

Los yacimientos de baritina de Bou Ouzzal (Macizo Central Hercínico, Marruecos)

The barite ore deposits of Bou Ouzzal (Moroccan Hercynian Massif-Central)

M. Benjouali ⁽¹⁾, L. Gonzalo ⁽²⁾, H. El Hnot ⁽¹⁾, B. El Mahi ⁽¹⁾, S. López-Andrés ⁽²⁾, M. El Wartiti ⁽¹⁾ y M. Zahraoui ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Département des Sciences de la Terre. Faculte des Sciences. Université Mohammed V- Agdal. Rabat. Maroc minaben@geo.ucm.es; el_hasnae@yahoo.fr; elmahi@fsr.ac.ma; wartiti@fsr.ac.ma; zahraoui@fsr.ac.ma

⁽²⁾ Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040-Madrid. España. laura.g.delgado@gmail.com; antares@geo.ucm.es

ABSTRACT

The deposit of Bou Ouzzal's barite is located in the eastern extreme of the Moroccan Hercynian Massif-Central, to approximately 7 km to the south of Khénifra. The mineralization occurs in the paleozoic schists and late Viséan limestones. The barite appears in the shape of veins and karst associated with oxides and iron hydroxides. This deposit is distinguished by his great heterogeneity and the variability of his composition. In spite of the fact that the region has been an object of numbers mining works from 1922, date in which the deposit was discovered, the analytical studies are scarce and half-close to the mineralization. The aim of the present note is concentrated on the detailed description of the different generations of barite, his distribution and relation with the iron's minerals. The samples have been studied by polarizing microscopy, SEM, XRD, XRF and EPMA.

This work is the preliminary result of the collaboration established between the University Mohammed V-Agdal and the University Complutense of Madrid within the framework of the Spanish-Moroccan Intersiversity Cooperation's program of the Spanish Agency for International Cooperation «AECI».

Key words: Barite, XRD and XRF analysis, SEM, Bou Ouzzal, Morocco.

Geogaceta, 42 (2007), 67-70
ISSN: 0213683X

Introducción y antecedentes

El yacimiento de baritina de Bou Ouzzal se encuentra situado en el extremo oriental del macizo central hercínico marroquí, a unos 7 km al sur de la ciudad de Khenifra. Este yacimiento se distingue por su gran heterogeneidad y variabilidad composicional.

Bou Ouzzal es parte del dominio autóctono del cabalgamiento de Khénifra (Fig. 1). Está constituido por formaciones autóctonas arenisco-esquistosas del Cámbrico-Ordovícico sobre las que yacen en discordancia calizas transgresivas del Viséense superior (Fig. 2) que se encuentran fracturadas y afectadas por la disolución, constituyendo junto a los esquistos del Cámbrico-Ordovícico la principal roca caja de la mineralización filoniana de Bou Ouzzal. Los depósitos alóctonos están constituidos por facies arenisco-esquistosas del Ordovícico superior. El conjunto, que ha sufrido plegamiento y metamorfismo durante la orogenia Hercínica, está coronado por conglomerados autinienses con intercalaciones de arenisca y limos (El Wartiti, 1990) rocas vol-

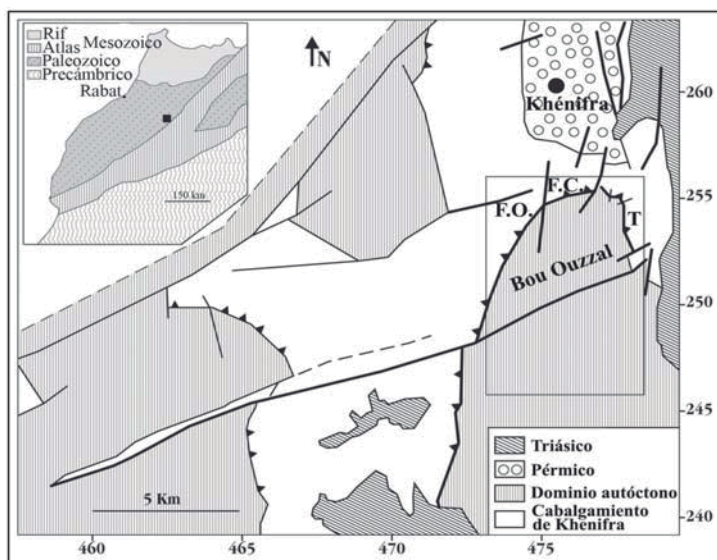
cánicas calco-alcalinas sinsedimentarias (Youbi *et al.*, 1995). A techo de la columna y en discordancia angular se encuentran unos depósitos rojos de arcillas Triásicas.

En esta zona, la deformación hercínica origina la principal estructura anticlinal con eje NNE-SSW (Allary *et al.* 1976). Los cabalgamientos ponen en contacto los

esquistos del Ordovícico superior y las calizas del Viséense superior. Por último, las fallas que afectan las formaciones paleozoicas de Bou Ouzzal alcanzan a las formaciones autinienses. El estudio de las estructuras frágiles de Bou Ouzzal refleja el carácter polifásico de la deformación. Estos accidentes heredados de la orogenia Hercínica ac-

Fig. 1.- Mapa estructural de la región de Khénifra (Allary *et al.*, 1976) y localización de los yacimientos estudiados.

Fig. 1.- Structural map of Khénifra region (Allary *et al.*, 1976) and location of the studied deposits.



Edad	Columna	Litología	Espesor (m)	Mineralizaciones asociadas
Triásico		Arcillas	10	
		Conglomerados		
Pérmico		Riolitas, andesitas y cineritas	de 350 a 520	Filoniana: Ba
		Conglomerados con areniscas y arcillas		
		Areniscas y conglomerados con niveles de arcillas	de 250 a 650	
		Conglomerados con niveles de arcillas y arenas	500	
Viséense superior		Calizas biotásticas	de 20 a 150	Filoniana: Ba, Fe, Q Kárstica: Ba, Fe Acumulados ferruginosos: Gt, Hm
		Calizas ferruginosas y dolomitas	40	
Cámbrico-Ordovícico		Esquistos y cuarcitas		Filoniana: Ba, Fe

Fig. 2.- Columna estratigráfica de Bou Ouzzal y distribución de las mineralizaciones presentes (Ba: Baritina, Gt: Goethita, Hm: Hematites y Q: Cuarzo).

Fig. 2.- Bou Ouzzal's stratigraphic column and mineralization distribution (Ba: Barite, Gt: Goethite, Hm: Hematites and Q: Quartz).

túan esencialmente como fallas de desgarre durante las sucesivas fases compresivas desde el Westphaliense-Stephaniense al Pérmico y se reactivan como fallas normales durante la extensión NW-SE del Triásico, indicando el inicio de la fase de relajación y de la instalación de las cuencas triásicas (El Hnot y Zahraoui, 2005).

A pesar de que la región ha sido objeto de numerosos trabajos mineros desde 1922, fecha en la que se descubrió el yacimiento, son pocos los estudios analíticos entorno a la mineralización. El objetivo de la presente nota se centra en la descripción detallada de las diferentes generaciones de baritina, su distribución y relación con los minerales de hierro.

Este trabajo es el resultado preliminar de la colaboración establecida entre la Universidad de Mohammed V-Agdal y la Universidad Complutense de Madrid en el marco del Programa de Cooperación Interuniversitaria Hispano-Marroquí de la AECL.

Metodología

En este trabajo, se han tomado muestras representativas de las diferentes mineralizaciones de baritina, así como de minerales asociados y de la roca caja. Para el muestreo se han seleccionado una serie de filones en los cerros oeste (F.O.) y cen-

tral (F.C.) y el karst de Twinine (T) (Fig.1). En el caso de los filones, las muestras se han recogido en la zona en la que éstos atraviesan la roca calcárea ferruginosa.

Las técnicas utilizadas en la identificación y caracterización de las muestras han sido las existentes en el Dpto. de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de CC Geológicas, en los CAIs de Difracción de rayos X y de Microscopía Electrónica «Luis Brú» de la UCM.

La identificación de las especies minerales se ha realizado mediante DRX en un difractómetro Panalytical X'Pert PRO.

Las diferentes muestras fueron estudiadas en lámina delgada mediante microscopía óptica y MEB y XEDS en un microscopio electrónico JEOL, JSM 6400, dotado con un detector de electrones retrodispersados (BSE) y microanálisis (XEDS) para interpretar las texturas y microestructuras presentes. Para estudiar la distribución espacial de los diferentes elementos analizados se ha llevado a cabo un barrido de los cristales de baritina desde la roca caja hasta las zonas más distales de los mismos.

La roca caja de las mineralizaciones de Bou Ouzzal es esencialmente caliza del Viséense superior pero también esquistos y cuarcitas del Cámbrico-Ordovícico. El tránsito a la caliza del Viséense superior se produce a través de una caliza ferruginosa (Fig. 2). Los filones representan el tipo de relleno más abundante y se extienden a lo largo de muchos kilómetros rellenando las fallas de direcciones N-S a NE-SW. En las formaciones esquistosas y cuarcíticas del Cámbrico-Ordovícico, los filones son frecuentemente estrechos, con límites definidos por planos de falla. En las calizas, estos filones se extienden y se convierten a menudo en cavidades kársticas de dimensiones variables (de centímetros a metros). Estas cavidades se desarrollan en el borde de los filones, donde están ligadas a fenómenos de fracturación y disolución. Un esquema general de estos procesos se observa en la figura 3.

Además de los rellenos tipo filón y karst de baritina, se observan acumulados ferruginosos de óxidos e hidróxidos de hierro con alteraciones de materiales arcillosos procedentes de la oxidación de ma-

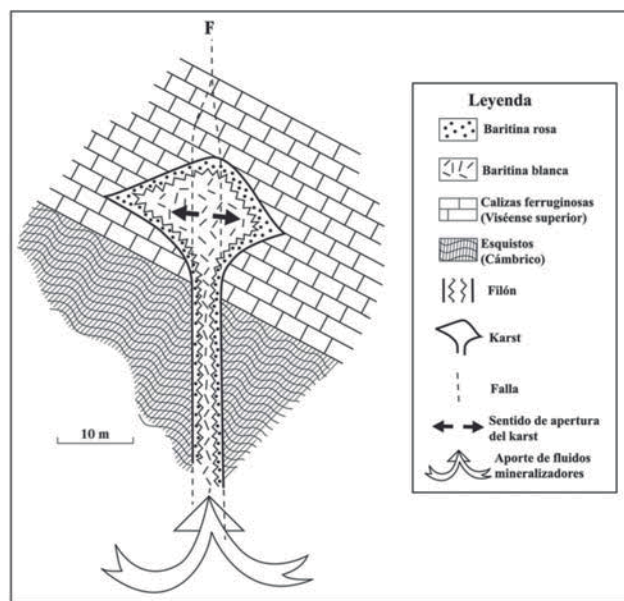


Fig. 3.- Esquema de precipitación de baritina en filones y en cavidades kársticas en el yacimiento de Bou Ouzzal.

Fig. 3.- Scheme of barite precipitation in veins and karstic cavities in Bou Ouzzal's deposit.

Localidad	Muestra	Minerales identificados	Localización en el afloramiento
Cerro Oeste	MZ1	Baritina	Baritina blanca del centro de un filón
	MZ2	Baritina Hematites y Siderita	Baritina rosa masiva en contacto con la caliza ferruginosa
	MZ3	Baritina Hematites	Baritina rosa con hábito en cresta en el borde de un filón
	MZ4	Baritina Goethita y Hematites	Baritina rosa con hábito en cresta atravesada por una segunda generación de baritina blanca y óxidos de hierro
Cerro Central	MZ5	Baritina Hematites y Magnetita Cuarzo	Alternancia de minerales de hierro y baritina rosa. y transición de baritina rosa a baritina blanca
	MZ8	Baritina Siderita	Baritina rosa masiva en contacto con la caliza ferruginosa
Karst Twinine	MZ6	Baritina Siderita Cuarzo	Segunda generación de baritina blanca
	MZ7	Baritina Cuarzo	Baritina rosa con hábito en cresta
Roca caja	ESQ	Cuarzo Moscovita Clorita	
	CAL	Calcita	

Tabla I.- Localización e identificación de las muestras

Table I.- Samples identification and location

sas carbonatadas de composición inicialmente siderítica (Attia y Lakhdari, 1962). Estos acumulados se localizan esencialmente en los niveles carbonatados del Viséense superior y reposan en contacto directo sobre esquistos Cámbrico-Ordovícicos. Su morfología es irregular y sus contactos con la roca caja son difusos. Estos acumulados son un depósito primario que da lugar a depósitos secundarios (óxidos e hidróxidos) asociados a la Fig. 3 baritina tanto en filones como en karsts.

En la tabla I se recoge la localización de las muestras en los afloramientos y su identificación mineralógica mediante difracción de rayos X. El muestreo se ha realizado tratando de incorporar la máxima variabilidad de tipología mineral y de la roca caja.

Las texturas que presentan los minerales dependen de la naturaleza de la roca caja y del tipo de emplazamiento en el que se produce la cristalización. La baritina presenta diferentes hábitos y coloración, este último aspecto posiblemente relacionado con la presencia de hierro (El Hnot y Zahraoui, 2005).

En los filones y karsts, la baritina más habitual es la blanca con hábito tabular, con planos de exfoliación bien definidos (Foto A) pero también se ha identificado una baritina rosa masiva o poco cristalizada.

En las calizas del Viséense superior, los filones de baritina muestran frecuentemente una textura bandeada. Esta textura, se debe esencialmente a sucesivas etapas de crecimiento y desarrollo en las que la primera está en general representada por baritina rosa masiva y la segunda por baritina blanca en cristales tabulares (Foto A), baritina botroidal y baritina en cresta. Estos depósitos están asociados a óxidos, hidróxidos y carbonatos de hierro, que aparecen de forma diseminada o concentrada, marcando el límite entre las diferentes generaciones de baritina (Fotos G y H).

Como en los filones, las cavidades kársticas presentan también, una textura bandeada (Foto B). Desde la roca caja y creciendo a partir de ella, se observa una baritina rosa masiva que rodea la cavidad seguida de otra blanca tabular con hábito en cresta (Foto C). También se ha identificado baritina en brechas tectónicas, y en brechas de colapso (Foto D), donde la baritina adopta una textura bandeada.

Además, en Bou Ouzal se han identificado óxidos, hidróxidos y carbonatos de hierro como hematites masiva y en nódulos, goethita masiva y botroidal y siderita en cristales romboédricos y masiva, formando acumulados ferruginosos que rellenan fracturas tardías que afectan a la baritina (Fotos E y F), carbonatos como calcita y ankerita, sulfuros como

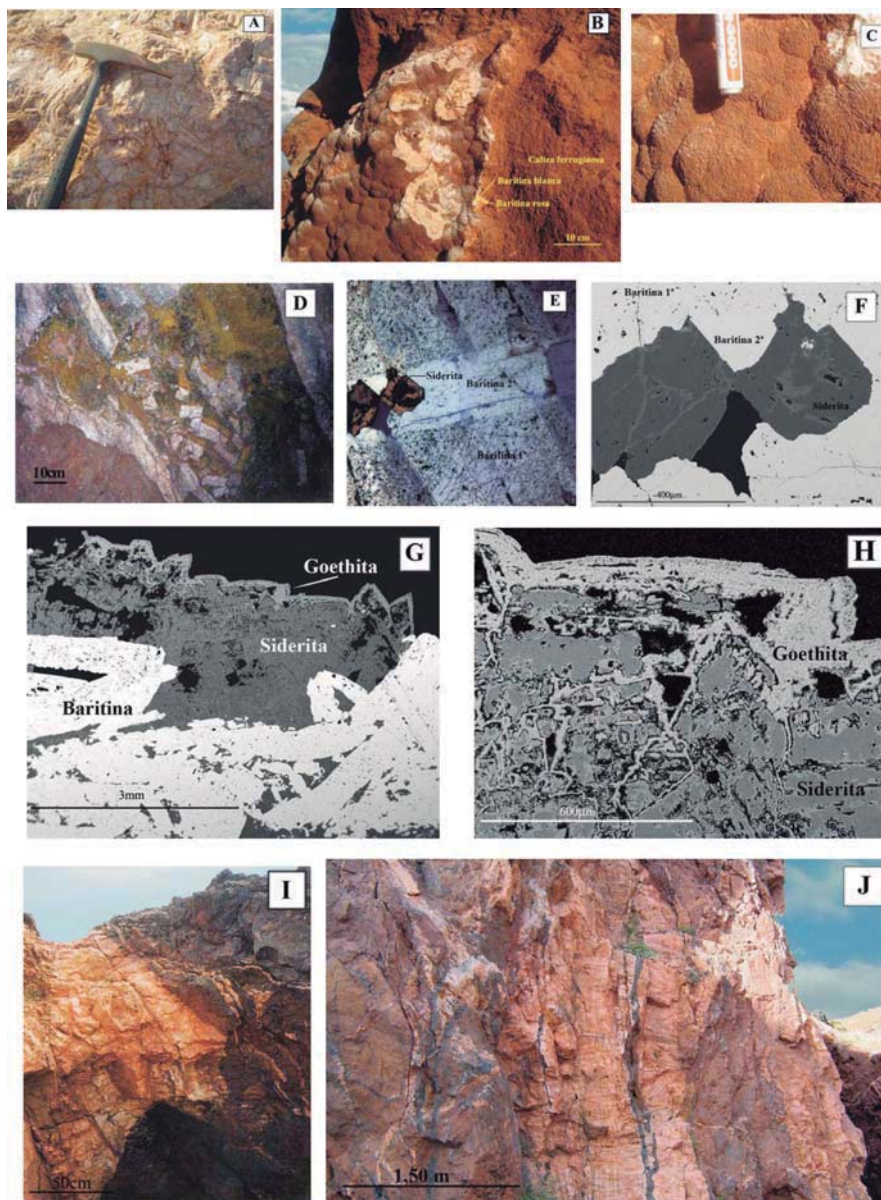


Lámina.- Hábitos y texturas de las mineralizaciones de Bou Ouzal. **Foto A:** Cristales tabulares de baritina blanca (MZ-1B). **Foto B:** Karst de Twinine (MZ-7). **Foto C:** Detalle de la foto B mostrando el hábito en cresta de baritina. **Foto D:** Brechas de colapso formadas en el interior de un filón. **Fotos E y F:** Imágenes de MO y EBS de siderita y baritina (MZ-2). **Fotos G y H:** Imágenes de EBS de siderita y goethita cementando la primera generación de baritina (MZ-2). **Foto I:** Textura bandeada de baritina masiva rosa, goethita fibrosa y baritina masiva y laminar. **Foto J:** Filones de baritina rosa en esquistos cámbrico-ordovícicos.

Sheet.- Bou Ouzal's mineralizations habits and textures. **Photo A:** White tabular barite crystals (MZ-1B). **Photo B:** Karst of Twinine (MZ-7). **Photo C:** Detail of the photo B showing crest habit of barite. **Photo D:** Collapse Breccia formed inside the vein. **Photos E and F:** Optical and EBS images of siderite and barite (MZ-2). **Photos G and H:** EBS image of siderite and goethite cementing the first generation of barite (MZ-2). **Photo I:** Banded texture of rose massive barite, fibrous goethite and laminar massive barite. **Photo J:** Rose barite vein formed in Cambrian – Ordovician schists.

calcopirita que se presenta en pequeñas masas o diseminada en las venas de ankerita y cuarzo en pequeños cristales en los bordes de baritina.

En los esquistos, los filones presentan igualmente una textura bandeada: en el borde, un depósito hojoso en el que se alternan baritina rosa masiva y goethita fibrosa y en la parte central, baritina blan-

ca masiva y laminar (Foto I). Los cristales de baritina primaria están delimitados (Foto G) y atravesados por fisuras rellenas de siderita y baritina (Foto E y F). Los planos de falla del filón presentan a menudo estrías que indican una actividad de tipo desgarre dextral.

Además de la textura bandeada, se observa otra masiva, constituida por una sola

Óxidos	% en Óxidos				Elementos	ppm			
	ESQ	CAL	MZ-1B	MZ-4R		ESQ	CAL	MZ-1B	MZ-4R
Na ₂ O	1.264	0.016	0.575	0.545	V	81	14	30	5
MgO	1.026	0.740	0.022	-	Ni	26	2	4	2
Al ₂ O ₃	27.792	0.196	0.183	0.148	Cu	15	0	35	6
SiO ₂	54.958	0.365	0.253	0.139	Zn	42	5	3	1
P ₂ O ₅	0.844	0.013			Ga	19	0	9	2
SO ₃	0.042	0.050	28.354	29.491	Rb	98	2	0	0
K ₂ O	4.657	0.021	0.015	-	Sr	122	387	10591	2506
CaO	1.173	98.252	0.059	0.016	Y	26	4	17	4
TiO ₂	1.190	-			Zr	146	2	46	8
Cr ₂ O ₃	0.022	-			Sn	5	1	127	43
MnO	0.012	0.040			Sb	4	2	170	56
Fe ₂ O ₃	6.844	0.189	0.057	0.428	I	2	0	0	85
NiO	0.005	-	-	0.026	Ba	754	27	-	-
CuO	0.006	-			Ce	86	42	1649	709
ZnO	0.012	-			Hf	9	2	53	12
Ga ₂ O ₃	0.006	-			Ta	1	0	6	2
Rb ₂ O	0.019	-			W	1	0	4	2
SrO	0.028	0.117	1.458	0.858	Bi	1	1	9	2
Y ₂ O ₃	0.005	-			Th	66	77	362	148
ZrO ₂	0.029	-							
Nb ₂ O ₅	0.002	-							
BaO	0.063	-	69.024	68.349					

Tabla II.- Análisis químicos de elementos mayores, menores y traza

Table II.- Chemical analysis of major, minor and trace elements

generación de precipitación y crecimiento de baritina rosa (Foto J). Este tipo se desarrolla en pequeños filones que atraviesan tanto esquistos como calizas.

Se han realizado análisis químicos de elementos mayores y menores mediante FRX de los dos tipos de roca caja de Bou Ouzzal: caliza (CAL) y esquistos (ESQ) y de dos baritinas representativas de este yacimiento, una baritina blanca (MZ-1B) y una baritina rosa (MZ-4R). Los resultados de estos análisis se recogen en la tabla II. Composicionalmente las dos baritinas estudiadas presentan diferencias significativas en el contenido de elementos menores y trazas. El Fe y el Sr muestran una distribución inversamente proporcional en las dos muestras estudiadas. La baritina blanca (MZ-1B) tiene los contenidos más altos de Sr y de los elementos traza analizados y los más bajos de Fe.

Conclusiones

Las especies minerales identificadas en el yacimiento de Bou Ouzzal han sido: baritina, siderita, goethita, hematites, magnetita y cuarzo.

El color rosa de la baritina de este yacimiento se debe a la presencia de Fe. La baritina blanca presenta mayores contenidos en Sr y elementos traza como: V, Cu, Y, Zr, Sn, Sb, Ce, Hf y Th.

Los datos petrográficos y mineralógicos nos han permitido distinguir dos tipos de mineralizaciones en Bou Ouzzal: una mineralización ferruginosa en forma de acumulados ligada principalmente a las calizas del Viséense superior y otra de baritina que rellena los filones y karsts

en los esquistos Cámbrico-Ordovícicos y en las calizas Viséenses, con una removilización de óxidos e hidróxidos de hierro y sus depósitos tardíos en los pequeños filones o inclusiones. Estas mineralizaciones baríticas y ferruginosas que no presentan ningún zonado aparente podrían ser el resultado de dos generaciones metalogénicas diferentes que tuvieron lugar en etapas sucesivas.

Los filones están orientados paralelamente a las fallas regionales tardihercénicas, de dirección submeridional a NE-SW. El análisis de la fracturación realizada en los planos de falla ha puesto en evidencia una actividad distensiva que originó la apertura de las fracturas y su relleno por la baritina en el momento de la extensión NW-SE entre el Triásico y el Jurásico (El Hnot y Zahraoui, 2005).

Las texturas bandeadas, laminares y masivas (Jebrak, 1984) de baritina en los filones y las estructuras como las brechas de colapso y geodas indican que su formación está asociada a un contexto distensivo.

Un análisis preliminar de los cuerpos mineralizados permite poner en evidencia la relación existente entre los episodios tectónicos frágiles y las fases de mineralización. El orden del depósito y la secuencia de sucesos podría ser el siguiente:

- ▶ Una primera precipitación de baritina rosa masiva en un contexto distensivo, en los filones submeridionales NE-SW. Esta fase está presente en todo el yacimiento.
- ▶ Un segundo episodio, relacionado igualmente con la fase distensiva, responsable del depósito de la

goethita fibrosa en bandas paralelas. Estos filones se encuentran en las cuarcitas y esquistos del Cámbrico-Ordovícico.

▶ Una extensión responsable de la apertura de los filones y que permite un depósito discontinuo de baritina blanca con diversos hábitos: en cresta, botroidal y tabular. Son filones producidos durante una etapa extensional, lo que genera brechas de colapso en algunos de ellos. Esta fase permite el ascenso de soluciones mineralizadoras hacia la cobertera a través de fallas submeridionales NE-SW.

▶ Los accidentes submeridionales y la actividad de desgarre, tuvieron lugar posteriormente a los filones y paralelamente a su dirección y son responsables de la brechificación de la baritina en algunos filones.

La similar distribución de las facies filonianas y karsticas justifica haber sido formadas por los mismos fluidos mineralizadores. La mineralización kárstica corresponde a la precipitación de diferentes tipos de baritina en las fracturas de mayor extensión por disolución y serían contemporáneas a la formación de los filones.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto de la AECE nº 38/04/P/E, y forma parte de la actividad del grupo de Investigación UCM-CAM 910386 y la Unidad de Formación e Investigación de Geología Aplicada de la Universidad Mohammed V-Agdal.

Nuestro agradecimiento a José María Valera Estévez por la realización de los dibujos.

Referencias

- Allary, A., Lavenu, A. y Ribeyrolles, M. (1976). *Notes et Mémoires du Service Géologique*. Maroc, 261, 169p.
- Attia, A. y Lakhdari, A. (1962). *Mines et Géologie*, 17, 15-40.
- El Hnot, H. y Zahraoui, M. (2005). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 27, 47-54.
- El Wartiti, M. (1990). *Le Permien du Maroc Hercynie : étude géologique et implications paléogéographiques*. Thèse d'Etat, Univ. Mohamed V. Rabat, 500p.
- Jebrak, M. (1984). *Document de Bureau de Recherches Géologiques et Minières*. Fr., 99, 510p.
- Youbi, N., Cabanis, B., Chalot-Prat, F. y Cailleux, Y. (1995). *Geodinamica Acta*, 8, 158-172.