis granulométricos.

a) Muestra representativa de bentonita masiva (CÑ-2-2). Curva normal platicúrtica con asimetría izquierda, presentando un máximo muy marcado en 8.96  $\mu\text{m}$  y uno muy pequeño en 23.5  $\mu\text{m}$ .

b) Muestra representativa de bentonita intraclástica (SAG-1-6). Curva normal platicúrtica con asimetría izquierda, presentando un máximo muy marcado en 60.2  $\mu\text{m}$  que lleva asociada una meseta entre 30 y 38  $\mu\text{m}$  y un segundo máximo importante en el tamaño de 10.1  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2. Bentonitas con estructura prismática

En capas de poca potencia (0,35 a 0,70 m en la asociación de facies II) se observa a techo de las lutitas masivas (secciones 5 y 9), presentando tonos amarillentos a verde grisáceos, abundantes perforaciones de bioturbación con rellenos verdes y tinciones de pirolusita.

Petrográficamente muestran intensa bioturbación por excavadores ("burrows") y sobre todo

por raíces (0,5 mm sección) lo que confiere al material un aspecto caótico que hace perder a la lutita su aspecto original. La intensa actividad de raíces afecta y destruye la bioturbación previa de los excavadores, siendo responsable de la intensa disyunción prismática presentada por el material lutítico. Las raíces se reconocen bien por sus ramificaciones y recubrimientos cutánicos ("coatings") en las paredes de estos poros. La porosidad está ligada sobre todo a huecos de tipo canal y de forma subordinada de tipo cavidad.

Destaca la presencia de carbonatos unas veces como placas esparáticas cementando perforaciones o como esferulitos de calcita fibrorradial. El carbonato puede reemplazar a los escasos terrígenos dispersos ( $< 200 \mu\text{m}$ ) entre los que se han identificado: cuarzo, feldespato y circón. Se detectan fábricas birrefringentes de tipo granoestriado, poroestriado y monoestriado, así como argilanes de arcillas birrefringentes (65  $\mu\text{m}$  de espesor) recubriendo paredes. Localmente se han observado cutanes compuestos en los que ferranes-manganes se disponen sobre los argilanes.

Con capas de potencia métrica (hasta 2,5 m se han medido en la asociación de facies I) se presentan estas bentonitas en el sector más meridional (Secciones 1, 2 y 3). Se caracterizan por mostrar colores entre beige amarillento y blanco grisáceo, intensa disyunción prismática cortada por planos de "slickensides" y bioturbación. Destaca la existencia de nódulos o capas de sílex ligada a planos. Hay pirolusita y ocasionalmente nodulitos blancos (2mm) de carbonato.

Petrográficamente, lo más destacable es la existencia de un alto porcentaje de huecos, fundamentalmente de tipo canal, pero también de cavidad, cámara y planar (Figura 2b). La elevada porosidad secundaria se relaciona con una intensa actividad de raíces (0,45 mm de diámetro). En el esqueleto se identifican clastos de cuarzo, feldespato potásico, circón y turmalina.

El desarrollo de las fábricas birrefringentes es variable. En ausencia de la costra silícea son abundantes de tipo poroestriado, monoestriado y granoestriado. En muestras intercaladas o bajo la costra las fábricas birrefringentes desaparecen,

quedando sólo indicios del tipo granoestriado y evidencias de isotropización de la masa. Se detectan abundantes pedotúbulos asociados a la actividad de organismos excavadores.

Los recubrimientos cutánicos son en algunos casos muy frecuentes afectando a cualquier tipo de superficie, a veces, especialmente en muestras con sepiolita, destaca el desarrollo de fábricas perpendiculares a morfologías o planos.

En bentonitas asociadas a capas con abundantes nodulizaciones silíceas se han observado rellenos de cuarzo autigénico en perforaciones de raíces (Figura 9d) o incluso reemplazando el material arcilloso vía fisuras (Figura 9f). En otras ocasiones los fenómenos de carbonatación originan la invasión pervasiva de calcita esparática que deja morfologías esferoidales lutíticas de tamaño inferior a 2 mm (Figura 9c).

#### 4.3 Bentonitas intraclásticas

Con potencias entre 0,4 y 1,20 m, éstas lutitas sólo se han reconocido en el sector más oriental (Secciones 5 a 9) caracterizándose por presentar intraclastos de color blanco grisáceo que realmente son verdes con una película blanca, pulverulenta, que envuelve las morfologías.

Petrográficamente, muestran una textura intraclástica que se corresponde a una pedalidad granular fina ( $< 1 \text{ mm}$ ) a subangular-bloque fina ( $< 10 \text{ mm}$ ), que se disponen con huecos de empaquetamiento compuesto o incluso de empaquetamiento complejo (Figura 2e). Afectando a estas morfologías son muy frecuentes los recubrimientos lutíticos microlaminados, de aspecto geliforme y grosor de hasta 390  $\mu\text{m}$  (Figura 9b). Localmente recubriendo argilanes, se han reconocido masas lutíticas no birrefringentes y carbonatos micríticos.

Los intraclastos presentan aspecto compacto y homogéneo (tipo "chert-like") pudiendo mostrar en su interior fenómenos de bioturbación por raíces, que quedan como relictos por reemplazo pervasivo. Se han reconocido fábricas birrefringentes de tipo uniaxial y poroestriada. En alguna muestra se detectan pedotúbulos (estriotúbulos) y microvénulas con rellenos de

cuarzo. Localmente carbonatos, bien esparcidos en rellenos de planos o como esferulitos fibrorradiales.

El estudio textural pone de manifiesto una evolución en varias etapas de una lutita que se pedestaliza y muestra signos inequívocos de remplazo por otra arcilla de aspecto geliforme, para posteriormente mostrar evidencias de silicificación.

El análisis granulométrico de una muestra representativa de esta litofacies se recoge en la figura 10b.

#### 4.4 Microfábrica y morfología de partículas

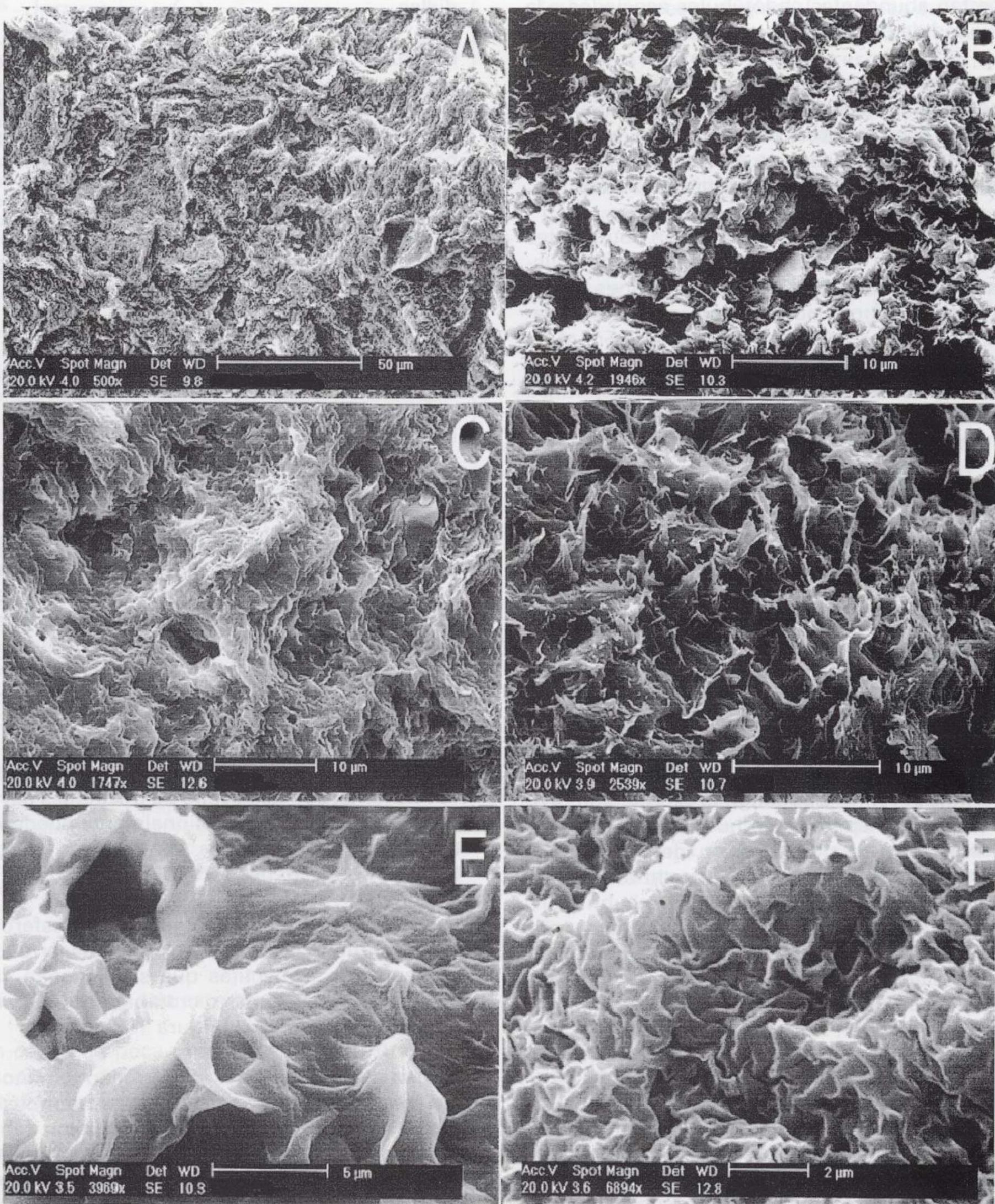
##### Bentonitas masivas

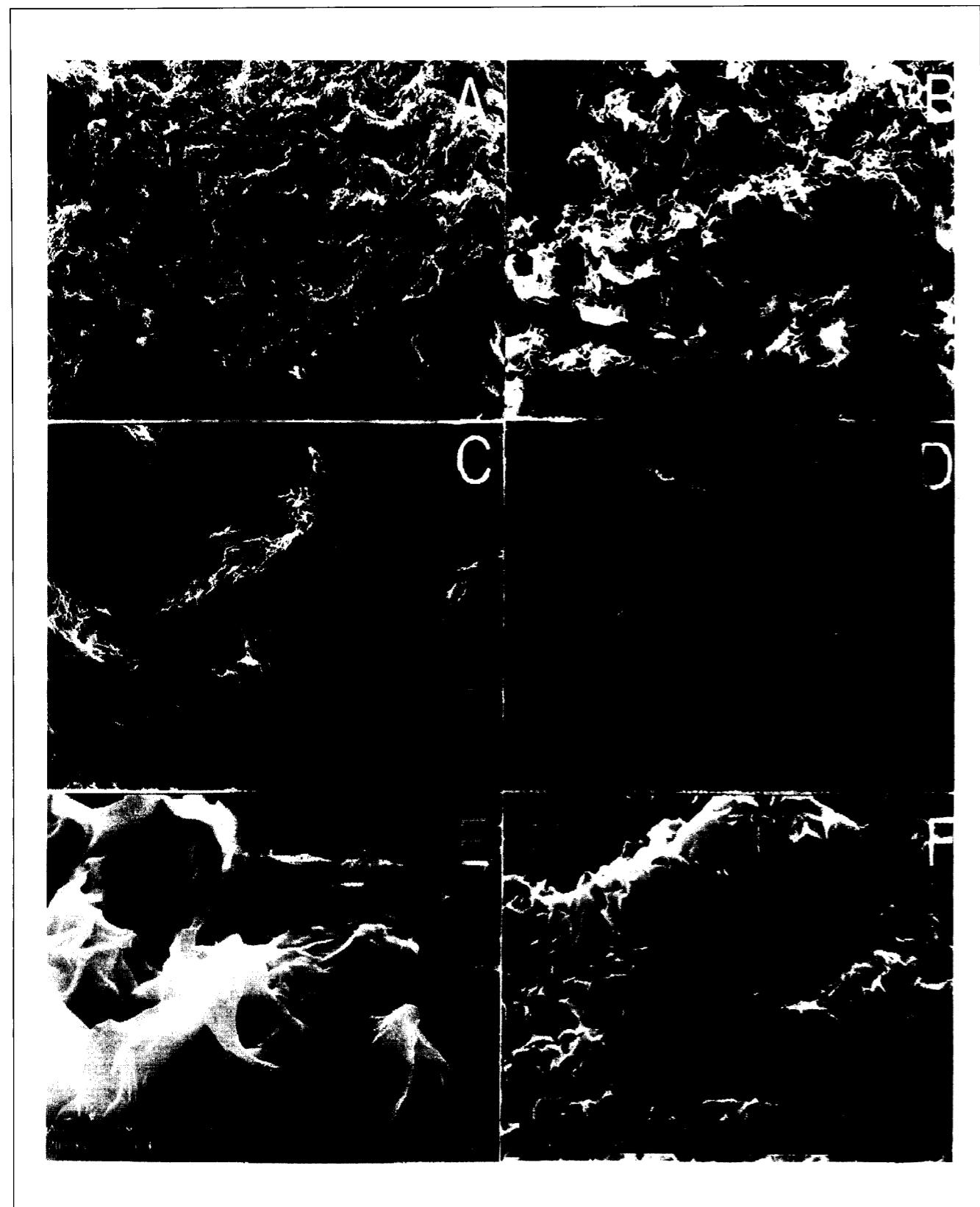
Predominan las microfábricas compactas y rugosas de tipo matriz a laminar con clastos arcillosos redondeados (100  $\mu\text{m}$ ) y terrígenos muy diseminados (Figura 11A). También se han reconocido agregados glomerulares y aureolas festoneadas de aspecto muy denso. A mayores aumentos, se ven partículas laminares de esmectitas que se disponen preferentemente cara-borde o cara-cara, con bordes irregulares y tamaños entre 2-5  $\mu\text{m}$ . La porosidad es alta entre partículas pero media a baja entre agregados (Figura 11B).

En muestras bioturbadas la porosidad secundaria es relevante, con desarrollo de frecuentes cavidades (Figura 11C), que ocasionalmente pueden ser tapizadas por agregados esmectíticos de gran tamaño y aspecto desflecado (Figura 11D).

Localmente se reconocen morfologías esferoidales de pequeño tamaño (10  $\mu\text{m}$ ) con desarrollo de partículas de esmectitas que se disponen cara-borde originando una microfábrica en panal de abeja ("honey-comb") (Figura 13B)

Se han observado fibras de pequeño tamaño ( $< 2 \mu\text{m}$ ) asociadas a las esmectitas, pero también de tamaño mayor (5  $\mu\text{m}$ ) en muestras con fábrica laminar, donde la disponibilidad de porosidad para el desarrollo de las fibras es mayor. Asociadas a planos se presentan películas constituidas por agregados de fibras de sepiolita (Figura 13C).





### Bentonitas con estructura prismática

Muestran microfábrica compacta y glomerular (Figura 11F), morfologías heterogéneas de retrabajamiento, y ocasionalmente agregados fibrosos apelmazados, tapizando superficies (fibras <5  $\mu\text{m}$ ) (Figura 13D).

En alguna perforación, se observan agregados geliformes de gran tamaño y asociadas fibras mayores ( $5\mu\text{m}$ ) en bordes de poros. Se reconoce una orientación clara de los agregados laminares de esmectitas según la disyunción en planos. Los agregados esmectíticos presentan láminas arrugadas de gran continuidad sobre las que se desarrollan otras de mayor tamaño (2-5  $\mu\text{m}$ ) estando ausentes los desflecados o fibras en sus bordes (Figura 11E).

### Bentonitas intraclásticas

Se caracterizan por la existencia de morfologías intraclásticas subredondeadas (Figura 13A) englobadas por un agente cementante, lo que confiere al material un aspecto muy irregular (Figura 12A). Los intraclastos están constituidos por agregados de aspecto geliforme muy rugosos donde se reconocen partículas laminares (2-5  $\mu\text{m}$ ) cementadas (Figura 12B). En detalle el cemento muestra morfologías típicas de esmectitas, de menor tamaño, aspecto compacto y baja porosidad (Figura 12C). Una microfábrica muy distinta se ha observado recubriendo superficies, constituida por partículas laminares de esmectitas que se disponen borde-borde y cara-borde originando una microfábrica muy abierta de elevadísima porosidad interpartícula y aspecto celu-

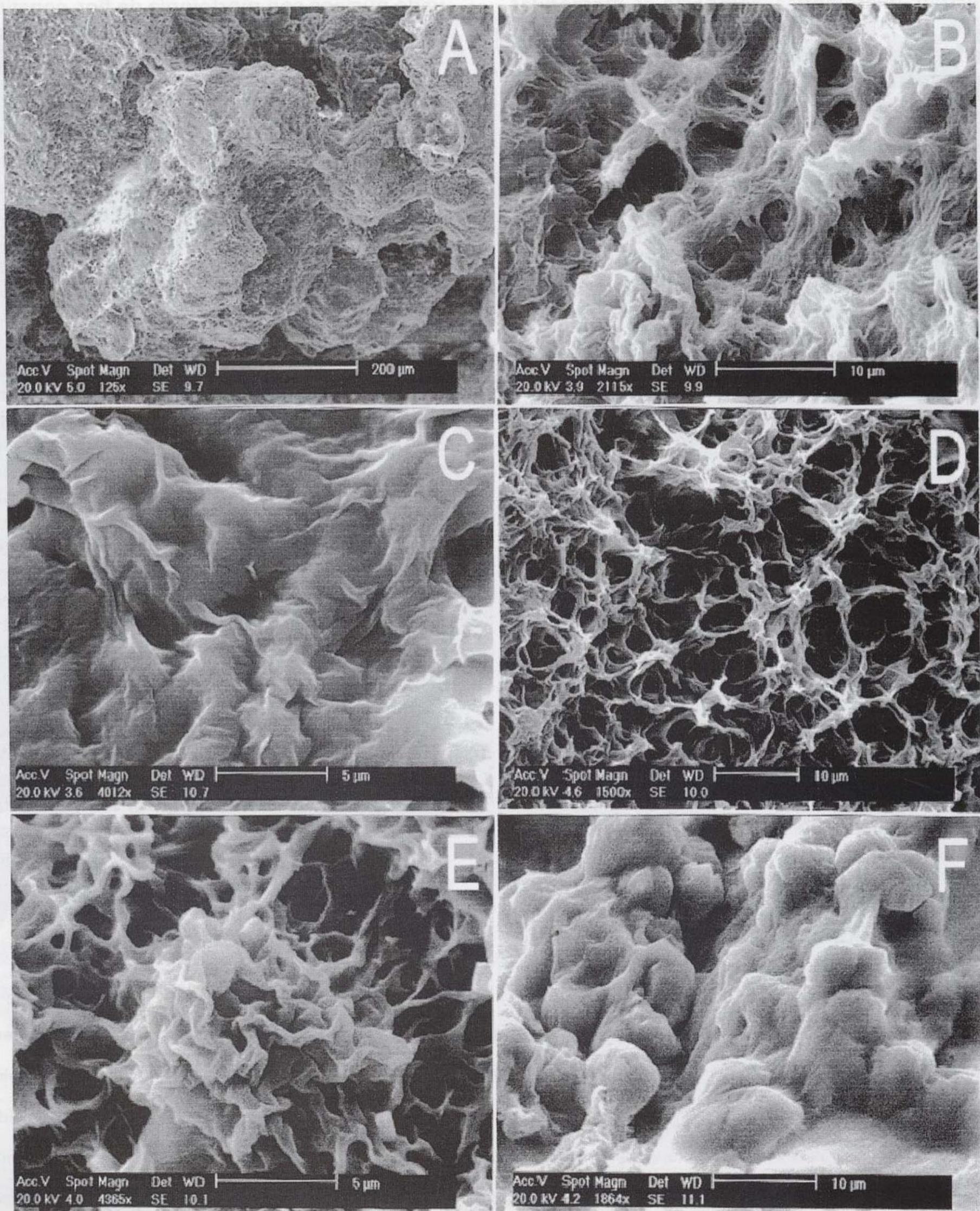
lar, con diámetro de poro entre 5-10  $\mu\text{m}$  (Figura 12D). Dispersos en este entramado se han observado núcleos con morfología de flor, constituidos por láminas muy arrugadas de esmectitas de superficie curvilínea y continua (Figura 12E).

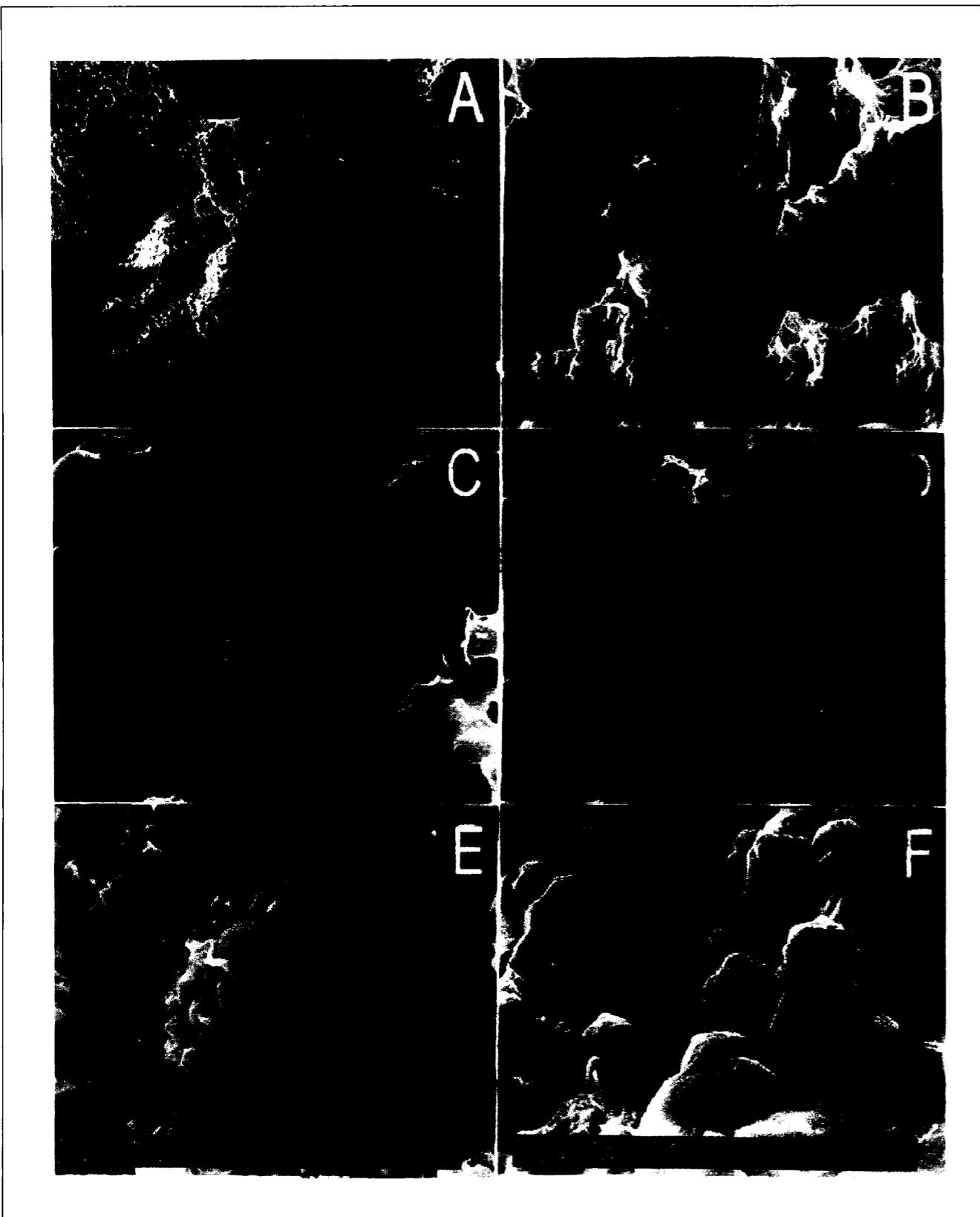
Con cierta frecuencia, se ha observado la existencia de recubrimientos de carácter geliforme envolviendo agregados laminares de esmectitas (Figura 12F). En otras ocasiones las fases esmectíticas se asocian a cristales euhédricos de cuarzo (< 10  $\mu\text{m}$ ) y madejas de fibras de sepiolita (Figura 13E) o presentan dispersos cristales romboédricos de carbonatos (Figura 13F).

El estudio de las partículas mediante TEM pone de manifiesto la existencia de esmectitas con dos morfologías distintas: partículas algodonosas y láminas replegadas (Figura 14a). Las morfologías algodonosas tienen bordes difusos y discontinuos y morfología subredondeada. Asociadas a estas se reconocen láminas arrugadas de bordes netos, continuos y frecuentemente con puntas, que ocasionalmente enlazan con otras partículas de esmectita (Figura 14b). Estas morfologías, con tamaños próximos a los 2  $\mu\text{m}$ , sugieren varias generaciones de esmectitas. Otro constituyente asociado a los anteriores son masas geliformes donde se reconocen componentes de muy pequeño tamaño (Figura 14c), que han podido jugar un papel importante en los procesos de autigénesis. La presencia de fibras de sepiolita es frecuente en las muestras estudiadas; la disposición de las mismas respecto a las partículas de esmectita pone de manifiesto que son posteriores y en algunos casos que se relacionan genéticamente (Figura 14d).

Figura 11.

- A) Muestra de bentonita masiva. Textura general caracterizada por su elevada compacidad, baja porosidad secundaria y presencia de clastos dispersos.
- B) Detalle de agregados laminares esmectíticos con disposición de las partículas cara-cara y cara-borde, originando una microporosidad interpartícula.
- C) Bentonita masiva bioturbada. Microfábrica muy compacta mostrando poros circulares que son el resultado de la actividad de raíces.
- D) Morfologías desflecadas con desarrollo de puntas y/o fibras en partículas laminares de esmectitas asociadas a recubrimientos de poros.
- E) Bentonita con estructura prismática, mostrando típicas láminas arrugadas de esmectitas y asociado un material de aspecto geliforme.
- F) Detalle de morfologías arrugadas de esmectitas de pequeño tamaño que pueden originar agregados glomerulares con aspecto cerebriforme.





## 5-CONSIDERACIONES FINALES

1- Mineralógicamente se han establecido dos asociaciones que se relacionan con distintas litofacies de bentonitas. En bentonitas masivas y con estructura prismática, los resultados mineralógicos y químicos indican el predominio de una esmectita trioctaédrica de carácter saponítico, aunque el comportamiento térmico (ATD-TG) y sobre todo las fórmulas mineralógicas ponen de manifiesto la existencia, además, de términos estevensíticos en diversa proporción. Las bentonitas intraclásticas muestran características mineralógicas y químicas diferentes, que se interpretan como pertenecientes a interestratificados irregulares de kerolita/estevensita, donde la fase hinchable es siempre predominante (estevensita 60-80%).

En el conjunto de las muestras estudiadas se ha observado una buena correlación entre el contenido y tipo de esmectita, su cristalinidad y la CEC. Los dos últimos parámetros seriamente modificados en muestras con evidencias de intensa bioturbación o retrabajamiento.

Las capacidades de cambio muestran variaciones significativas según el tipo de bentonita considerada, oscilando entre 22 y 72 ( $\text{cmol.Kg}^{-1}$ ), observándose los valores más bajos en las bentonitas intraclásticas de composición kerolítico-estevensítica. Los valores más altos de CEC corresponden a bentonitas masivas no bioturbadas en las que la cristalinidad de la esmectita presenta índices de Biscaye superiores a 0,7.

2-Petrográficamente las lutitas masivas son las que presentan las texturas más homogéneas y compactas ("chert-like"), excepto cuando mues-

tran bioturbación acusada; en este caso se destruye la textura original como resultado del desarrollo de porosidad y de morfologías retrabajadas. Entre la porosidad secundaria destacan los planos de "slickensides" que llevan asociados cutanes de tensión. Las bentonitas con estructura prismática muestran texturas intensamente bioturbadas, donde los canales y las fábricas birefringentes tienden a orientarse según la pedalidad del material, con frecuente formación de argilanes.

Las bentonitas intraclásticas muestran una textura granular compleja con diversos tipos de recubrimientos (microlaminados, pulverulentos), así como frecuentes fenómenos de carbonatación y silicificación.

3-El estudio mediante MEB de las bentonitas pone de manifiesto la existencia de diversas microfábricas, que en función de la disposición de las partículas de esmectita muestran porosidades muy variables. Se han observado agregados de esmectitas de diverso tamaño y morfología, lo que sugiere varios episodios genéticos. El estudio morfológico de las partículas mediante TEM confirma la existencia de esmectitas de aspecto algodonoso y borde difuso junto a otras de aspecto laminar replegado con desarrollo de puntas y borde neto.

4-Los constituyentes minerales que pueden modificar la calidad de las bentonitas, desde un punto de vista tecnológico, son fundamentalmente calcita, dolomita, cuarzo microcristalino y sepiolita. Los carbonatos y la sílice se presentan tanto en reemplazamientos como llenando canales de bioturbación. La sepiolita, a otra escala, se desarrolla unas veces sobre el soporte

Figura 12.

- A) Campo general de una muestra de bentonita intraclástica mostrando morfologías glomerulares (gránulos) muy compactas.
- B) Aspecto de los gránulos donde se observa cierto grado de porosidad y varias generaciones de esmectitas una de las cuales (la de partícula más pequeña y compacta) actúa como agente cementante.
- C) Detalle de los agregados esmectíticos densos citados en la figura 12B.
- D) Microfábrica muy porosa perteneciente a recubrimientos de partículas con disposición borde-borde y borde-cara, desarrollados alrededor de los gránulos, con tamaños de poro entre 5 y 10  $\mu\text{m}$ .
- E) En la microfábrica anterior detalle de núcleos (genéticamente posteriores) con forma de flor, constituidos por esmectitas intensamente replegadas con bordes netos y continuos.
- F) Recubrimiento de agregados esmectíticos por material geliforme.

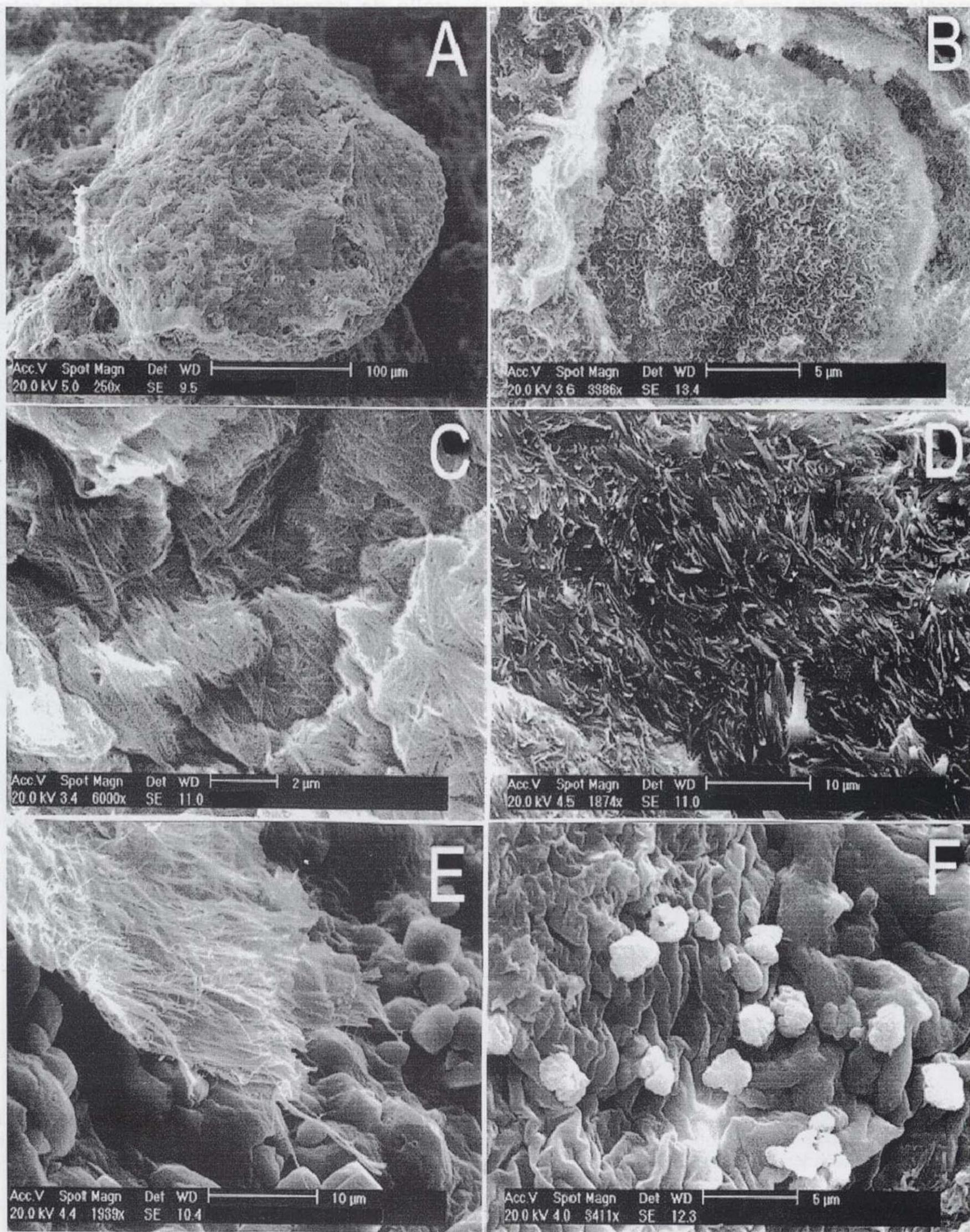


Figura 13.

- A) Morfología intraclástica (gránulo) mostrando cierto redondeamiento y aspecto compacto.
- B) Microfábrica en panal de abeja ("honey-comb") recubriendo un glomerulo esferoidal de pequeño tamaño.
- C) Agregados de sepiolita rellenando fisuras donde se presenta en la variedad "cartón de montaña".
- D) Agregados fibrosos de sepiolita recubriendo agregados esmectíticos en superficies ligadas a porosidades secundarias.
- E) Detalle de la relación entre cristales euhédricos de cuarzo y madejas de sepiolita en las zonas intergranulares de las bentonitas intraclásticas.
- F) Cristales romboédricos de dolomita dispersos en una masa constituida por agregados densos de esmectitas.

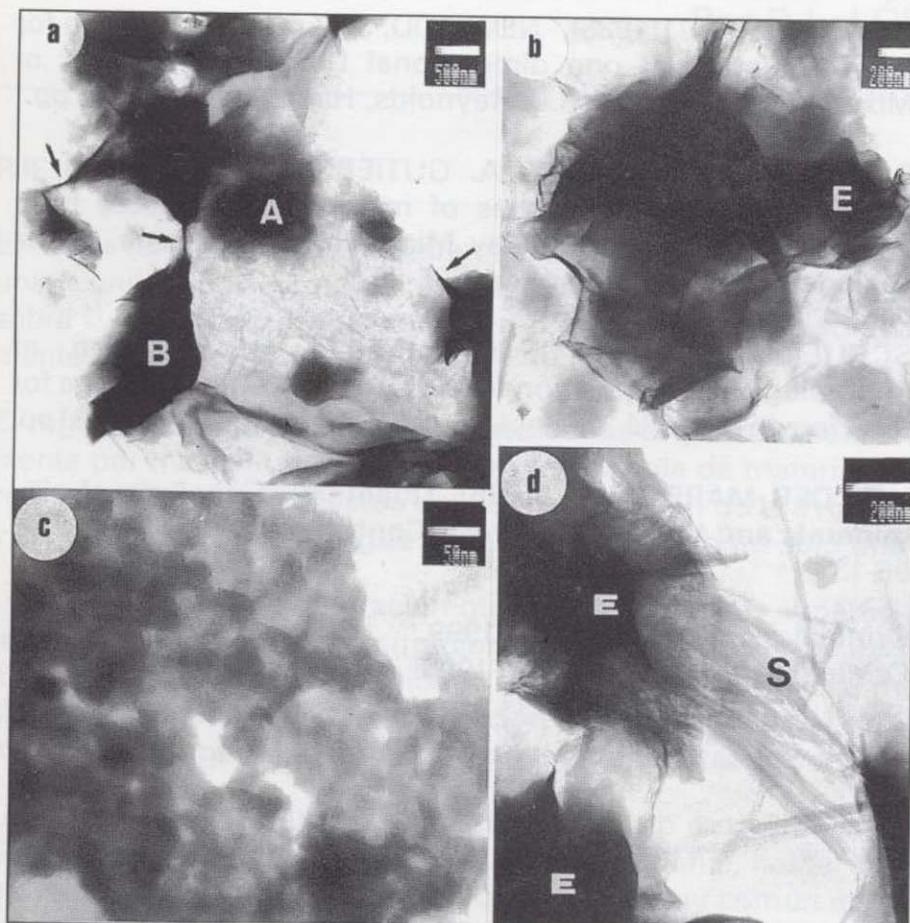


Figura 14. Microscopía electrónica de transmisión (MET).

- a) Partículas algodonosas de borde difuso y morfología subredondeada (A) se presentan junto a otras láminares de borde neto (B) y desarrollo de puntas (flechas) que pueden conectar con otras partículas (flechas).
- b) Partícula típica de esmectita con morfología laminar arrugada y bordes netos (E).
- c) Detalle de masas geliformes asociadas a las láminas de esmectitas, donde se reconocen morfologías redondeadas de pequeño tamaño ( $0,0025 \mu\text{m}$ ).
- d) Asociación de láminas de esmectita (E) y de agregados de fibras de sepiolita (S) de pequeño tamaño ( $<2 \mu\text{m}$ ) que parecen desarrollarse a expensas de la fase esmectítica.

esmectítico y otras como películas de fibras apelmazadas en grietas o como agregados con fibras de mayor tamaño ( $>5\mu\text{m}$ ) en poros.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del Proyecto de

Investigación PB 95-0106-CO2-01, financiado por la DGICYT.

## REFERENCIAS

- BARAHONA, E. (1974). Arcillas de ladrillería de la Provincia de Granada Evaluación de algunos Ensayos de Materias Primas. Tesis Doctoral, Univ. Granada, 309 p.
- BREWER, R. (1976). Fabric and Mineral Analysis of Soils. R.E. Krieger Publ. Co., Huntington, New York, 482 p.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G. & TURSINA, T. (1985). Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications. Albrighton. England. 150 pp.
- BUSTILLO, M.A. (1976). Estudio petrológico de las rocas silíceas miocenas de la Cuenca del Tajo. Estudios Geol. 32, 452-497.
- ENADIMSA. (1975). Investigación nacional de bentonitas. Plan Nac. Min. Mº de Industria, D.G. Minas. IGME.
- GARCÍA, E. (1988). Estudio mineralógico y estratigráfico de las arcillas de las facies centrales del Neógeno del borde sur de la Cuenca del Tajo. Tesis Doctoral, U.C.M. 436 pp.
- GARCÍA, E., DOVAL, M., BRELL, J.M. y PERRUCHOT, A. (1988). Procesos diagenéticos en las arcillas de la región de La Sagra (cuenca del Tajo). Bol. Geol. Min. 99, 958-974.
- GARCÍA, E., BRELL, J.M., DOVAL, M. y NAVARRO, J.V. (1990). Caracterización mineralógica y estratigráfica de las formaciones neógenas del borde sur de la Cuenca del Tajo (Comarca de La Sagra). Bol. Geol. Min. 101, 945-956.
- GRIM, R.E. & GÜVEN, N. (1978) Bentonites. Geology, Mineralogy Properties and Uses. Elsevier, Amsterdam, 253 pp.
- JONGERIUS, A. & Rutherford, G.K. (1979) Glossary of soil micromorphology. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen. 138 pp.
- MARTÍN ESCORZA, C., CARBÓ, A. y GONZÁLEZ, A. (1973). Contribución al conocimiento geológico del terciario aflorante al N. de Toledo. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.), 71, 167-182.

- MEYER, R. (1987). Páleoaltérites et paleosols. B.R.G.M. Editions, Orleans, 163 pp.
- ORDÓÑEZ, S., CALVO, J.P., GARCÍA DEL CURA, M.A., ALONSO, A.M. & HOYOS, M. (1991). Sedimentology of sodium sulphate deposits and special clays in lacustrine sequences of the Tertiary Madrid Basin (Spain). I.A.S. Spec. Publ. 13: 37-53.
- POZO, M., CASAS, J., MORENO, A. y MEDINA, J.A. (1992 a) Origin of sedimentary magnesium bentonites in marginal lacustrine deposits. (Madrid Basin, Spain). Miner. Petrogr. Acta, 35-A. 45-54.
- POZO, M., CASAS, J., MORENO, A. y MEDINA, J.A. (1992 b) Magnesium clay paleosols from Madrid Neogene Basin (Spain). Miner. Petrogr. Acta, 35-A 233-244.
- POZO, M., BUSTILLO, M.A., CASAS, J. y ARRIBAS, M.E. (1998 a). Mg-clay deposits and silcretes in palustrine environments (South West of the Madrid Basin, Spain). Book of abstracts of the 15th. International Sedimentological Congress, Alicante. p.635.
- POZO, M., CASAS, J. y MARTÍN DE VIDALES, J.L. (1998 b). Identification of paleosoil occurrence in paludine Mg-clay deposits. Genetic constrains and evolution of authigenic clays. (Neogene Madrid Basin, Spain). Proceedings of 2nd.
- Mediterranean Clay Meeting. Universidade de Aveiro. Portugal. 2: 145-149
- POZO, M., CASAS, J., MARTÍN DE VIDALES, J.L., MEDINA, J.A. y MARTÍN RUBÍ, J.A. (1999 a). Características texturales y composicionales en depósitos de arcillas magnésicas de la cuenca de Madrid. 1. Kerolitas (sector de Esquivias y Pinto). Bol. Geol. y Min. 110-1. 77-102.
- POZO, M., MORENO, A. y MARTÍN RUBÍ, J.A. (1999 b). Distribución de litio y flúor en depósitos de kerolitas y esmectitas magnésicas de la Cuenca de Madrid. Implicaciones genéticas. Bol. Geol. y Min. 110-2, 197-214.
- REYNOLDS, R.C. (1985). NEWMOD, a Computer program for the Calculation of one dimensional Diffraction Patterns of Mixed Layered Clays. R.C. Reynolds, Hanover, U.S.A. 24 pp.
- SANTARÉN, J., ALVAREZ, A., GUTIÉRREZ, E. y CASAS, J. (1996). Technical properties of magnesium smectite from Yunclillos. Advances in Clay Minerals, (Ed. Ortega, López Galindo & Palomo). Granada. 255-257.
- SCHULTZ, L.G. (1964). Quantitative Interpretation of Mineralogical Composition from X-Ray and Chemical Data for the Pierre Shale. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper., 391C, 31pp.
- VAN DER MAREL H.W. (1966). Quantitative analysis of clay minerals and their admixtures. Contrib. Mineral. Petrol., 12: 96-138.

Original recibido: Marzo de 1999.  
Original aceptado: Mayo de 1999.

## CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS Y ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL SALAR DE HUASCO (CHILE).

Por P. L. LÓPEZ (\*), I. GARCÉS (\*\*), L. F. AUQUÉ (\*), J. GÓMEZ (\*),  
M. J. GIMENO (\*\*\*) y M. P. LAPUENTE (\*)

### R E S U M E N

El "salar de Huasco" es un sistema salino continental actual que se localiza en el sector preandino del N de Chile. Está sometido a unas condiciones climáticas extremadamente áridas, y el agua que accede al salar desde las zonas elevadas adyacentes circula sobre su superficie salina, concentrándose por evaporación y dando lugar a salmueras de fuerza iónica muy elevada (aproximadamente 8 molal).

El registro sedimentario del sustrato del salar presenta una costra salina central (de 1 m de espesor y compuesta casi exclusivamente por mirabilita), rodeada por una aureola de material detrítico fino cubierto en superficie por una costra centimétrica de cloruros y sulfatos. Todos estos depósitos proceden de la evolución de un paleolago desarrollado en esta región a finales del Terciario, y las acumulaciones de agua en la actualidad cubren sólo una mínima parte de la superficie del salar.

La elevada tasa de evaporación que sufren las aguas superficiales del salar y la interacción entre éstas y el material salino preexistente provoca un marcado gradiente de concentración entre los puntos de entrada de agua y el sector central del salar. De este modo, las soluciones evolucionan desde un carácter inicial mayoritariamente bicarbonatado, hasta las más evolucionadas de tipo clorurado-sulfatado. La concentración catiónica presenta un rango de variación menos acusado, predominando siempre los elementos alcalinos (fundamentalmente sodio y potasio) sobre calcio y magnesio.

Las soluciones del salar se encuentran en todo momento en equilibrio con calcita, y conforme aumenta su concentración alcanzan el equilibrio con yeso y mirabilita. En la etapa final, halita, silvita y singenita consiguen alcanzar igualmente el estado de equilibrio en solución. Esta evolución fisicoquímica es muy común en sistemas salinos continentales cuyas soluciones poseen un pH aproximadamente neutro (como es el caso del salar de Huasco), pero contrasta fuertemente con la evolución teórica que prevé el ampliamente aceptado modelo de HARDIE y EUGSTER (1978). La proporción de bicarbonato frente a calcio en las aguas de recarga del salar de Huasco implica que la evolución evaporativa posterior se debería desarrollar según la pauta alcalina, pero la interacción de las soluciones con el material salino preexistente (fundamentalmente con el yeso) modifica la relación  $(\text{HCO}_3^-/2\text{Ca}^{2+})$  y redirige su evolución hacia la pauta neutra.

El estudio de este salar presenta un claro interés económico en relación con la posible explotación de los recursos que posee (fundamentalmente K, Li y B), ya sean sus depósitos minerales como sus salmueras. Este estudio ha permitido delimitar la influencia relativa de los procesos que afectan a las salmueras superficiales del salar, fundamentalmente la evaporación y la interacción entre las soluciones y el sustrato salino.

**Palabras clave:** Salar, Evaporación, Evolución geoquímica, Salmuera, Índice de saturación, Huasco, Andes, Chile.

### A B S T R A C T

"Salar de Huasco" is a modern saline continental system located in the pre-Andean region of northern Chile. This region suffers extremely arid conditions; waters reaching the salar from the adjacent elevated areas circulate over the saline surface giving rise to brines of very high ionic strength (approximately 8 molal) by evaporation. The stratigraphic record of the salar basin shows a central massive saline crust (1m thick and made up almost exclusively of mirabilite), surrounded by an aureole of fine clayey-saline

(\*) Área de Petrología y Geoquímica. Depto. Ciencias de la Tierra. Fac. Ciencias. Universidad de Zaragoza. 50009 ZARAGOZA (España).

(\*\*) Depto. Ingeniería Química. Universidad de Antofagasta. Casilla 170. ANTOFAGASTA (Chile).

(\*\*\*) Programa de Comportamiento Ambiental de Contaminantes Convencionales. Instituto de Medio Ambiente-CIEMAT. Avda. Complutense 22. 28040 MADRID.

material with a superficial centimetric saline crust composed mainly of chlorides and sulphates. All these deposits were generated in a paleolake developed in this region during the late Tertiary. At the present time, surface waters cover only a minor part of the salar surface.

Superficial solutions show a marked concentration gradient between the inlet and the central sector, due to a high evaporation rate and to the interaction between the waters and the preexisting saline material covering the salar surface. Thus, solutions evolve from dilute bicarbonate to chloride-sulphate brines. The cationic composition is more homogeneous, with alkaline elements (mainly sodium and potassium) always prevailing over calcium and magnesium.

The solutions are in equilibrium with calcite, reaching equilibrium with gypsum and mirabilite when the concentration increases. In the final stages the most concentrated brines are in equilibrium with halite, sylvite and syngenite. Such a physicochemical evolution is very common in neutral continental saline systems like Huasco, but it contrasts strongly with the theoretical evolution deduced from the widely accepted model of HARDIE and EUGSTER (1970). The value of the bicarbonate/calcium ratio in the dilute recharge waters implies that the subsequent evaporative evolution should follow the alkaline path, but the interaction between solutions and the preexisting saline material (mainly gypsum) modifies the  $(\text{HCO}_3^-/2\text{Ca}^{2+})$  ratio, diverting the evaporative evolution towards the neutral path.

The study of this salar has an obvious economic interest linked to the practical exploitation of its resources (basically K, Li and B), either as mineral deposits or brines. This study has allowed us to weigh the relative importance of the two main processes affecting the superficial solutions of the salar, namely evaporation and interaction between solutions and the saline substrate.

**Key words:** Salar, Evaporation, Geochemical evolution, Brine, Saturation index, Huasco, Andes, Chile.

## INTRODUCCIÓN

En la zona de Sudamérica conocida como Norte Grande de Chile existen más de 100 cuencas de drenaje endorreico, la mayor parte de las cuales contiene salares en su interior (STOERTZ y ERICKSEN, 1974). El término "salar" se asigna en esta región a un conjunto de sedimentos de naturaleza evaporítico-detritica, cuya génesis ha tenido lugar en la zona más deprimida de una cuenca cerrada sometida a un clima árido o semiárido (CHONG, 1988).

La aridez actual del clima que predomina en esta zona geográfica se debe principalmente a dos fenómenos. Por un lado, la corriente de Humboldt, una corriente marina fría que fluye hacia el norte a lo largo de la costa pacífica de Chile. Cuando la masa de aire que lleva asociada se adentra en el continente, sufre un calentamiento y su humedad relativa cae hasta valores muy bajos. Por otro lado, también es muy importante el efecto de sombra orográfica causado por la Cordillera de los Andes, que impide el paso de masas de aire húmedo procedentes del E y NE.

Los salares son un testigo de la existencia en la zona de lagos más o menos profundos, que en determinadas fases del Terciario ocuparon las áreas más deprimidas de muchas cuencas cerradas de los Andes chilenos y bolivianos. La evolución paleoclimática posterior tendente hacia una

aridez cada vez mayor (junto a la actividad tectónica que provocó en algunas cuencas el cambio del régimen endorreico a exorreico) tuvo como consecuencia la transición gradual de lagos ligeramente salinos a salobres, y finalmente a sistemas de playa lake, los cuales generaron los depósitos salinos presentes actualmente en los salares. En muchos de estos salares, la actividad evaporítica se restringe actualmente a unas reducidas zonas, donde cuerpos de agua efímeros son alimentados por las extremadamente escasas precipitaciones que alcanzan el salar bien por cauces superficiales ("quebradas", como se les denomina localmente) o por alumbramiento de escorrentía subsuperficial (surgencias denominadas allí "vertientes") en las zonas marginales de los salares. En cualquier caso y como norma general, la tasa de evaporación es muy superior a los aportes de agua que reciben los salares, lo que restringe mucho la extensión de las áreas donde existe sedimentación evaporítica actual.

El estudio del proceso de concentración por evaporación activa actualmente en los salares presenta un claro interés económico. Las soluciones se concentran hasta dar lugar a verdaderas salmueras, donde se acumulan algunos elementos químicos de elevada solubilidad cuya explotación puede ser rentable, tales como litio, yodo, boro y nitrógeno (estos dos últimos en forma de boratos y nitratos, respectivamente). Existen estudios muy generales sobre los salares de la

zona chilena (STOERTZ y ERICKSEN, 1974) y también sobre algunos grupos de salares en particular (CHONG, 1984; IGARZÁBAL, 1991; RISACHER y FRITZ, 1991a, b). Recientemente se ha comenzado el estudio en detalle de algunos de estos salares (ALPERS y WHITTEMORE, 1990; GROSJEAN, 1994; GARCÉS *et al.*, 1996), quedando todavía pendiente el análisis de otros muchos sistemas salinos. Este es el caso del salar de Huasco, cuyo estudio geoquímico detallado se presenta en este artículo.

El salar de Huasco fue objeto hace algunos años de un estudio prospectivo (CORFO, 1984) destinado a determinar la posible explotación del abundante sulfato de sodio que, en forma de mirabilita, aparece en el registro salino del salar. El difícil acceso y las extremadamente severas condiciones climáticas imperantes aconsejaron desestimar dicha explotación. Aparte del citado informe no hemos logrado encontrar ningún

estudio geoquímico o hidroquímico sobre este salar. El trabajo que aquí se presenta ha consistido en una caracterización geoquímica del sistema mediante la recogida de muestras de soluciones y material sólido, con el objetivo de establecer las pautas de evolución geoquímica de las salmueras. El estudio descriptivo se ha completado con la aplicación de técnicas de modelización geoquímica, lo cual ha permitido analizar el comportamiento del sistema desde una perspectiva termodinámica.

## Situación geográfica

El salar de Huasco se encuentra en la zona de la Alta Cordillera andina de la Primera Región de Tarapacá, y se localiza a unos 130 km en línea recta al E de la ciudad costera de Iquique y aproximadamente a 15 km de la frontera entre Chile y Bolivia (figura 1).

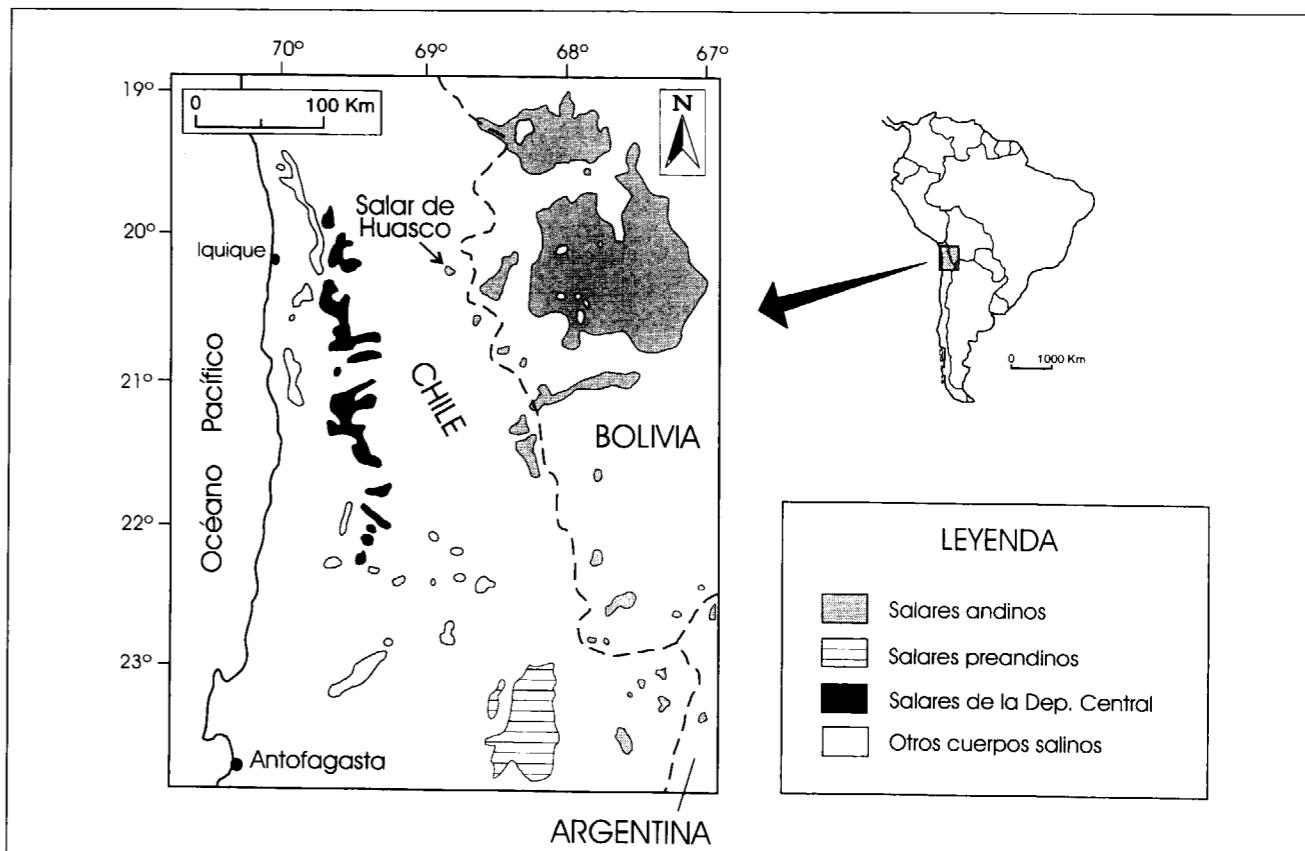


Figura 1- Esquema de localización geográfica del salar de Huasco (modificado de CHONG, 1988).

Este cuerpo evaporítico-sedimentario se sitúa a una altitud aproximada de 3800 m.s.n.m., y su principal acceso es una pista de tierra de 57 km de longitud que parte del pueblo de Pica, un oasis enclavado en la Depresión Central aunque muy próximo al contacto entre ésta y la Precordillera andina. La cuenca de drenaje del salar se extiende sobre una superficie aproximada de 1500 km<sup>2</sup>, y aparece elongada en sentido N-S. El salar se ubica en el sector meridional de dicha cuenca, cubre un área de unos 50 km<sup>2</sup> y su eje mayor presenta una dirección ONO-ESE y una longitud aproximada de 10 km (KARZULOVIC y GARCÍA, 1978).

La zona marginal del salar es accesible en su totalidad mediante vehículos de doble tracción, gracias a la existencia de una pista de tierra que lo circunda. Algunos sectores de su interior también pueden recorrerse empleando este medio, una vez superada la barrera marginal de pequeñas lagunas y de zonas saturadas en salmueras. En la época de verano suele aumentar la extensión de las áreas cubiertas por agua, haciendo prácticamente imposible el acceso al interior de la cuenca salina.

#### Rasgos climáticos

El clima imperante en la cuenca del salar de Huasco puede definirse como del tipo "estepario de altura" (FUENZALIDA, 1965). Sus características generales más sobresalientes son la extrema sequedad ambiental, las bajas temperaturas y la existencia de vientos fuertes y de frecuencia prácticamente diaria. Estas extremadas condiciones climáticas condicionan que la vegetación existente sea muy escasa y esté constituida casi exclusivamente por matorrales xerófitos y cactáceas.

Las precipitaciones promedio estimadas se sitúan en torno a 150 mm/año (KARZULOVIC y GARCÍA, 1978). Estos aportes de agua tienen lugar tanto en forma de lluvias (que se producen en verano, generalmente torrenciales y muy variables de un año a otro) como de nevadas, distribuyéndose estas últimas a lo largo de todas las estaciones del año. La temperatura media anual es muy baja (4'5 °C según las estimaciones de STOERTZ y ERIKSEN, 1974), y son de destacar

además las fuertes oscilaciones diarias. La nubosidad es generalmente escasa, exceptuando la época estival en la que tienen lugar las precipitaciones. La humedad relativa del ambiente es extremadamente baja, y se han citado para este parámetro valores promedio máximos del orden del 20% (MONTTI y HENRÍQUEZ, 1970). La zona se ve sometida a vientos fuertes y extremadamente fríos y secos, de componente predominante NO a ONO; son mucho menos frecuentes los vientos de procedencia E, que son los causantes de las lluvias torrenciales típicas del verano del Altiplano.

La combinación de todos estos factores ambientales da como resultado una fuerte evaporación: MONTTI y HENRÍQUEZ (1970) calcularon valores de evaporación potencial en torno a 2500 mm/año, que superan en un orden de magnitud a los valores de precipitación anual estimados para la zona.

#### Características geológicas

La mayor parte del área del Altiplano ubicada en el norte de Chile está ocupada en superficie por rocas y sedimentos del Terciario superior y Cuaternario, siendo los afloramientos de rocas más antiguas muy escasos, los cuales se encuentran irregularmente distribuidos (MONTTI y HENRÍQUEZ, 1970). Los materiales de la zona del salar de Huasco no aparecen apenas deformados ni afectados por accidentes tectónicos notables, sólo levemente dislocados por fallas de tipo normal (VERGARA y THOMAS, 1984).

En esta zona se pueden diferenciar claramente tres unidades geográficas que se disponen aproximadamente según una orientación N-S (figura 2). La más oriental de estas unidades está constituida por una cadena de estratovolcanes de edad Mioceno-Plioceno, que alcanzan una altitud por encima de 5000 m.s.n.m. Las cumbres de estos centros volcánicos delimitan además la frontera entre Chile y Bolivia, y forman parte de la Sierra de Sillilica. Este cordón volcánico limita al O con la Depresión de los Salares, una planicie cuya altitud media se sitúa entre los 3800 y los 4000 m.s.n.m. El sustrato de esta zona topográficamente deprimida está constituido principalmente por secuencias ignimbriticas Terciarias, aunque

también aparecen intercalados depósitos no consolidados de origen lacustre (detritico y salino), eólico y aluvial. Este sector presenta un drenaje de tipo endorreico, y es allí donde se ubican los salares de Huasco, Coposa y Michincha. El límite occidental de esta zona deprimida lo constituyen los Altos de Pica, una planicie que alcanza una altitud de unos 4400 m.s.n.m. en las proximidades del contacto con la Depresión de los Salares y que desciende suavemente hacia el O, constituida por materiales ignimbriticos similares a los del sustrato de los salares.

En la figura 2 se observa la distribución de los distintos tipos de materiales que aparecen en el entorno próximo del salar de Huasco. En el sector oriental se sitúa la cadena de volcanes que constituye la frontera con Bolivia, en la cual se pueden distinguir dos tipos de volcanes: unos

más antiguos, de edad Mioceno superior, se caracterizan por presentar los conos fuertemente denudados, quedando así expuestas sus zonas internas que muestran alteraciones hidrotermales relacionadas con la actividad postvolcánica; un segundo grupo está constituido por otros volcanes más modernos, de edad Plioceno, mucho más abundantes en este sector y con sus morfológias cónicas bastante mejor preservadas. Ambos tipos de volcanes presentan similares características petrológicas, siendo la composición de sus materiales de tipo andesítico-dacítica.

En los sectores occidental y meridional aflora la unidad denominada Ignimbrita Huasco, constituida por una secuencia de tobas riolíticas y dacíticas total o parcialmente soldadas (VERGARA y THOMAS, 1984). Esta unidad se apoya en discordancia sobre las unidades premiocénicas y man-

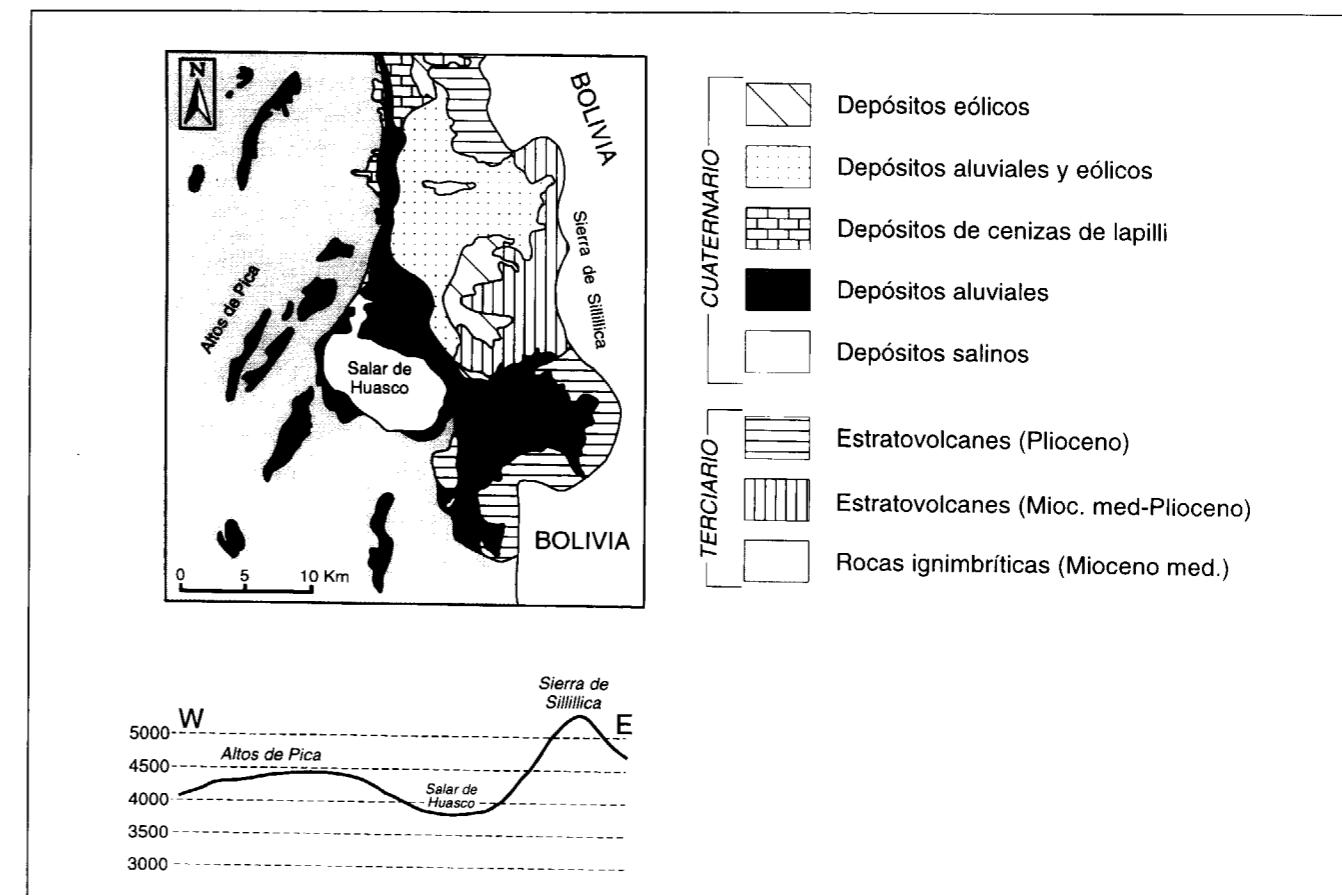


Figura 2- Mapa geológico de la zona del salar de Huasco (modificado de VERGARA y THOMAS, 1984) y perfil hipsométrico O-E.

tiene una relación de concordancia estratigráfica con las secuencias volcánicas y sedimentarias cronológicamente posteriores. Estos materiales ignimbíticos ocupan una gran superficie de afloramiento, se caracterizan por presentar variaciones laterales de espesor muy importantes (la potencia máxima medida es de unos 100 m) y constituyen a nivel regional un monoclinal muy tendido con suave inclinación al O. Esta unidad se ha datado como Mioceno medio (VERGARA y THOMAS, 1984).

Sobre los materiales ignimbíticos aparecen sedimentos cuaternarios entre los que se pueden diferenciar los depósitos eólicos, los aluviales y los salinos. Los materiales de origen eólico suelen presentarse en forma de campos de dunas (especialmente de tipo barján), se desarrollan en el borde oriental de la Depresión de los Salares y su orientación indica una dirección de transporte desde el NO. Los de tipo aluvial son acumulaciones de material detrítico no consolidado, apareciendo como depósitos de piedemonte y también como relleno de depresiones y quebradas (este nombre se aplica localmente a los barrancos, generalmente secos, por donde se canalizan las precipitaciones escasas pero frecuentemente torrenciales). Finalmente, los depósitos salinos aparecen en las zonas topográficamente más

deprimidas de las cuencas endorreicas; están constituidos principalmente por sulfatos y, en menor medida, cloruros y boratos, y se apoyan sobre el material detrítico que conforma el relleno de dichas cuencas.

La distribución detallada de los diferentes tipos de sedimentos salino-detríticos que aparecen en la superficie del salar se ha representado en la figura 3, donde se observa la existencia de un sector salino central de tipo masivo y composición predominantemente mirabilítica, bordeado por una costra poco cementada rica en yeso y con cantidades moderadas de halita, mirabilita, thenardita y ulexita. La superficie del núcleo masivo es prácticamente lisa, mientras que la aureola que lo rodea presenta un microrrelieve (con desniveles de entre 15 y 20 cm) accidentado y difícil de transitar a pie. Todos estos materiales salinos se encuentran empapados en salmueras a partir de aproximadamente 15 cm de profundidad. Por el contrario, la superficie cubierta por agua libre es muy reducida en comparación con las dimensiones del salar (figura 3); la profundidad de esta lámina de agua superficial no supera los 20 cm.

Los sedimentos salinos que aparecen en Huasco, al igual que ocurre en otros muchos sistemas

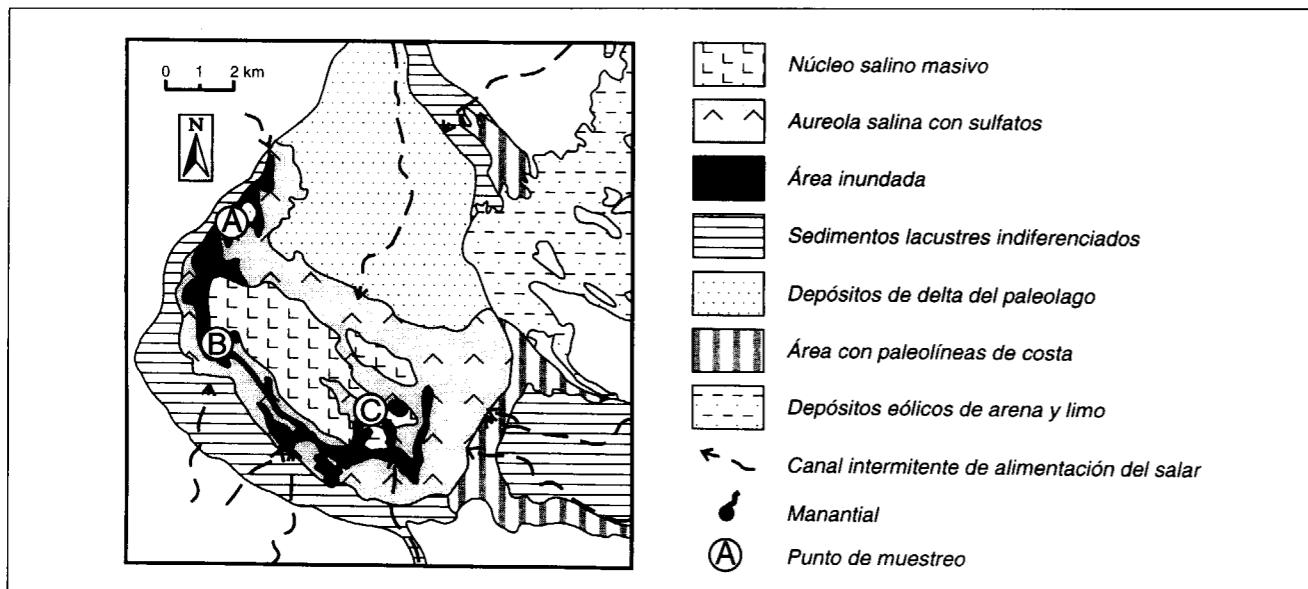


Figura 3- Distribución de facies salino-lacustres en la superficie del salar de Huasco (modificado de STOERTZ y ERICKSEN, 1974). Sobre el mapa se han señalado las tres zonas de muestreo de este estudio.

andinos de este tipo, fueron generados a partir de lagos profundos que ocuparon parte de las cuencas cerradas donde actualmente sólo quedan salares y acumulaciones de agua de poca entidad. Existen testigos de la existencia de dichos lagos precursores, como las líneas de costa y las estructuras deltaicas (figura 3); la situación de ambas estructuras nos informa de la altura máxima que llegó a alcanzar el lago y de la zona de entrada principal de agua al mismo, respectivamente. La mayor parte de estos lagos han sido datados como Pleistoceno, entre ellos el de Huasco (STOERTZ y ERICKSEN, 1974), pero se cree que algunos pueden haber existido como tales desde el Plioceno tardío y otros haber alcanzado incluso tiempos holocenos.

El lago que existió en la zona de Huasco debió tener una extensión máxima aproximada de unos 175 Km<sup>2</sup> (STOERTZ y ERICKSEN, 1974). Las paleolíneas de costa encontradas, con un buen grado de preservación y a menudo asociadas a terrazas lacustres, indican un nivel máximo del agua situado unos 30 metros por encima de la superficie actual del salar. Al norte del mismo se localiza una amplia planicie suavemente inclinada hacia el S, que se extiende a lo largo de unos 8 Km y que se ha interpretado como un delta. La situación de las paleolíneas de costa indica que el delta debió estar sumergido en las etapas de máxima inundación del lago. Los sondeos realizados en Huasco indican que, bajo la zona superior de costra salina que ocupa aproximadamente el primer metro y medio, aparecen los materiales sedimentados en el paleolago y que son una alternancia de arcillas, limos y capas de diatomitas (estas últimas con una pureza que alcanza hasta el 75% y más abundantes en la zona inmediatamente por debajo del nivel salino superior), mezclados en la zona superior con abundante material piroclástico y con pequeños cristales de halita, mirabilita y yeso (VERGARA y THOMAS, 1984).

#### Rasgos hidrológicos

Las características fisiográficas de este sector condicionan la existencia de una mecánica hidráulica superficial particular, de tipo endorreico, que ha propiciado la formación de hoyas de drenaje interno en la zona de la Depresión de

los Salares (obsérvese el perfil E-O en la figura 2). Estas zonas constituyen áreas potenciales de recursos hídricos de gran relevancia, ya que además de recoger las relativamente abundantes precipitaciones (al menos en comparación con las que caen sobre las zonas deprimidas adyacentes) que reciben las zonas elevadas andinas en forma de agua y nieve, son también zonas de descarga de importantes sistemas acuíferos. Este último hecho se debe a las óptimas características hidrológicas de las potentes formaciones ignimbíticas terciarias que ocupan el substrato del sector topográficamente más deprimido de la región. Se especula además con la posibilidad de que la recarga de estos reservorios se vea incrementada, además de por las precipitaciones directas de agua y nieve en la propia región, por aportes subterráneos desde las grandes cuencas ubicadas en Bolivia al E de la Sierra de Sillilica, aunque para la confirmación de este término es preciso aumentar el conocimiento actual del funcionamiento hidrológico subterráneo en la zona del Altiplano chileno y boliviano.

Actualmente, los aportes superficiales de agua que recibe el salar tienen un funcionamiento intermitente y restringido casi exclusivamente a la época de lluvias. También hay que citar como fuente de alimentación de agua la existencia de manantiales que se sitúan en la zona de contacto entre los materiales periféricos que canalizan la escasa escorrentía subsuperficial y los sedimentos detríticos finos (y, por tanto, con una menor permeabilidad) que llenan la cuenca. En la figura 3 se han representado los manantiales y los principales cauces superficiales en el salar de Huasco. El principal aporte de agua accede al salar por su extremo NO, aunque existen otras vías de entrada de agua de menor caudal en las zonas O y S. El volumen de agua que entra en el dominio del salar se distribuye preferentemente en su sector marginal, aunque también existen puntos de acumulación dispersos en su zona interna, cuyo acceso es prácticamente imposible durante gran parte del año.

#### METODOLOGÍA

##### Métodos de campo y laboratorio

La especial distribución del agua superficial pre-

sente en el salar de Huasco ha aconsejado realizar un muestreo de salmueras y sedimentos salinos en tres sectores claramente diferenciados (representados en la figura 3): el sector NO (indicado como zona A), en las proximidades de la vía principal de entrada de agua al salar; el sector O (zona B), también cercano a varios aportes de menor entidad y próximo además al sector salino central; finalmente, el sector centro-E (zona C), cuyas acumulaciones de agua se sitúan sobre materiales salinos de la costra sulfatada y del núcleo masivo del salar.

Las muestras de agua se recogieron a 5 cm de profundidad por debajo de la interfase salmuera-aire. De manera simultánea al muestreo se determinaron temperatura, pH, densidad de las soluciones y alcalinidad carbonatada. Se recogieron dos alícuotas, que fueron inmediatamente filtradas a través de mallas de 0'45 µm y almacenadas en frascos de polietileno al abrigo de la luz. Una de las alícuotas fue acidificada con ácido nítrico ultrapuro para realizar sobre ella el análisis de cationes. La alícuota no acidificada se empleó para la determinación de aniones.

Una vez en el laboratorio se determinó en las soluciones el contenido en calcio, magnesio, sodio, potasio, litio, cloruro, sulfato, bicarbonato y boro (este último, sólo en algunas de las muestras). Los cationes se analizaron por espectrometría de absorción atómica mediante un equipo Perkin Elmer 2380. La determinación de sulfato fue llevada a cabo mediante precipitación con BaCl<sub>2</sub>, y se emplearon técnicas volumétricas para el análisis de cloruros (método de Mohr) y boratos (técnica ácido-base).

La composición mineralógica de las muestras sólidas recogidas en el salar se ha determinado mediante difractometría de rayos X, empleando para ello un equipo Siemens D-5000.

#### Modelización geoquímica

Dada la elevada concentración que llegan a alcanzar las soluciones superficiales del salar de Huasco a lo largo de su evolución, se ha utilizado el código de modelización geoquímica PHRPITZ (PLUMMER *et al.*, 1988). Este código incorpora (y amplía a rangos de temperatura de 0 a 60 °C para

algunos minerales) la aproximación de PITZER (1973, 1987) con la tabulación realizada por HARVIE y colaboradores (HARVIE y WEARE, 1980; HARVIE *et al.*, 1984) para el sistema Na-K-Mg-Ca-H-Cl-SO<sub>4</sub>-OH-HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O.

A partir de los datos analíticos de las soluciones se ha llevado a cabo el cálculo de fuerza iónica, actividad del agua, actividades iónicas e índices de saturación mineral para las fases salinas de interés en el sistema. El cálculo de índices de saturación (*I.S.*) se ha realizado mediante la expresión:

$$I.S. = \log \frac{P.A.I.}{K_{eq}}$$

En esta expresión, *P.A.I.* representa el producto de actividad iónica para un mineral determinado, y *K<sub>eq</sub>* su constante de solubilidad a la temperatura escogida para el cálculo. Si este índice muestra valores muy próximos a cero la solución está en equilibrio respecto a esa fase; por otra parte, valores positivos o negativos del *I.S.* determinan una situación de sobresaturación o subsaturación, respectivamente, cuya magnitud es función directa del valor absoluto de dicha cantidad.

Ha sido necesario ampliar la base de datos del código para incorporar las constantes de solubilidad de la thenardita (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), fase mineral que ha sido identificada en los depósitos salinos del salar. Para ello se han utilizado los datos termodinámicos propuestos por GREENBERG y MOLLER (1989), cuyo calibrado se realizó procurando mantener la consistencia con la tabulación original de HARVIE *et al.* (1980 y 1984) incorporada en el PHRPITZ.

La precisión alcanzada en el cálculo de índices de saturación depende de la calidad tanto de los parámetros termodinámicos manejados (los incluidos en la base de datos del código) como de los datos analíticos obtenidos. El criterio aplicado ha sido el utilizado comúnmente por muchos autores, que utilizan una banda de error de ±0'15 unidades de *I.S.*, lo que implica que las situaciones de equilibrio no podrán determinarse con mayor precisión que la definida en el rango de incertidumbre indicado (ver, por ejemplo, JENNE

*et al.*, 1980, y AUQUÉ *et al.*, 1995). En el caso de los minerales carbonatados se ha considerado un rango de incertidumbre algo superior, de ±0'4 unidades de *I.S.*. Este tratamiento especial se debe a la existencia de importantes problemas metodológicos relacionados con la determinación del pH en soluciones altamente concentradas (DICKSON, 1984; SONNENFELD, 1984; MARCUS, 1989), ya que el empleo de tampones convencionales para el calibrado del pH-metro provoca que la medida de este parámetro en salmueras no se encuentre en la misma escala de coeficientes de actividad que el modelo acuoso empleado (PLUMMER *et al.*, 1988). Este tipo de problemas respecto al estudio del comportamiento del sistema carbonatado en soluciones de concentración elevada se ha puesto de manifiesto incluso en estudios de tipo experimental (ver por ejemplo, LAZAR *et al.*, 1983).

## RESULTADOS

### Composición química de las soluciones

Los resultados obtenidos en el análisis de las soluciones muestreadas se recogen en la tabla I,

Muestra	Ca	Mg	Na	K	Li	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	B (mg/l)	pH	T° (°C)	Dens.
H-1	2.02	10.41	184.43	28.98	1.46	91.61	65.00	18.91	n.a.	8.40	5	1.012
H-2	10.55	5.80	74.86	14.66	1.44	41.15	40.63	2.80	10.41	8.40	5	1.007
H-3	11.08	5.80	101.39	16.78	1.44	50.09	49.90	5.29	14.14	8.30	5	1.010
H-4	13.05	16.46	369.56	48.03	4.47	196.20	140.03	5.88	32.92	8.30	5	1.027
H-5	0.12	1.65	20.49	2.56	d.l.d.	7.33	7.71	5.92	0.41	8.40	16	1.001
DH-1	2.07	5.97	647.68	21.22	n.a.	1167.07	283.82	8.30	93.30	7.78	27	1.034
DH-2	1.52	4.18	387.64	12.98	n.a.	664.20	171.71	6.70	71.10	7.84	27	1.022
DH-3	1.81	5.96	598.18	19.04	n.a.	1020.79	265.45	7.46	51.70	7.82	28	1.034
DH-5	0.75	0.41	3.91	0.26	n.a.	1.41	0.83	3.27	29.90	7.80	18	1.001
H-94	0.65	0.37	3.70	0.26	n.a.	1.07	0.85	3.23	11.00	8.50	6	1.000
H-6	0.20	5.43	193.87	22.79	14.55	121.74	60.01	6.31	4.66	8.40	25	1.006
H-7	0.10	2.06	8.35	10.03	1.44	51.36	22.41	4.95	n.a.	8.50	25	1.006
H-8	0.47	13.58	49.89	51.41	4.47	279.75	151.98	7.77	13.30	8.20	23	1.025
PH-6	19.34	38.06	1522.42	235.92	237.72	1677.49	126.83	7.39	n.a.	8.14	2	1.106
PH-12	1.45	447.44	3764.20	1194.71	261.20	5456.24	265.66	2.39	n.a.	7.22	2	1.251
PH-18	16.54	6.71	185.65	43.40	2.31	127.49	67.27	3.39	n.a.	8.25	2	1.015
PH-32	23.78	86.40	1422.02	264.10	32.85	1530.00	195.82	26.99	n.a.	8.07	8	1.107
PH-34	17.47	29.05	916.54	99.11	11.24	540.01	301.23	11.80	n.a.	8.14	8	1.056
PH-36	25.65	105.95	1712.72	339.89	41.49	2002.51	176.54	21.99	n.a.	8.09	10	1.153
PI-6	18.96	16.70	1149.21	74.40	8.07	520.01	395.08	6.60	n.a.	8.24	5	1.051
PI-9	16.92	13.37	599.96	47.39	5.33	260.01	227.10	7.00	n.a.	8.20	5	1.039
PI-10	13.05	12.59	462.16	46.65	5.19	229.99	165.83	7.00	n.a.	8.28	8	1.020
PI-12	13.85	17.49	543.72	55.27	6.77	315.01	169.25	10.60	n.a.	8.02	8	1.032

Tabla I.- Composición química de las soluciones superficiales recogidas en el salar de Huasco. Los datos composicionales están expresados en mmoles/l excepto en el caso del B (mg/l). Se adjuntan además los valores de pH, densidad y T° de campo determinados *in situ*.

agrupados según el sector del salar al que pertenecen. La proyección de estos resultados sobre los diagramas triangulares de EUGSTER y HARDIE (1978) se presenta en la figura 4, donde se puede observar que la composición catiónica está dominada por los elementos alcalinos frente al contenido mucho menor en alcalino-térreos. Por su parte, la composición aniónica de las soluciones presenta una mayor variabilidad, desde aquéllas dominadas por las especies carbonatadas hasta las que presentan un predominio absoluto de los cloruros.

De los datos de la tabla I y de la representación de los mismos en la figura 4 se puede concluir que las soluciones superficiales del salar de Huasco muestran una variabilidad relativamente alta, tanto respecto a la composición como respecto al grado de concentración. Este último aspecto se puede comprobar si representamos, por ejemplo, los valores de la densidad medidos en campo frente a una variable indicativa del grado de concentración de las soluciones. Esta representación (figura 5) permite observar que las muestras más diluidas han sido recogidas en el sector NO del salar, y que las de mayor densidad corresponden al sector centro-oriental del

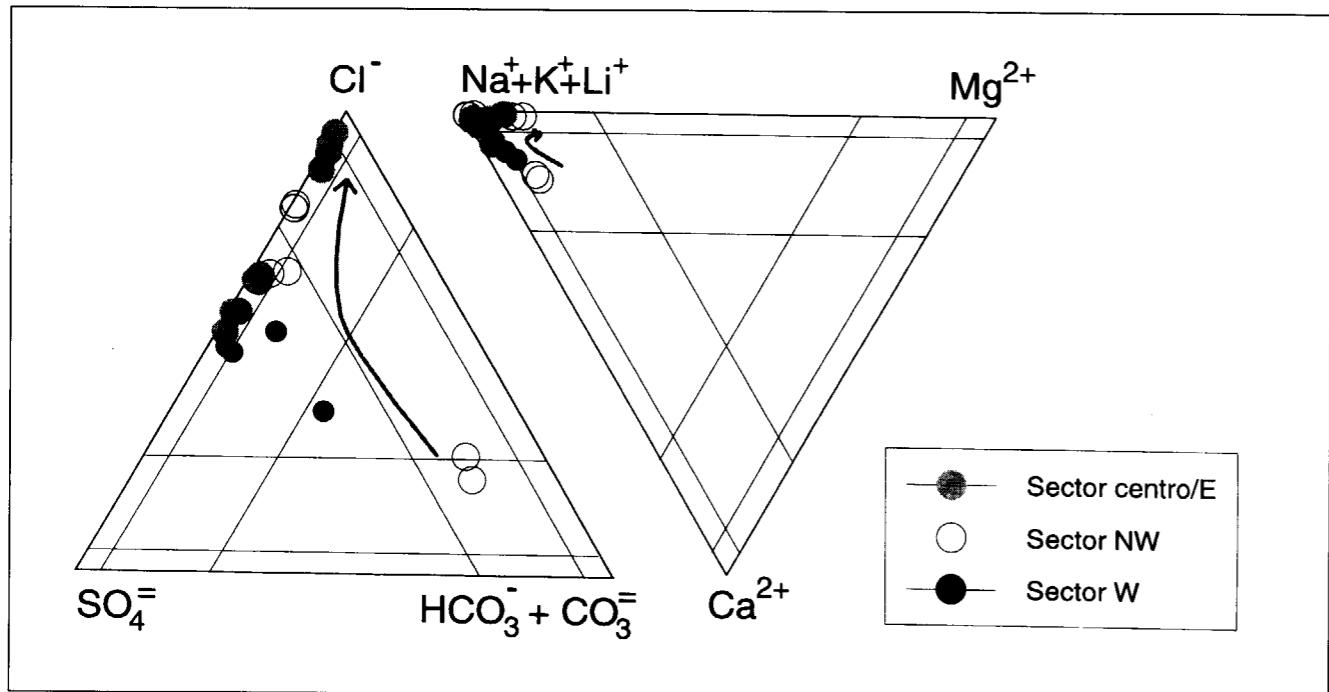


Figura 4- Proyección de las soluciones del salar de Huasco sobre los diagramas triangulares de EUGSTER y HARDIE (1978). Se ha señalado mediante flechas la evolución iónica de las soluciones simultánea a su aumento de concentración por evaporación.

mismo, alcanzando en este último caso valores extremos medidos en torno a 1'25 gr/cm<sup>3</sup>.

La variable escogida en este trabajo para indicar el grado de concentración de las soluciones es el contenido de cloruro. Este componente no se ve afectado por procesos de adsorción/desorción sobre arcillas en este tipo de sistemas, y mantiene generalmente un comportamiento conservativo en solución hasta que comienza la precipitación de halita. Por todo ello, suele emplearse frecuentemente como expresión del aumento de concentración de las soluciones al evolucionar bajo evaporación.

#### Mineralogía de los Sedimentos Salinos

De manera simultánea al desmuestre de las soluciones, se procedió a la recogida de sedimentos salinos representativos de las diferentes zonas del salar. En la tabla II se presentan algunos de los resultados más destacados obtenidos en la determinación mineralógica mediante difracto-

metría de rayos X. Para facilitar la interpretación de estos resultados, en la tabla III se han recopilado las fórmulas estequiométricas de los minerales presentes en los sedimentos.

El desmuestre de sólidos se llevó a cabo siempre en las proximidades de las acumulaciones de agua superficial. En los sectores NO y O (zonas A y B de la figura 3, respectivamente) se recogieron dos muestras sólidas en cada uno de los puntos seleccionados. Por ejemplo, las muestras H-4 y H-4s fueron tomadas en el mismo punto, pero la primera de ellas corresponde a la costra salina superficial, mientras que la segunda fue extraída del material detrítico-salino infrayacente. La costra salina a la que acabamos de hacer referencia es de color pardo, su espesor es del orden de 5 a 10 cm, presenta un microrrelieve accidentado y se distribuye sobre una gran parte de la superficie del salar (representada en la figura 3 como "zona salina con sulfatos"). Por debajo de esta costra aparece un conjunto de sedimentos detríticos y salinos mezclados, que presenta un color gris oscuro. Estos sedimentos constituyen ade-

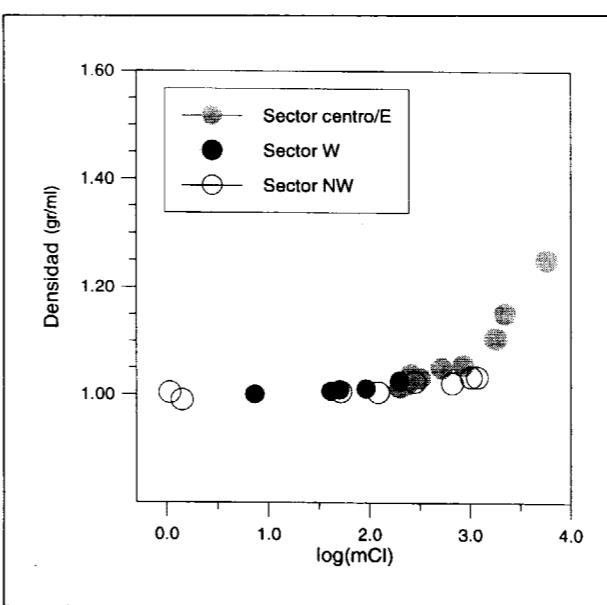


Figura 5- Evolución de la densidad de las soluciones muestreadas, utilizando el contenido en Cl como factor de concentración.

más el lecho sobre el cual se apoyan directamente las acumulaciones superficiales de agua, salvo en las zonas más internas del salar, lugar donde las salmueras están en contacto directo con el núcleo salino masivo.

Las muestras que corresponden a costras superficiales del sector NO muestran un predominio absoluto de los minerales salinos, siendo halita y thenardita los más frecuentes (tabla II). Como minerales accesorios aparecen sulfatos (bloedita, yeso, singenita, mirabilita, picromerita, glaserita y bassanita), carbonatos (calcita, kutnohorita-Mg) y cloruros (silvita). Las muestras representativas de los sedimentos salino-detríticos que aparecen por debajo de dichas costras presentan una composición algo más variada, oscilando entre unas más salinas (con predominio de yeso y halita, como es el caso de la muestra H-4s) y otras de carácter marcadamente más detrítico (con una importante presencia de anortita, moscovita y calcita, con cuarzo accesorio; muestra H-6s). Como norma general, la proporción relativa de la fracción detrítica y salina en este último tipo de muestras debe ser muy variable, dependiendo fundamentalmente de la proximidad de la lámina de agua superficial (que actúa disolviendo la frac-

MUEST.	Mayoritarios (>5%)	Minoritarios (<5%)
<b>SECTOR NOROESTE (zona A)</b>		
H-4	Halita, Thenardita, Bloedita	Yeso, Singenita, Analcima, Silvita, Glaserita, Mirabilita
H-4s	Yeso, Halita	Eugsterita, Calcita, Cuarzo
H-6	Halita, Thenardita, Calcita	Bloedita, Picromerita, Bassanita, Kutnohorita-Mg
H-6s	Calcita, Anortita, Moscovita	Cuarzo
<b>SECTOR OESTE (zona B)</b>		
H-2	Halita, Yeso	Mirabilita, Singenita, Silvita, Thenardita, Loweita, Calcita
H-2s	Calcita, Moscovita, Anortita	Cuarzo, Hornblenda
H-3	Yeso, Singenita	Loweita, Thenardita, Calcita, Natrolita
H-3s	Yeso, Cuarzo	Calcita, Halita, Eugsterita
<b>SECTOR CENTRO-ESTE (zona C)</b>		
C-1	Halita, Thenardita	Glaserita, Calcita, Singenita
C-2	Halita, Thenardita	Singenita, Yeso, Calcita, Glaserita, Carnalita, Polihalita, Epsomita
Y-1	Halita, Calcita	Yeso, Singenita, Glaserita, Dolomita, Hidroboracita

Tabla II- Composición mineralógica de los sedimentos salinos recogidos en el salar. Se ha expresado la proporción relativa de los distintos minerales encontrados de un modo semi-quantitativo (a partir de los resultados de difractometría de rayos X). Las muestras se han agrupado según las zonas marcadas en la figura 3.

ción salina) y de la profundidad a la que se ha recogido la muestra.

Las muestras recogidas en el sector O presentan una distribución mineralógica semejante a la descrita para el sector NO. La composición de las costras superficiales está dominada por minerales salinos tales como yeso, halita y singenita, mientras que las muestras de los sedimentos infrayacentes presentan una elevada proporción de minerales detríticos tales como moscovita, anortita y cuarzo, acompañados por otros que han debido generarse en el propio salar (yeso y calcita, fundamentalmente).

La zona central del salar está ocupada en superficie por un núcleo salino masivo cuya potencia

CARBONATOS	SULFATOS
Calcita $\text{CaCO}_3$	Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Thenardita $\text{Na}_2\text{SO}_4$
Kutnohorita-Mg $\text{Ca}(\text{Mn,Mg})(\text{CO}_3)_2$	Mirabilita $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
CLORUROS	Bassanita $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$
Halita $\text{NaCl}$	Bloedita $\text{MgNa}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Silvita $\text{KCl}$	Singenita $\text{CaK}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Carnalita $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Glaserita $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$
BORATOS	Polihalita $\text{Ca}_2\text{MgK}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Hidroboracita $\text{CaMg}[\text{B}_3\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Loeweita $\text{Mg}_2\text{Na}_{12}(\text{SO}_4)_{13} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
	Eugsterita $\text{CaNa}_4(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	Picromerita $\text{MgK}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Tabla III- Composición estequiométrica de los minerales salinos cuya presencia se ha detectado en los sedimentos del salar.

máxima estimada es de aproximadamente 1'5 m. Este sector central presenta un color blanco, su superficie es totalmente lisa y en él se ha tomado una única muestra sólida en cada uno de los puntos seleccionados. La composición de las muestras recogidas en esta zona es esencialmente salina, siendo halita, thenardita y calcita los minerales más abundantes. Se han detectado de nuevo como accesorios diferentes sulfatos y carbonatos, además de la presencia excepcional de boratos (hidroboracita, muestra Y-1). Bajo este núcleo salino, los sondeos realizados en el estudio prospectivo citado anteriormente (CORFO, 1984) encontraron de nuevo la mezcla de sedimentos detríticos y salinos de color gris oscuro, que constituye el material principal de relleno de la cuenca del salar de Huasco.

#### Cálculos de modelización geoquímica

La utilización del código de modelización geoquímica PHRQPITZ nos ha permitido evaluar el estado de saturación de las soluciones respecto a los minerales salinos de interés en el sistema. La amplia variabilidad detectada en el grado de concentración de las soluciones (aspecto ya comentado en el apartado donde se presentaba su composición química) puede comprobarse observando la figura 6, donde se ha representado la fuerza iónica calculada frente a la variable de progreso (expresada como la concentración de cloruro). La fuerza iónica de las soluciones es un parámetro que se emplea frecuentemente como expresión global de la concentración de una sal-

muera, y los valores calculados para las soluciones superficiales del salar de Huasco oscilan desde 0'008 molal hasta alcanzar prácticamente 8 molal. La fuerza iónica es además un parámetro que establece las limitaciones de un determinado código de modelización geoquímica a la hora de obtener resultados válidos. En nuestro caso, la elección del código PHRQPITZ elimina este problema, ya que actualmente está considerado como uno de los códigos más adecuados para el tratamiento de soluciones altamente concentradas (KRUMGALZ, 1996).

Los índices de saturación de las soluciones frente a los principales minerales de interés se han representado, en función de la variable de progreso, en las figuras 7 y 8. La calcita aparece en situación de equilibrio o ligeramente sobresaturada excepto en el caso de la muestra más concentrada, donde se presenta levemente subsaturada. Algunas de las soluciones se encuentran subsaturadas respecto al yeso, marcando las restantes un claro estado de equilibrio con respecto a este mineral. Las dos fases de sulfato sódico muestran un comportamiento marcadamente distinto entre sí; thenardita, la fase anhidra, se aproxima paulatinamente al estado de equilibrio sin lograr alcanzarlo, pero varias de las muestras (todas ellas del sector centro-oriental) están saturadas respecto a la mirabilita. Los dos últimos

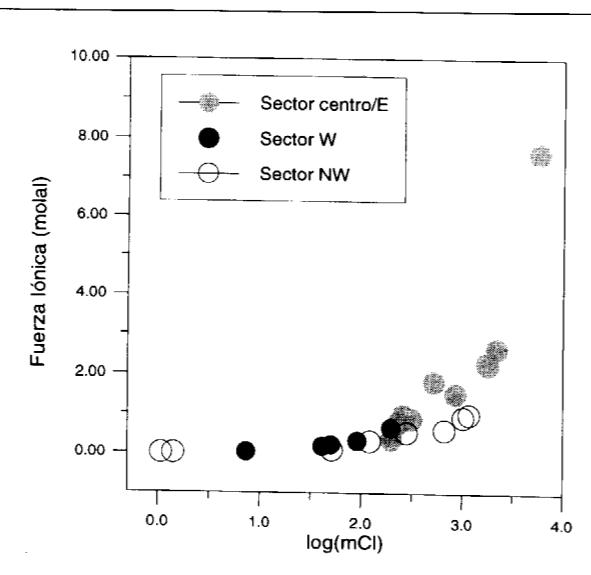


Figura 6- Evolución de la fuerza iónica de las soluciones en función del factor de concentración.

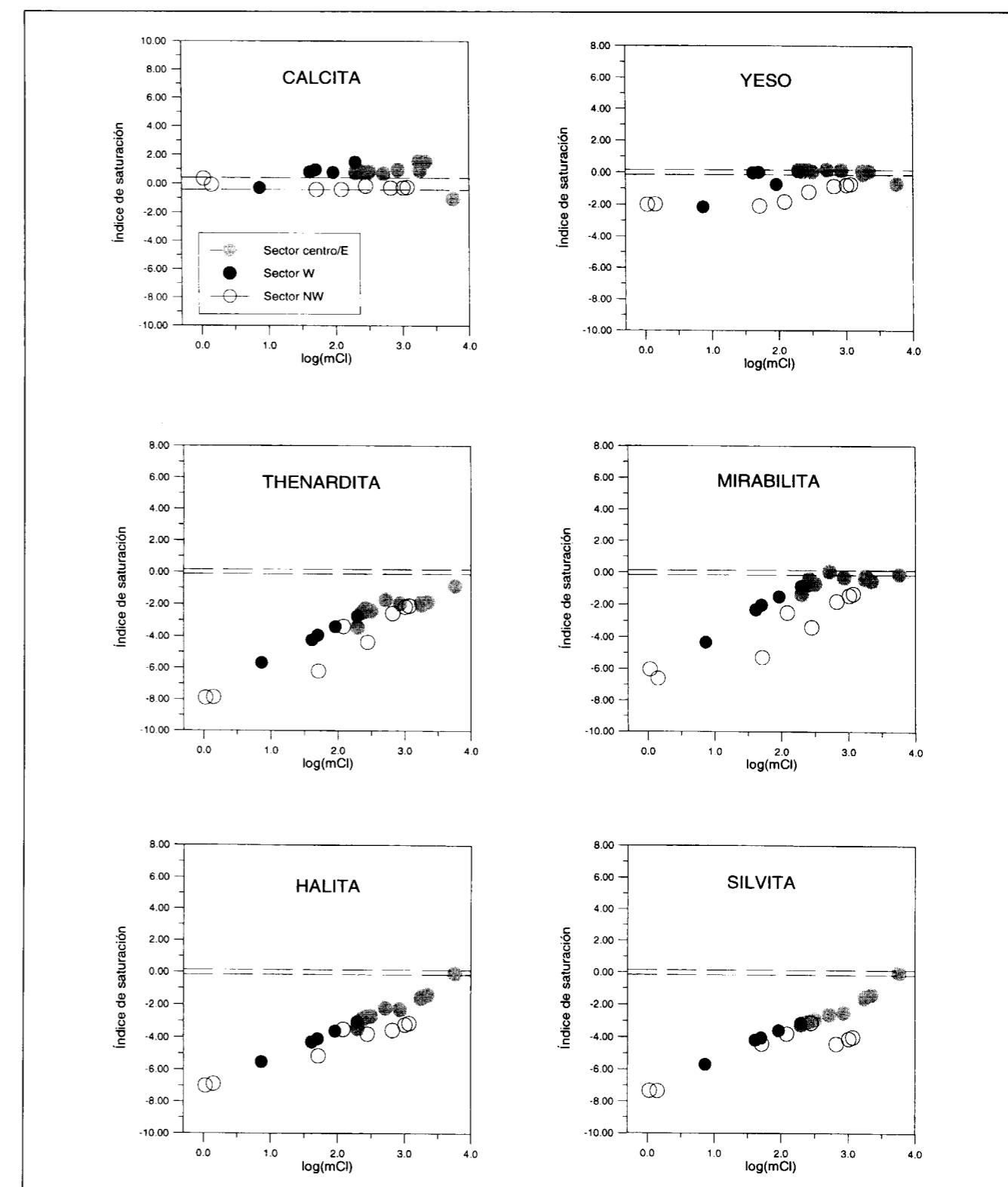


Figura 7- Representación, en función del factor de concentración, de los índices de saturación de las soluciones frente a calcita, yeso, thenardita, mirabilita, halita y silvita.

minerales representados en la figura 7, halita y silvita, evolucionan de manera prácticamente lineal y sólo alcanzan el equilibrio en la muestra más concentrada.

La evolución de los índices de saturación calculados para las sales sulfatadas complejas representadas en la figura 8 (singenita, glauberita, glaserita, bloedita y polihalita) presenta varios rasgos comunes: todas ellas parten de unas condiciones iniciales de fuerte subsaturación y evolucionan paulatinamente hacia el equilibrio, sin lograr alcanzarlo. En último término se han representado los resultados obtenidos para la carnalita, mineral cuya evolución es similar a la pauta descrita para los sulfatos complejos pero en unas condiciones de subsaturación todavía más acusadas.

## DISCUSIÓN

### Variabilidad hidroquímica en la superficie del salar

En las regiones áridas e hiperáridas, las soluciones superficiales son sometidas a un régimen climático donde el balance entre los aportes y las pérdidas de agua está claramente desplazado a favor de estas últimas. Esta situación debe provocar una disminución paulatina de la cantidad de agua acumulada en la superficie de estos sistemas, que sólo puede ser parcialmente contrarrestada por la llegada de nuevos aportes. La cuenca del salar de Huasco está sometida a una fuerte sequedad ambiental que, a pesar de la entrada prácticamente constante de aportes, provoca un acusado déficit hídrico que limita en gran medida la extensión de la lámina de agua libre. Los aportes tienen su zona de recarga principal en las áreas elevadas de los bordes N y E de la cuenca; estos aportes se incrementan ligeramente en la época estival (fundamentalmente enero y febrero), momento en el cual se producen las escasas precipitaciones que recibe directamente el salar.

Como ya se ha comentado anteriormente en la descripción del sistema, la principal entrada de agua al salar se sitúa en su extremo NO, pero también se localizan otros aportes de menor entidad a lo largo de su margen S. Esta asimetría en

el volumen de los aportes provoca una circulación continua del agua sobre la superficie del salar desde el O hacia el E, que se desarrolla casi exclusivamente sobre el margen S a causa del ligero basculamiento de la cuenca. Esta circulación provoca a su vez una evolución progresiva en el grado de concentración de las soluciones, debida al intenso efecto de la evaporación y al contacto con el sustrato salino de la zona interna del salar.

Las soluciones más diluidas de todas las recogidas en el salar corresponden a la zona principal de aportes, localizada al NO, y su composición aniónica está dominada fundamentalmente por las especies carbonatadas (figura 4). Una de las muestras recogidas en el sector O presenta una composición aniónica similar, aunque la proporción de sulfato y cloruro en solución es ligeramente superior. Esta muestra y otra procedente de la misma zona (cuyo contenido en bicarbonato es todavía inferior y que se sitúa en el diagrama triangular aniónico muy próxima a la primera) pertenecen igualmente a puntos de entrada de agua al salar. El resto de las muestras se dispone prácticamente a lo largo de la arista opuesta al polo de las especies carbonatadas, lo que indica que su composición aniónica está casi exclusivamente compuesta por sulfato y cloruro. Si evaluamos la posición relativa de las muestras en el diagrama donde se representó la densidad (figura 5), podemos establecer que la evolución aniónica de las soluciones avanza en el sentido de un aumento progresivo de sulfato y cloruro, alcanzando un predominio casi absoluto de este último en las etapas de mayor concentración (figura 4). Las proporciones catiónicas presentan una variabilidad mucho menos evidente, ya que todas las muestras se agrupan en las proximidades del polo correspondiente a los elementos alcalinos.

Podemos por tanto definir la composición química de las aguas que acceden al salar como eminentemente carbonatada y marcadamente empobrecida en cationes alcalinotérreos. Estas soluciones, tras alcanzar el salar, van incrementando progresivamente su concentración a causa de la intensa evaporación. En estas condiciones, la evolución química de las soluciones está fuertemente condicionada por la proporción de determinados componentes en la solución de

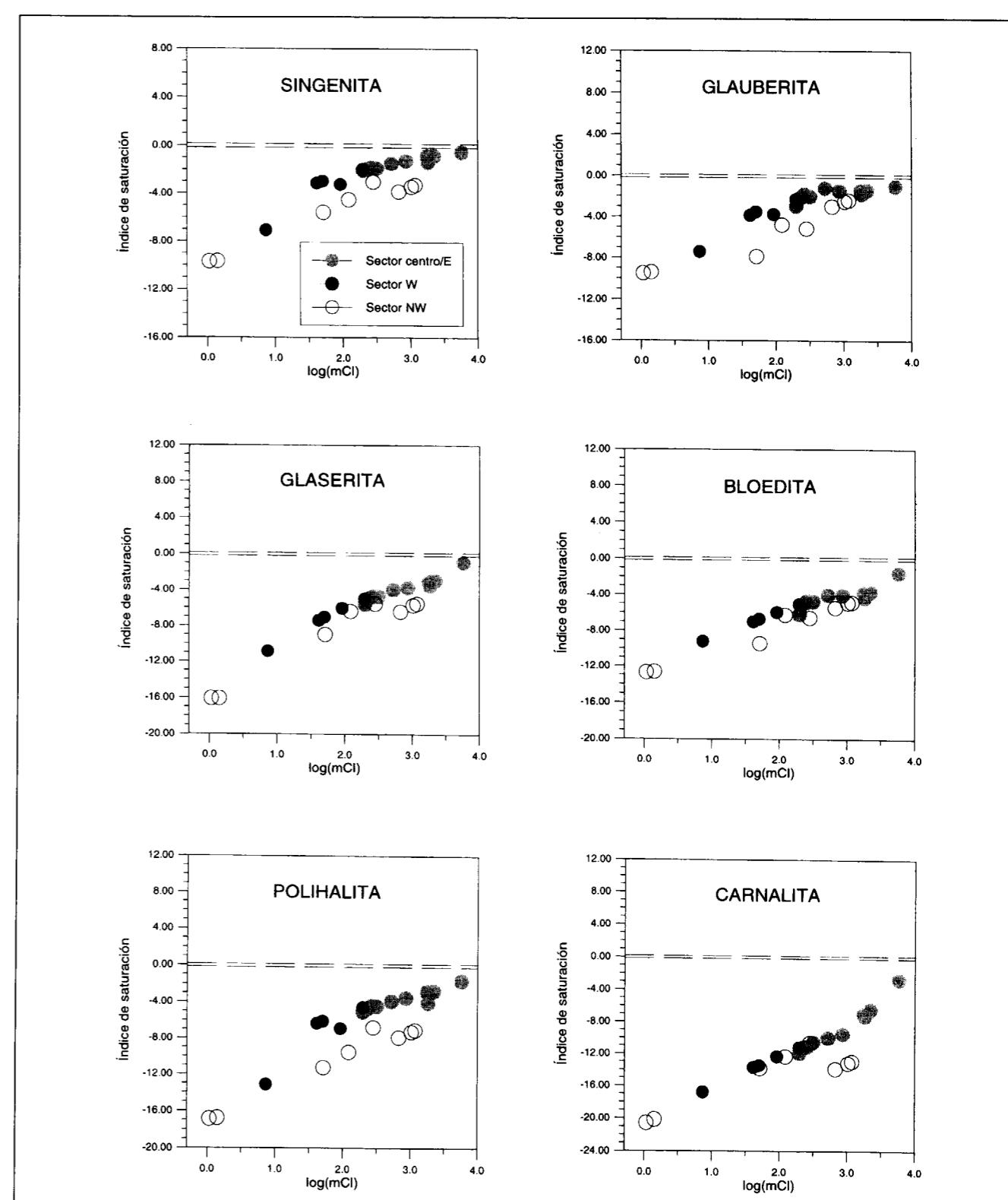


Figura 8- Representación, en función del factor de concentración, de los índices de saturación de las soluciones frente a singenita, glauberita, glaserita, bloedita, polihalita y carnalita.

partida, fundamentalmente calcio y bicarbonato. HARDIE y EUGSTER (1970) y EUGSTER y HARDIE (1978) desarrollaron un modelo en el que clasificaron la evolución evaporativa de las salmueras según dos posibles vías: la vía alcalina (cuando en la solución de partida se cumple que la concentración de bicarbonato es superior al doble de la correspondiente al calcio) y la vía neutra (en caso contrario). La evolución de una salmuera a lo largo de la vía alcalina conduce a la precipitación secuencial de calcita, silicatos magnésicos (del tipo sepiolita), carbonatos sódicos (natrón, trona) y halita, además de tener lugar un aumento progresivo del pH de las soluciones hasta alcanzar valores próximos a 10. Por el contrario, la vía neutra implica que las soluciones poseen un pH entre 7 y 8, y su evolución se traduce en la precipitación secuencial de calcita, yeso, mirabilita (cuya presencia es variable en función de la cantidad de sulfato que queda en solución tras la precipitación de yeso) y halita.

Según estos criterios, la composición química de los aportes mayoritarios que alimentan al salar de Huasco (muestras del sector NO y algunas del O) indican que las soluciones deben evolucionar, al menos en teoría, a través de la vía alcalina (figura 9). Sin embargo, el pH de las soluciones recogidas no tiende a alcanzar valores elevados como cabría esperar en esta situación, sino que se estabiliza en torno a 8 (ver tabla I). Además, el análisis mineralógico no ha detectado la presencia de carbonatos alcalinos ni de silicatos magnésicos de ambientes salinos, ni siquiera como trazas; muy al contrario, la mineralogía salina está dominada por yeso, halita, calcita y sulfato sódico. Todos estos datos parecen indicar que la evolución de las soluciones se desarrolla a lo largo de la vía neutra, al contrario de lo que prevé el ampliamente aceptado modelo evolutivo de HARDIE y EUGSTER (1970).

La evolución paleoclimática que sufrió esta zona desde finales del Terciario (con un incremento paulatino de la aridez) dio lugar a la progresiva salinización del paleolago que existió en la cuenca de Huasco, cuyas aguas eran inicialmente muy diluidas según se deduce del registro geológico (STOERTZ y ERICKSEN, 1974). El lago a partir del cual se generó el depósito salino que hoy en día constituye el salar evolucionó a lo largo de la vía neutra, tal y como se puede deducir de la

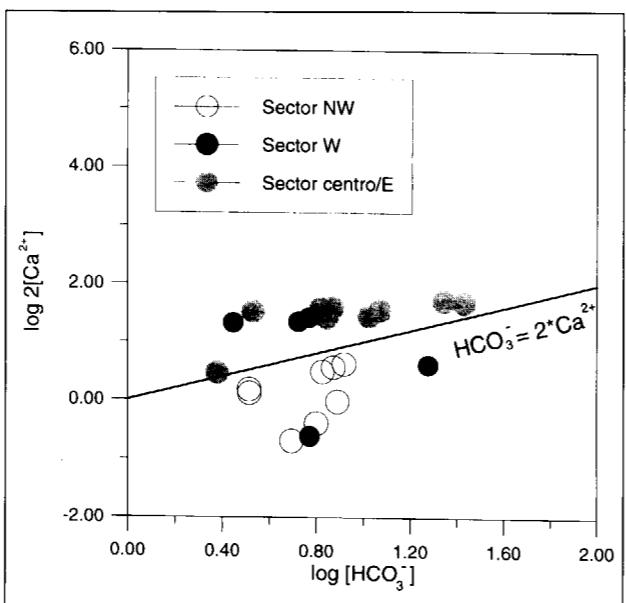


Figura 9- Proyección de las soluciones del salar sobre el diagrama  $\log(2*\text{Ca}^{2+})/\log(\text{HCO}_3^-)$  (ver explicación en el texto).

existencia de un sector salino central rico en mirabilita y halita y rodeado por una aureola con abundante yeso y calcita. En la situación climática actual, el elevado déficit hídrico impide la total inundación de la superficie del salar, lo que obliga al agua de aporte a circular sobre y a través de los depósitos salinos preexistentes, provocando su disolución.

La discrepancia que se ha planteado anteriormente entre la evolución teórica de las soluciones y los datos objetivos recogidos en el salar se debe a que, además del proceso de concentración por evaporación (el responsable único de las pautas evolutivas del modelo de HARDIE y EUGSTER, 1970), existe una clara interacción entre las aguas de aporte y la costra salina. Esta interacción, que actúa mediante la disolución de las sales de la superficie del salar, confiere al agua unas características químicas muy similares a las del lago que generó los depósitos salinos. La disolución de parte del yeso presente en la zona salina con sulfatos (figura 3) aumenta la concentración de calcio de las soluciones. La relación entre la concentración de bicarbonato y el doble de la concentración de calcio, inicialmente favorable al bicarbonato y tendente hacia una evolución alcalina, se invierte gracias al

aporte de calcio procedente de la disolución del yeso, lo que condiciona que la evolución posterior de las soluciones tenga lugar a través de la vía neutra.

En la figura 9 se puede comprobar que todas las muestras del sector centro-oriental del salar, además de las soluciones del sector O que no corresponden a aguas diluidas de aporte, presentan un valor inferior a la unidad para el cociente  $[\text{HCO}_3^-]/2*\text{Ca}^{2+}$ . Esta hipótesis que supone una disolución de yeso por parte de los aportes diluidos puede verificarse gracias a la distribución de los índices de saturación del yeso (figura 7). Las soluciones están claramente subsaturadas respecto al yeso en las etapas de menor concentración, es decir, en el momento de acceder al salar. A lo largo de su evolución, marcada por la concentración creciente de cloruro, el índice de saturación del yeso aumenta paulatinamente en las aguas de aporte, pero se puede observar además que las soluciones de las zonas más internas del salar ya están en equilibrio con yeso para unas condiciones de concentración equivalentes.

El proceso de disolución de yeso y de las sales solubles que le acompañan en la aureola de sulfatos es responsable del hecho observado en el salar de que el fondo de las acumulaciones de agua en los márgenes NO y O esté desprovisto de material salino, mientras que todas las soluciones del sector centro-oriental están en contacto directo con el lecho salino.

#### Pautas de evolución fisicoquímica

La existencia de un gradiente de concentración de las soluciones en su circulación sobre la superficie del salar da lugar a una evolución de las condiciones fisicoquímicas, que podemos evaluar a través de los índices de saturación mineral calculados por el código PHRPITZ (figuras 7 y 8).

La calcita se encuentra en una situación muy próxima al equilibrio en todas las muestras, y el estado de saturación del yeso ya se ha comentado en el apartado anterior (figura 7). Existen varias muestras que se encuentran en equilibrio con mirabilita, pertenecientes todas ellas al sector interno del salar. El gradiente de concentración hacia el interior del salar, provocado por el efecto combinado de la evaporación y de la disolución de las sales solubles en las zonas de entrada de agua, se traduce en el aumento progresivo de los índices de saturación mineral, llegando las soluciones a alcanzar el equilibrio con sales de solubilidad muy elevada como son halita y silvita. En estas condiciones extremas (la fuerza iónica de las salmueras es casi 8 molal), otras sales muy solubles como singenita, glauberita y glaserita están prácticamente a punto de alcanzar el equilibrio. Con los datos actualmente disponibles, no se puede evaluar con precisión la importancia relativa de los dos factores involucrados (concentración por evaporación y disolución de material salino preexistente) sobre la evolución tanto del quimismo de las soluciones como de los índices de saturación mineral. Es necesario realizar experiencias de laboratorio diseñadas expresamente para tal fin, etapa de la investigación que está actualmente en fase de realización y cuyos resultados permitirán comprender con mayor claridad las condiciones bajo las cuales evolucionan las salmueras del salar de Huasco.

La dinámica del sistema salino, tal y como se ha expuesto en este trabajo, se resuelve en un transporte continuado de sales en solución desde los bordes del salar hacia su sector centro-oriental. Las soluciones que empapan los sedimentos de la aureola salina con sulfatos sufren un bombeo evaporítico y ascienden por capilaridad hasta la superficie, generando la costra salina que se observa en el salar. Esta costra es parcialmente lavada por las soluciones diluidas que entran al salar, que aumentan de este modo su carga en solución y se desplazan hasta el interior del salar, donde se concentran por evaporación hasta alcanzar el equilibrio con minerales salinos muy solubles. Este proceso es potencialmente explorable ya que da lugar a la generación de salmueras muy concentradas en litio y boro (ver tabla I), pero el relativamente pequeño volumen de salmuera extraíble, las adversas condiciones climáticas y la dificultad de acceso al salar no lo hacen rentable. No obstante, su importancia en relación con el estudio de sistemas salinos continentales actuales ha quedado demostrada en este trabajo, y ha permitido conocer la hidroquímica de superficie de un sistema salino actual prácticamente desconocido desde el punto de vista fisicoquímico.

## CONCLUSIONES

El estudio hidroquímico y sedimentoquímico del sistema salino activo actualmente en el salar de Huasco ha permitido valorar la importancia relativa de los procesos dominantes en un medio de este tipo. El peso relativo de la variable "evaporación" (generalmente considerada como la de mayor importancia en sistemas salinos continentales) puede verse afectado por la actuación de otro factor. Así, hemos podido comprobar cómo las soluciones superficiales del salar estudiado, que deberían seguir una pauta evaporativa alcalina en función de las características composicionales de las aguas de aporte, evolucionan a través de la vía salina neutra gracias a la interacción entre dichas soluciones y el material salino presente en el sistema.

Este hecho no pone en tela de juicio la validez de un modelo evolutivo ampliamente aceptado como es el de HARDIE y EUGSTER (1970), pero es necesario valorar la causa de las discrepancias encontradas. Así, una aplicación estricta del citado modelo puede llevarse a cabo sobre experimentos de evaporación en cubetas, donde usualmente la solución evoluciona únicamente en contacto con los sedimentos salinos que precipitan a lo largo de su evolución; también se puede aplicar el modelo al estudio de sistemas salinos continentales que experimentan una importante recarga en una época determinada del año, y llegan a sequedad total durante la estación más cálida. Pero la evolución paleoclimática reciente, tendente hacia un incremento continuado de la aridez en buena parte del planeta (hecho claramente palpable, por ejemplo, en el Norte Grande de Chile), ha provocado la existencia de sistemas salinos como el actual de Huasco, en el que la recarga no llega a generar una acumulación superficial equiparable a la que dio lugar a la sedimentación salina que ocupa la zona más deprimida de la cuenca. Bajo tales condiciones, peculiares pero no infrecuentes en esta zona, es cuando la presencia del material salino generado en épocas pasadas juega un papel fundamental a través de la interacción con las soluciones que llegan al salar, modificando de manera definitiva su evolución evaporativa posterior.

El conocimiento de los procesos que operan en

un sistema de este tipo puede aprovecharse para optimizar una posible explotación económica de los recursos que contiene (fundamentalmente Li y B, aunque el K también aparece en concentraciones muy elevadas en las salmueras). Por ejemplo, la evolución evaporativa de las soluciones fuera del contacto con el material salino sólido puede discurrir a través de una pauta totalmente diferente a la encontrada en el sistema natural, pero este hecho necesita una confirmación experimental a la par que profundizar en el estudio de un sistema salino natural prácticamente desconocido.

## AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo de investigación, P.L. López ha disfrutado de una ayuda del programa de "Estancias breves de becarios en el extranjero" (Ministerio de Educación y Cultura del Gobierno de España, convocatoria de 1997).

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Dr. Guillermo Chong (Universidad Católica del Norte, Antofagasta - Chile), al Dr. Vincent Vallès (Institute National de la Recherche Agronomique, Avignon - Francia), al Dr. Vicente Sánchez Cela (Universidad de Zaragoza) y, especialmente, al Dr. Federico Ortí (Universidad Central de Barcelona) por los valiosos comentarios y sugerencias a la hora de mejorar el contenido y la presentación de este artículo.

## REFERENCIAS

- ALPERS, C.N. y WHITTEMORE, D.O. (1990): Hydrogeochemistry and stable isotopes of ground and surface waters from two adjacent closed basins, Atacama Desert, northern Chile. *Applied Geochim.*, 5: 719-734.
- AUQUÉ, L.F.; VALLÈS, V.; ZOUGGARI, H.; LÓPEZ, P.L. y BOURRIÉ, G. (1995): Geoquímica de las lagunas saladas de Los Monegros (Zaragoza). I. Determinación experimental de los efectos del reequilibrio mirabilita-solución con la temperatura en un sistema natural. *Estudios Geol.*, 51: 243-257.
- CHONG, G. (1984): Die Salare in Nordchile - Geologie, Struktur und Geochemie. *Geotektonische Forschungen*, 67: 1-146.
- CHONG, G. (1988): The cenozoic saline deposits of the chilean Andes between 18°00' and 27°00' south latitude. In: H. Bahlburg, C. Breitkreuz y P. Giese (eds.), The Southern Central Andes. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 17: 137-151.
- CORFO (1984): Informe de prospección preliminar del Salar de Huasco. *Comité de Sales Mixtas* (informe inédito), 19 págs.
- DICKSON, A.G. (1984): pH scales and proton-transfer reactions in saline media such as sea water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 2299-2308.
- EUGSTER, H.P. y HARDIE, L.A. (1978): Saline Lakes. In: A. Lerman (ed.), *Physics and chemistry of lakes*: 237-293. Springer Verlag.
- FUENZALIDA, H. (1965): Clima. In: *Geografía Económica de Chile*. Corp. Fomento de la Producción (CORFO), vol. 1: 188-325.
- GARCÉS, I.; LÓPEZ, P.L.; AUQUÉ, L.F.; CHONG, G.; VALLÈS, V. y GIMENO, M.J. (1996): Características geoquímicas generales del sistema salino del salar de Llamará (Chile). *Estudios Geol.*, 52: 23-35.
- GREENBERG, J.P. y MOLLER, N. (1989): The prediction of mineral solubilities in natural waters: A chemical equilibrium model for the Na-K-Ca-Cl-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O system to high concentration from 0 to 250°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 2503-2518.
- GROSJEAN, M. (1994): Paleohydrology of the Laguna Lejía (north Chilean Altiplano) and climatic implications for late-glacial times. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 109: 89-100.
- HARDIE, L.A. y EUGSTER, H.P. (1970): The evolution of closed-basin brines. *Mineral. Soc. Amer. Spec. Paper*, 3: 273-290.
- HARVIE, C.E. y WEARE, J.H. (1980): The prediction of mineral solubilities in natural waters: The Na-K-Mg-Ca-Cl-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O system from zero to high concentration at 25°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44: 723-751.
- HARVIE, C.E.; MOLLER, N. y WEARE, J.H. (1984): The prediction of mineral solubilities in natural waters: The Na-K-Mg-Ca-H-Cl-SO<sub>4</sub>-OH-HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system to high ionic strengths at 25°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 723-751.
- IGARZÁBAL, A. (1991): Evaporitas cuaternarias de la Puna Argentina. In: J.J. Pueyo (ed.), *Génesis de formaciones evaporíticas: Modelos andinos e ibéricos*: 333-374. Univ. Barcelona.
- JENNE, E.A.; BALL, J.W.; BURCHARD, J.M.; VIVIT, D.V. y BARKS, J.H. (1980): Geochemical modeling: apparent solubility controls on Ba, Zn, Cd, Pb and F in waters of the Missouri Tri State mining area. In: D.D. Hemphill (ed.), *Trace substances in environmental health*, 14: 353-367. University of Missouri, Columbia, Mo.
- KARZULOVIC, J. y GARCÍA, F. (1978): *Evaluación de los recursos hídricos de la provincia de Iquique*. Ministerio de Obras Públicas (inédito).
- KRUMGALZ, B. (1996): Some aspects of physical chemistry of natural hypersaline waters. *Recent. Res. Devel. in Solution Chem.*, 1: 9-28.
- LAZAR, B.; STARINSKY, A.; KATZ, A.; SASS, E. y BEN-YAAKOV, S. (1983): The carbonate system in hypersaline solutions: Alkalinity and CaCO<sub>3</sub> solubility of evaporated seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 28: 978-986.
- MARCUS, Y. (1989): Determination of pH in highly saline waters. *Pure and Applied Chem.*, 61: 1133-1138.
- MONTTI, S. y Henríquez, H. (1970): Interpretación hidrogeológica de la génesis de salares y lagunas del Altiplano Chileno. *II Congreso Geológico Chileno, Arica (Chile)*, 6-11 de agosto: pp. 669-680.
- PITZER, K.S. (1973): Thermodynamics of electrolytes. I. Theoretical basis and general equations. *Jour. Phys. Chem.*, 77: 268-277.
- PITZER, K.S. (1987): Thermodynamic model for aqueous solutions of liquid-like density. In: I.S.E. Carmichael y H.P. Eugster (eds.), *Thermodynamic Modeling of Geochemical Materials: Minerals, Fluids and Melts. Reviews in Mineralogy*, 17: 97-142.
- PLUMMER, L.N.; PARKHURST, D.L.; FLEMING, G.W. y DUNKLE, S.A. (1988): *A computer program incorporating Pitzer's equations for calculation of geochemical reactions in brines*. Water-Resources Investigations Report 88-4153. U.S. Geological Survey.
- RISACHER, F. y FRITZ, B. (1991a): Geochemistry of Bolivian salars, Lipez, southern Altiplano: Origin of solutes and brine evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55: 687-705.
- RISACHER, F. y FRITZ, B. (1991b): Quaternary geochemical evolution of the salars of Uyuni and Coipasa, Central Altiplano, Bolivia. *Chem. Geol.*, 90: 211-231.
- SONNENFELD, P. (1984): *Brines and Evaporites*. Academic Press, Inc. Orlando, Florida (USA). 613 páginas.
- STOERTZ, G.E. y ERICKSEN, G.E. (1974): *Geology of salars in northern Chile*. U.S. Geological Survey, Prof. Paper nº 811, 65 págs.
- VERGARA, H. y THOMAS, A. (1984): Hoja Collacagua, Región de Tarapacá. *Carta Geológica de Chile, escala 1:250.000*, nº 59, 79 págs. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Original recibido: Diciembre de 1998.  
Original aceptado: Abril de 1999.

# INFORMACIÓN

## DATOS HISTÓRICOS Y ACTUALES SOBRE EL TRABAJO DE LOS NIÑOS EN LAS MINAS EN EUROPA Y AMÉRICA

Por O. PUCHE (\*), E. ORCHE (\*\*) y L. F. MAZADIEGO (\*)

### INTRODUCCIÓN

CRAIG KIELBURGUER, fundador en 1995 de *Free the Children* (Libertad a los niños), en función de la experiencia adquirida mediante sus viajes por todo el Mundo, nos podría informar del trabajo de los niños en las minas de oro del Perú (por ejemplo en Santa Filomena, donde trabajan más de cien) y Bolivia (fig. 1), o en las de esmeraldas de Muzo,



Fig. 1.- Niños menores de cinco años picando piedra en una cantera de Guatemala (fotos Tito Llorente, El Mundo).

en Colombia (fig. 2). También en las canteras del distrito de Sololá, en Guatemala (fig. 3) o en las fábricas de ladrillo de Colombia. Esto se nos muestra en magníficas fotos de FERNANDO MORALES/ Radial Press, en un reciente reportaje del periodista ULI RAUS, o en otro artículo de MALU ZAMORA, con

(\*) E.T.S.I. Minas de Madrid, España.

(\*\*) E.T.S.I. Industriales y Minas de Vigo, España.



Fig. 2.- Niños mineros en Colombia (Foto Fernando Morales / Radial Press, Blanco y Negro)

fotos de TITO LLORENTE, por poner un ejemplo.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT), baraja la cifra de 250 millones de niños, de 5 a 14 años, trabajando en el Mundo, la mitad de los cuales realizan jornadas superiores a las ocho horas diarias (fig. 4). Los analistas coinciden en que la principal causa de esta situación es la pobreza. El 95% de los menores que trabajan viven en el llamado Tercer Mundo. El 61% de estos pequeños operarios se censa en Asia; en África trabaja un niño de cada tres; y en América Latina uno de cada cinco. El 90% se ocupan de las faenas agrícolas y

buenaa parte de ellos están en el sector de servicios. Según un informe de la ONG española Intermón: "la minería tiene una especial relevancia, no tanto por el número de trabajadores sino por las duras condiciones laborales".

Estos niños sin infancia y sin juegos, sin acceso a la educación y a la sanidad utilizan las mismas herramientas que los adultos, manejando picos y palas, moviendo manualmente molinos o transportando pesados fardos de mineral por los socavones.



Fig. 3.- Minas de esmeraldas de Muzo (Foto Fernando Morales / Radial Press, Blanco y Negro)

## INFORMACIÓN

### DATOS HISTÓRICOS Y ACTUALES SOBRE EL TRABAJO DE LOS NIÑOS EN LAS MINAS EN EUROPA Y AMÉRICA

Por O. PUCHE (\*), E. ORCHE (\*\*) y L. F. MAZADIEGO (\*)

#### INTRODUCCIÓN

CRAIG KIELBURGUER, fundador en 1995 de **Free the Children** (Libertad a los niños), en función de la experiencia adquirida mediante sus viajes por todo el Mundo, nos podría informar del trabajo de los niños en las minas de oro del Perú (por ejemplo en Santa Filomena, donde trabajan más de cien) y Bolivia (fig. 1), o en las de esmeraldas de Muzo,



Fig. 1.- Niños menores de cinco años picando piedra en una cantera de Guatemala (fotos Tito Llorente, El Mundo).

en Colombia (fig. 2). También en las canteras del distrito de Sololá, en Guatemala (fig. 3) o en las fábricas de ladrillo de Colombia. Esto se nos muestra en magníficas fotos de FERNANDO MORALES/ Radial Press, en un reciente reportaje del periodista ULI RAUS, o en otro artículo de MALU ZAMORA, con

(\*) E.T.S.I. Minas de Madrid, España.  
(\*\*) E.T.S.I. Industriales y Minas de Vigo, España.



Fig. 2.- Niños mineros en Colombia (Foto Fernando Morales / Radial Press, Blanco y Negro)

fotos de TITO LLORENTE, por poner un ejemplo.

La **Organización Internacional del Trabajo** (OIT), baraja la cifra de 250 millones de niños, de 5 a 14 años, trabajando en el Mundo, la mitad de los cuales realizan jornadas superiores a las ocho horas diarias (fig. 4). Los analistas coinciden en que la principal causa de esta situación es la pobreza. El 95% de los menores que trabajan viven en el llamado Tercer Mundo. El 61% de estos pequeños operarios se censa en Asia; en África trabaja un niño de cada tres; y en América Latina uno de cada cinco. El 90% se ocupan de las faenas agrícolas y

buenas parte de ellos están en el sector de servicios. Según un informe de la ONG española **Intermón**: "la minería tiene una especial relevancia, no tanto por el número de trabajadores sino por las duras condiciones laborales".

Estos niños sin infancia y sin juegos, sin acceso a la educación y a la sanidad utilizan las mismas herramientas que los adultos, manejando picos y palas, moviendo manualmente molinos o transportando pesados fardos de mineral por los socavones.



Fig. 3.- Minas de esmeraldas de Muzo (Foto Fernando Morales / Radial Press, Blanco y Negro)

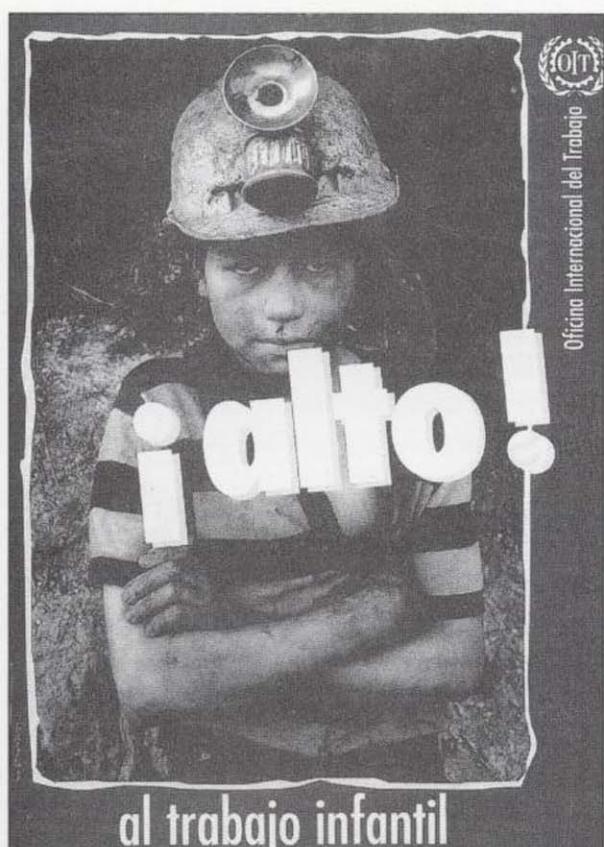


Fig. 4.- Niño minero (cartel de la OIT)

En Europa y Norteamérica vivimos esta situación, tan actual en Iberoamérica, hasta finales del siglo XIX-principios del XX (fig. 5); su análisis nos permitirá ver la dificultad de erradicar estas perversas costumbres. Según el historiador de la minería ADARO, L. (1994): “Es un tema que debería ser estudiado en profundidad, precisamente ahora que todas las tendencias, a Dios gracias, apuntan a un mayor respeto a la dignidad de la persona humana”.

#### INGLATERRA

Inglaterra ha sido el adelantado de la modernidad; con la **Declaration of Rights** (1688) se establece la Monarquía Constitucional y se abre el marco de la libertad de producción y de comercio que

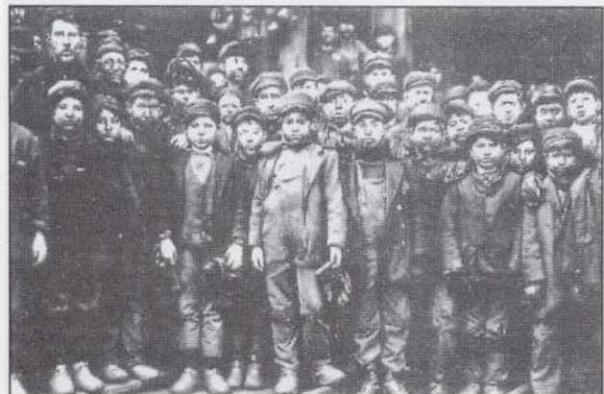


Fig. 5.- Niños en las minas de Pensylvania. EE.UU. (1911) FREUND, G. (1976)

posibilitaron en el XVIII la 1ª Revolución Industrial. El maquinismo trajo la producción en serie y la explotación de grandes masas de obreros, desplazados desde el campo hacia las ciudades. Sin embargo en esta época empiezan también a aparecer en el país las primeras normas laborales.

Según **Revista Minera** (1869), a iniciativa del “tory” Sir ROBERT PEEL (1788-1850), que fue “Premier” británico entre 1834 y 1835, así como entre 1841 y 1846, aparece una reglamentación pionera en lo relativo al trabajo de los niños en las fábricas. Cuando esta legislación se fue desarrollando y haciendo más explícita adquirió una fuerte oposición. Recibió críticas por coartar la libertad de los padres, la libertad empresarial e incluso de atentar contra el progreso de la nación. También se hacían cálculos del costo de las horas perdidas por los límites impuestos a la jornada laboral de los niños, indicando la posibilidad del cierre de las fábricas. Los padres, sumidos en la miseria, se unían a las protestas temiendo perder una necesaria fuente de ingresos.

Como consecuencia de un amplio debate sobre el trabajo infantil se llegó al triunfo del sentido común, limitándose las jornadas laborales de los niños (y también de las mujeres), en virtud de las “Factorys Acts”, de 1833 y 1864, así como otras posteriores, que contribuyeron notablemente a la mejora de las condiciones de trabajo en las fábricas y en las minas. Gracias a estas normas, en 1869 la jornada laboral de los niños no excedía de las diez horas diarias y de las cincuenta y ocho semanales, finalizándose las tareas los sábados a las catorce horas. Así mismo, los niños de ocho a trece años tan sólo podían estar ocupados seis horas y media al día, no admitiéndose en talleres a los menores de ocho (**Revista Minera**, 1869). En esta época, tras más de medio siglo de debate, los empresarios se habían convencido por fin que era mejor tener operarios robustos y bien formados (WOLOWSKI, 1868). Por desgracia el tema valores humanos tuvo poco peso específico en el debate.

Prusia, Baviera y el ducado de Baden, fueron los primeros estados donde se aplicaría un modelo similar al inglés.

Pese a todo, en 1881, según las estadísticas oficiales muchos niños seguían trabajando en las minas metálicas ingle-

sas. De 18.759 personas empleadas en operaciones de superficie, 2.193 eran mujeres y niños, entre los cuales había 317 que no llegaban a los trece años (**Revista Minera**, 1881). Asimismo, según la Estadística de 1883, había 340 niños de diez a doce años en los trabajos subterráneos, de los distritos del Este de Inglaterra y del Oeste de Yorkshire. Trabajaban por esas fechas, en la minería de interior, un total de 3.247 niños de doce a trece años. En el caso de niñas, había 1 menor de trece años y 218 de trece a dieciséis, la mayor parte en las zonas de Lancashire, Este de Escocia y Glamorganshire. En superficie trabajaban 410 chicos de diez a trece años y 8.484 de trece a dieciséis (**Revista Minera**, 1884). D. LUIS ADARO (1994) recoge una ilustración, titulada “La privación del alma y del cuerpo de unos desgraciados. Trabajo de niños”, tomada de **Alemania, un cuento de invierno** de HEINRICH HEINE (1797-1856) donde se aprecia el aspecto de una mina inglesa en 1884, donde los niños tiran de pesadas vagonetas (figura 6). Según ADARO, L. (1994): “Verdaderamente era increíble y espantoso el trabajo, totalmente impropio de un país civilizado y que además iba camino de ser la primera potencia del mundo a los comienzos del siglo XX”, prosiguiendo: “Realmente no se puede comprender como la democracia inglesa permitió que en su país se desarrollase tamaña injusticia”. Los niños arrastraban grandes vagonetas cargadas de carbón, transportaban hasta 150 kilos, por oscuras, húmedas y bajas galerías, iluminados con la escasa luz de alguna vela. Estos infantes recibían el nombre de “putters” o “trolley boys” (figs. 7 y 8).

La Reina VICTORIA (1819-1901), mostró

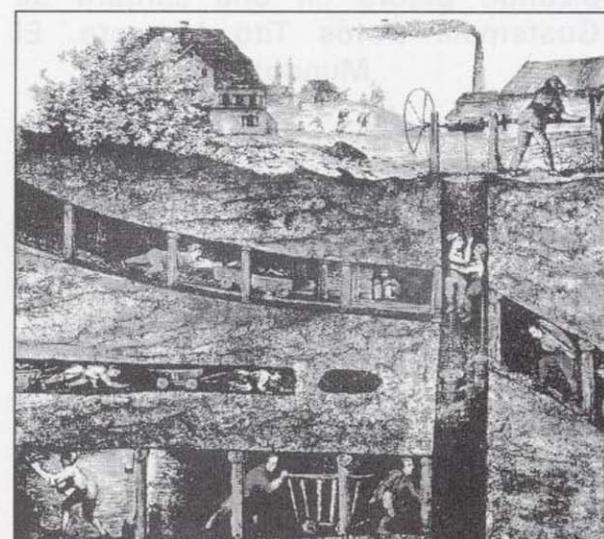
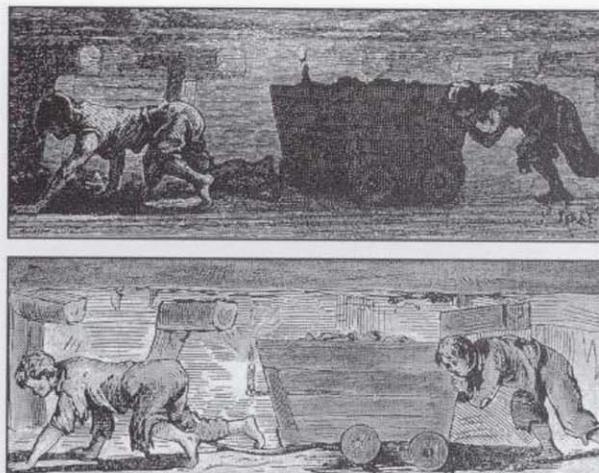


Fig. 6.- Trabajo de los niños en una mina inglesa (1884) ADARO, L. (1994)



Figs. 7 y 8.- Putters or trolley-boys in England formerly (ADARO, L., 1994)

una gran preocupación por el trabajo de los niños, visitando numerosas fábricas y minas. Como anécdota referir que la famosa "moral victoriana" no sólo hace referencia a la sexualidad, como hoy en día entienden algunos. En las novelas de CHARLES DICKENS (1812-1870) se puede observar, como en la sociedad inglesa del XIX, se producían malos tratos y la explotación de menores. DICKENS parte de una experiencia personal, tuvo que ponerse a trabajar con doce años en una fábrica de betún, debido a la temprana muerte de su padre.

#### FRANCIA

En Francia la primera ley sobre el trabajo de los niños data de 1841, pero fue una reglamentación muy incompleta e imprecisa. Esta norma no se cumplió casi, por insuficiencia en la inspección y por falta de voluntad política.

En 1867, LOUIS SIMONIN, en *La vie souterraine* señalaba que en Francia las mujeres no trabajaban en las minas, mientras que en Bélgica e Inglaterra aún se las ocupaba, pero estos casos eran bastante raros. En ningún sitio los niños podían emplearse, salvo a una cierta edad y con unas ciertas condiciones. Pensamos que esta información está algo maquillada, ya que el autor es un apologistas de la Minería. Como bien señalaba SIMONIN, en los trabajos de interior los niños y las mujeres cargaban el carbón en las vagonetas y las transportaban hasta los pozos de extracción. Este tema lo ilustra con una magnífica litografía de mujer y niño, cubiertos de andrajos, de las minas de Pontypool, en Gales (fig. 9).

El 7 de diciembre de 1869, el Emperador



Fig. 9.- Mujer y niño, hulleros de Ponty Pool, Gales (SIMONIN, L., 1867)

gallo firmaba un Decreto en el que se asignaba a los Ingenieros de Minas la inspección y el control del trabajo de los niños en las fábricas y en las minas, formándose una Comisión para el desarrollo de una ley posterior. El día 12, el Ministerio de Agricultura, Comercio y Obras remitía una circular a los Prefectos, responsables de las provincias, acerca de como realizar las inspecciones:

-No podrían trabajar en las fábricas los niños (en la legislación pone muchachos) menores de ocho años.

-Los niños de ocho a doce años no podrían trabajar más de ocho horas diarias, las cuales deberían dividirse (jornada partida) para un descanso suficiente, según la costumbre de cada fábrica.

-El límite del horario laboral para niños de doce a dieciséis años estaría en las doce horas diarias, con descanso intermedio.

-No podría ocuparse a los niños antes de las cinco de la mañana, ni después de las nueve de la noche. Esta prohibición sería absoluta para los menores de trece años y condicionada para los mayores a determinadas circunstancias (avería,

establecimientos de fuego continuo, etc.).

-Los niños menores de dieciseis años no podrían trabajar domingos y festivos.

-Ningún menor de doce años podría ser admitido en ninguna fábrica o mina sin que sus padres o tutores justificasen su asistencia a la Escuela primaria, que era obligatoria hasta dicha edad. Cumplidos estos años podía dispensarse al menor la asistencia a clase.

-En las minas no podría trabajar ningún menor de diez años.

La ley desarrollada con posterioridad mantuvo más o menos los criterios de la circular ministerial, pero sin embargo se recogió alguna coletilla negativa, tal es el caso de la que expresaba como las condiciones legales prescritas no serían aplicables a los niños que trabajaban al lado de su padre o de su madre (SALAZAR, 1870).

#### ESPAÑA

El trabajo de los niños en las minas ha sido secular, la estatua romana del niño minero de Ecija, expuesta en el Museo Arqueológico Nacional, es una prueba de ello. Todavía en una foto realizada a principios de siglo, en Minas de Almadén, se pueden observar a los niños participando en el levante de los aludeles de los hornos de Bustamante (fig. 10).

En 1869 se empieza a hablar, en *Revista Minera*, del trabajo de los niños en las explotaciones. En 1870, el ingeniero de minas IGNACIO GOMEZ DE SALAZAR (de la promoción de 1835), decía: "Aunque no somos aficionados al lujo de la reglamentación no podemos dejar de reconocer la necesidad de dictar



Fig. 10.- Niños trabajando en el levante de aludeles, Minas de Almadén, a principios de siglo (HERNÁNDEZ, A., 1995).

**reglas en un asunto que tanto se relaciona con la salud y con la población: un trabajo exagerado hace sucumbir a la mayor parte de los niños; quedando los demás enfermizos y mal desarrollados. También en España, vá haciendo falta una ley que regule el trabajo de los que, por su edad, no tienen medios de apreciar aquellos males, sino cuando ya no pueden evitarlos. Tristes ejemplos podríamos citar; entre ellos el que presenta el establecimiento de Río-tinto, donde se abusa exageradamente de los niños ocupados en diferentes servicios por contrata".**

Otra pionera en la defensa de los niños explotados en las fábricas y en las minas de nuestro país fue CONCEPCION ARENAL, activista católica, vinculada a los Visitadores de los Pobres de San Vicente Paul y también a la Institución Libre de Enseñanza, en la revista **La Caridad**, fundada en 1870; como bien se señala su biógrafa RIVAS, A. M. (1999): **"no dejaría de mantener el tono crítico a la hora de tratar ciertos temas sociales como la educación y el trabajo de la mujer, la necesidad de una ley protectora de la infancia que evitara la explotación de los niños, el problema de la vivienda obrera, etc ...".**

Tras revisar la **Colección Legislativa de Minas** (1890) hemos encontrado la primera ley española, que tengamos noticias, sobre el trabajo de los niños en fábricas, talleres, fundiciones y minas; se expidió durante la Primera República, siendo SALMERON Presidente, el 24 de julio de 1873 (Gaceta de Madrid del 28 de julio). Las Cortes Constituyentes en uso de su soberanía aprobaron la norma, encargando al Ministerio de Fomento su cumplimiento. Los puntos principales serían:

-Los menores de diez años no podrían ser admitidos en ninguna fábrica, taller, fundición o mina.

-Los niños menores de trece años y las niñas menores de catorce no podrían trabajar más de cinco horas diarias. Los niños de trece a quince y las niñas de catorce a diecisiete no podrían trabajar más de ocho horas.

-Los niños menores de quince y las niñas menores de diecisiete no podrían trabajar por las noches (a partir de las ocho treinta) en establecimientos donde hubiese motores hidráulicos o de vapor.

-Los establecimientos con más de

ochenta niños obreros situados a más de 4 kilómetros de núcleo urbano deberían disponer de un Centro de Instrucción Primaria, cuyos gastos serían cubiertos por el Estado.

-Sería obligatorio que los niños de nueve a trece y las niñas de hasta catorce asistieran a clase, al menos tres horas diarias.

-Estos centros también deberían tener resuelto el tema médico (botiquín y médico-cirujano, con residencia próxima) para atender los posibles accidentes.

-Se establecen mecanismos de inspección y se cuantifican los márgenes de multa para los infractores.

Pese a la normativa legal, la situación era tal que se producían habitualmente noticias como la siguiente: En mayo de 1879, cinco niños sufrieron heridas diversas, por causa de un incendio, en la mina La Ballesta, término de Espiel (Córdoba), siendo trasladados al hospital de la capital (**Revista Minera**, 1879).

La situación del trabajo infantil, tardaría aun muchos años en suprimirse; por poner un ejemplo, en 1883 (**Revista Minera**, 1885) en las 490 minas productivas de Asturias trabajaban 661 muchachos en el interior y 192 en el exterior. Estos deberían sumarse a 550 que trabajaban en las fábricas. En las 79 minas productivas de la provincia de Santander, trabajaban 27 muchachos en el interior y 153 en el exterior, así como 9 en las fábricas. En las 45 minas productivas de la provincia de Palencia trabajaban 71 muchachos en el interior y 83 en el exterior. Así mismo en la provincia de Badajoz, en las 14 minas productivas, trabajaban 53 muchachos en el interior y 63 en el exterior. De las no productivas se ocupaban 2 muchachos en el interior y 63 en el exterior. En las fábricas había 8 niños más. Por último, en las minas productivas de la provincia de Murcia (**Revista Minera**, 1886) trabajaban 3.840 muchachos en el interior y 389 en el exterior. En las no productivas los números eran de 150 y 25 respectivamente, a los que habría que sumar 294 en las fábricas, etc. Como vemos cifras de auténtico escándalo.

A principio de siglo, pese a la ley de 1911 (fig. 11), e incluso hasta después de la Guerra Civil seguirán trabajando menores en nuestras minas y canteras (figs. 12 y 13).



Fig. 11.- Niños mineros en la bocamina de la Candelaria en 1914 (ANES, R. y TASCÓN, L. J., 1993)

## ITALIA

Según LOLLETTI, S. (1994) el Ministro de Agricultura, Industria y Comercio GASPAR FINALI se opuso al trabajo de los niños en las fábricas, señalando en el Congreso de los Diputados, en lo relativo a los que lo hacían en minas, que: **"era fatto uno strazio veramente inumano nella miniere"**.

Poco después, el 25 de julio de 1879, el Sr. CAROLI, también Ministro de Agricultura, sacaba a la opinión pública un anteproyecto de Ley sobre el trabajo de los niños. Se remitieron 929 circulares a distintas autoridades, corporaciones locales, Consejos Sanitarios, Juntas de Comercio, ingenieros e industrias, adhiriéndose la mayor parte de ellas al texto presentado. Así mismo constatar que entre los contrarios a la Ley estaban los empresarios de la minería del azufre, donde se empleaban numerosos niños (fundamentalmente en el transporte), y también los del hilado de la seda.



Fig. 12.- Niño cantero, en Macael (Almería), 1945 (GARCÍA, M., 1996).

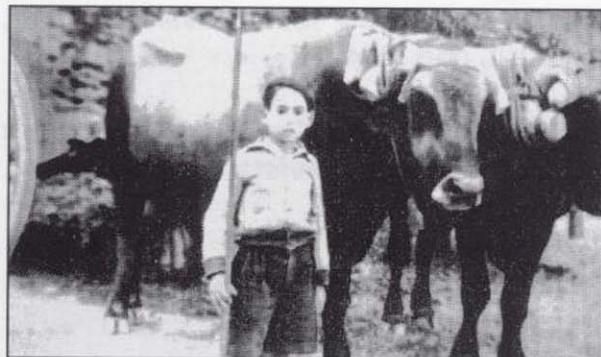


Fig. 13.- Niño conduciendo una carreta, para transportar piedra, Macael (Almería), 1948 (GARCÍA, M., 1996).

Los puntos principales de la Ley eran los siguientes:

-Se prohibía el trabajo a los menores de nueve años.

-También se prohibía el trabajo a los niños de nueve a quince años que no hubiesen adquirido la instrucción primaria obligatoria.

-Los menores de once años no podrían acceder a las labores subterráneas, trabajos nocturnos e industrias insalubres.

-Se prohibía el trabajo de los niños en los domingos y festivos.

-Los niños de nueve a once años no podrían trabajar más de seis horas seguidas en un día.

Así mismo se pedía un Servicio de Inspección y penas pecuniarias para los infractores.

Lo que la **Diputación de Palermo**, región donde estaban las minas de azufre, expuso en contra del Decreto, fue una argumentación denigrante: “**Estos muchachos, viciosos y corrompidos, casi todos ellos, en lugar del apoyo y protección de las leyes que limitan su trabajo y que se harían complices involuntarios de su perversidad, y de sus excesivas exigencias, y fomentadoras del ocio y de la vagancia, merecen por el contrario todo el rigor de las autoridades**” (**Revista Minera**, 1880). Como vemos al explotado, cosa frecuente, le convierten en delincuente.

Argumentos similares emplearía la **Sociedad Siciliana de Economía Política**. Sólo los ingenieros de minas de Sicilia y Cerdeña reconocieron que no se perjudicaba a las explotaciones con la aplicación de la ley. Así mismo el Dr. LOM-

BARDO señalaba: “**¿Quien ignora... la barbarie con que son tratados esos niños y la suerte que les está reservada?**” y trás narrar los malos tratos, abusos y torturas que se realizan sobre ellos para obligarlos a trabajar, prosigue: “**muchas veces he sido llamado a declarar sobre la causa de estas lesiones**”. Así mismo indica el Sr. LOMBARD: “**El mineral que carga sobre sus hombros es de un peso desproporcionado a sus fuerzas, sus huesos, tiernos aun, ceden, se encorvan y se tuercen, y las pobres criaturas resultan deformes y estropeadas, para toda su vida...**” (**Revista Minera**, 1880).

En 1886 se promulgó una Ley Orgánica en defensa de los menores, aunque fue muy permisiva. Así, en 1894, sólo en Sicilia aun trabajaban 4.500 niños de 6 a 7 años, transportando el mineral de azufre desde el subsuelo a la superficie, de entre los 14.500 operarios dedicados a estas tareas. También en la región de la Romagna se dedicaban muchos menores a estos menesteres, aunque no tantos como en Sicilia (LOLLETTI, S., 1994).

#### BELGICA

MIRET MAGDALENA, E. (1989) en referencia a un **Rapport** de la Academia de Medicina Belga, señala que: “**En 1843, en las fábricas textiles de Bélgica la tercera parte de los obreros son niños, y la mitad de ellos tienen de seis a diez años**”. El autor considera que este problema se extendía por todo Occidente indicando que: “**los niños eran explotados y morían como chinches en las minas**”.

Impresiona ver la litografía de SIMONIN, L. (1867) de los mineros rezando antes de bajar al tajo, en las minas belgas de la Vienne Montaigne. Niños y niñas de corta edad sostienen las herramientas necesarias para el trabajo extractivo (fig. 14).

Parece ser que la Administración Superior de las Minas de Silesia fue una adelantada de la historia, prohibiendo el empleo de mujeres y niños en los trabajos subterráneos a partir del 1 de enero de 1869 (**Revista Minera**, 1869). Poco después, en 1871, el gobierno belga se propuso prohibir el empleo de menores de catorce años en las minas, aun siendo acompañados de sus padres (**Revista Minera**, 1871).



Fig. 14.- Niños mineros en la Vieille Montaigne, Bélgica (SIMONIN, L., 1867).

#### CONCLUSIONES

Pasada la mitad del siglo XIX fue imponiéndose tímidamente en Europa y Norteamérica una legislación protectora de los niños, pero su explotación ha perdurado hasta bien entrado el siglo XX. Según señala ALVAREZ, P. (1998): “**En Asia y América Latina, como si hubiéramos dado la vuelta al tiempo y retrocedido hasta el siglo XIX, sus manos pequeñas son ideales para túneles y minas**”.

En diversos países americanos persiste la explotación infantil y en ellas trabajan ONGs como **Defensa de los Niños** (DNI), habiéndose logrado que algunos estados, como Colombia, tomen medidas al respecto. Se persigue que todos los países ratifiquen el **Convenio 138 de la Organización Internacinal del Trabajo** (OIT) contra la explotación infantil. Según este convenio la edad mínima de acceso al trabajo no deberá ser inferior a la edad en que cesa la obligación escolar, o en todo caso a los quince años. Permitiéndose el trabajo para niños y niñas de trece a quince que desarrollen una labor “ligera”, siempre que no se perjudique su educación y su formación profesional.

En 1997 se celebró en Amsterdam, Holanda, la **Cumbre Internacional sobre**

**Formas Intolerables de Trabajo.** En octubre del mismo año se estudió el tema del trabajo infantil en la **Conferencia de Oslo de la OIT**, constatando que es fruto de la pobreza y pidiéndose que la ONU dedique un 20% a la ayuda a los países en vías de desarrollo y que cada nación incremente los fondos dedicados a estos menesteres.

El día 2 de junio de 1998, culminó en Ginebra la **Global March Against Child Labour** (Marcha Mundial Contra el Trabajo Infantil), iniciada el 17 de enero del mismo año en Manila. Esta iniciativa ha sido promovida por más de 700 organizaciones, de más de cien países, a las que se han adherido otras 8.000 asociaciones. El término de la marcha coincidía con el inicio de la **86ª Conferencia de la OIT** (2-4 de junio) que iba a tratar estos temas.

El hindú KAILASH SATYSRTHI, organizador de la Marcha, solicitó a todos los Estados la abolición del trabajo infantil. El Presidente de la Sesión de la **Conferencia de Ginebra de la OIT**, JACQUES OECHSLIN, se comprometió a luchar contra esta situación mediante acciones concretas, promoviendo un nuevo **Convenio**, que se aprobará en 1999, y donde se sentarán las bases para eliminar la explotación laboral infantil. De momento, el acuerdo de la OIT fue para: "designar y aplicar programas de acción para eliminar prioritariamente las peores formas de trabajo infantil" (fig. 15).

Con esto culminaría el debate internacional que sobre este tema se viene desarrollando en los últimos años.

## REFERENCIAS

ADARO, L. (1994). **Datos y documentos para la Historia Minera e Industrial de Asturias.** T.IV. Ed. Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación. Gijón. Pág. 155.

ÁLVAREZ, F. (1998). Niño, ¡trabaja niño!. **Menos 25**, Año II, 35, Pág. 11.

ANES ÁLVAREZ, R. y TASCÓN FERNÁNDEZ, L.J. (1993). **Hullera Vasco-Leonesa. Los cien primeros años de su historia. 1893-1993.** Ed. Fundación Hullera Vasco-Leonesa. Pág. 97.

ANÓNIMO (1869). Trabajo de los

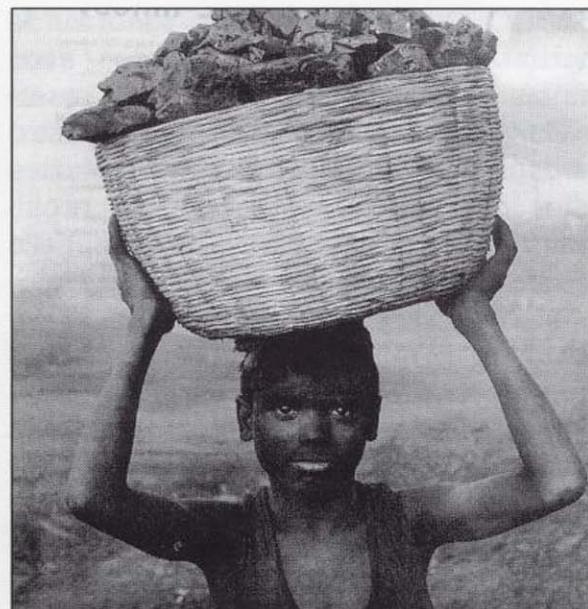


Fig. 15.- Niño minero, Dhanbad-Bimber, India. Cortesía INTERMON.

muchachos en las minas y fábricas. **Revista Minera**, XX, Págs. 64-71.

ANÓNIMO (1869). Trabajo de las mujeres en las minas. **Revista Minera**, XX, Pág. 128.

ANÓNIMO (1870). Niños fuera de las minas. **Revista Minera**, XXII, Pág. 543.

ANÓNIMO (1879). Variedades. **Revista Minera**, XXX, Pág. 181.

ANÓNIMO (1880). El trabajo de los niños. **Revista Minera**, XXXI, Págs. 164-165 y 170-171.

ANÓNIMO (1881). Variedades. **Revista Minera**, XXXII, Pág. 30.

ANÓNIMO (1884). Variedades. **Revista Minera**, XXXV, Pág. 236.

ANÓNIMO (1885). Minería en la provincia de Oviedo en 1883. **Revista Minera**, XXXVI, Págs. 317-318.

ANÓNIMO (1885). Minería en la provincia de Santander en 1883. **Revista Minera**, XXXVI, Pág. 325.

ANÓNIMO (1885). Minería en la provincia de Palencia en 1883. **Revista Minera**, XXXVI, Pág. 334.

ANÓNIMO (1885). Minería en la provincia de Badajoz en 1883. **Revista Minera**, XXXVI, Pág. 349.

ANÓNIMO (1886). Minería en la provin-

cia de Murcia en 1883. **Revista Minera**, XXXVII, pág. 254.

ANÓNIMO (1998). Dossier: Trabajar un juego de niños. **Revista Intermon**, 436, Págs. 7-9.

FREUND, G. (1976). **Fotografía e società.** Ed. Einaudi. Torino.

GARCÍA RAMOS, M. (1996). **El mundo de los canteros y el léxico del mármol.** Ed. Arráez. Almería. Págs. 184 y 196.

HERNÁNDEZ SOBRINO, A. (1995). **Las minas de Almadén.** Ed. MAYASA. Madrid. Pág. 73.

JUNTA SUPERIOR FACULTATIVA DE MINERÍA (1990). **Colección Legislativa de Minas**, conteniendo todas las disposiciones vigentes que rigen esta materia y un repertorio completo de leyes y ordenanzas antiguas que han regido en los dominios españoles. T. II, Págs. 80-81. Imp. Col. Nal. Sordo-mudos y de Ciegos. Madrid.

LOLLETTI, S. (1994). Per una riconstruzione della cultura mineraria. **Actas II Convegno Valorizzazione dei Siti Minerari Dismessi**, Cagliari 12-14 Oct. 94, Págs. 85-88. Ed. PEI. Parma.

MIRET MAGDALENA, E. (1989). **El nuevo rostro de Dios. Las raíces del cristianismo y el porvenir de la Religión.** BolsiTemas, 26. Ed. Temas de Hoy. Madrid. Pág. 127.

RAUS, U. (1997). Niños esclavos. **Revista Blanco y Negro**. Madrid.

RIVAS, A. M. (1999). **Concepción Arenal.** Col. Sinérgia. Fundación E. Meunier et al. Salamanca. Pág. 28.

SALAZAR (1870). Trabajo de los niños en las manufacturas. **Revista Minera**, XXI, Págs. 427-428.

SIMONIN, L. (1867). **La vie souterraine ou les mines et les minieurs.** Lib. de L. Hachette et Cie. París. Págs. 269-271 y 517.

ZAMORA, M. (1998). Niños en la Edad de Piedra. **La Revista de El Mundo**, 19 de abril de 1998, 38-41.

WOLOWSKI (1868). **Le travail des enfants dans les manufactures.** París.

**Formas Intolerables de Trabajo.** En octubre del mismo año se estudió el tema del trabajo infantil en la **Conferencia de Oslo de la OIT**, constatando que es fruto de la pobreza y pidiéndose que la ONU dedique un 20% a la ayuda a los países en vías de desarrollo y que cada nación incremente los fondos dedicados a estos menesteres.

El día 2 de junio de 1998, culminó en Ginebra la **Global March Against Child Labour** (Marcha Mundial Contra el Trabajo Infantil), iniciada el 17 de enero del mismo año en Manila. Esta iniciativa ha sido promovida por más de 700 organizaciones, de más de cien países, a las que se han adherido otras 8.000 asociaciones. El término de la marcha coincidía con el inicio de la **86º Conferencia de la OIT** (2-4 de junio) que iba a tratar estos temas.

El hindú KAILASH SATYSRTHI, organizador de la Marcha, solicitó a todos los Estados la abolición del trabajo infantil. El Presidente de la Sesión de la **Conferencia de Ginebra de la OIT**, JACQUES OECHSLIN, se comprometió a luchar contra esta situación mediante acciones concretas, promoviendo un nuevo **Convenio**, que se aprobará en 1999, y donde se sentarán las bases para eliminar la explotación laboral infantil. De momento, el acuerdo de la OIT fue para: "designar y aplicar programas de acción para eliminar prioritariamente las peores formas de trabajo infantil" (fig. 15).

Con esto culminaría el debate internacional que sobre este tema se viene desarrollando en los últimos años.

#### REFERENCIAS

ADARO, L. (1994). **Datos y documentos para la Historia Minera e Industrial de Asturias.** T.IV. Ed. Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación. Gijón. Pág. 155.

ÁLVAREZ, F. (1998). Niño, ¡trabaja niño!. **Menos 25**, Año II, 35, Pág. 11.

ANES ÁLVAREZ, R. y TASCÓN FERNÁNDEZ, L.J. (1993). **Hullera Vasco-Leonesa. Los cien primeros años de su historia. 1893-1993.** Ed. Fundación Hullera Vasco-Leonesa. Pág. 97.

ANÓNIMO (1869). Trabajo de los

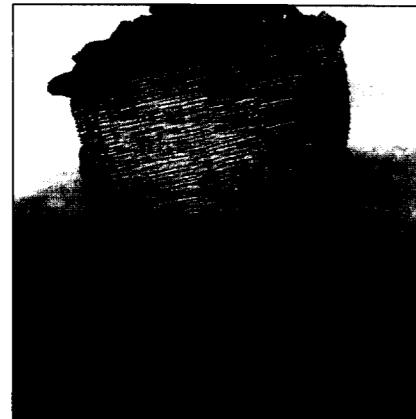


Fig. 15.- Niño minero, Dranbad-Bimar, India. Cortesía INTERMON.

muchachos en las minas y fábricas. **Revista Minera**, XX, Págs. 64-71.

ANÓNIMO (1869). Trabajo de las mujeres en las minas. **Revista Minera**, XX, Pág. 128.

ANÓNIMO (1870). Niños fuera de las minas. **Revista Minera**, XXII, Pág. 543.

ANÓNIMO (1879). Variedades. **Revista Minera**, XXX, Pág. 181.

ANÓNIMO (1880). El trabajo de los niños. **Revista Minera**, XXXI, Págs. 164-165 y 170-171.

ANÓNIMO (1881). Variedades. **Revista Minera**, XXXII, Pág. 30.

ANÓNIMO (1884). Variedades. **Revista Minera**, XXXV, Pág. 236.

ANÓNIMO (1885). Minería en la provincia de Oviedo en 1883. **Revista Minera**, XXXVI, Págs. 317-318.

ANÓNIMO (1885). Minería en la provincia de Santander en 1883. **Revista Minera**, XXXVI, Pág. 325.

ANÓNIMO (1885). Minería en la provincia de Palencia en 1883. **Revista Minera**, XXXVI, Pág. 334.

ANÓNIMO (1885). Minería en la provincia de Badajoz en 1883. **Revista Minera**, XXXVI, Pág. 349.

ANÓNIMO (1886). Minería en la provin-

cia de Murcia en 1883. **Revista Minera**, XXXVII, pág. 254.

ANÓNIMO (1998). Dossier: Trabajar un juego de niños. **Revista Intermón**, 436, Págs. 7-9.

FREUND, G. (1976). **Fotografía e sociedad.** Ed. Einaudi. Torino.

GARCÍA RAMOS, M. (1996). **El mundo de los canteros y el léxico del mármol.** Ed. Arráez. Almería. Págs. 184 y 196.

HERNÁNDEZ SOBRINO, A. (1995). **Las minas de Almadén.** Ed. MAYASA. Madrid. Pág. 73.

JUNTA SUPERIOR FACULTATIVA DE MINERÍA (1990). **Colección Legislativa de Minas, conteniendo todas las disposiciones vigentes que rigen esta materia y un repertorio completo de leyes y ordenanzas antiguas que han regido en los dominios españoles.** T. II, Págs. 80-81. Imp. Col. Nal. Sordo-mudos y de Ciegos. Madrid.

LOLLETTI, S. (1994). Per una ricostruzione della cultura mineraria. **Actas II Convegno Valorizzazione dei Siti Minerari Dismessi**, Cagliari 12-14 Oct. 94, Págs. 85-88. Ed. PEI. Parma.

MIRET MAGDALENA, E. (1989). **El nuevo rostro de Dios. Las raíces del cristianismo y el porvenir de la Religión.** BolsiTemas, 26. Ed. Temas de Hoy. Madrid. Pág. 127.

RAUS, U. (1997). Niños esclavos. **Revista Blanco y Negro.** Madrid.

RIVAS, A. M. (1999). **Concepción Arenal.** Col. Sinergia. Fundación E. Meunier et al. Salamanca. Pág. 28.

SALAZAR (1870). Trabajo de los niños en las manufacturas. **Revista Minera**, XXI, Págs. 427-428.

SIMONIN, L. (1867). **La vie souterraine ou les mines et les minieurs.** Lib. de L. Hachette et Cie. París. Págs. 269-271 y 517.

ZAMORA, M. (1998). Niños en la Edad de Piedra. **La Revista de El Mundo**, 19 de abril de 1998, 38-41.

WOLOWSKI (1868). **Le travail des enfants dans les manufactures.** París.

## REVISIÓN ESTADÍSTICA DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS EN EL BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO DURANTE EL DESENIO 1989-1998. UN CASO CONCRETO: LA PROBLEMÁTICA DE LAS ROCAS Y LOS MINERALES INDUSTRIALES EN LOS ÚLTIMOS TREINTA AÑOS DE LA REVISTA.

Por J. M. BALTUILLÉ (\*)

supuesto revisar un total de 518 artículos, con un total de 7904 páginas. Todos estos artículos han sido escritos por 1154 autores que pertenecen a 146 organismos, tanto públicos como privados, de España y del extranjero.

#### SECCIONES TEMÁTICAS DE LA REVISTA DURANTE EL PERÍODO 1989-1998

La totalidad de los artículos existentes se han agrupado en catorce secciones, dos de las cuales no existen como tales en la revista (Historia de la Geología y Conservación del Patrimonio Geológico-Minero) pero su creación nos permite agrupar temas específicos que, de otra forma, quedaban incluidas erróneamente en diferentes secciones de las ya existentes. Mientras, el resto son las utilizadas con asiduidad por la publicación, incluso se ha mantenido como sesión la denominada Notas Informativas, aunque salvo en casos determinados su contenido no tendría cabida en un contexto científico s. str.

El estudio se ha efectuado por lustros (1989-1993 y 1994-1998) obteniéndose unos resultados parciales y totales que, para una mayor facilidad de comprensión, se han agrupado en la Tabla I.

A la vista de la tabla anterior se puede observar que existe una disminución de 28 artículos durante el segundo quin-

#### ANTECEDENTES

Durante el año en curso se celebra el 150 Aniversario de la creación de la **Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino**, institución geológica creada por Real Decreto de 12 de julio de 1849 y precursora del actual Instituto Tecnológico Geominero de España.

Ante la posibilidad de reiniciarse una nueva andadura para el **Boletín Geológico y Minero** debido a dicha efeméride, se decidió conocer e investigar la distribución temática de la revista durante los últimos años, de cara a planificar una nueva línea editorial y averiguar los aspectos que podían ser de mayor interés o aquellos que presentaban una mayor demanda.

El período elegido de diez años (1989-1998) se escogió en base a dos hechos principales:

1.º Que en 1989 se produce el cambio de nombre del organismo que soporta la revista, pasando de denominarse Instituto Geológico y Minero de España (IGME) a Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), con lo que se producen diversos cambios en la revista (maquetación, tipografía y colores

(\*) Área de Rocas y Minerales Industriales, ITGE.

TABLA I DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES TEMÁTICAS (período 1989-1998)													
	AÑOS												
TEMÁTICA	1º quinquenio						2º quinquenio						TOTAL
	1989	1990	1991	1992	1993	TOTAL	1994	1995	1996	1997	1998	TOTAL	
Geología s.l.	23	18	17	17	14	89	17	12	11	17	7	64	153
Minería	10	4	5	6	3	28	7	8	24	2	11	52	80
Aguas Subterráneas	7	3	7	7	6	30	9	8	3	4	7	31	61
Estudio de minerales y rocas	6	7	5	4	3	25	4	3	1	8	1	17	42
Rocas y Minerales Industriales	5	7	3	4	5	24	5	3	0	4	3	15	39
H. de la Geología	4	3	6	4	3	20	1	4	1	1	4	11	31
Geoquímica	0	8	5	4	2	19	1	2	2	1	1	7	26
Medio Ambiente	1	6	3	3	2	15	0	0	0	4	4	8	23
Notas Informativas	4	1	0	2	2	9	1	4	0	2	0	7	16
Metalurgia y Mineralurgia	1	0	1	0	0	2	0	0	8	0	1	9	11
Geotecnia	1	0	2	0	2	5	4	1	0	0	0	5	10
Conservación del Patrimonio													
Geológico-Minero	1	0	0	1	0	2	1	0	1	1	4	7	9
Geofísica	0	1	1	0	1	3	1	0	2	0	3	6	9
Geoestadística	1	1	0	0	0	2	0	1	2	2	1	6	8
<b>TOTAL</b>	<b>64</b>	<b>59</b>	<b>55</b>	<b>52</b>	<b>43</b>	<b>273</b>	<b>51</b>	<b>46</b>	<b>55</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>245</b>	<b>518</b>
Nº de páginas	1124	956	954	1073	680	4787 <sup>1</sup>	599	579	695	593	651	3117 <sup>2</sup>	7904

<sup>1</sup>- El tamaño medio de un número del primer lustro es de 957 pp.

<sup>2</sup>- El tamaño medio de un número del segundo lustro es de 623 pp.

quieno, 273 por 245 respectivamente. Ello ocurre como consecuencia de una reducción del número de artículos por número, 9 de media durante 1989-1993 y 8 durante 1994-1998, junto con una disminución del tamaño de los mismos y, por ende, de los volúmenes (957 páginas por volumen anual durante el primer lustro y 623 durante el segundo).

El tamaño medio de un artículo durante 1989-1993 era de unas 18 páginas, mientras que en 1994-1998 descendió a 13. Por lo tanto hay que señalar que lo que se ha producido claramente en la revista durante este segundo quinquenio ha sido una disminución drástica, no tanto del número de artículos (que ha descendido sólo un 11.5%) sino de la extensión de los mismos (un 28% menos) y, a la vez, del tamaño de los distintos números (un 35%).

La evolución mostrada por las diferen-

tes temáticas, durante el decenio 1989-1998, es bastante clara (ver Fig. 1). En primer lugar se observa un grupo compuesto por siete secciones que constituyen un 64 % del total de los artículos publicados y que, durante el segundo lustro, presentan una disminución generalizada del número de artículos: Geoquímica (- 63%), Medio Ambiente (-46.5%), Historia de la Geología (-45%), Rocas y Minerales Industriales (-37.5%), Estudio de minerales y rocas (-32%), Geología (- 28%) y Notas Informativas (-22%).

Enfrente aparece otro colectivo, representando el 22.5 % del total, constituido por cinco secciones que presentan un incremento de publicaciones durante el segundo quinquenio: Minería (85.7%), Geofísica (100%), Geoestadística (200%), Conservación del Patrimonio Geológico-Minero (250%) y Metalurgia y Mineralurgia (350%).

Finalmente hay dos secciones, que representan el 13.7 % del total, que no han sufrido variación a lo largo del decenio o ésta ha sido mínima: Aguas Subterráneas (3.3%) y Geotecnia (0%).

No obstante, y para valorar en su justa medida los datos referidos previamente, conviene tener presente que sólo cinco secciones: Geología (29.5%), Minería (15.5%), Aguas Subterráneas (11.5%), Estudio de minerales y rocas (8%) y Rocas y Minerales Industriales representan, por sí solas, el 72 % del total de las publicaciones.

#### IMPACTO MEDIÁTICO ALCANZADO POR LA REVISTA ENTRE LOS DIFERENTES CENTROS DE INVESTIGACIÓN

Uno de los principales logros que debe conseguir una revista técnico-científica es captar el interés de los diferentes centros oficiales de investigación, tanto nacionales como extranjeros, así como el de aquellas sociedades privadas que disponen de equipos humanos dedicados a la investigación aplicada en distintos campos de las Ciencias de la Tierra (empresas mineras, consultoras, ingenierías civiles, universidades privadas, etc.), y conseguir que sus equipos aporten artículos a la revista y muestren interés por estar en sus páginas y utilizarlas como medio de difusión de sus trabajos.

También esperamos poder así detectar el interés que la revista desperta más allá de nuestras fronteras; especialmente entre los países que nos son comunes por cuestiones de tradición, cultura y lengua como es la Comunidad Iberoamericana o aquellos otros con los que compartimos una buena vecindad y un mismo modelo económico, como son los países de la UE y asociados.

El encontrar una metodología para valorar este factor no ha sido sencillo. No podía cuantificarse el número de artículos publicados por cada centro, ya que la mayoría de los trabajos consultados están escritos por distintos autores de diversos organismos y no era operativo trabajar con fracciones. Por ello, se ha decidido evaluar respecto al total de autores que han participado en cada uno de los artículos publicados; asignando, a cada uno de estos, a su correspondiente centro de trabajo.

La elección de este método presenta algunas particularidades que hay que

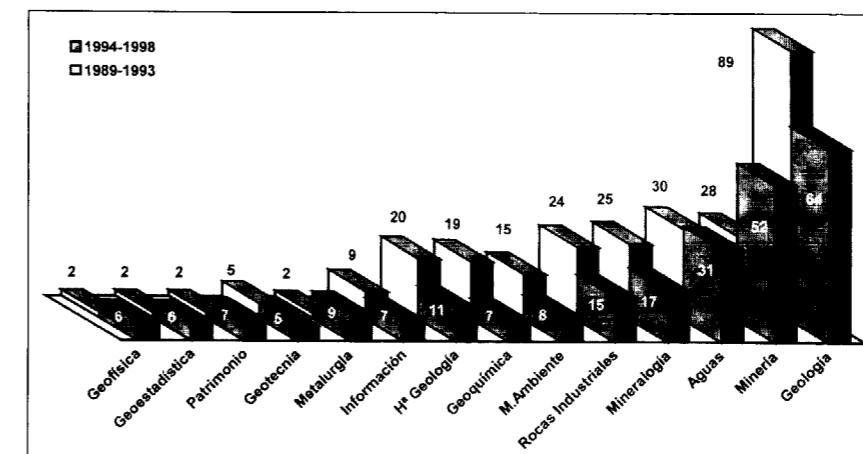


Fig. 1.- Distribución de las diferentes temáticas del *Boletín Geológico y Minero* (período 1989-1998).

considerar a la hora de sacar las conclusiones correspondientes. Inicialmente parece que se prima a los trabajos realizados por varios autores sobre los que están escritos por uno o dos únicamente, no obstante hay que tener en cuenta algunos aspectos:

1.º Que en la época que se está analizando, 1989-1998, la tónica general de los equipos de investigación era publicar en conjunto y no individualmente. Esto último se dejaba para trabajos muy especiales (relacionados con tesis de licenciatura o doctorales) o cuando se estaba abriendo una línea de trabajo novedosa.

2.º Que el publicar en conjunto implica un mayor grado de compromiso y de confianza, pues conlleva poner

de acuerdo a distintas personas, cosa que no ocurre cuando el trabajo está firmado por uno o dos únicos autores.

3.º Que el método puede aplicarse sin producir desviaciones importantes, pues la relación número de autores (1154) por artículo publicado (518) es ligeramente superior a dos.

Un resumen de los diferentes centros de trabajo que han aportado autores a las páginas de la revista, durante el período 1989-1998 (ver Anexos I al III), queda recogido en la Tabla II.

Del análisis pormenorizado de la información contenida en la tabla anterior se deducen aspectos dignos de resaltar:

1.º Que los 146 centros de investigación

TABLA II CARACTERIZACIÓN DE LOS CENTROS DE INVESTIGACIÓN QUE HAN PUBLICADO EN EL <i>Boletín Geológico y Minero</i> (período 1989-1998)						1989-1998 <sup>a</sup>	
1º LUSTRO (1989-1993)			2º LUSTRO (1994-1998)				
N	E	TOTAL	N	E	TOTAL		
<b>CENTROS PÚBLICOS</b>							
- Universidades	21	7	28	33	16	49	
- OPIS o similares	5	4	9	6	8	14	
- Otros	6	0	6	7	1	8	
Total	32	11	43	46	25	71	
<b>ENTIDADES PRIVADAS</b>							
Total	21	1	22	25	9	34	
<b>TOTALES</b>	<b>53</b>	<b>12</b>	<b>65</b>	<b>71</b>	<b>34</b>	<b>105</b>	
						<b>102</b>	
						<b>44</b>	
						<b>146</b>	

N= nacionales y E= extranjeros

<sup>a</sup>- Las cifras que se citan a continuación no coinciden con la suma de las columnas precedentes, pues suponen el total de distintos centros que aparecen en los dos lustros investigados. Aquellos que aparecen en ambos períodos, sólo han sido tenidos una vez en cuenta (N.A.).

y empresas que han escrito en la revista suponen una cifra muy considerable.

2.º Que el incremento producido durante el segundo lustro entre los distintos centros, tanto nacionales como extranjeros, es de un 61.5 %. Dicho crecimiento se desarrolla a todos los niveles, tanto en los Centros Públicos (65%) como en las Entidades Privadas (54.5%).

3.º Que prácticamente están presentes la totalidad de los centros universitarios españoles, junto con todas las universidades donde se imparte la Licenciatura de Geología (ver Anexo IV).

4.º Que se produce una importante representación del sector privado, que supone el 43% a nivel nacional y un 37% del total.

5.º Que los centros extranjeros constituyen el 30% del total de organismos representados. En el caso de las universidades este valor aumenta, pues las extranjeras representan un 36.5% del total de los centros universitarios.

No obstante, conviene contrastar la información recogida en este apartado con la referida al número de autores por organismo, pues ello va a evaluar con más exactitud el peso específico de cada uno de los diferentes centros.

#### DISTRIBUCIÓN DE AUTORES POR CENTROS DE INVESTIGACIÓN

La valoración de los distintos centros de investigación se ha establecido en función del número de sus investigadores que, durante los últimos diez años, han publicado en el *Boletín Geológico y Minero*. Por ello, y para una mayor facilidad y poder establecer una comparación directa con los resultados de la tabla anterior se ha creado la Tabla III.

Del análisis de dicha tabla pueden deducirse ciertos aspectos:

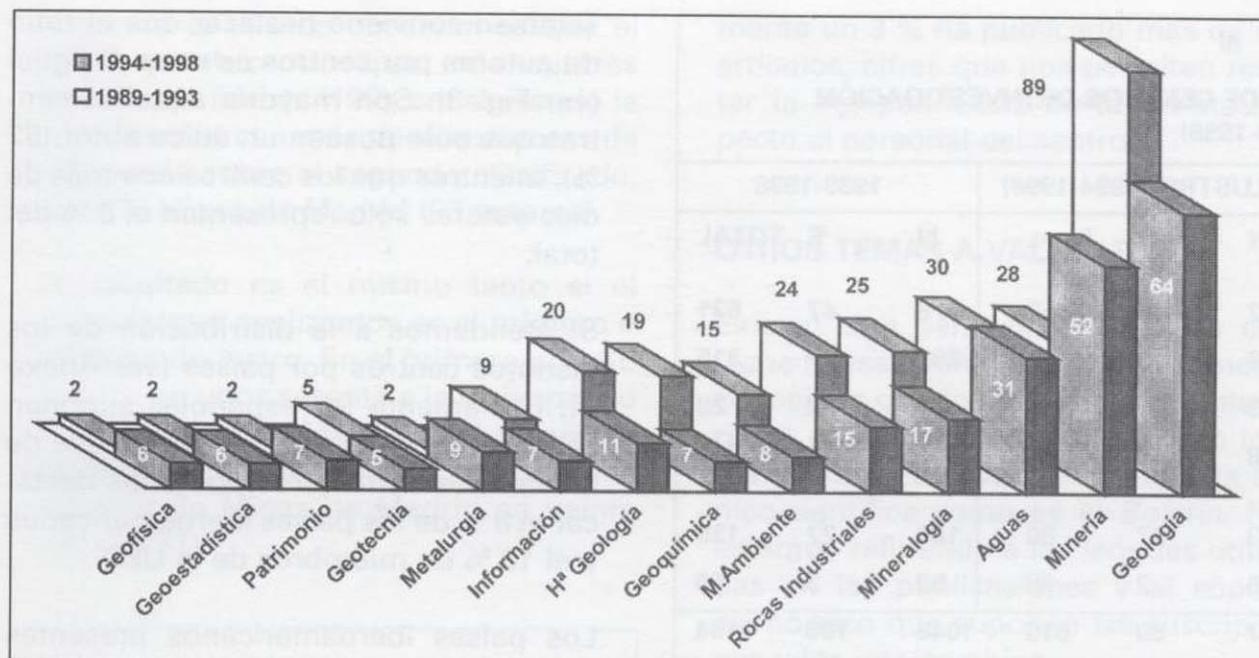


Fig. 1.- Distribución de las diferentes temáticas del *Boletín Geológico y Minero* (período 1989-1998).

considerar a la hora de sacar las conclusiones correspondientes. Inicialmente parece que se prima a los trabajos realizados por varios autores sobre los que están escritos por uno o dos únicamente, no obstante hay que tener en cuenta algunos aspectos:

- 1.º Que en la época que se está analizando, 1989-1998, la tónica general de los equipos de investigación era publicar en conjunto y no individualmente. Esto último se dejaba para trabajos muy especiales (relacionados con tesis de licenciatura o doctorales) o cuando se estaba abordando una línea de trabajo novedosa.
- 2.º Que el publicar en conjunto implica un mayor grado de compromiso y de confianza, pues conlleva poner

de acuerdo a distintas personas, cosa que no ocurre cuando el trabajo está firmado por uno o dos únicos autores.

- 3.º Que el método puede aplicarse sin producir desviaciones importantes, pues la relación número de autores (1154) por artículo publicado (518) es ligeramente superior a dos.

Un resumen de los diferentes centros de trabajo que han aportado autores a las páginas de la revista, durante el período 1989-1998 (ver Anexos I al III), queda recogido en la Tabla II.

Del análisis pormenorizado de la información contenida en la tabla anterior se deducen aspectos dignos de resaltar:

- 1.º Que los 146 centros de investigación

y empresas que han escrito en la revista suponen una cifra muy considerable.

2.º Que el incremento producido durante el segundo lustro entre los distintos centros, tanto nacionales como extranjeros, es de un 61.5 %. Dicho crecimiento se desarrolla a todos los niveles, tanto en los Centros Públicos (65 %) como en las Entidades Privadas (54.5 %).

3.º Que prácticamente están presentes la totalidad de los centros universitarios españoles, junto con todas las universidades donde se imparte la Licenciatura de Geología (ver Anexo IV).

4.º Que se produce una importante representación del sector privado, que supone el 43 % a nivel nacional y un 37 % del total.

5.º Que los centros extranjeros constituyen el 30 % del total de organismos representados. En el caso de las universidades este valor aumenta, pues las extranjeras representan un 36.5 % del total de los centros universitarios.

No obstante, conviene contrastar la información recogida en este apartado con la referida al número de autores por organismo, pues ello va a evaluar con más exactitud el peso específico de cada uno de los diferentes centros.

## DISTRIBUCIÓN DE AUTORES POR CENTROS DE INVESTIGACIÓN

La valoración de los distintos centros de investigación se ha establecido en función del número de sus investigadores que, durante los últimos diez años, han publicado en el *Boletín Geológico y Minero*. Por ello, y para una mayor facilidad y poder establecer una comparación directa con los resultados de la tabla anterior se ha creado la Tabla III.

Del análisis de dicha tabla pueden deducirse ciertos aspectos:

- 1.º Existe un incremento generalizado de autores en el segundo quinquenio que supone un 14.5 % de aumento, repitiéndose homogéneamente en todos los apartados, tanto a nivel nacional como extranjero (ver Anexo II).

CARACTERIZACIÓN DE LOS CENTROS DE INVESTIGACIÓN QUE HAN PUBLICADO EN EL <i>Boletín Geológico y Minero</i> (período 1989-1998)									
1º LUSTRO (1989-1993)			2º LUSTRO (1994-1998)			1989-1998 <sup>2</sup>			
CENTROS PÚBLICOS	N	E	TOTAL	N	E	TOTAL	N	E	TOTAL
- Universidades	21	7	28	33	16	49	40	23	63
- OPIS o similares	5	4	9	6	8	14	8	10	18
- Otros	6	0	6	7	1	8	10	1	11
Total	32	11	43	46	25	71	58	34	92
ENTIDADES PRIVADAS									
Total	21	1	22	25	9	34	44	10	54
TOTALES	53	12	65	71	34	105	102	44	146

N= nacionales y E= extranjeros  
<sup>2</sup>- Las cifras que se citan a continuación no coinciden con la suma de las columnas precedentes, pues suponen el total de distintos centros que aparecen en los dos lustros investigados. Aquellos que aparecen en ambos períodos, sólo han sido tenidos una vez en cuenta (N.A.).

TABLA III									
DISTRIBUCIÓN DE AUTORES POR TIPOS DE CENTROS DE INVESTIGACIÓN (período 1989-1998)									
	1º LUSTRO (1989-1993)			2º LUSTRO (1994-1998)			1989-1998		
CENTROS PÚBLICOS	N	E	TOTAL	N	E	TOTAL	N	E	TOTAL
- Universidades	266	7	273	312	40	352	578	47	631
- OPIS o similares	165	8	173	123	19	142	288	27	315
- Otros	8	1	9	13	1	14	21	2	20
Total	439	16	455	448	60	508	887	76	963
ENTIDADES PRIVADAS	55	0	55	53	27	80	108	27	135
INDIVIDUALIDADES	27	1	28	26	2	28	53	3	56
TOTALES	521	17	538	527	89	616	1048	106	1154

N= nacionales y E= extranjeros

Así los centros públicos sufren un aumento global del 11.5 %, repartidos de la siguiente forma: universidades (29 %), otros (55 %) y un ligero descenso de los OPIS (- 18 %). Las empresas mantienen la misma tónica (45.5 %); aunque aquí las responsables del incremento son las extranjeras, que pasan de no tener ningún autor en 1989-1993 a tener 27 en 1994-1998, mientras que las españolas sufren un ligero descenso (- 3.5 %).

2.º La disminución de autores en el apartado de OPIS (-18 %) está directamente ligado, como veremos más adelante, a la disminución de artículos presentados por personal del ITGE.

3.º Que la presencia de autores extranjeros representados (9%) está muy por debajo de la representación de los centros extranjeros (30%).

En el histograma se aprecia como el número total de centros aumenta sensiblemente durante el segundo lustro (algo ya reseñado en la Tabla II), aunque se produce una disminución de participación de la mayoría de las principales universidades españolas, excepción hecha de las de Salamanca, Granada y Huelva que aumentan su presencia de una forma importante: 70.5 %, 400 % y 1300 % respectivamente.

Del análisis de la información podemos destacar que de los diez centros que encabezan la clasificación general en el período 1989-1998 (ver Anexo III), siete de ellos repiten los lugares de honor durante el primer y el segundo lustro: ITGE, ETSI Minas de Madrid, Universidad Complutense de Madrid, CSIC, Universidad de Barcelona, Universidad Autónoma de Madrid y Universidad de Oviedo, lo que supone un dato muy interesante al implicar una cierta reiteración.

También conviene destacar que el ratio de autores por centros es muy desigual (ver Fig. 3). Son mayoría aquellos centros que sólo poseen un único autor (62 %), mientras que los centros con más de diez autores sólo representan el 8 % del total.

Si atendemos a la distribución de los distintos centros por países (ver Anexo V), obviamente los españoles suponen casi el 68.5 % del total, mientras que de los centros extranjeros podemos destacar el 8 % de los países iberoamericanos y el 16 % de miembros de la UE.

Los países iberoamericanos presentes son: Argentina, Bolivia, Brasil, Cuba, Perú, Uruguay y Venezuela con un total de 22 autores; mientras que la UE está representada por: Alemania, Bélgica, Francia, Holanda, Italia, Portugal y Reino Unido, que aportan 56 autores. Entre aquellos destacan Argentina y Cuba con 4 y 2 centros y 10 y 6 técnicos respectivamente, mientras que entre los europeos resaltamos a Francia y Portugal con 7 y 5 organismos cada uno y 17 y 22 técnicos cada uno.

#### PRESENCIA DEL ITGE EN LA REVISTA

El papel que teóricamente debería jugar el Instituto Tecnológico Geominero de España, como organismo que soporta el *Boletín Geológico y Minero*, es muy diferente al que le correspondería intrínsecamente como OPI y como principal Organismo Geológico Nacional.

Aunque una revista de las características del *Boletín* podría correr peligro de caer en un clientelismo hacia los técnicos del ITGE, algo no deseable bajo ningún concepto, este hecho no sucede.

Analizando la información existente a lo

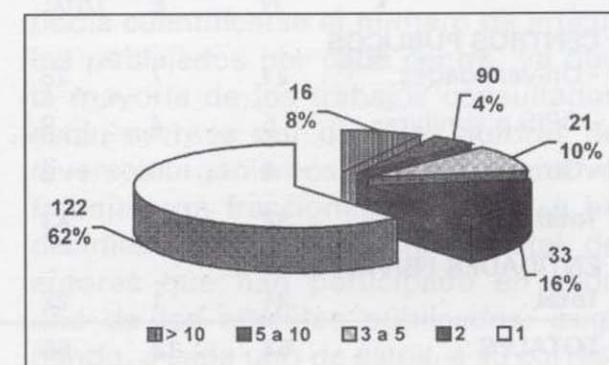


Fig. 3.- Distribución de los centros en función del número de autores en cada uno de ellos.

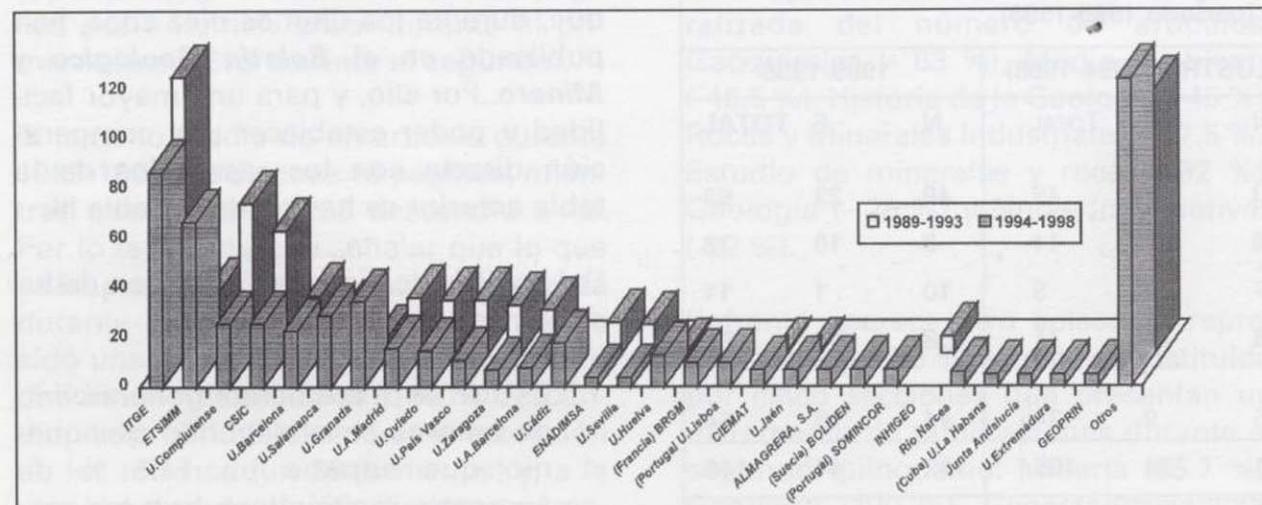


Fig. 2.- Distribución de los treinta principales centros científicos y entidades que han publicado en el *Boletín Geológico y Minero*, en los períodos 1989-1993 y 1994-1998, en función del número de autores implicados.

largo de la década observamos que el ITGE es el centro que más autores aporta a la revista (199), encabezando la clasificación con más de cien autores de diferencia sobre el segundo clasificado, la ETSI Minas de Madrid (93 autores).

El resultado es el mismo tanto si el período que analizamos es el primero o el segundo lustro. En el primero el ITGE supera en unos sesenta a la Universidad Complutense de Madrid (112 por 61) y en el segundo, únicamente aventaja a la Escuela de Minas de Madrid en veinte (87 por 67).

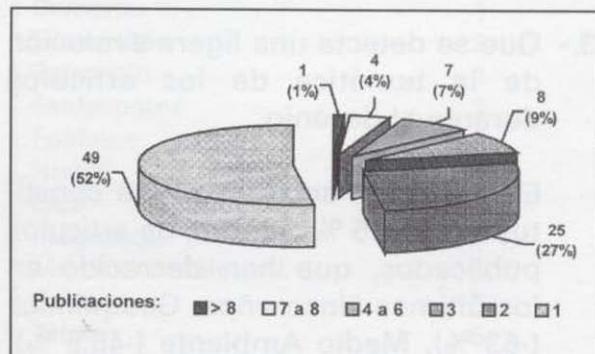


Fig. 4.- Distribución del número de autores del ITGE en función del número de obras escritas.

No obstante, y a pesar de estas cifras, no se puede aseverar que haya una patrimonialización de las páginas del *Boletín Geológico y Minero* por parte del personal técnico del ITGE; pues, tras analizar la totalidad de los artículos publicados en estos últimos diez años, podemos asegurar que sólo hay un total de 149 artículos donde el autor o alguno de los coautores son o eran, en aquel momento, personal del ITGE. Estos artículos han estado firmados por un total de 199 autores, que equivalen realmente a 94 técnicos del ITGE, pues algunos de ellos son autores de más de un artículo. La distribución real es como sigue: 49 son autores de un solo artículo, 25 de dos y sólo 5 han escrito más de seis artículos.

Pero hay que tener en cuenta que, aunque la cifra de 94 técnicos pueda parecer exagerada, el personal titulado del ITGE en la actualidad está rondando las 200 personas, a las que habría que añadir el personal técnico eventual (tanto contratado como becario) que ha desarrollado su trabajo durante la década estudiada y que podríamos evaluar en unas 400 personas más. Por ello estaríamos hablando de unas 600 personas como mínimo, de las que sólo un 15 % han utilizado las páginas de la revista y únicamente un 3 % ha publicado más de dos artículos, cifras que nos permiten resaltar la independencia de la revista respecto al personal del centro.

## OTROS TEMAS A VALORAR

Existen otra serie de temas que conviene revisar, aunque pueden ser menos conocidos que los tratados con anterioridad, pero que presentan un gran interés a la hora de evaluar una revista técnico-científica como es el *Boletín*. Nos estamos refiriendo a las lenguas utilizadas en las publicaciones y al soporte económico que suponen las suscripciones y los intercambios.

Los idiomas utilizados en la revista a lo largo de estos diez años han sido el portugués, inglés y español (ver Fig. 5), con una clarísima desviación hacia el español.

Para corroborar si los datos anteriores son representativos, se ha valorado la distribución de las diferentes lenguas durante los 31 años de la revista con su actual nombre (ver Fig. 6). Los resultados obtenidos son prácticamente los mismos en cuanto a porcentajes, salvo la actual presencia del francés y el alemán que antes no habían hecho aparición.

Otro aspecto de sumo interés es la política de suscripciones e intercambios seguidos por la revista durante estos años.

En la actualidad existen un total de 419 intercambios y 230 suscriptores de pago, de los cuales el 90 % son nacionales. De éstos, 98 (42.5 %) lo son a nivel personal y 132 (57.5 %) a nivel institucional.

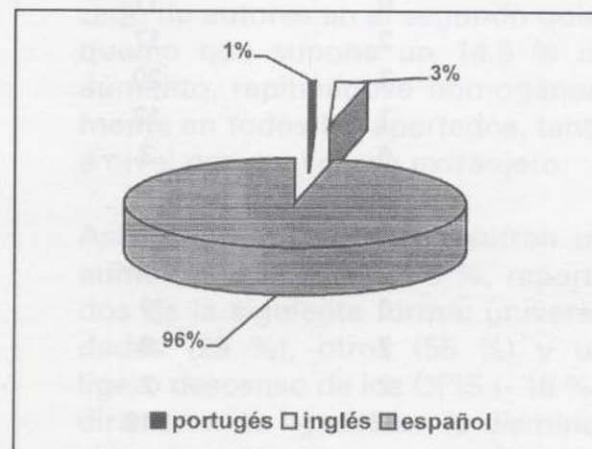


Fig. 5.- Distribución de los idiomas empleados en el *Boletín Geológico y Minero* durante 1989-1998.

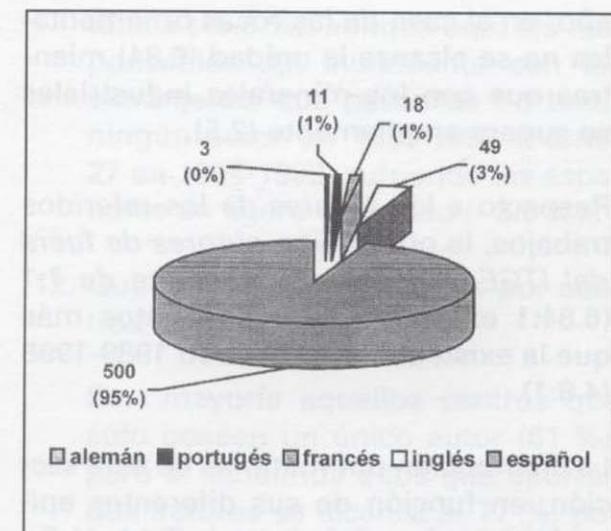


Fig. 6.- Distribución de los idiomas empleados en el *Boletín Geológico y Minero* durante 1967-1998.

Los suscriptores individuales mayoritariamente son españoles (95 %) y preferentemente asociados a la universidad, existiendo uno sólo perteneciente al ITGE. Respecto a los suscriptores institucionales el 86 % son españoles, de los cuales el 37 % corresponden a empresas relacionadas con las Ciencias de la Tierra (mayoritariamente mineras) y un 25 % corresponden a universidades.

En el caso de los suscriptores institucionales extranjeros (18), el 16.5 % son centros universitarios (Chicago, Colonia y Heidelberg) y sólo un 11 % son empresas de ámbito geológico.

## UN EJEMPLO PRÁCTICO DE LA EVOLUCIÓN TEMÁTICA DE LA REVISTA. LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

Para tener una visión completa de una sección temática se ha considerado oportuno revisar la evolución del sector de las Rocas y Minerales Industriales, habiéndose decidido elegir un tramo más amplio de tiempo, por lo que se consideró el período 1968-1998 que corresponde a la nueva época del Boletín con ésta denominación.

En la Tabla IV se recoge la distribución de los diferentes artículos publicados en función de la temática y del origen de los autores y se puede observar que, a excepción de los años 1972 y 1996, en todos los demás existen artículos de la sección en análisis.

De los 104 artículos existentes el 75 % corresponden a minerales industriales. Respecto al número de artículos por

año, en el caso de las rocas ornamentales no se alcanza la unidad (0.84) mientras que con los minerales industriales se supera ampliamente (2.5).

Respecto a los autores de los referidos trabajos, la proporción *autores de fuera del ITGE/TGE* es prácticamente de 7:1 (6.84:1 exactamente), dos puntos más que la existente en el período 1989-1998 (4.8:1).

La distribución por materias de ésta sección, en función de sus diferentes epígrafes, queda reflejada en la Tabla V. En ella se puede apreciar que los minerales industriales que más han sido tratados durante esta treintena de años, en las

páginas de las revista, han sido: arcillas, barita, magnesita, sales y talco; mientras que, en el caso de las rocas ornamentales, las principales han sido los granitos y los mármoles.

#### CONCLUSIONES

Durante el período 1989-1994 se han estudiado los diferentes aspectos relacionados con la totalidad de los artículos publicados en el *Boletín Geológico y Minero* así como las características más importantes de la revista, habiéndose llegado a las siguientes conclusiones:

1.- Que el número total de artículos

revisados ha sido de 518, reunidos en 60 números de la revista, habiéndose agrupado las temáticas en 14 secciones diferentes.

2.- Que se observa una disminución del número de artículos en el quinquenio 1994-1998, pasándose de 273 a 245, lo que supone un descenso del 11.5 %. Ello se debe realmente a la disminución que se produce en el tamaño de los volúmenes que pasan de tener 957 páginas de media en el primer quinquenio a 623 durante el segundo, lo que supone un descenso del 35 %.

3.- Que se detecta una ligera evolución de la temática de los artículos durante el decenio.

Existen siete secciones, que constituyen el 63.5 % del total de artículos publicados, que han decrecido en los últimos cinco años: Geoquímica (-63 %), Medio Ambiente (-46.5 %), Historia de la Geología (-45 %), Rocas y Minerales Industriales (-37.5 %), Estudio de minerales y rocas (-32 %), Geología (-28 %) y Notas Informativas (-22 %).

Enfrente aparece Minería (86 %), Geofísica (100 %), Geoestadística (200 %), Conservación del Patrimonio Geológico-Minero (250 %) y Metalurgia y Mineralurgia (350 %), que representan el 22.5 % de los artículos, y que presentan un incremento de publicaciones durante el segundo quinquenio.

Finalmente hay dos secciones, que suponen el 14 % del total del articulado, que no han sufrido variación a lo largo del decenio: Aguas Subterráneas (3.3 %) y Geotecnia (0 %).

No obstante, para valorar en su justa medida los datos referidos previamente, conviene tener presente que sólo cinco secciones: Geología (29.5 %), Minería (15.5 %), Aguas Subterráneas (11.5 %), Estudio de minerales y rocas (8 %) y Rocas y Minerales Industriales (7.5 %) representan, por si solas, el 72 % del total de las publicaciones.

4.- Que a nuestro entender, los 146 centros de investigación y empresas que han escrito en la revista durante este tiempo, suponen una cifra muy considerable para una revista científica.

**T A B L A IV**  
DISTRIBUCIÓN DE TEMÁTICAS Y AUTORES EN EL  
*Boletín Geológico y Minero* (1968-1998)

AÑO	Rocas Ornamentales	Minerales Industriales	Autores del ITGE	Autores de fuera del ITGE
1968	0	4	2	2
1969	0	2	0	4
1970	0	3	1	4
1971	0	1	0	3
1972	0	0	0	0
1973	0	3	Div. Minería <sup>3</sup>	4
1974	0	6	Div. Minería + 2	8
1975	0	3	Div. Minería + 1	1
1976	2	3	0	7
1977	0	2	0	5
1978	0	3	0	4
1979	0	1	0	3
1980	0	5	0	13
1981	0	2	0	5
1982	0	3	1	6
1983	2	4	1	15
1984	0	3	1	7
1985	2	3	0	11
1986	2	0	0	6
1987	2	0	0	3
1988	0	4	0	11
1989	2	3	2	17
1990	0	7	3	20
1991	1	2	1	12
1992	0	4	6	3
1993	2	3	1	9
1994	5	0	3	16
1995	1	2	0	10
1996	0	0	0	0
1997	3	1	2	8
1998	2	1	2	2
Total	26	78	32	219

<sup>3</sup>.- A la hora de contabilizar el número de autores del ITGE, a la División de Minería se la ha contado como un solo autor (N.A.).

**T A B L A V**  
DISTRIBUCIÓN POR MATERIAS

Tipo de Mineral Industrial	Nº. de artículos	Tipo de Roca Ornamental	Nº. de artículos
Alabastro (*)	1	Areniscas	2
Arcillas s.l.	14	Granitos s.l.	8
Arcillas especiales	9	Mármoles s.l.	6
Arenas silíceas	1	Pizarras	3
Áridos (**)	1	R. Ornamentales s.l.	5
Asbesto	2	R. Silíceas	2
Azufre	2		
Barita	6		
Bauxita + alunita	4		
Caolín	2		
Caliza (***)	1		
Cemento (***)	1		
Diatomitas	2		
Estroncio	1		
Feldespatos	1		
Fosfatos	2		
Hierro	4		
Litio	1		
Magnesita	5		
Min. Industriales s.l.	5		
Sales	5		
Talco	5		
Zeolitas	3		
<b>Total</b>	<b>78</b>		

(\*)- Comercialmente se considera como Piedra Natural, aunque creemos más adecuada su integración en éste epígrafe

(\*\*)- A pesar de que los áridos tienen su apartado propio y las calizas se incluyen en el de Rocas Industriales

5.- Que el incremento producido durante el segundo lustro respecto a los distintos centros colaboradores, bien sean nacionales o extranjeros, es de un 61.5 %. Dicho crecimiento se produce a todos los niveles, tanto en los Centros Públicos (65 %) como en las Entidades Privadas (54.5 %).

6.- Que prácticamente todos los centros universitarios españoles están presentes, junto con la totalidad de las universidades donde se imparte la licenciatura de Geología.

7.- Que existe una importante representación del sector privado (43 % a nivel nacional y 37 % del total).

8.- Que los centros extranjeros constituyen el 30 % del total de organismos representados; con un 55.5 de los OPIS existentes, un 36.5 % del total de centros universitarios y un 18.5 en el caso de las entidades privadas.

Aunque la presencia de autores extranjeros representados (9 %) está muy por debajo de dichos valores.

9.- Que la distribución de centros en función de su país de origen implica que el 68.5 son españoles; del resto, el 16 % corresponde a países de la UE y el 8 % a países iberoamericanos.

10.- Que el total de autores que han publicado trabajos en el Boletín durante este último decenio ha sido de 1154.

11.- Que existe un incremento generalizado de autores en el segundo quinquenio que supone un 14.5 % de aumento, repitiéndose homogéneamente en todos los apartados, tanto a nivel nacional como extranjero.

Así los centros públicos sufren un aumento global del 11.5 %, repartidos de la siguiente forma: universidades (29 %), otros (55 %) y un ligero descenso de los OPIS (- 18 %), directamente ligado con la disminución de artículos presentados por personal del ITGE.

Las empresas mantienen la misma

tónica (45.5 %); aunque aquí las responsables del incremento son las extranjeras, que pasan de no tener ningún autor en 1989-1993 a tener 27 en 1994-1998, sufriendo las españolas un ligero descenso (- 3.5 %).

12.- Que la relación de autores por centros es muy desigual.

Son mayoría aquellos centros que sólo poseen un único autor (61 %), pero si incluimos a los que aportan dos autores se alcanza el 77 %; por contra, los centros con más de diez autores sólo representan el 8 % del total.

13.- Que a lo largo de estos diez años se han publicado un total de 149 artículos firmados por personal del ITGE y que representaban a 94 técnicos del organismo. De ellos 49 son autores de un solo artículo, 25 han escrito dos y sólo 5 han escrito más de seis artículos.

Estos aspectos constatan que la revista no ha sido utilizada de forma patrimonialista por parte del ITGE.

14.- Que como ejemplo práctico de la evolución temática de la revista se ha analizado el caso de las Rocas y los Minerales Industriales durante el período 1969-1998, encontrándose 104 artículos, de los cuales el 75 % (78) corresponden a minerales industriales y el 25 % (26) a rocas ornamentales.

Siendo las arcillas, barita, magnesita, sales y talco los minerales industriales que más han sido tratados en la revista y los granitos y los mármoles las principales rocas ornamentales.

15.- Que en el caso de los minerales industriales el ratio nº. artículos/año es de 2.5, mientras que los temas de rocas ornamentales no alcanzan la unidad (0.84).

16.- Que la proporción autores de fuera del ITGE/autores del ITGE es prácticamente de 7:1, dos puntos superior a la relación existente a nivel general en el período 1989-1998.

17.- Que el idioma principal de la revista es el español (95 %), seguido a gran distancia por el inglés (3 %) y el francés (1%).

18.-Que en la actualidad existen 230 suscriptores de pago, de los cuales el 90 % son nacionales y el 10 % restante son extranjeros, y 419 intercambios.

De los suscriptores de pago el 42.5 % lo son a nivel personal y el 57.5 % a nivel institucional. Respecto a los suscriptores institucionales el 86 % son españoles, de los cuales el 37 % son empresas del sector y un 25 % universidades.

19.-Que hay que resaltar la regularidad y puntualidad de la revista en su aparición, su cuidada presentación y la buena política, a nuestro entender, de procurar evitar al máximo los números monográficos y/o dobles, restringiéndolos a casos muy excepcionales.

20.-Que el *Boletín Geológico y Minero* debe afrontar los nuevos retos que supone su relanzamiento, de cara a ocupar el puesto que le corresponde

en el nuevo escenario que representa el tercer milenio, con ilusión y esperanza. Se parte de una infraestructura suficiente que, avalada por la experiencia histórica de la revista, le va a permitir alcanzar nuevos logros en esta etapa que ahora se inicia.

Las metas que deberían alcanzarse son todas aquellas que permitan transformar y consolidar al *Boletín* como una de las mejores revistas científico-técnicas del área de las Ciencias de la Tierra, dentro de su área geográfica y socio-cultural.

Para ello debería abrirse a nuevos mercados potenciales (Iberoamérica, Unión Europea y área circundarrénea), con lo que debería plantearse el tema de las lenguas aceptadas en la revista; alcanzar mayor credibilidad en los ambientes investigadores (obtener la inserción en el Citation Index) sin olvidar procurar una mejor penetración en

ámbitos técnicos y aplicados (renovación de la política de suscripciones e intercambios), y todas aquellas medidas que permitan situar al *Boletín Geológico y Minero* en el sitio que le corresponde por tradición y por medios técnicos potenciales.

#### AGRADECIMIENTOS

Deseo mostrar mi más profundo agradecimiento a D. Leopoldo Aparicio y Ladrón de Guevara, Editor del *Boletín Geológico y Minero*, por todas las facilidades que me ha dispensado a la hora de redactar este artículo junto con una serie de consejos que me han permitido afrontarlo desde enfoques que, en un principio, no habría pensado y que sin duda han servido para enriquecerlo.

Igualmente también deseo mostrar mi gratitud a aquellas personas que han actuado como "referees" en la valoración del referido trabajo.

**ANEXO I**  
**RELACIÓN DE CENTROS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE AUTORES QUE APORTAN**  
(período 1989-1993)

CENTRO DE INVESTIGACIÓN	AUTORES 1989-1993	PAÍS	CENTRO DE INVESTIGACIÓN	AUTORES 1989-1993	PAÍS
ITGE	112	España	Univ. de Huelva	1	España
Univ. Complutense de Madrid	61	España	CIEMAT	1	España
CSIC	50	España	Univ. de Jaén	1	España
ETSI Minas (Madrid)	26	España	Junta de Andalucía	1	España
Univ. de Barcelona	24	España	EUP de Almadén	1	España
Univ. Autónoma de Madrid	23	España	IGT	1	España
Univ. de Oviedo	22	España	Junta de Castilla y León	1	España
Univ. del País Vasco	22	España	AGRUMINSA	1	España
Univ. de Zaragoza	20	España	C.E.Inv. del Agua de Barcelona	1	España
Univ. Autónoma de Barcelona	18	España	CISA	1	España
Univ. de Salamanca	17	España	Col. Univ. de la Rioja	1	España
ENADIMSA	13	España	ETSI Industriales (Barcelona)	1	España
Univ. de Sevilla	12	España	EXMINESA	1	España
Univ. de Granada	7	España	Fundación "Gómez Pardo"	1	España
INHIGEO	7	España	Geomecánica, S.A.	1	España
INTECSA	4	España	IMINSA	1	España
SOCIMEP	4	España	Individual	1	Bolivia
Academia de Ciencias	3	Unión Soviética	Individuales <sup>1</sup>	26	España
Geoexploraciones, S.A.	3	España	Inst <sup>2</sup> . Esp. Oceanografía	1	España
MAYASA	3	España	Inst <sup>2</sup> . Geol. Geoq. de Sverdlovsk	1	Unión Soviética
Institutos de Bachillerato	2	España	INYPSA	1	España
CONICET	2	Argentina	MAP	1	España
ETSI Caminos (Madrid)	2	España	Servi Geologic de Catalunya	1	España
AGESA	2	España	Soc. Espeleologica Brasileira	1	Brasil
CNIM	2	España	TOLSA	1	España
DIMASA	2	España	Univ. Central	1	Venezuela
ENDESA	2	España	Univ. de Heidelberg	1	Alemania
ETSI Agrónomos (Lugo)	2	España	Univ. de Murcia	1	España
ETSI Agrónomos (Madrid)	2	España	Univ. de Nantes	1	Francia
INGEMISA	2	España	Univ. de Paris-Sud	1	Francia
Inst <sup>2</sup> . Geocronológico de Pisa	2	Italia	Univ. de Provence-Marsella	1	Francia
Lignitos, S.A.	2	España	Univ. de Tacna	1	Perú
SAMCA	2	España	Univ. de Toulouse	1	Francia
Univ. de Cantabria	2	España			

<sup>1</sup>- Están incluidos todos aquellos autores españoles que han firmado su artículo a nivel individual y totalmente desligados de entidad alguna.

#### ANEXO II

**RELACIÓN DE CENTROS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE AUTORES QUE APORTAN**  
(período 1994-1998)

CENTRO DE INVESTIGACIÓN	AUTORES 1989-1993	PAÍS	CENTRO DE INVESTIGACIÓN	AUTORES 1989-1993	PAÍS
ITGE	87	España	Univ. de Languedoc	2	Francia
ETSI Minas (Madrid)	67	España	Univ. de Montreal	2	Canadá
Univ. de Granada	35	España	Univ. de Valencia	2	España
Univ. de Salamanca	29	España	Univ. Nacional del Litoral	2	Argentina
Univ. Complutense de Madrid	26	España	Academia de Ciencias	1	Unión Soviética
CSIC	26	España	CONICET	1	Argentina
Univ. de Barcelona	23	España	ETSI Caminos (Madrid)	1	España
Univ. de Cádiz	18	España	IGT	1	España
Univ. Autónoma de Madrid	16	España	Junta de Castilla y León	1	España
Univ. de Oviedo	15	España	CEDEX	1	España
Univ. de Huelva	13	España	Comunidad de Madrid	1	España
Univ. del País Vasco	11	España	EGEO	1	España
BRGM	10	Francia	ENI	1	España
Univ. de Lisboa	10	Portugal	EPTISA	1	España
Univ. Autónoma de Barcelona	8	España	Estudio y Control	1	España
Univ. de Zaragoza	7	España	ETSI Caminos (Barcelona)	1	España
CIEMAT	7	España	ETSI Caminos (Cantabria)	1	España
Univ. de Jaén	7	España	ETSI Industriales (Terrassa)	1	España
Almagrera, S.A.	7	España	ETSI Minas (Oviedo)	1	España
BOLIDEN Mineral	7	Suecia	Geological Survey of Canada	1	Canadá
SOMINCOR	7	Portugal	Geological Survey of Japón	1	Japón
Río Narcea Gold Mines	6	España	GEOMINAS, S.C.	1	España
GEOPRIN, S.A.	5	España	IDRENA	1	España
Univ. de Extremadura	5	España	Individual	1	Australia
Univ. de La Habana	5	Cuba	Individual	1	Portugal
ENADIMSA	4	España	Individuales <sup>2</sup>	26	España
Univ. de Sevilla	4	España	Ingeniería 75	1	España
Junta de Andalucía	4	España	INITEC	1	España
NAVAN	4	España	Inst <sup>3</sup> . Gemológico de España	1	Rumanía
Río Tinto Minera, S.A.	4	España	Inst <sup>3</sup> . Geol. Geof. de Bucaresti	1	España
Univ. de Vigo	4	España	Inst <sup>3</sup> . Tecnol. Materiales	1	Cuba
Institutos de Bachillerato	3	España	Mº de Ciencia y Tecnología	1	España
CERAK	3	Bélgica	MEC	1	España
Univ. de Roma	3	Italia	MINER	1	España
Univ. de Salta	3	Argentina	OTEC	1	España
Univ. de Southampton	3	Reino Unido	Riesgos y Sondeos	1	España
Univ. Politécnica de Catalunya	3	España	RIOMIN	1	España
EUP de Almadén	2	España	SECOROC, S.A.	1	España
CGS, S.A.	2	España	SIGEA	1	Italia
Comunidad Murciana	2	España	Soc. Española de Talcos, S.A.	1	España
DATAMINE	2	España	St. Barbara Co.	1	Reino Unido
ETSI Caminos (La Coruña)	2	España	Técnicas Reunidas, S.A.	1	España
Inst <sup>3</sup> . Geológico e Mineiro	2	Portugal	Univ. Alfonso X El Sabio	1	España
LEPT/ENSAM	2	Francia	Univ. de Braunschweig	1	Alemania
Metales Preciosos, S.A.	2	España	Univ. de Córdoba	1	España
OUTOKUMPU	2	Finlandia	Univ. de Georgia	1	Estados Unidos
Pyhäsalmi Mine	2	Finlandia	Univ. de Helsinki	1	Finlandia
SADIEL, S.A.	2	España	Univ. de La Coruña	1	España
SEIEMSA	2	España	Univ. de la República	1	Uruguay
Servicio Geológico de Portugal	2	Portugal	Univ. de las Islas Baleares	1	España
Univ. de Alicante	2	España	Univ. de Las Palmas	1	España
Univ. de Almería	2	España	Univ. de Lund	1	Suecia
Univ. de Buenos Aires	2	Argentina	Univ. de Valladolid	1	España
Univ. de Delft	2	Holanda	Univ. Federal de Paraná	1	Brasil

<sup>2</sup>- Están incluidos todos aquellos autores españoles que han firmado su artículo a nivel individual y totalmente desligados de entidad alguna.

**ANEXO III**  
**RELACIÓN DE CENTROS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE AUTORES QUE APORTAN**  
 (período 1989-1998)

<b>CENTRO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>AUTORES</b>				<b>CENTRO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>AUTORES</b>			
	<b>1989-1993</b>	<b>1994-1998</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PAÍS</b>		<b>1989-1993</b>	<b>1994-1998</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PAÍS</b>
ITGE	112	87	<b>199</b>	España	Lignitos, S.A.	2	0	<b>2</b>	España
ETSI Minas (Madrid)	26	67	<b>93</b>	España	Metales Preciosos, S.A.	0	2	<b>2</b>	España
Univ. Complutense de Madrid	61	26	<b>87</b>	España	OUTOKUMPU	0	2	<b>2</b>	Finlandia
CSIC	50	26	<b>76</b>	España	Pyhäsalmi Mine	0	2	<b>2</b>	Finlandia
Univ. de Barcelona	24	23	<b>47</b>	España	SADIEL, S.A.	0	2	<b>2</b>	España
Univ. de Salamanca	17	29	<b>46</b>	España	SAMCA	2	0	<b>2</b>	España
Univ. de Granada	7	35	<b>42</b>	España	SEIEMSA	0	2	<b>2</b>	España
Univ. Autónoma de Madrid	23	16	<b>39</b>	España	Servicio Geológico de Portugal	0	2	<b>2</b>	Portugal
Univ. de Oviedo	22	15	<b>37</b>	España	Univ. de Alicante	0	2	<b>2</b>	España
Univ. del País Vasco	22	11	<b>33</b>	España	Univ. de Almería	0	2	<b>2</b>	España
Univ. de Zaragoza	20	7	<b>27</b>	España	Univ. de Buenos Aires	0	2	<b>2</b>	Argentina
Univ. Autónoma de Barcelona	18	8	<b>26</b>	España	Univ. de Cantabria	2	0	<b>2</b>	España
Univ. de Cádiz	0	18	<b>18</b>	España	Univ. de Delft	0	2	<b>2</b>	Holanda
ENADIMSA	13	4	<b>17</b>	España	Univ. de Languedoc	0	2	<b>2</b>	Francia
Univ. de Sevilla	12	4	<b>16</b>	España	Univ. de Montreal	0	2	<b>2</b>	Canadá
Univ. de Huelva	1	13	<b>14</b>	España	Univ. de Valencia	0	2	<b>2</b>	España
BRGM	0	10	<b>10</b>	Francia	Univ. Nacional del Litoral	0	2	<b>2</b>	Argentina
Univ. de Lisboa	0	10	<b>10</b>	Portugal	AGRUMINSA	1	0	<b>1</b>	España
CIEMAT	1	7	<b>8</b>	España	C.E.Inv. del Agua de Barcelona	1	0	<b>1</b>	España
Univ. de Jaén	1	7	<b>8</b>	España	EDEX	0	1	<b>1</b>	España
Almagrera, S.A.	0	7	<b>7</b>	España	CISA	1	0	<b>1</b>	España
BOLIDEN Mineral	0	7	<b>7</b>	Suecia	Col. Univ. de la Rioja	1	0	<b>1</b>	España
INHIGEO	7	0	<b>7</b>	España	Comunidad de Madrid	0	1	<b>1</b>	España
SOMINCOR	0	7	<b>7</b>	Portugal	Egeo	0	1	<b>1</b>	España
Río Narcea Gold Mines	0	6	<b>6</b>	España	ENI	0	1	<b>1</b>	España
GEOPRIN, S.A.	0	5	<b>5</b>	España	EPTISA	0	1	<b>1</b>	España
Institutos de Bachillerato	2	3	<b>5</b>	España	Estudio y Control	0	1	<b>1</b>	España
Junta de Andalucía	1	4	<b>5</b>	España	ETSI Caminos (Barcelona)	0	1	<b>1</b>	España
Univ. de Extremadura	0	5	<b>5</b>	España	ETSI Caminos (Cantabria)	0	1	<b>1</b>	España
Univ. de La Habana	0	5	<b>5</b>	Cuba	ETSI Industriales (Barcelona)	1	0	<b>1</b>	España
Academia de Ciencias	3	1	<b>4</b>	Unión Soviética	ETSI Industriales (Terrassa)	0	1	<b>1</b>	España
INTECSA	4	0	<b>4</b>	España	ETSI Minas (Oviedo)	0	1	<b>1</b>	España
NAVAN	0	4	<b>4</b>	España	EXMINESA	1	0	<b>1</b>	España
Río Tinto Minera, S.A.	0	4	<b>4</b>	España	Fundación "Gómez Pardo"	1	0	<b>1</b>	España
SOCIMEP	4	0	<b>4</b>	España	Geological Survey of Canada	0	1	<b>1</b>	Canadá
Univ. de Vigo	0	4	<b>4</b>	España	Geological Survey of Japón	0	1	<b>1</b>	Japón
CERAK	0	3	<b>3</b>	Bélgica	Geomecánica, S.A.	1	0	<b>1</b>	España
CONICET	2	1	<b>3</b>	Argentina	GEOMINAS, S.C.	0	1	<b>1</b>	España
ETSI Caminos (Madrid)	2	1	<b>3</b>	España	IDRENA	0	1	<b>1</b>	España
EUP de Almadén	1	2	<b>3</b>	España	IMINSA	1	0	<b>1</b>	España
Geexploraciones, S.A.	3	0	<b>3</b>	España	Individual	0	1	<b>1</b>	Australia
MAYASA	3	0	<b>3</b>	España	Individual	1	0	<b>1</b>	Bolivia
Univ. de Roma	0	3	<b>3</b>	Italia	Individual	0	1	<b>1</b>	Portugal
Univ. de Salta	0	3	<b>3</b>	Argentina	Individuales <sup>3</sup>	27	26	<b>53</b>	España
Univ. de Southampton	3	3	<b>3</b>	Reino Unido	Ingeniería	75	0	<b>1</b>	España
Univ. Politécnica de Catalunya	0	3	<b>3</b>	España	INITEC	0	1	<b>1</b>	España
AGESA	2	0	<b>2</b>	España	Inst <sup>o</sup> . Esp. Oceanografía	1	0	<b>1</b>	España
CGS, S.A.	0	2	<b>2</b>	España	Inst <sup>o</sup> . Gemológico de España	0	1	<b>1</b>	España
CNIM	2	0	<b>2</b>	España	Inst <sup>o</sup> . Geol. Geof. de Bucaresti	0	1	<b>1</b>	Rumanía
Comunidad Murciana	0	2	<b>2</b>	España	Inst <sup>o</sup> . Geol. Geoq. de Sverdlovsk	1	0	<b>1</b>	Unión Soviética
DATAMINE	0	2	<b>2</b>	Reino Unido	Inst <sup>o</sup> . Tecnol. Materiales	0	1	<b>1</b>	España
DIMASA	2	0	<b>2</b>	España	INYPSA	1	0	<b>1</b>	España
ENDESA	2	0	<b>2</b>	España	Mº de Ciencia y Tecnología	0	1	<b>1</b>	Cuba
ETSI Agrónomos (Lugo)	2	0	<b>2</b>	España	MAP	1	0	<b>1</b>	España
ETSI Agrónomos (Madrid)	2	0	<b>2</b>	España	MEC	0	1	<b>1</b>	España
ETSI Caminos (La Coruña)	0	2	<b>2</b>	España	MINER	0	1	<b>1</b>	España
IGT	1	1	<b>2</b>	España	OTEC	0	1	<b>1</b>	España
INGEMISA	2	0	<b>2</b>	España	Riesgos y Sondeos	0	1	<b>1</b>	España
Inst <sup>o</sup> . Geocronológico de Pisa	2	0	<b>2</b>	Italia	RIOMIN	0	1	<b>1</b>	España
Inst <sup>o</sup> . Geológico e Mineiro	0	2	<b>2</b>	Portugal	SECOROC, S.A.	0	1	<b>1</b>	España
Junta de Castilla y León	1	1	<b>2</b>	España	Servei Geologic de Catalunya	1	0	<b>1</b>	España
LEPT/ENSAM	0	2	<b>2</b>	Francia	SIGEA	0	1	<b>1</b>	Italia

<sup>3</sup>- Están incluidos todos aquellos autores españoles que han firmado su artículo a nivel individual y totalmente desligados de entidad alguna.

**ANEXO III (Continuación)**

**RELACIÓN DE CENTROS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE AUTORES QUE APORTAN**  
 (período 1989-1998)

<b>CENTRO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>AUTORES</b>				<b>CENTRO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>AUTORES</b>			
	<b>1989-1993</b>	<b>1994-1998</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PAÍS</b>		<b>1989-1993</b>	<b>1994-1998</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PAÍS</b>
Soc. Española de Talcos, S.A.	0	1	<b>1</b>	España	Univ. de la República	0	1	<b>1</b>	Uruguay
Soc. Espeleologica Brasileira	1	0	<b>1</b>	Brasil	Univ. de las Islas Baleares	0	1	<b>1</b>	España
St. Barbara Co.	0	1	<b>1</b>	Reino Unido	Univ. de Las Palmas	0	1	<b>1</b>	España
Técnicas Reunidas, S.A.	0	1	<b>1</b>	España	Univ. de Lund	0	1	<b>1</b>	Suecia
TOLSA	1	0	<b>1</b>	España	Univ. de Murcia	1	0	<b>1</b>	España
Univ. Alfonso X El Sabio	0	1	<b>1</b>	España	Univ. de Nantes	1	0	<b>1</b>	Francia
Univ. Central	1	0	<b>1</b>	Venezuela	Univ. de Paris-Sud	1	0	<b>1</b>	Francia
Univ. de Braunschweig	0	1	<b>1</b>	Alemania	Univ. de Provence-Marsella	1			

**ANEXO IV (Continuación)**  
**RELACIÓN ALFABÉTICA DE LOS DIFERENTES ORGANISMOS  
 QUE HAN PUBLICADO EN EL *Boletín Geológico y Minero*  
 DURANTE EL PERÍODO 1989-1998**

<b>CENTRO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>A U T O R E S</b>				
	<b>1989-1993</b>	<b>1994-1998</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PAÍS</b>
ETSI Industriales (Terrassa)	0	1	1	U	España
ETSI Minas (Madrid)	26	67	93	U	España
ETSI Minas (Oviedo)	0	1	1	U	España
EUP de Almadén	1	2	3	U	España
EXMINESA	1	0	1	E	España
Fundación "Gómez Pardo"	1	0	1	E	España
Geexploraciones, S.A.	3	0	3	E	España
Geological Survey of Canada	0	1	1	OP	Canadá
Geological Survey of Japón	0	1	1	OP	Japón
Geomecánica, S.A.	1	0	1	E	España
GEOMINAS, S.C.	0	1	1	E	España
GEOPRIN, S.A.	0	5	5	E	España
IDRENA	0	1	1	E	España
IGT	1	1	2	E	España
IMINSA	1	0	1	E	España
Individual	1	0	1	I	Bolivia
Individual	0	1	1	I	Australia
Individual	0	1	1	I	Portugal
Individuales	27	26	53	I	España
INGEMISA	2	0	2	E	España
Ingeniería	75	0	1	E	España
INHIGEO	7	0	7	E	España
INITEC	0	1	1	E	España
Inst <sup>o</sup> . Esp. Oceanografía	1	0	1	OP	España
Inst <sup>o</sup> . Gemológico de España	0	1	1	OP	España
Inst <sup>o</sup> . Geocronológico de Pisa	2	0	2	OP	España
Inst <sup>o</sup> . Geol. Geof. de Bucaresti	0	1	1	OP	Rumanía
Inst <sup>o</sup> . Geol. Geoq. de Sverdlovsk	1	0	1	OP	Unión Soviética
Inst <sup>o</sup> . Geológico e Mineiro	0	2	2	OP	Portugal
Inst <sup>o</sup> . Tecnológico. Materiales	0	1	1	OP	España
Institutos de Bachillerato	2	3	5	O	España
INTECSA	4	0	4	E	España
INYPSA	1	0	1	E	España
ITGE	112	87	199	OP	España
Junta de Andalucía	1	4	5	O	España
Junta de Castilla y León	1	1	2	O	España
LEPT/ENSAM	0	2	2	E	Francia
Lignitos, S.A.	2	0	2	E	España
Mº de Ciencia y Tecnología	0	1	1	O	Cuba
MAP	1	0	1	O	España
MAYASA	3	0	3	E	España
MEC	0	1	1	O	España
Metales Preciosos, S.A.	0	2	2	E	España
MINER	0	1	1	O	España
NAVAN	0	4	4	E	España
OTEC	0	1	1	E	España
OUTOKUMPU	0	2	2	E	Finlandia
Pyhäsalmi Mine	0	2	2	E	Finlandia
Riesgos y Sondeos	0	1	1	E	España
Río Narcea Gold Mines	0	6	6	E	España
Río Tinto Minera, S.A.	0	4	4	E	España
RIOMIN	0	1	1	E	España
SADIEL, S.A.	0	2	2	E	España
SAMCA	2	0	2	E	España
SECOROC, S.A.	0	1	1	E	España
SEIEMSA	0	2	2	E	España
Servei Geologic de Catalunya	1	0	1	OP	España
Servicio Geológico de Portugal	0	2	2	OP	Portugal
SIGEA	0	1	1	E	Italia
Soc. Española de Talcos, S.A.	0	1	1	E	España
Soc. Espeleologica Brasileira	1	0	1	E	Brasil
SOCIMEP	4	0	4	E	España

U=Universidades, OP=OPIS o similares, O=Otros, E=Entidades Privadas e I=Individualidades

**ANEXO IV (Continuación)**

**RELACIÓN ALFABÉTICA DE LOS DIFERENTES ORGANISMOS  
 QUE HAN PUBLICADO EN EL *Boletín Geológico y Minero*  
 DURANTE EL PERÍODO 1989-1998**

<b>CENTRO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>A U T O R E S</b>				
	<b>1989-1993</b>	<b>1994-1998</b>	<b>TOTAL</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PAÍS</b>
SOMINCOR	0	7	7	E	Portugal
St. Barbara Co.	0	1	1	E	Reino Unido
Técnicas Reunidas, S.A.	0	1	1	E	España
TOLSA	1	0	1	E	España
Univ. Alfonso X El Sabio	0	1	1	U	España
Univ. Autónoma de Barcelona	18	8	26	U	España
Univ. Autónoma de Madrid	23	16	39	U	España
Univ. Central	1	0	1	U	Venezuela
Univ. Complutense de Madrid	61	26	87	U	España
Univ. de Alicante	0	2	2	U	España
Univ. de Almería	0	2	2	U	España
Univ. de Barcelona	24	23	47	U	España
Univ. de Braunschweig	0	1	1	U	Alemania
Univ. de Buenos Aires	0	2	2	U	Argentina
Univ. de Cádiz	0	18	18	U	España
Univ. de Cantabria	2	0	2	U	España
Univ. de Córdoba	0	1	1	U	España
Univ. de Delft	0	2	2	U	Holanda
Univ. de Extremadura	0	5	5	U	España
Univ. de Georgia	0	1	1	U	Estados Unidos
Univ. de Granada	7	35	42	U	España
Univ. de Heidelberg	1	0	1	U	Alemania
Univ. de Helsinki	0	1	1	U	Finlandia
Univ. de Huelva	1	13	14	U	España
Univ. de Jaén	1	7	8	U	España
Univ. de La Coruña	0	1	1	U	España
Univ. de La Habana	0	5	5	U	Cuba
Univ. de la República	0	1	1	U	Uruguay
Univ. de Languedoc	0	2	2	U	Francia
Univ. de las Islas Baleares	0	1	1	U	España
Univ. de Las Palmas	0	1	1	U	España
Univ. de Lisboa	0	10	10	U	Portugal
Univ. de Lund	0	1	1	U	Suecia
Univ. de Montreal	0	2	2	U	Canadá
Univ. de Murcia	1	0	1	U	España
Univ. de Nantes	1	0	1	U	Francia
Univ. de Oviedo	22	15	37	U	España
Univ. de Paris-Sud	1	0	1	U	Francia
Univ. de Provence-Marsella	1	0	1	U	Francia
Univ. de Roma	0	3	3	U	Italia
Univ. de Salamanca	17	29	46	U	España
Univ. de Salta	0	3	3	U	Argentina
Univ. de Sevilla	12	4	16	U	España
Univ. de Southampton	0	3	3	U	Reino Unido
Univ. de Tacna	1	0	1	U	Perú
Univ. de Toulouse	1	0	1	U	Francia
Univ. de Valencia	0	2	2	U	España
Univ. de Valladolid	0	1	1	U	España
Univ. de Vigo	0	4	4	U	España
Univ. de Zaragoza	20	7	27	U	España
Univ. del País Vasco	22	11	33	U	España
Univ. Federal de Paraná	0	1	1	U	Brasil
Univ. Nacional del Litoral	0	2	2	U	Argentina
Univ. Politécnica de Catalunya	0	3	3	U	España

U=Universidades, OP=OPIS o similares, O=Otros, E=Entidades Privadas e I=Individualidades

## ANEXO V

## DISTRIBUCIÓN DE CENTROS EN FUNCIÓN DE SU PAÍS DE ORIGEN

PAÍS	CENTRO DE INVESTIGACIÓN	A U T O R E S		
		1989-1993	1994-1998	TOTAL
Alemania	Univ. de Braunschweig	0	1	1
Alemania	Univ. de Heidelberg	1	0	1
Argentina	CONICET	2	1	3
Argentina	Univ. de Buenos Aires	0	2	2
Argentina	Univ. de Salta	0	3	3
Argentina	Univ. Nacional del Litoral	0	2	2
Australia	Individual	0	1	1
Bélgica	CERAK	0	3	3
Bolivia	Individual	1	0	1
Brasil	Soc. Espeleologica Brasileira	1	0	1
Brasil	Univ. Federal de Paraná	0	1	1
Canadá	Geological Survey of Canada	0	1	1
Canadá	Univ. de Montreal	0	2	2
Cuba	Mº de Ciencia y Tecnología	0	1	1
Cuba	Univ. de La Habana	0	5	5
España	AGESA	2	0	2
España	AGRUMINSA	1	0	1
España	Almagrera, S.A.	0	7	7
España	C.E.Inv. del Agua de Barcelona	1	0	1
España	CEDEX	0	1	1
España	CGS, S.A.	0	2	2
España	CIEMAT	1	7	8
España	CISA	1	0	1
España	CNIM	2	0	2
España	Col. Univ. de la Rioja	1	0	1
España	Comunidad de Madrid	0	1	1
España	Comunidad Murciana	0	2	2
España	CSIC	50	26	76
España	DIMASA	2	0	2
España	EGEO	0	1	1
España	ENADIMSA	13	4	17
España	ENDESA	2	0	2
España	ENI	0	1	1
España	EPTISA	0	1	1
España	Estudio y Control	0	1	1
España	ETSI Agrónomos (Lugo)	2	0	2
España	ETSI Agrónomos (Madrid)	2	0	2
España	ETSI Caminos (Barcelona)	0	1	1
España	ETSI Caminos (Cantabria)	0	1	1
España	ETSI Caminos (La Coruña)	0	2	2
España	ETSI Caminos (Madrid)	2	1	3
España	ETSI Industriales (Barcelona)	1	0	1
España	ETSI Industriales (Terrassa)	0	1	1
España	ETSI Minas (Madrid)	26	67	93
España	ETSI Minas (Oviedo)	0	1	1
España	EUP de Almadén	1	2	3
España	EXMINESA	1	0	1
España	Fundación "Gómez Pardo"	1	0	1
España	Geoexploraciones, S.A.	3	0	3
España	Geomecánica, S.A.	1	0	1
España	GEOMINAS, S.C.	0	1	1
España	GEOPRIN, S.A.	0	5	5
España	IDRENA	0	1	1
España	IGT	1	1	2
España	IMINSA	1	0	1
España	Individuales	27	26	53
España	INGEMISA	2	0	2
España	Ingeniería 75	0	1	1
España	INHIGEO	7	0	7
España	INITEC	0	1	1
España	Instº. Esp. Oceanografía	1	0	1
España	Instº. Gemológico de España	0	1	1
España	Instº. Tecnolóq. Materiales	0	1	1
España	Institutos de Bachillerato	2	3	5
España	INTECSA	4	0	4

## ANEXO V (Continuación)

## DISTRIBUCIÓN DE CENTROS EN FUNCIÓN DE SU PAÍS DE ORIGEN

PAÍS	CENTRO DE INVESTIGACIÓN	A U T O R E S		
		1989-1993	1994-1998	TOTAL
España	INYPSA	1	0	1
España	ITGE	112	87	199
España	Junta de Andalucía	1	4	5
España	Junta de Castilla y León	1	1	2
España	Lignitos, S.A.	2	0	2
España	MAP	1	0	1
España	MAYASA	3	0	3
España	MEC	0	1	1
España	Metales Preciosos, S.A.	0	2	2
España	MINER	0	1	1
España	NAVAN	0	4	4
España	OTEC	0	1	1
España	Riesgos y Sondeos	0	1	1
España	Río Narcea Gold Mines	0	6	6
España	Río Tinto Minera, S.A.	0	4	4
España	RIOMIN	0	1	1
España	SADIEL, S.A.	0	2	2
España	SAMCA	2	0	2
España	SECOROC, S.A.	0	1	1
España	SEIEMSA	0	2	2
España	Servei Geologic de Catalunya	1	0	1
España	Soc. Española de Talcos, S.A.	0	1	1
España	SOCIMEP	4	0	4
España	Técnicas Reunidas, S.A.	0	1	1
España	TOLSA	1	0	1
España	Univ. Alfonso X El Sabio	0	1	1
España	Univ. Autónoma de Barcelona	18	8	26
España	Univ. Autónoma de Madrid	23	16	39
España	Univ. Complutense de Madrid	61	26	87
España	Univ. de Alicante	0	2	2
España	Univ. de Almería	0	2	2
España	Univ. de Barcelona	24	23	47
España	Univ. de Cádiz	0	18	18
España	Univ. de Cantabria	2	0	2
España	Univ. de Córdoba	0	1	1
España	Univ. de Extremadura	0	5	5
España	Univ. de Granada	7	35	42
España	Univ. de Huelva	1	13	14
España	Univ. de Jaén	1	7	8
España	Univ. de La Coruña	0	1	1
España	Univ. de las Islas Baleares	0	1	1
España	Univ. de Las Palmas	0	1	1
España	Univ. de Murcia	1	0	1
España	Univ. de Oviedo	22	15	37
España	Univ. de Salamanca	17	29	46
España	Univ. de Sevilla	12	4	16
España	Univ. de Valencia	0	2	2
España	Univ. de Valladolid	0	1	1
España	Univ. de Vigo	0	4	4
España	Univ. de Zaragoza	20	7	27
España	Univ. del País Vasco	22	11	33
España	Univ. Politécnica de Catalunya	0	3	3
Estados Unidos	Unidos Univ. de Georgia	0	1	1
Finlandia	OUTOKUMPU	0	2	2
Finlandia	Pyhäsalmi Mine	0	2	2
Francia	Univ. de Helsinki	0	1	1
Francia	BRGM	0	10	10
Francia	LEPT/ENSAM	0	2	2
Francia	Univ. de Languedoc	0	2	2
Francia	Univ. de Nantes	1	0	1
Francia	Univ. de Paris-Sud	1	0	1
Francia	Univ. de Provence-Marsella	1	0	1
Francia	Univ. de Toulouse	1	0	1
Holanda	Univ. de Delft	0	2	2
Italia	Instº. Geocronológico de Pisa	2	0	2

PAÍS	CENTRO DE INVESTIGACIÓN	AUTORES		
		1989-1993	1994-1998	TOTAL
Italia	SIGEA	0	1	1
Italia	Univ. de Roma	0	3	3
Japón	Geological Survey of Japón	0	1	1
Perú	Univ. de Tacna	1	0	1
Portugal	Individual	0	1	1
Portugal	Instº. Geológico e Mineiro	0	2	2
Portugal	Serviço Geológico de Portugal	0	2	2
Portugal	SOMINCOR	0	7	7
Portugal	Univ. de Lisboa	0	10	10
Reino Unido	DATAMINE	0	2	2
Reino Unido	St. Barbara Co.	0	1	1
Reino Unido	Univ. de Southampton	0	3	3
Rumania	Instº. Geol. Geof. de Bucaresti	0	1	1
Suecia	BOLIDEN Mineral	0	7	7
Suecia	Univ. de Lund	0	1	1
Unión Soviética	Academia de Ciencias	3	1	4
Unión Soviética	Instº. Geol. Geoq. de Sverdlovsk	1	0	1
Uruguay	Univ. de la República	0	1	1
Venezuela	Univ. Central	1	0	1

## ANEXO V (Continuación)

## DISTRIBUCIÓN DE CENTROS EN FUNCIÓN DE SU PAÍS DE ORIGEN

# NORMAS DE PUBLICACION PARA LOS AUTORES

Los trabajos inéditos que se reciban para su publicación en el BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO serán revisados por un Comité editorial que decidirá si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

## Texto.

El texto, que será completo (tablas, figuras, fotografías, etc), con pruebas en papel, irá acompañado de la correspondiente grabación en disquete, señalando en el mismo el programa y versión utilizados. Este texto se considerará definitivo. En él serán marcadas las fechas de recepción y aceptación.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, tablas y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse, si es posible. En los originales de las mismas se reseñará el título del trabajo, así como el nombre de los autores.

Todos los trabajos en lengua española irán precedidos de un breve resumen en español e inglés o francés. Los de idiomas extranjeros lo llevarán en su idioma y también en español. Al final de los mismos, y en párrafo aparte, se incluirán las palabras clave, reservándose el último lugar para la localización geográfica, si la hubiere.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original y figuras.

## Idiomas.

Excepcionalmente podrán publicarse trabajos en otros idiomas (preferiblemente inglés o francés), siempre que abarquen temas sobre España.

## Referencias.

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

## Parte gráfica.

La parte gráfica vendrá preparada para ser reproducida a las anchuras máximas de 80 mm. (una columna) y 170 mm. (doble columna). Se evitará en lo posible la inclusión de encartes, así como se reducirá a lo indispensable el número de figuras, tablas y fotografías. En las ilustraciones a escala, ésta se expresará solamente en forma gráfica, con objeto de evitar errores en caso de reducir el original. Todas las figuras irán numeradas correlativamente según su orden de inserción.

Las figuras serán originales y nunca copiativos, delineadas con tinta china sobre papel vegetal. Las tablas, bien presentadas para su reproducción fotográfica. Las fotografías serán positivos en blanco y negro sobre papel brillo y excepcionalmente en color (positivo en brillo o transparencia).

## Pruebas.

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificación alguna, adición o supresión al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de diez días, pasados los cuales la Redacción decidirá entre retrasar el trabajo o realizar ella misma la corrección, declinando la responsabilidad por los errores que pudieran persistir.

Los originales de texto y figuras quedarán en poder de la Redacción.

## Tiradas aparte.

Se asignan 30 tiradas aparte con carácter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

Toda la correspondencia referente a las publicaciones  
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio Ladrón de Guevara  
Jefe del Servicio de Publicaciones  
Instituto Tecnológico Geominero de España  
Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

## ÚLTIMAS PUBLICACIONES DEL ITGE

### ATLAS DEL MEDIO NATURAL DE LA REGIÓN DE MURCIA

Fruto de la colaboración entre la Consejería de Política Territorial y Obras Públicas de la Región de Murcia y el Instituto Tecnológico Geominero de España se edita este Atlas que, como los editados anteriormente por el ITGE, integra en un documento único la información cartográfica correspondiente a diversas temáticas (geología, vegetación, suelos, recursos, usos del suelo...), interpretándola y evaluándola para destacar especialmente los recursos y los condicionantes del medio natural, o si se prefiere, las potencialidades y limitaciones del mismo.

El Atlas se ha estructurado en cuatro grandes capítulos. En el primero de ellos se describen los usos del suelo en la Región de Murcia. A continuación se destina un capítulo al conocimiento de la estructura geológica, soporte del medio ambiente de la Región. El tercer capítulo se dedica a los recursos del Medio Natural: vegetación, suelos, recursos mineros, aguas subterráneas, espacios naturales y patrimonio geológico. Por último, se tratan los procesos activos en el medio geológico: erosión hídrica en áreas agrícolas, y procesos de la dinámica litoral.

En la realización de esta obra ha participado un equipo pluridisciplinar integrado por una treintena de especialistas del ITGE, Universidad de Murcia, CEBAS-CSIC, y de las Consejerías de Política Territorial y Obras Públicas, y de Medio Ambiente, de la Región de Murcia.

Es importante remarcar que, dado el carácter de Atlas

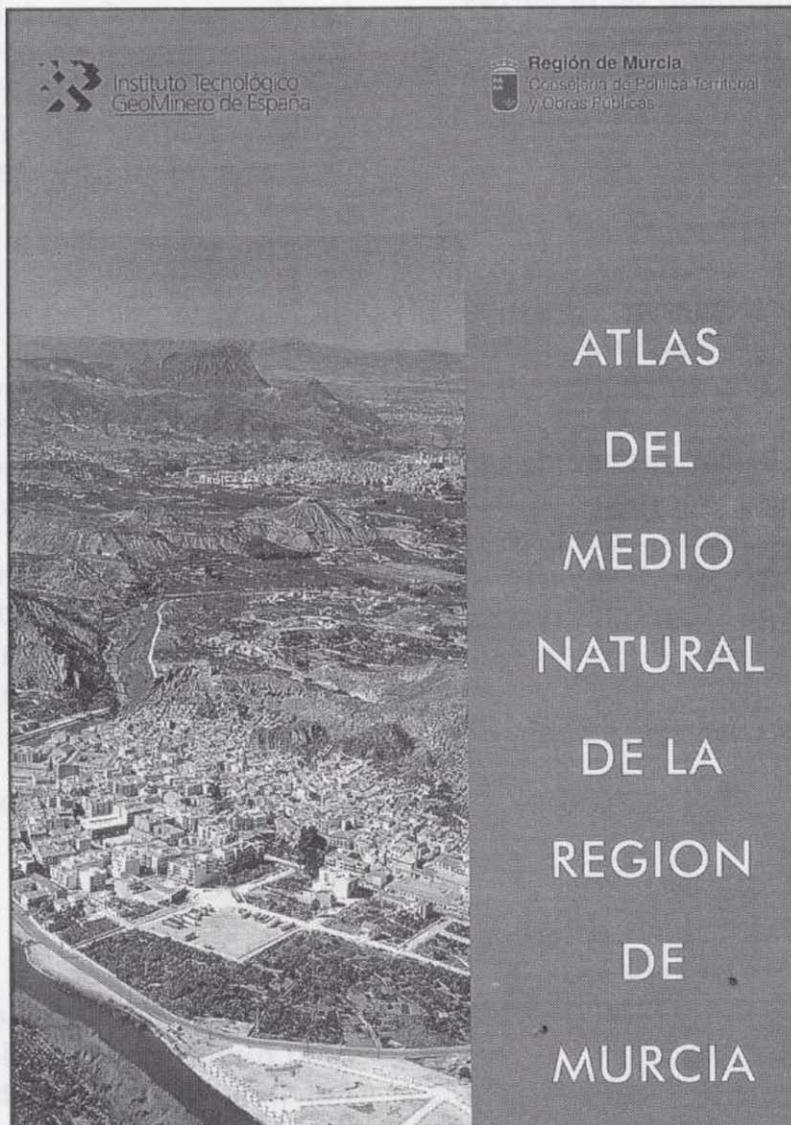
de esta obra, se ha dado mayor importancia a la componente cartográfica, constituida por trece mapas temáticos a las escalas 1:200.000 y 1:400.000. No obstante, los diferentes mapas temáticos se acompañan de sus correspondientes memorias, desarrolladas de manera breve en los sucesivos capítulos, con el objeto de facilitar la interpretación y comprensión de las cartografías.

La relación de mapas temáticos incluidos en el Atlas es la siguiente: usos del suelo; litológico; geomorfológico, vegetación actual; series de vegetación; síntesis edafológica; geotécnico; actividad y recursos mineros; delimitación de acuíferos; espacios naturales; patrimonio geológico; riesgos de erosión hídrica en zonas agrícolas; y mapa geoambiental del litoral murciano.

Un aspecto fundamental de este Atlas es el relativo a su aportación, como documento informativo de base, a la planificación territorial a nivel regional, contribuyendo al diseño de modelos de desarrollo coherentemente orientados hacia la explotación racional de los recursos y potencialidades, a través de una compresión integrada del territorio murciano.

Al mismo tiempo, esta obra contribuye al conocimiento y divulgación de los elementos más destacados del medio ambiente, presentándolos de manera integrada y global, como partes de un sistema único, constituyendo, así como, una herramienta de trabajo óptima para el desarrollo de las actividades de educación ambiental en la Región de Murcia.

**Su precio es de 10.000 pts. + I.V.A.**



## ÚLTIMAS PUBLICACIONES DEL ITGE

### MEDIDA Y EVALUACIÓN DE LAS EXTRACCIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA

La extracción de agua subterránea supone en España un volumen anual superior a 5.000 hectómetros cúbicos, un 25 por ciento del total de recursos hídricos empleados para usos consuntivos. La mayor parte de las extracciones se aplican al regadío, con un complejo soporte jurídico heredado de la legislación de aguas anterior a 1986, poco clarificado en el régimen transitorio de la nueva Ley.

Estas dificultades inciden en que no se haya implantado en nuestro país, salvo en casos puntuales, una medición suficientemente precisa de los volúmenes de agua subterránea utilizados, pese a ser ello una exigencia inexcusable para la correcta gestión del dominio público hidráulico.

Desde un punto de vista exclusivamente tecnológico, la medición de las extracciones puede resolverse satisfactoriamente mediante diversos procedimientos, recurriendo a controles directos, con aparatos que registran el caudal extraído en cada captación, o de modo indirecto, aplicando métodos que, sin medir físicamente los caudales, permitan evaluarlos a través de magnitudes conexas (superficie regada, habitantes abastecidos, consumo eléctrico en bombeos, etc.), bien individualizadamente para cada captación o globalmente para un acuífero o unidad de explotación.

No obstante, existen aspectos sociales, jurídicos, económicos, etc., que pueden condicionar la aplicabilidad de unas u otras técnicas de medición. Por ejemplo, la

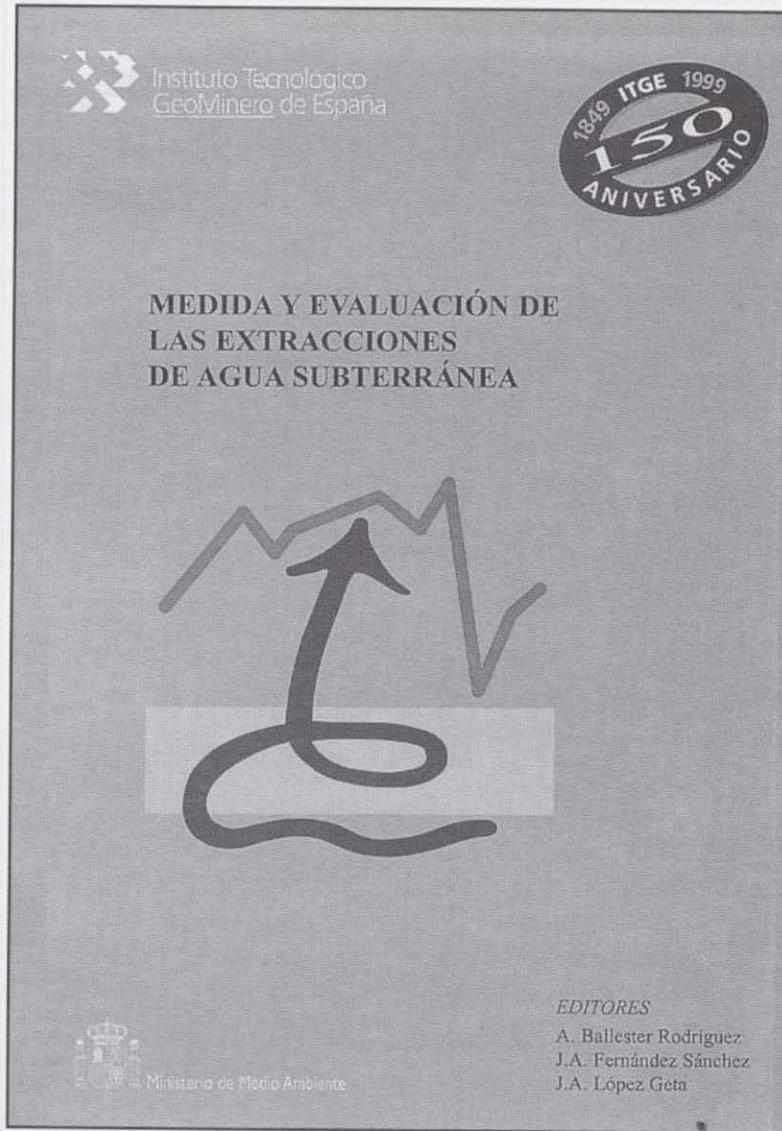
implantación de contadores en los pozos de bombeo puede verse dificultado, además por su alto coste, por un rechazo generalizado de los usuarios; en el otro extremo, métodos indirectos de medición, de aplicación más fácil y barata, pueden no ser aceptables como elemento probatorio en procedimientos administrativos o judiciales.

Toda esta compleja problemática se aborda en el presente libro, en el que se sintetizan las intervenciones, debates y conclusiones de unas Jornadas de encuentro entre usuarios, gestores públicos y expertos, organizadas por el Instituto Tecnológico Geominero de España dentro de los actos conmemorativos del 150 aniversario de su fundación, con la colaboración de la Diputación Provincial de Alicante, la Federación Nacional de Comunidades de Regantes, la Asociación Internacional de Hidrogeólogos Grupo Español y la Asociación Española de Hidrología Subterránea.

En el texto se pasa revista a los métodos de medición de mayor interés, tanto directos como indirectos, concretamente a la instalación de caudímetros, a la teledetección, y a la evaluación a partir del consumo energético, de las estadísticas agrarias o de balances hídricos. Para cada método se indican sus ventajas e inconvenientes, campo de aplicación, coste aproximado, y experiencias de aplicación, a juicio de diferentes expertos. Finalmente se sintetizan, por los Editores, las conclusiones y recomendaciones obtenidas de las intervenciones y debates producidos durante las Jornadas.

cas agrarias o de balances hídricos. Para cada método se indican sus ventajas e inconvenientes, campo de aplicación, coste aproximado, y experiencias de aplicación, a juicio de diferentes expertos. Finalmente se sintetizan, por los Editores, las conclusiones y recomendaciones obtenidas de las intervenciones y debates producidos durante las Jornadas.

Su precio es de 3.000 pts. + I.V.A.



---

 ÚLTIMAS PUBLICACIONES DEL ITGE
 

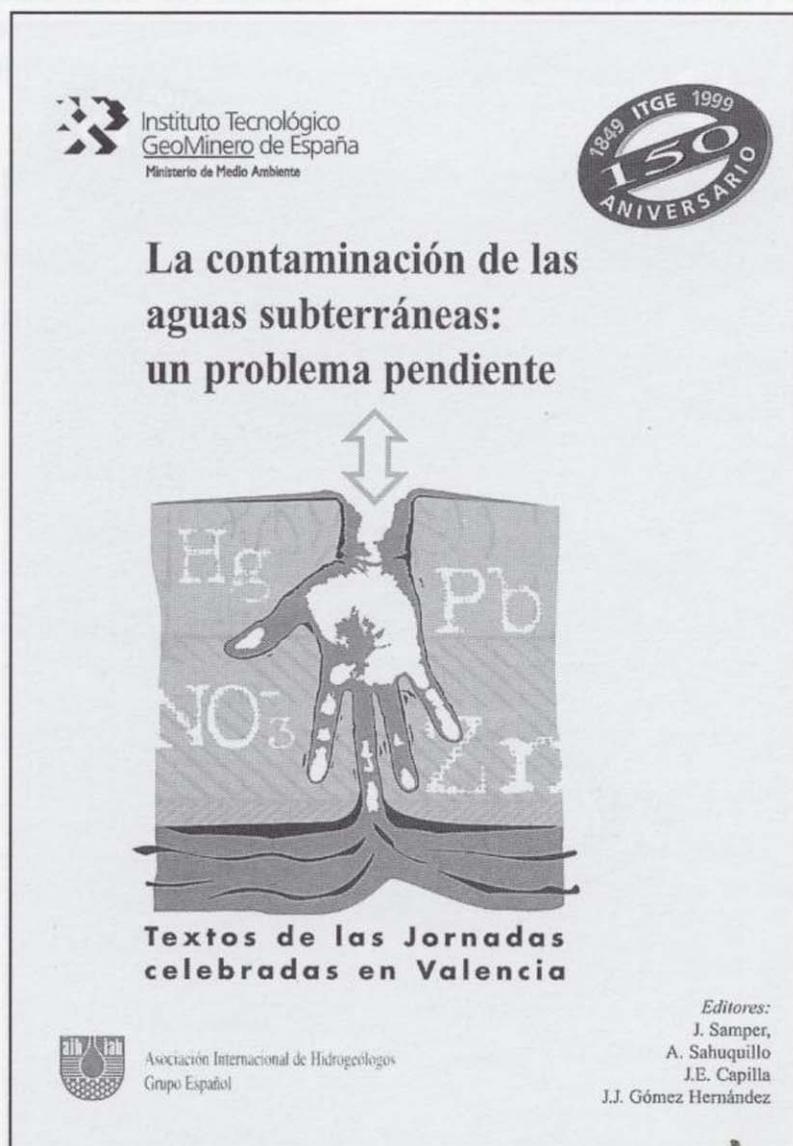
---

## LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: UN PROBLEMA PENDIENTE

Las aguas subterráneas en España constituyen un recurso de gran valor socio-económico, estratégico y medioambiental. Un tercio de la población se abastece con aguas subterráneas y casi la tercera parte del regadío español se suministra con extracciones desde los acuíferos. Los ecosistemas más emblemáticos de nuestro país como los de Doñana y Daimiel así como un gran número de zonas húmedas y bosques de galería se sustentan gracias al aporte de las aguas subterráneas. El papel socio-económico, estratégico y medio-ambiental de las aguas subterráneas puede verse seriamente afectado como consecuencia de los procesos de contaminación. Las tendencias recientes en la normativa de la Unión Europea tienden a poner su énfasis en la protección de las aguas subterráneas. De hecho, el Programa Comunitario de Acción en Materia de Aguas Subterráneas (96/C 355/01) reconoce claramente que "la preservación de las aguas freáticas constituye el principal objetivo de la política hidrológica comunitaria". En el Borrador de la Directiva Comunitaria Marco del Agua, actualmente en fase de discusión por parte de los estados miembros, se establece que antes del 2010 se deberá alcanzar un "buen estado de las aguas subterráneas". Atendiendo al reto que estas tendencias supondrán en nuestro país, el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos organizó en junio de 1998 unas Jornadas

sobre "La Contaminación de las Aguas Subterráneas: Un Problema Pendiente". El presente texto recoge las actas de estas Jornadas que incluyen tanto las conferencias invitadas como los textos de dos mesas redondas, y de casi 40 comunicaciones libres que se han agrupado en los siguientes temas: (1) contaminación por actividades agrarias, (2) contaminación por actividades urbanas e industriales, (3) contaminación por vertederos y depósitos enterrados, (4) vulnerabilidad y protección de las aguas subterráneas y (5) aspectos técnico-legales. Se incluyen además los resúmenes de los debates y discusiones mantenidas en cada una de las sesiones. El lector encontrará en este texto una panorámica de la situación actual del grado de conocimiento y de los problemas que afectan a la calidad de las aguas subterráneas en España. Entre las principales conclusiones de las Jornadas hay que destacar la necesidad de incorporar los aspectos de calidad de las aguas subterráneas en la planificación y gestión del agua. Para ello será necesario fomentar medidas de concienciación social y de participación de los usuarios que permitan definir mecanismos y estrategias de protección

de los recursos hídricos subterráneos en un marco de desarrollo sostenido y en armonía con el medio ambiente.



Para la adquisición  
de ejemplares de esta publicación, dirigirse a:  
Instituto Tecnológico Geominero de España  
C/. Cristóbal Bordiú, 34, 28003 Madrid  
Tel.: 91 349 57 59 - Fax: 91 349 57 62  
PVP: 5.000 PTA + IVA

## ÚLTIMAS PUBLICACIONES DEL ITGE

### KARST EN ANDALUCÍA

El karst constituye un conjunto de terrenos, paisajes, procesos y manifestaciones dignos de su estudio científico a lo largo y ancho de la geografía mundial, dada la extensión de los materiales potencialmente karstificables (casi un 10% de las tierras emergidas de todo el planeta). En España, los materiales karstificables ocupan un 29%; en Andalucía, la extensión, variedad y utilización a lo largo de la historia por parte del hombre de los espacios kársticos, constituye un verdadero ejemplo de la importancia de estas áreas con una morfología y dinámica hidrogeológica singulares.

El Instituto Tecnológico Geominero de España, ha publicado recientemente el libro titulado Karst en Andalucía. Esta monografía es una síntesis de los conocimientos acerca de los sistemas kársticos andaluces, elaborada por expertos e investigadores de muy diversas especialidades (geólogos, geógrafos, paleontólogos, arqueólogos, espeleólogos, entre otros). El libro se ha dividido en dos partes. La primera de ellas considera los rasgos generales que condicionan y caracterizan el karst en esta región. La segunda recoge algunos de los sistemas kársticos más representativos de la Comunidad Autónoma de Andalucía, a nivel local o regional, en función de las características de cada uno de ellos, de su singularidad o de su representatividad.

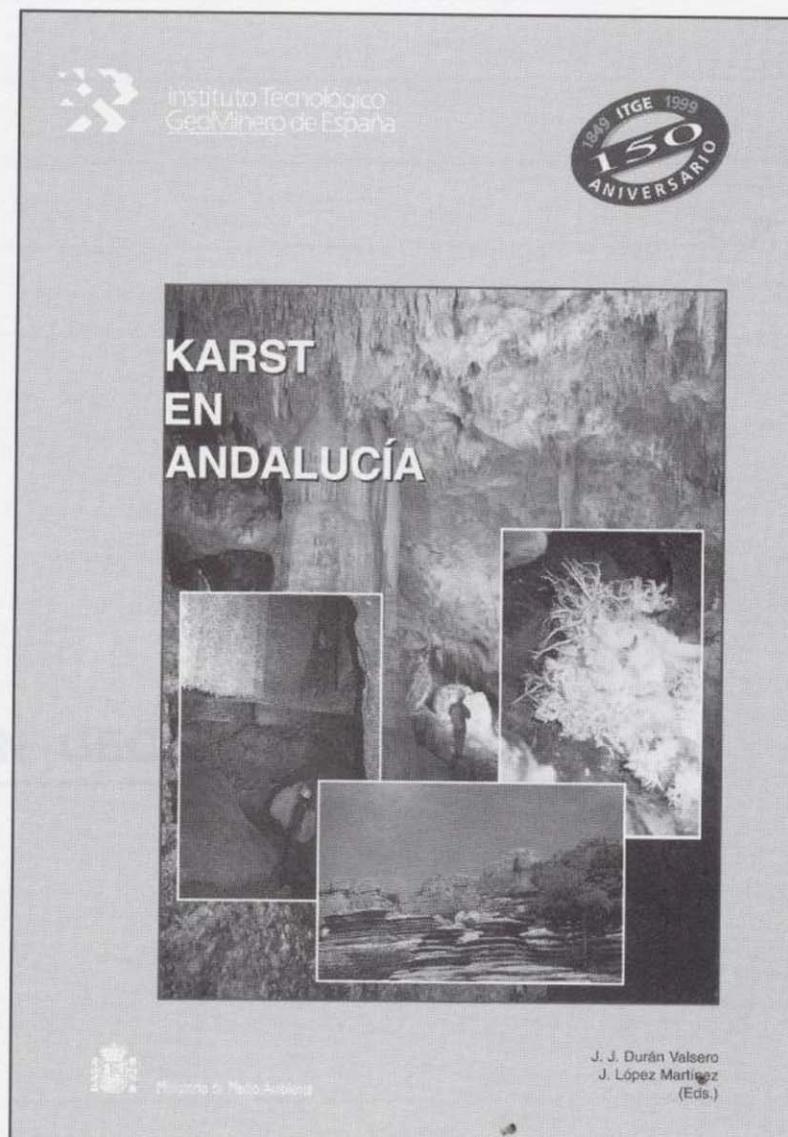
La primera parte se inicia con un repaso a la situación de los sistemas kársticos en las distintas áreas geológicas de la región, así como su evolución temporal. También se recoge una síntesis histórica de las investigaciones llevadas a cabo relativas al modelado kárstico andaluz y a las exploraciones espeleológicas realizadas en las cavidades de la región, junto a una relación de las más relevantes en función de su desarrollo y desnivel. Como elemento frecuente del modelado exokárstico andaluz,

se profundiza en el análisis de los poljés: su evolución, influencia estructural y un intento de clasificación según su funcionamiento y dimensiones. Se analiza la importancia de la fracturación, y en particular la más reciente, como factor determinante en el desarrollo kárstico y su influencia en el relieve resultante. Además, se describen los principales rasgos hidrogeológicos de los macizos kársticos más destacados, dada la importancia económica de los recursos hídricos ligados al karst en Andalucía (abastecimientos urbanos y regadíos). Finalmente, para cerrar esta panorámica a los rasgos generales, se han recogido los aspectos más significativos relacionados con la ocupación de los sistemas kársticos tanto por el hombre como por otros animales, cuyos restos han quedado bien conservados en los rellenos endokársticos suministrando una valiosa información sobre sus comportamientos, modos de vida e incluso algunos aspectos relacionados con el entorno climático y geográfico de aquellos momentos.

En la segunda parte, a lo largo de nueve capítulos se describen y analizan algunos de los enclaves kársticos más representativos de Andalucía, analizándose en cada uno de ellos los aspectos más significativos y singulares. Los espacios seleccionados han sido las manifestaciones kársticas de Sierra Morena, las Serranías de Grazalema y

Ronda, las Sierras Blanca y Mijas, el sector oriental del prebético andaluz, el Torcal de Antequera, el Karst de Nerja y la Gruta de las Maravillas, todos ellos desarrollados en materiales de naturaleza carbonatada, además, el sistema kárstico en yesos de la Cueva del Agua y el área endorreica del karst yesífero-salino de la Laguna de Fuente de Piedra, como elementos igualmente representativos de la riqueza del karst andaluz en morfologías desarrolladas en litologías no carbonatadas.

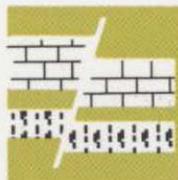
Su precio es de 3.000 pts. + I.V.A.



# INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

Finalidad:

*Investigación, Desarrollo Tecnológico y Asistencia técnica en Geología, Minería  
Aguas subterráneas, y Disciplinas conexas*



## GEOLOGIA

MAPA GEOLOGICO NACIONAL (MAGNA)  
ESTUDIOS GEOLOGICOS Y CARTOGRAFIA TEMATICA  
GEOLOGIA MARINA



## RECURSOS MINERALES

EXPLORACION MINERA E INVESTIGACION DE YACIMIENTOS  
METALOGENIA Y CARTOGRAFIA METALOGENETICA  
EVALUACION DE RESERVAS E INVENTARIO DE RECURSOS  
PROCESOS, TECNOLOGIA Y ECONOMIA MINERAS  
NORMATIVA Y SEGURIDAD MINERA



## AGUAS SUBTERRANEAS

CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA  
PROTECCION DE RECURSOS HIDROGEOLOGICOS  
EVALUACION Y CONTROL DE ACUIFEROS SUBTERRANEOS  
RECURSOS GEOTERMICOS



## INGENIERIA GEOAMBIENTAL

RIESGOS GEOLOGICOS  
RESTAURACION DEL MEDIO AMBIENTE MINERO  
GEOTECNIA Y GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA  
ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES



## LABORATORIOS Y ENSAYOS

ANALISIS QUIMICOS Y MINERALOGICOS  
GEOQUIMICA BASICA Y APLICADA  
GEOFISICA Y TELEDETECCION APLICADA  
ENSAYOS MINERALURGICOS Y GEOTECNICOS  
CARACTERIZACION DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES  
SONDEOS MECANICOS Y ENSAYOS DE BOMBEO



## INFORMACION, DOCUMENTACION Y BANCO DE DATOS

FONDOS DOCUMENTALES Y BASES DE DATOS  
LITOTECA  
SISTEMAS DE INFORMACION Y COMUNICACIONES



## SERVICIO DE PUBLICACIONES

CARTOGRAFIA TEMATICA A DIVERSAS ESCALAS  
PUBLICACIONES SOBRE GEOLOGIA, MINERIA Y CIENCIAS CONEXAS  
«BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO»  
«REVISTA ESPAÑOLA DE MICROPALEONTOLOGIA»



## MUSEO GEOMINERO

PALEONTOLOGIA Y MINERALOGIA  
CATALOGACION Y GESTION DE COLECCIONES GEOLOGICAS  
EXPOSICIONES: TEMPORALES Y PERMANENTES  
DIVULGACION CIENTIFICA



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

### Sede Central:

C/Ríos Rosas, 23 - 28003 MADRID

Tel.: 91/349 57 00. Fax: 91/349 57 62

### Centro de Laboratorios:

C/La Calera, 1 - 28760 TRES CANTOS (MADRID)

Tel.: 803 22 00



Ministerio de Medio Ambiente