

Mineralogía de los materiales detríticos de la Fm. Escucha (Albiense inferior) en el distrito minero de Teruel (Sector Suroriental de la Cordillera Ibérica)

Mineralogy of detrital sediments of the Escucha formation (lower Albian) in the Teruel mining district (Southeastern Iberian Range, NE Spain)

E. SAINZ-AMOR⁽¹⁾, A. CERVERA⁽²⁾, G. PARDO⁽³⁾ y X. QUEROL⁽¹⁾

(1) Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaime Almera", CSIC. C/ Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona.

(2) I.E.S. "Avenpace". Avda. Salvador Allende s/n, 50015 Zaragoza.

(3) Departamento de Estratigrafía y Geología Histórica, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza.

RESUMEN

En el presente estudio nos planteamos como objetivo la determinación de potenciales áreas fuentes para la Fm. Escucha (Albiense). Este objetivo se pretende alcanzar mediante el estudio de los minerales pesados presentes en facies arenosas de la Fm. Escucha en tres sucesiones estratigráficas de las cubetas de Ariño-Oliete y de Utrillas.

Los minerales encontrados en las series estudiadas no son ni abundantes ni variados. Entre los ligeros, el cuarzo es dominante, y feldespatos potásicos y plagioclasas están casi ausentes. Entre los minerales pesados opacos abundan hematites y goethita, con menores proporciones de pirita. Los minerales pesados transparentes se pueden agrupar en tres asociaciones: a) turmalina, circón y rutilo (resistentes), b) cianita, estaurolita y almandino (metamórficos), y c) asociación metamórfica del área de Utrillas, muy pobre y a veces sin alguno de los minerales metamórficos, cianita, estaurolita o granate.

Los paleocanales y la casi ausencia de los minerales metamórficos de los niveles arenosos del tramo superior de la Formación Escucha en el sector norte indican una fuente de materiales detríticos de la Plataforma del Ebro, y sus minerales, con morfoscopia variada, pueden proceder de un reciclado. La asociación metamórfica encontrada en las sucesiones del sector Sur puede tener su fuente en el Macizo Castellano, donde existen gneises y mica-esquistos.

No se puede precisar con exactitud la edad de los materiales que constituyen el área fuente de la Fm. Escucha en el área de estudio. Este hecho se debe a que las áreas fuentes han podido variar en el tiempo y al reciclaje de sedimentos evidenciado en el presente trabajo. En los tramos medio y basal de la Fm. Escucha en Ariño y Oliete, donde se intercalan las capas de carbón explotables, los minerales pesados

muestran una asociación metamórfica, por lo que se puede deducir que el área fuente potencial era el Paleozoico, así como todas las unidades suprayacentes triásicas podían contribuir como área fuente de material detrítico al sistema deltaico de la Fm. Escucha. Por tanto, los resultados son compatibles con la hipótesis de que los materiales triásicos fueron una fuente esencial del azufre enriquecido en los carbones albienses de la zona de Ariño-Oliete. El reciclaje de sedimentos de la Fm. Escucha, o un área fuente más alejada, explicarían que la cubeta de Utrillas no estuviese afectada por aportes de sulfatos triásicos, y por tanto que el contenido en azufre de los carbones fuese menor.

Palabras clave: Mineralogía. Minerales pesados. Albiense. Formación Escucha. Cordillera Ibérica. Teruel, España.

ABSTRACT

The present study focuses on the determination of the source areas of the Escucha Fm. (Albian) sediments in the Teruel Mining District (NE Spain). To this end, we have carried out a detailed study of the heavy mineral fraction of the sandstone beds from this sedimentary unit at three stratigraphic successions at the Ariño-Oliete and Utrillas sub-basins.

The minerals found in the stratigraphic successions studied are in low proportions and a few mineral phases are present. Quartz is the dominant phase in the light mineral association, whereas potassium feldspars and plagioclase are in trace amounts. The opaque heavy minerals are hematite and goethite with minor amounts of pyrite. Finally, the transparent heavy minerals may be divided into the three following major associations: a) turmaline, zircon and rutile (resistant minerals); b) kyanite, staurolite and almandine (metamorphic

association); and c) metamorphic mineral association from the Utrillas sub-basin, characterised by very low heavy mineral proportions, and by the absence of one or various mineral phases from the association b.

The flow directions from paleochannels and the absence of metamorphic minerals in the sandstone levels of the upper unit of the Escucha Fm. at the northern areas point to the "Plataforma del Ebro" as a possible source area. The minerals with this origin, with variable morphology, could proceed from sedimentary recycling. The metamorphic assemblage found in the southern areas may proceed from the "Macizo Castellano", where gneiss and mica-schists are present.

It is not possible to precise exactly the age of the source areas of the detrital sediments of the Escucha Fm. This is due to the fact that these may have been different through the basin evolution, and also to the evidence of recycling processes. The middle and lower units of the Escucha Fm. at Ariño and Oliete, where the workable coal seams are present, show a metamorphic assemblage which demonstrate the Paleozoic age of the source lands. Consequently, the Triassic units could also supply detrital minerals to the delta system of the Escucha Fm. These results are consistent with the hypothesis of the Triassic origin of the sulphur enrichment of the coals from the Ariño-Oliete area. The recycling of detrital sediments from the Escucha Fm. or a different source land, could account for the protection of the Utrillas sub-basin against the Triassic sulphate supply, and consequently for the lower sulphur content of the coals from this area.

Keywords: Mineralogy. Heavy minerals. Albian. Escucha Formation. Iberian Range. Teruel. NE Spain.

EXTENDED ABSTRACT

This study focuses on the determination of the source areas of the Escucha Fm. (Albian) sediments in the Teruel Mining District (Northeastern Spain, Southeast Iberian Range). The aim of this research is to look for evidences to support the hypothesis of Querol (1990) and Querol et al., (1992) for a potential high sulphate source area for the Escucha formation which could accounted for the high sulphur content of the Albian coals from the Teruel Mining District. This stratigraphical unit was sedimented under estuarine environments (Pardo, 1979 and Querol et al., 1992) which induced the coal accumulation in two different sub-environments, the marine-influenced peatland of the brackish water swamp belt (lower delta plain) and the fresh water swamp plain of the upper delta plain. Although there is an upwards stratigraphic trend to decrease the sulphur content of the coal parallel with the decrease of the marine-influenced sediments, in a basin scale, the marine-influenced coal strata (better developed in the Utrillas area) showed relatively low sulphur contents that the fresh water swamp coals from the upper delta plain. In contrast to what is has been usually found in the coal geochemistry literature, high sulphur coals were formed in non-marine influenced environments. A

possible origin for such anomalous situation is the potential leaching of Triassic sulphates at the margins of the coal basin, contemporaneously with the peat accumulation. If heavy mineral assemblages tracing the Triassic origin could be identified in the of the detrital fraction of the Escucha formation, this processes of sulphur enrichment in the Teruel coal could be confirmed.

To this end, clastic sediments from the inter-coal strata were sampled at different coal mining areas. Nineteen samples from sandstone beds from this sedimentary unit at three stratigraphic successions at the Ariño-Oliete and Utrillas sub-basins were sampled (Fig. 1). Sampling was performed at the Barrabasa (B) and Santa María (A) open pit mines and the Olite section in the Ariño-Oliete sub-basin; at the Elvira open pit mine in the Esteruel area, and in the Los Alemanes open pit mine in the Southern areas of the Utrillas sub-basin (Fig. 1). After the enrichment of the heavy mineral assemblages by using heavy liquids and grain size fractionation, we have carried out a detailed study of the heavy mineral fraction by means of optical and electron microscopy and X-Ray diffraction analyses.

The minerals found in the stratigraphic successions studied are in low proportions and a few mineral phases are present. Tables I to III summarise the mineral assemblages found as well as the concentration of the different minerals. Quartz is the dominant phase in the light mineral association, whereas potassium feldspars and plagioclase are in trace amounts. The opaque heavy minerals are hematite and goethite with minor amounts of pyrite. Finally, the transparent heavy minerals may be divided into the three following major associations (Figs. 2 to 4): a) tourmaline, zircon and rutile; b) kyanite, staurolite and almandine; and c) mineral association from the Utrillas sub-basin, characterised by very low heavy mineral proportions, and by the absence of one or various mineral phases from the association b. These assemblages correspond to the following mineral groups: a) resistant mineral group characterised by a high zircon- and rutile-rich assemblage; b) high metamorphic mineral content assemblage; c) low metamorphic mineral content assemblage.

The results obtained from the sandstones from the Barrabasa open pit (Northern border of the coal basin) evidenced a single heavy mineral assemblage which was characterised by highly rounded tourmaline, zircon and rutile. This morphological and mineralogical patterns indicate a distant source area or a recycled heavy mineral assemblage (such as the potential re-sedimentation of the

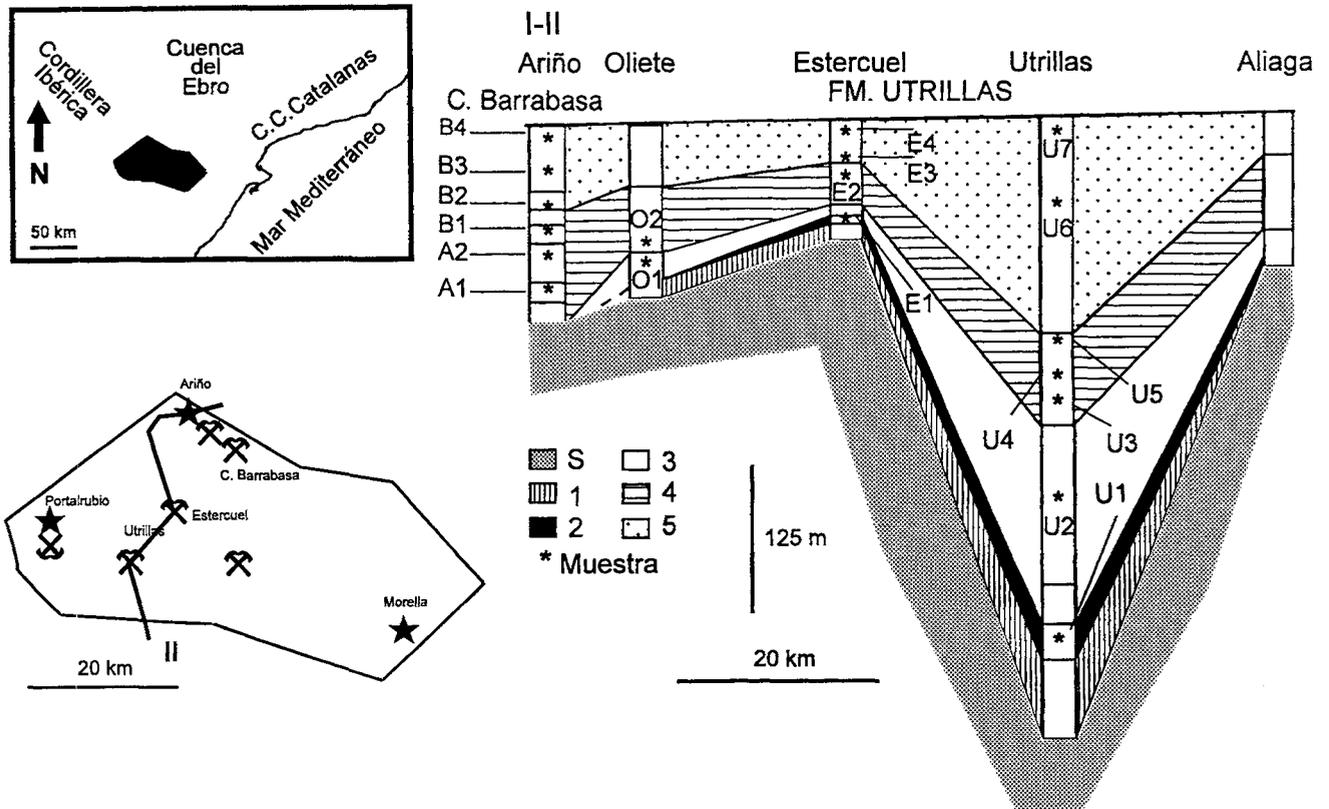


Figura 1. Situación de las muestras en las series de Ariño-Barrabasa, Oliete, Estercuel y Utrillas, de las diferentes cubetas. S, substrato indiferenciado de la Fm. Escucha; 1, facies marinas margosas de plataforma deltaica inferior; 2, microconglomerados y arcillas de la llanura deltaica superior (progradación deltaica inferior); 3, facies carbonosas del cinturón de marismas de la plataforma deltaica superior (unidad de retrogradación deltaica intermedia); 4, facies carbonosas de llanura pantanosa (llanura deltaica superior); 5, facies arcillosas y arenosas de la plataforma deltaica superior (unidad deltaica progradante superior). Los tramos 1 a 3 se corresponden con el tramo inferior citado en la descripción de las series. Los tramos 4 y 5 se corresponden con los niveles medio y superiores.

Figure. 1. Location of samples in the series of Ariño-Barrabasa, Oliete, Estercuel and Utrillas in the different sub-basins. S, substratum of the Escucha Fm.; 1, marly marine facies from the lower delta plain; 2, microconglomerates and clays from the upper delta plain (lower delta progradation unit); 3, coal facies from the brackish waters swamp belt from the lower delta plain (middle delta retrogradation unit); 4, coal facies from the fresh water swamp plain (upper delta plain); 5, clay and sandstone facies from the upper delta plain (upper delta progradation unit). 1 to 3 constitute the lower unit of the Escucha Fm. described in the text. 4 and 5 constitute the middle and upper units, respectively.

Bundsandstein or Keuper sediments, which heavy minerals consist mainly of tourmaline, zircon and rutile). Recycling and mixture of heavy mineral assemblages are also evidenced by the presence of two different morphologies of kyanite grains (highly rounded and prismatic forms) from the metamorphic assemblage.

The flow directions from paleochannels and the absence of metamorphic minerals in the sandstone levels of the upper unit of the Escucha Fm. at the northern areas point to the "Plataforma del Ebro" as a possible source area (Pardo, 1979). The minerals with this origin, with variable morphoscopy, could proceed from sedimentary recycling. As indicated by the presence of kyanite, the

metamorphic assemblage found in the southern areas may proceed from the "Macizo Castellano", where gneisses and mica-schists are present (Ashauer and Teichmüller, 1946; Carls, 1983; Aguilar 1983), although other possible source areas can not be discarded.

It is not possible to precise exactly the age of the source areas of the detrital sediments of the Escucha formation. This is due to the fact that these may have been different through the basin evolution, and also to the evidence of recycling processes. The middle and lower units of the Escucha formation at Ariño and Oliete, where the workable coal seams are present, show a metamorphic assemblage which demonstrate the

Paleozoic age of the source lands. Consequently, the Triassic units could also supply detrital minerals to the delta system of the Escucha formation. Although the present work did not allowed to identify a single source origin of detrital material, the results are compatible with the hypothesis of the Triassic origin of the sulphur enrichment of the coals from the Ariño-Oliete area. The recycling of detrital sediments from the Escucha formation or a different source land, could account for the protection of the Utrillas sub-basin against the Triassic sulphate supply, and consequently for the lower sulphur content of the coals from this area.

CONTEXTO GEOLÓGICO

El Distrito Minero Turoloense se sitúa en la Zona de Enlace (Guimerà, 1984) de las Cadenas Costeras Catalanas y la Rama Oriental de la Cordillera Ibérica (Fig. 1). Las mayores reservas de carbón de este distrito se localizan en la formación Escucha (Albiense inferior-medio). Esta formación fue definida por Aguilar et al., (1971), posteriormente fue redefinida y dividida en tres miembros (Cervera et al., 1976, y Pardo, 1979) y más tarde ha sido objeto de un exhaustivo estudio estratigráfico y sedimentológico que ha permitido inferir un modelo en el que los depósitos de carbón son tratados con especial incidencia (Querol, 1990; Querol et al., 1992).

De acuerdo con los últimos trabajos citados, la Formación Escucha constituye el registro de la sedimentación en un dispositivo de delta - estuario cuya evolución se refleja en la existencia de tres sucesiones sedimentarias: de progradación, retrogradación y progradación deltaica. Este registro sedimentario se presenta de forma compartimentada en seis cubetas separadas por umbrales de sedimentación: 1) Cubeta de Ariño-Oliete, en la que se distinguen dos áreas mineras (áreas del Valle de Ariño y de Esteruel, 2) Cubeta de Utrillas, en la que existen dos áreas de interés minero (áreas de Utrillas - Escucha y de Portalrubio), 3) Cubeta de Castellote, 4) Cubeta de Calanda, 5) Traiguera y 6) Santa Bárbara. Sólo las cuatro primeras cubetas presentan niveles carbonosos de interés minero.

Dentro de la Formación Escucha, Querol (1990) y Querol et al., (1992) han reconocido facies representativas de dos ambientes generadores de depósitos carbonosos claramente diferenciados:

1) La llanura deltaica pantanosa. Constituida por turberas situadas en el sector continental del delta

estuario y. por tanto, protegidas de la influencia de inundaciones marinas. Estas turberas dieron lugar a las capas carbonosas con mayor potencia de las explotadas en el Distrito Minero de Teruel.

2) El cinturón de marismas. Constituido por una estrecha franja de turberas situadas en el área de transición marino - continental del delta estuario. Los depósitos carbonosos generados en este ambiente se caracterizan por presentar una potencia y continuidad lateral menor que las capas de la llanura pantanosa.

El rango definido para los carbones de la Fm. Escucha (Querol et al., 1991) es el de carbones sub - bituminosos B a C. Una de las principales características de estos carbones es su elevado contenido en materia mineral, con claro dominio de los sulfuros de hierro (pirita y marcasita) y de los minerales de la arcilla (caolinita, illita e interestratificados) sobre el cuarzo, los feldespatos y los sulfatos de calcio y hierro (Querol et al., 1989). Puntualmente pueden dominar los sulfuros de cinc o la calcita. Otra de las características más representativas de los carbones de la Fm. Escucha es su alto contenido en azufre (entre 6.10 y 6.50 %).

La correlación de los análisis geoquímicos, mineralógicos y sedimentológicos de las capas de carbón estudiadas ha permitido (Querol et al., 1991 y 1992) poner de manifiesto dos tendencias en cuanto a la distribución del contenido de azufre en los carbones albienses del Distrito Minero Turoloense. La sucesión estratigráfica muestra una tendencia vertical a disminuir el contenido de azufre en las capas de carbón paralelamente al paso gradual ascendente desde capas de carbón intercaladas entre sedimentos marinos a capas intercaladas entre sedimentos continentales. Mientras, a escala de cuenca existe una tendencia lateral de incremento del contenido de azufre en capas de carbón hacia los sectores situados en los bordes de la cuenca, en donde las capas carbonosas se intercalan entre sedimentos de origen únicamente continental.

Las dos tendencias de distribución de azufre, junto a otros criterios estratigráficos, sedimentológicos, paleogeográficos y mineralógicos, han llevado a sugerir dos orígenes diferenciados del azufre de los carbones objeto de estudio (Querol et al., 1991 y 1992):

a) Aportes de sulfatos de aguas marinas infiltradas a través de capas carbonosas con techo marino (capas del cinturón de marismas). Estos aportes controlan la distribución vertical estratigráfica del contenido de azufre, debido al paso gradual de facies del cinturón de marismas a llanura pantanosa hacia el techo de la Fm. Escucha.

b) Aportes de sulfatos procedentes de la lixiviación de evaporitas del substrato liásico - triásico de los bordes de la cuenca por las aguas continentales. Estos aportes son responsables de la tendencia lateral de incremento del contenido de azufre en capas de carbón de sectores situados en los bordes de la cuenca, en donde las capas carbonosas se intercalan entre sedimentos de origen únicamente continental.

El aporte del azufre procedente del reciclaje de evaporitas triásicas y liásicas podría ser una de las causas principales del elevado enriquecimiento de azufre en algunos depósitos de carbón jurásicos, cretácicos y terciarios de origen límnico situados en el sector europeo-mediterráneo. En este sentido, estudios isotópicos de facies evaporíticas terciarias de la Península Ibérica (Ortí et al., 1988) demuestran que, con frecuencia, éstas provienen de la lixiviación y reprecipitación de evaporitas mesozoicas. Tal pudo ser el caso de los carbones albienses del Distrito Minero Turolense, generados en ambientes de llanura deltaica pantanosa.

En cualquier caso, la hipótesis del enriquecimiento en azufre de los carbones turolenses debido al reciclaje de evaporitas triásicas se apoya en la estrecha relación existente entre mayores contenidos de azufre y proximidad a afloramientos triásicos. Esta hipótesis se ha tratado de comprobar por estudios isotópicos del azufre. Sin embargo, el intenso fraccionamiento isotópico producido por la precipitación singenética-bacteriana de los sulfuros en los carbones enmascara cualquier posibilidad de relacionar la composición isotópica del azufre de los carbones con el de las evaporitas triásicas.

En el presente estudio nos planteamos como objetivo la determinación de potenciales áreas fuentes para los depósitos detríticos de la Fm. Escucha para apoyar o desmentir la hipótesis anteriormente citada sobre el reciclaje de materiales triásicos. Este objetivo se pretende alcanzar mediante el estudio de los minerales pesados presentes en facies arenosas de la Fm. Escucha en el área de estudio.

Tabla 1. Minerales pesados y ligeros en la fracción 0.250-0.125 mm. En minerales pesados: Op, opacos; Ant, anatasa; Zrn, circón; Grt, granate (almandino); Ru, rutilo; Ttn, titanita; Tur, turmalina; Ep, epidota-zoisita; Anf, anfíboles; Sil, sillimanita; Ky, cianita; St, estauroilita; O, otros. En minerales ligeros: Qtz, cuarzo; Kfs, feldespatos potásicos; Pl, plagioclasas.

Table 1. Heavy and light minerals in the 0.250-0.125 mm fraction. Heavy minerals: Op, opaque minerals; Ant, anatase; Zrn, zircon; Grt, garnet (almandine); Ru, rutile; Ttn, titanite; Tur, tourmaline; Ep, epidote-zoisite; Anf, amphiboles; Sil, sillimanite; Ky, kyanite; St, staurolite; O, others. Light minerals: Qtz, quartz; Kfs, K-feldspars; Pl, plagioclases.

	MINERALES PESADOS											MINERALES LIGEROS				
	Op	Ant	Brk	Zrn	Grt	Ttn	Tur	Ep	Anf	Sil	Ky	St	Otros	Qtz	Kfs	Pl
B4	91.2		0.2			0.2	8.1				0.2			100		
B3	80.2		0.3		0.6	0.1	18.4				0.1	0.1		100		
B2	80.6		0.9		0.5		17.4					0.1	0.3	100		
B1	92.9		0.2	0.1	0.2		6.4							100		
A2	60.8		0.9	1.0			35.1				0.9	0.9	0.2	79	12	9
A1	81.4		0.1	1.5		0.1	11.6				0.1	0.8	0.1	80	10	10
02	74.3	0.2	1.0	0.3	0.3	0.1	21.1				0.6	2.0		92	7	1
01	70.6		0.3	8.3	0.3	0.1	11.9				2.1	6.3				
E4	59.0	0.1	0.3	0.2	0.1		31.9				1.0	7.1	0.2	78	22	
E3	96.7			0.2			2.5					0.2	0.2	88	12	
E2	98.1		0.1	0.1			1.2				0.1	0.1		88	12	
E1	99.1		0.1	0.1		0.1					0.3			62	29	9
U7	66.4	0.2	0.9	0.7	0.9	0.1	28.7	0.2	0.2	0.2		0.5	0.5	93	7	
U6	59.1			0.7			27.0				0.7	11.8	0.5	89	11	
U5	100													70	30	
U4	100															
U3	100													100		
U2	89.8						9.9					0.2				
U1	48.9		0.2	2.8			44.8					2.8	0.2	76	17	7

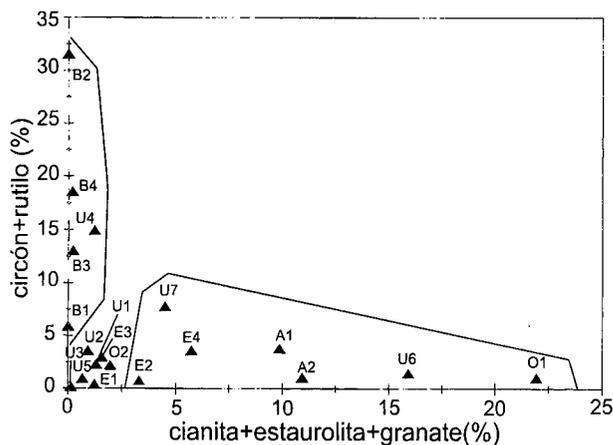


Figura 2: Correlación cianita-estaurolita-granate / circón-rutilo. Nótese la distribución en 3 grupos: a) rico en circón-rutilo; b) rico en metamórficos; c) pobre en estos minerales.

Figure 2: Correlation between kyanite-staurolite-almandine / zircon-rutile. Note the identification of three different mineral assemblages: a) high contents in zircon-rutile; b) high content in metamorphic minerals; c) low content in metamorphic minerals.

METODOLOGÍA

Muestreo

Las muestras utilizadas para el estudio de minerales pesados representan niveles de areniscas, arenas y microconglomerados de la Fm. Escucha en las cubetas de Ariño-Oliete y de Utrillas. La ubicación de las muestras se detalla en la figura 1. Cada muestra ha sido obtenida mediante una roza perpendicular a los niveles arenosos muestreados, cuya potencia varía entre 1 y 10 m. La selección de los niveles arenosos responde a una estrategia basada en el muestreo de tres series correlacionables en dirección norte-sur, que pueden resumirse en:

- 1) En el sector norte del área de estudio se ha muestreado una serie completa, representativa del norte de la cubeta de Ariño-Oliete, constituida por los siguientes tramos y muestras:
 - 1.1) El tramo inferior de la serie se ha muestreado en la base de la Fm. Escucha en Oliete y está representado por arenas glauconíticas ricas en bioclastos del cinturón de marismas (muestra O1).
 - 1.2) El tramo intermedio se ha muestreado en la serie de Oliete (muestra O2) y en el Desmonte Santa María (Ariño). En este último las muestras A1 y A2 se han obtenido del muestreo de secuencias arenosas canaliformes de las facies distales de la llanura deltaica superior.
 - 1.3) El tramo superior se ha muestreado en el

Desmonte Barrabasa (Andorra). Las muestras B1 a B4 se han obtenido del muestreo de secuencias arenosas canaliformes de las facies proximales de la llanura deltaica superior.

- 2) En el sector central del área de estudio se ha muestreado una serie completa, representativa del sur de la cubeta de Ariño-Oliete, en el Desmonte Elvira (Estercuel). Las muestras estudiadas son:
 - 2.1) Tramo inferior: Areniscas glauconíticas (muestra E1) equivalentes laterales de las muestras O1 y O2 obtenidas en el sector norte.
 - 2.2) Tramo medio: Arenas canaliformes del tramo medio de la unidad (E2), equivalentes a las muestreadas en el mismo tramo del sector norte.
 - 2.3) Tramo superior: Arenas canaliformes de las facies proximales de la llanura deltaica superior (E4 y E3).
- 3) En el sector sur del área de estudio se ha muestreado una serie completa, representativa de la cubeta de Utrillas. Las muestras estudiadas son:
 - 3.1) Microconglomerados y arenas de facies canaliformes de la llanura deltaica superior de la base de la Fm Escucha (muestra U1), muestreados en la serie de la Barriada sur de Utrillas. Estos niveles corresponden a la secuencia de progradación deltaica descrita para la base de la Formación.
 - 3.2.) Areniscas glauconíticas (U2) equivalentes laterales de las facies descritas en el tramo inferior de las series de Estercuel y Ariño-Oliete, y muestreadas en la Barriada sur de Utrillas.
 - 3.3) Secuencias arenosas canaliformes de las facies distales de la llanura deltaica superior (U3 a U5), muestreadas en el Desmonte de los Alemanes (Utrillas), y equivalentes a los tramos medios de Ariño-Oliete y Estercuel.
 - 3.4.) Arenas canaliformes de las facies proximales de la llanura deltaica superior (U6 y U7) equivalentes a los tramos superiores de las series de Estercuel y Ariño-Oliete, y muestreadas en los alrededores de la población de Escucha.

Tratamiento de las muestras

Se ha seguido el método desarrollado por Pérez Mateos (1965). La marcha analítica resumida es la siguiente:

1. Una vez disgregadas las areniscas en agua se lavan y decantan varias veces, al igual que las arenas, para extraer la fracción fina, y a continuación se secan.

2. Se separan de estas arenas unos 20 gr y se tamizan con mallas de 0.500, 0.250 y 0.125 mm.
3. Se toman 10 gr de las fracciones 0.250-0.125 y < 0.125 mm y se tratan en algunos casos con HCl 10 %, en frío durante media hora, para eliminar la pátina de óxidos de hierro que presentan los granos de las muestras O1, U2 y U4. Se lavan y se secan las muestras.
4. La fracción resultante se vierte sobre un embudo separador con llave perforada que contenga 2/3 de bromoformo (2.88 g/cc a 18 °C). Se agita y se deja reposar para que se depositen los minerales pesados, y se efectúa la separación de las fracciones ligera y pesada en los rangos 0.250-0.125 y < 0.125 mm para cada muestra.
5. Para la determinación de la fracción pesada se montan preparaciones en bálsamo del Canadá en placa eléctrica a unos 125 °C, y por otra parte, se analizan mediante difracción de rayos-X para la determinación de los minerales opacos. En el primer caso se observan los granos con el microscopio de polarización y se realiza un conteo.

En el caso de la cianita rodada, se utilizó el microscopio electrónico para su identificación.

6. Para la determinación de la fracción ligera se utilizó el método de coloración selectiva con sodio hexanitro cobaltato (III) (Cailleux y Tricart, 1963), determinándose cuarzo, feldespatos potásicos y plagioclasas.

MINERALOGÍA

Cuarzo y feldespatos

El cuarzo es el mineral dominante, oscilando su proporción entre 62 y 100% (Tabla I). En general son granos formados (menos en la fracción < 0,125mm) por granos de cuarzo muy pequeños que no se disgregaron cuando se lavaron las muestras de areniscas y las arenas. En general los granos que se aislaron en el lavado no están rodados, como máximo hay algunos sub-redondeados. En el caso de la sucesión Barrabasa la turmalina, el circón y el rutilo están muy rodados, mientras que en el tramo superior el cuarzo no lo está tanto, motivo por el cual no parecen tener el mismo origen el cuarzo y los minerales pesados comunes.

La proporción de feldespatos potásicos, varía entre 0

Tabla 2. Resultados sobre la identificación de los minerales pesados opacos mediante difracción de rayos-X. A, Ariño; B, Barrabasa; E, Estercuel; O, Oliete; U, Utrillas.

Table 2. Results on the identification of opaque heavy minerals by means of X-ray diffraction. A, Ariño; B, Barrabasa; E, Estercuel; O, Oliete; U, Utrillas.

	Hematites	Goethita	Pirita
B1,2,3y4	+	+	
A2	+	+	+
A1	+	+	+
O1y2	+	+	
E4	+	+	+
E3	+	+	
E2	+	+	+
E1	+	+	
U3a5	+	+	+
U1,2,6,7	+	+	+

y 30%, correspondiendo las mayores proporciones a U5 y E1. Los feldespatos están ausentes en Barrabasa, donde la meteorización parece haber sido mayor.

La proporción de plagioclasas (Tabla 1) varía entre 0 y 10%, y la mayor proporción corresponde a Ariño y Estercuel. Su baja proporción puede indicar o un área fuente pobre o un largo período de erosión, ya que son estos minerales, dentro de los ligeros, los más fácilmente alterables.

Minerales pesados opacos

La Tabla 2 resume los resultados sobre la identificación de los minerales pesados opacos mediante difracción de rayos-X (DRX). En Barrabasa todas las muestras tienen los mismos minerales opacos: hematites y goethita. En Ariño-Oliete existen en todas las muestras hematites y goethita, y en Ariño, además de éstas, pirita. En Estercuel, los opacos varían en las diferentes muestras, con la presencia de hematites (excepción en E2), goethita y en algún caso pirita. En el sector medio de la formación (U3 a U5) son muy abundantes los minerales opacos, esencialmente hematites con goethita y pirita.

Consideramos a los sulfuros como diagenéticos y a los óxidos como resultantes de la oxidación de los sulfuros.

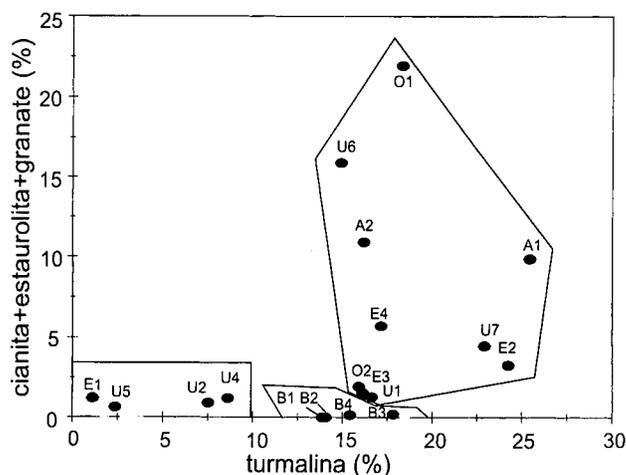


Figura 3. Correlación turmalina / cianita-estaurolita-granate. Nótese la separación entre: a) muestras ricas en turmalina; b) muestras con diferentes proporciones de minerales metamórficos; c) muestras pobres en minerales metamórficos.

Figura 3. Correlation between tourmaline / kyanite-staurolite-almandine. Note the identification of three different mineral assemblages: a) tourmaline-rich samples; b) samples with different proportions of metamorphic minerals; c) samples with low content in metamorphic minerals.

Minerales pesados transparentes

Los minerales pesados transparentes no son ni abundantes ni variados y el dominante general es la turmalina, que se encuentra casi siempre en proporción muy elevada (Tablas 1 y 3). Existen al menos dos asociaciones mineralógicas diferentes, una formada por turmalina, circón y rutilo y otra por cianita, estaurolita y granate, y minerales accesorios como anatasa, titanita y otros. Tal vez exista una tercera asociación con los mismos minerales metamórficos y diferente origen.

A) Turmalina: Es el mineral transparente más abundante en estas muestras. Aunque varía bastante su proporción de una muestra a otra, sólo en dos casos es mayor la proporción de circón (Tabla 3). Presenta morfoscopia variada, más rodada en el techo de la formación en Barrabasa y en la base en Ariño, Oliete y Utrillas. Las más abundantes son las turmalinas pardas, aunque existen algunas verdes y azules y tienen fuerte pleocroismo.

B) Circón: Se presenta el circón en granos rodados ovalados o en formas prismáticas poco erosionadas. Los granos rodados se presentan en Barrabasa (techo de Ariño-Oliete) en donde el grado de redondeamiento aumenta de la base al techo, y en el

sector medio de Utrillas (U4). En las demás muestras en que se ha encontrado circón, es menos abundante y está poco rodado, en este caso se presenta en granos prismáticos euhedrales y solamente están erosionadas las pirámides terminales. En algunos casos se presentan en forma de cristales muy alargados y estrechos. Son frecuentes las inclusiones.

C) Rutilo: Se presenta acompañado por circón y turmalina, y está rodado. Además de en Barrabasa (techo de Ariño-Oliete), en donde este mineral es frecuente, se halla solo en cierta proporción en el techo de Estercuel (E3) y en la base y techo de Utrillas (U1 y U7).

D) Granate: El granate presente es el almandino, en forma de granos angulosos de fractura concoide, a veces rodados. No se han encontrado ni formas euhedrales ni completamente redondeadas. En general es incoloro. El almandino está presente en el techo del sector de Utrillas y en el techo y sector medio de Ariño-Oliete. Existe una clara disminución del contenido en granate en dirección sur (desde el sector de Ariño a Estercuel y de éste a Utrillas).

E) Estaurolita: La estaurolita se presenta en granos con aristas vivas y cortantes originando a veces granos mellados. Son de color amarillo con ligero pleocroismo y con algunas inclusiones carbonosas. Su asociación con la cianita y el granate es característica de determinados sedimentos.

F) Cianita: La cianita se presenta en dos formas, una prismática aplanada con aristas muy visibles y otra rodada, ovoidea o sub-redondeada. Es incolora o ligeramente manchada a veces con pequeñas inclusiones. La presencia de cianita indica que el área fuente ha sufrido los efectos de metamorfismo regional de alta presión y baja temperatura (Pérez Mateos, 1965).

Como minerales accesorios frecuentes están la anatasa y la titanita, que se presentan en las formas que les son características.

CARACTERÍSTICAS DE LAS SERIES ESTUDIADAS

Del estudio mineralógico realizado en las arenas y areniscas de la formación Escucha en las series Barrabasa, Oliete-Ariño, Estercuel y Utrillas en el bajo Aragón turolense se puede deducir lo que sigue:

Tabla 3. Minerales pesados en la fracción <0, 125 mm. Op, opacos; Ant, anatasa; Brk, brookita; Zrn, circón; Grt, granate (almandino); Ru, rutilo; Ttn, titanita; Tur, turmalina; Ep, epidota-zoisita; Anf, anfíboles; Sil, sillimanita; Ky, cianita; St, estauroлита; O, otros.

Table 3. Heavy minerals in the <0.125 mm fraction. Op, opaque minerals; Ant, anatase; Brk, brookite; Zrn, zircon; Grt, garnet (almandine); Ru, rutile; Ttn, titanite; Tur, tourmaline; Ep, epidote-zoisite; Anf, amphiboles; Sil, sillimanite; Ky, kyanite; St, staurolite; O, other minerals.

	Op	Ant	Brk	Zrn	Grt	Ru	Ttn	Tur	Ep	Anf	Sil	Ky	St	O
B4	65.2	0.1		13.9		4.6	0.4	15.4				0.1		
B3	68.5	0.1		10.9		2.1	0.1	17.8				0.1	0.1	
B2	54.5			25.9		5.6		13.8						
B1	80			4.4		1.5		14.1						
A2	71.1	0.2		1.1	5.9		0.4	16.2				2.8	2.1	
A1	60.6			3.7	6.1	0.1	0.2	25.4				2.5	1.1	
O2	79.6	0.1		1.8	0.1	0.4	0.1	15.9				0.8	1.0	
O1	57.2	0.2		0.8	13.0	0.2	0.9	18.3		0.2		4.6	4.3	
E4	73.0	0.1		3.0	0.5	0.5	0.2	17.1				2.1	3.1	
E3	78.3	0.5		1.3	0.4	1.7	0.1	16.1		0.1		1.0	0.1	0.1
E2	70.5	0.8		0.8	2.9		0.1	24.2		0.2		0.2	0.1	
E1	97.0				0.8	0.4		1.1				0.3	0.1	0.1
U7	62.8	1.1		4.9	3.6	2.8	0.2	22.9	0.1		0.3	0.1	0.7	0.1
U6	66.0	0.6	0.1	0.6	3.1	0.8		14.9		0.1	0.1	0.6	12.2	0.6
U5	95.9			1.0	0.6			2.3						
U4	74.5	0.3		14.8	1.0	0.1	0.2	8.6				0.1	0.1	0.1
U3	100													
U2	86.6	0.4		3.3		0.3	0.2	7.5		0.2		0.1	0.8	0.3
U1	77.5	0.4		1.1	0.2	1.1	0.5	16.6				0.2	0.8	0.2

Cubeta de Ariño-Oliete

A) Sector Norte, tramo superior (serie Barrabasa, muestras B1 a B4)

Esta sucesión representa el techo de la Fm. Escucha en el sector de Ariño-Oliete. Tiene Barrabasa una constitución mineralógica formada casi exclusivamente por turmalina, circón y rutilo, e indicios de otros minerales. La turmalina se presenta casi en la misma proporción que el circón, y el rutilo es menos abundante (Tabla 3).

Los minerales están mucho más rodados en el techo. Como son minerales muy resistentes y comunes a casi todo tipo de rocas, su origen es difícil de determinar. En la hoja de Daroca (Aguilar, 1983) esta asociación es muy frecuente desde las areniscas del Cámbrico hasta las del Buntsandstein y podría ser el residuo de un sedimento más rico en especies minerales. La turmalina y, en menor grado, el circón, parecen indicar, por su variada morfología, que se trata de un material reciclado. Que el techo esté solo formado por granos muy rodados podría

ser debido al cambio del régimen de transporte que fue demostrado por Pardo (1979) por criterios sedimentológicos, o a que sean sedimentos reciclados.

B) Sector Norte, tramos medio e inferior (series de Ariño-Oliete, muestras A1, A2, O1 y O2)

Encontramos en esta serie al menos dos asociaciones mineralógicas diferentes. Una es parecida a la encontrada en el techo de la serie (Barrabasa), formada por turmalina y circón, y solamente con indicios de rutilo. La turmalina es el mineral mayoritario, evoluciona en forma cíclica y supera en algún caso el 25% de la fracción pesada. Es idiomorfa o subredondeada en la base y más angulosa en el techo. El circón aumenta hacia el techo y se presenta (como la turmalina) en dos formas, una con prismas muy visibles y otra más rodada, lo que podría indicar dos fuentes para estos minerales. Los minerales accesorios más importantes son la anatasa, el rutilo y la titanita que aumenta ligeramente hacia la base.

Otra asociación es la formada por cianita, estauroлита y granate. Es la cianita un buen mineral guía en las

correlaciones estratigráficas por su origen exclusivamente metamórfico. El granate puede proceder también de rocas ígneas pero lo incluimos entre los minerales metamórficos porque su presencia es mayor en las muestras más ricas en cianita y estauroлита, y porque con éstas constituye una asociación metamórfica típica. Las tres especies son más abundantes hacia la base (4.59, 4.35 y 13% respectivamente). La cianita la encontramos en dos formas: una prismática con estrías rectilíneas y otra ovalada que ha sufrido una erosión más intensa, lo que parece indicar que se ha producido una mezcla de aportes.

C) Sector Sur (serie Estercuel)

Esta serie se sitúa al sur de la cubeta de Ariño-Oliete y comprende una sección completa de la Fm. Escucha. Encontramos en esta serie un aumento de minerales opacos y las dos asociaciones mineralógicas identificadas en el sector norte, aunque la asociación metamórfica presenta un contenido inferior en este sector.

La turmalina es abundante con distribución irregular y morfoscopía variada pero sin granos totalmente rodados, lo mismo que el circón. La cuenca corresponde a sedimentación fluvial que se caracteriza por cursos muy sinuosos, divagación lateral y una granulometría que es más gruesa en el tramo superior que en la base (Pardo, 1979).

En la asociación metamórfica con cianita, estauroлита y granate, los dos primeros son más abundantes hacia el techo, mientras que el granate aumenta hacia la base y la cianita está también en dos formas (prismática y rodada), por lo que debe tener también dos fuentes o haber reciclaje de materiales.

Cubeta de Utrillas

A) Serie Utrillas (muestras U1 a U7)

Encontramos en esta serie la asociación formada por turmalina, circón y rutilo. La turmalina, más rodada en la base, tiene una distribución con valores máximos en techo y base y variables en el centro. El circón tiene esta misma distribución, pero con un máximo en U4, y el rutilo aumenta en techo y base pero disminuye en el centro de la serie. Su distribución es más irregular que en las otras series.

La asociación metamórfica encontrada es mucho más pobre que en Ariño-Oliete y Estercuel. La cianita es muy

escasa, la estauroлита sólo es abundante en una muestra del techo de la serie (U6), y el granate aumenta hacia el techo.

Existen en Utrillas muestras con el cien por cien de material opaco (Tablas 1 y 3), lo que dificulta la interpretación de los datos obtenidos. En la base de la serie la muestra U1 no presenta variaciones importantes respecto a las otras muestras, excepto en el tamaño de 0.250 mm que presenta un 45 % de turmalina (Tabla 1).

El tratamiento de los resultados de todas las series estudiadas diferencia siempre tres grupos de minerales. La correlación entre cianita-estauroлита-granate y circón-rutilo (figura 2) permite diferenciar: a) un grupo de muestras constituido por el tramo superior de la Fm. Escucha en el sector Ariño-Oliete y de Utrillas (muestras de Barrabasa, y U4) con una alta proporción de circón y rutilo frente a los minerales metamórficos; b) muestras de la serie de Ariño, O1, E2, E4, y U6, U7; c) muestras muy pobres en minerales pesados transparentes.

Si correlacionamos los minerales metamórficos con la turmalina, el mineral más abundante, los resultados muestran tres grupos diferenciados (Fig.3): a) muestras del tramo superior de la Fm. Escucha en el sector Ariño-Oliete (muestras de Barrabasa); b) muestras del techo y tramo inferior de Utrillas U1, tramos medio y superior de Estercuel y toda la serie de Ariño-Oliete; c) base de Estercuel E1 y tramo medio de Utrillas.

La correlación turmalina con circón y rutilo, muestra también tres grupos (Fig. 4): a) muestras del techo del sector de Ariño-Oliete (Barrabasa) y muestras U4 y U7; b) muestras del sector de Ariño-Oliete, y tramo medio y superior de Estercuel y techo y base de Utrillas; y c) muestras del tramo medio de Utrillas y base de Estercuel.

La serie Barrabasa queda bien delimitada en las tres correlaciones. La serie Ariño-Oliete queda bien delimitada en las correlaciones de turmalina con cianita-estauroлита-granate (metamórficos) y de turmalina con circón-rutilo (Figs. 3 y 4). La serie Estercuel (serie completa del sector sur de la cubeta Ariño-Oliete) queda mejor delimitada en las correlaciones de turmalina con rutilo-circón y de turmalina con minerales metamórficos (Figs. 3 y 4). Las muestras de la cubeta de Utrillas no llegan a diferenciarse completamente en ninguna de las tres correlaciones, aunque se intuye una mayor agrupación en la correlación minerales con circón-rutilo (Fig. 2).

DISCUSION

Todos los minerales pesados existentes, tanto en la asociación de minerales resistentes como en la asociación de minerales metamórficos, podrían proceder de una sola, extensa y litológicamente variada área fuente: las rocas metamórficas, graníticas y sedimentarias del Macizo Castellano situado al W y NW de las cuencas estudiadas. De hecho, las mismas asociaciones se han encontrado en el Cretácico inferior del Surco Ibérico Suroccidental, entre Teruel y Cuenca (Rincón, 1982).

La variada morfoscopia de los granos indica, para las dos asociaciones, transporte desde diferentes distancias para una misma especie mineral, o bien que el origen de una parte de ella proceda del reciclado de rocas sedimentarias previas. Éstas pudieron corresponder al Paleozoico del Macizo Castellano, pero también a distintas unidades del Mesozoico de la propia cuenca de la Cordillera Ibérica (Buntsandstein, Purbeck y Weald, principalmente). No debe olvidarse la disposición discordante de la Fm. Escucha sobre su substrato (Querol, 1990) y su depósito ligado a cuencas limitadas por fallas activas (episodio de "rifting" kimeridgiense-albiense medio, Salas y Casas, 1993). Así pues, por el conjunto de las características de los minerales, pudieron existir áreas fuente de distintas edades.

Aunque los datos de paleocorrientes son escasos, Pardo (1979) postula una procedencia general de los aportes desde el NW para la Fm. Escucha de las distintas cubetas del distrito minero de Teruel. Se plantea entonces el problema de la escasez de minerales de la asociación metamórfica, y especialmente de cianita, en la cubeta de Utrillas frente a su mayor abundancia en la de Ariño-Oliete. De alguna manera el área fuente no debió ser común para ambas cubetas.

Pardo (1979) mide también aportes de dirección N-S en el sector septentrional de la cubeta de Ariño-Oliete. Aunque señala que la creación de surcos submeridianos durante la sedimentación de la Fm. Escucha pudo condicionar localmente la dirección de los aportes generales NW-SE, cabría sospechar un área fuente septentrional diferenciada para la cubeta de Oliete.

En esta posición se encontraba durante el Paleozoico el "Macizo del Ebro" (Ashauer y Teichmüller, 1946), que entre el Cámbrico y el Devónico suministró detritos hacia el NE (cuenca pirenaica) y hacia el SW (prolongación de la Zona Asturoccidental-leonesa, actual zócalo Paleozoico de la Cordillera Ibérica (Carls, 1983). Por tanto, la asociación turmalina-circón-rutilo que encontró Aguilar

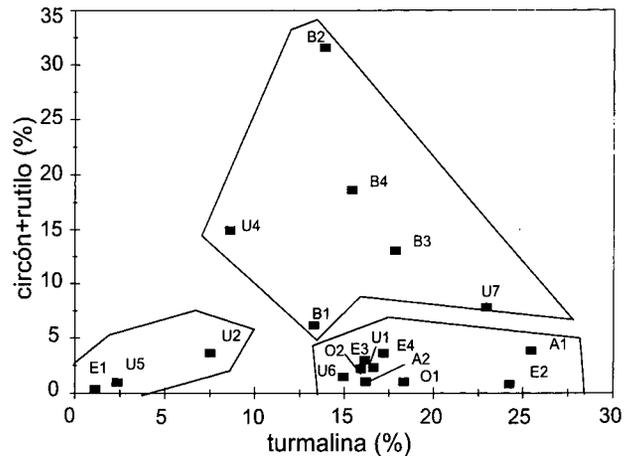


Figura 4. Correlación turmalina / circón-rutilo. Se diferencian tres grupos: a) ricos en circón-rutilo; b) ricos en turmalina y c) pobre en estos minerales.

Figura 4. Correlation between tourmaline / zircon-rutile. Note the identification of three different mineral assemblages: a) zircon-rutile rich samples; b) tourmaline-rich samples; c) samples with low content in metamorphic minerals.

(1983) en las areniscas paleozoicas de la hoja de Daroca a 1:50.000 procederían de esta fuente, de composición esencialmente granítica (Carls, op. cit). La misma asociación, posiblemente reciclada del zócalo Paleozoico de la Ibérica, vuelve a ser detectada por Aguilar (op. cit.) en el Buntsandstein de la hoja de Daroca.

En la Fm. Escucha de la cubeta de Ariño-Oliete encontramos de nuevo esta misma asociación de minerales resistentes. En Barrabasa, dichos minerales aparecen muy rodados en el techo. En Ariño-Oliete y Esteruel encontramos una asociación parecida a la de Barrabasa, pero con muy poco rutilo. La turmalina, mineral mayoritario, evoluciona en forma cíclica y es idiomorfa o subredondeada en la base y más angulosa en el techo, y el circón también se presenta en las dos formas. En la cubeta de Utrillas encontramos también esta asociación, pero su distribución es más irregular que en las otras series.

Además de esta asociación de minerales resistentes, en la cubeta de Ariño-Oliete hemos señalado la existencia de una asociación metamórfica formada por cianita, estauroлита y granate. Incluimos el granate en esta asociación porque no aparece en los sedimentos que no poseen los otros minerales del metamorfismo, como en el caso de Barrabasa. En la serie de Barrabasa la cianita se encuentra en dos formas: prismático-aplanada con estrías y ovalada, ésta en menor proporción. El hecho de encontrar estos dos tipos de cianita en el mismo sedimento

nos puede indicar que hay mezcla de dos áreas fuente, una más próxima y otra más lejana. En cualquier caso el “Macizo del Ebro” quedaría excluido de estas áreas fuente, ya que ni en el Paleozoico ni en el Trías de la hoja de Daroca ha sido descrita tal asociación metamórfica.

En la cubeta de Utrillas la proporción de minerales metamórficos es mucho más baja. Esta tendencia podría explicarse según dos hipótesis:

- a) La serie de cianitas del norte (cubeta de Ariño-Oliete) se puede haber expandido hacia el sur, “contaminando” la serie Utrillas, sobre todo el techo de la formación. De hecho, en las áreas próximas a la ensilladura del umbral de Montalbán, entre las cubetas de Ariño-Oliete y Utrillas, Pardo (1979) detecta aportes desde el N (azimuts de 200°). En cualquier caso, la casi siempre escasa presencia de minerales de la asociación metamórfica indicaría que este aporte, de existir, tuvo una importancia limitada.
- b) Que el área fuente para la cubeta de Utrillas sea diferente a la de las cubetas septentrionales, ya que en las muestras del techo de la formación (U6 y U7) la proporción de estauroлита y granate parece elevada frente a la cianita, que está en baja proporción, para tratarse de una contaminación. Todo ello podría indicar dos áreas fuente no muy diferentes en cuanto a su composición mineralógica.

Ambas hipótesis explicarían la reducción de minerales metamórficos en Utrillas respecto a las cubetas del norte, así como que el área fuente del azufre en los carbones de esta zona (con mucho menor contenido en este elemento) sea otra diferente a la del reciclado de las evaporitas triásicas. Así, para la cubeta de Utrillas, en el caso de estar comunicada con la cubeta norte, el sulfato triásico quedaría fijado en los carbones de la cubeta de Ariño-Oliete (con un mayor contenido en azufre). En el caso de presentar un área fuente más lejana, la dispersión de los sulfatos sería mayor y su incidencia en el enriquecimiento de azufre de estos carbones sería mucho menor. Por el contrario, en la cubeta de Ariño-Oliete, por la mayor proximidad al área fuente triásica los sulfatos quedarían fijados, confiriendo a los carbones de este sector un alto contenido en azufre.

Durante el Albiense, el macizo del Ebro fué un área de no sedimentación o de sedimentación somera que Canerot (1974) denomina “Plataforma del Ebro”. Actualmente, bajo el Terciario de la cuenca del Ebro, la “Plataforma del Ebro” conserva mayoritariamente

cobertera mesozoica correspondiente al Trías germánico, Jurásico y escaso Cretácico inferior (Riba et al., 1983). Aparte del Carbonífero arenoso aflorante en Puig Moreno, sólo se ha señalado la presencia de Paleozoico en la provincia de Lleida (Ríos, 1963), pero de composición esencialmente lutítica, y en el extremo NE de la cuenca del Ebro, en las provincias de Barcelona y Girona, se ha encontrado granito bajo el terciario.

Así pues, difícilmente pudo suministrar la “Plataforma del Ebro” minerales de la asociación metamórfica. Mucho más claro es su potencial como fuente de minerales resistentes. Esta influencia pudo ser máxima para el techo de la Formación Escucha en la cubeta de Oliete, tal como ocurre en la serie de Barrabasa, donde en el techo únicamente aparecen minerales resistentes, rodados y reciclados desde sedimentos previos.

Masriera y Ullastre (1982) también rechazan la plataforma del Ebro como fuente de la asociación de minerales metamórficos del Senoniense pirenaico y llegan a plantear la hipótesis de una fuente oriental (catalana-corsu-sarda-provenzal) para tal asociación.

Una tal fuente también puede ser invocada para el Albiense de la Ibérica. En este caso, la “Plataforma del Ebro” habría sido un área de mera transferencia de minerales metamórficos desde una cuenca de drenaje distante, pero hasta la fecha no existe confirmación de esta hipótesis basada en estudios mineralógicos de la composición de la misma.

Los resultados obtenidos no han permitido precisar con exactitud la edad de los materiales del área fuente de la Fm. Escucha debido a que éstos han podido variar en el tiempo y a un posible reciclaje de sedimentos. Sin embargo, los tramos que en Ariño y Oliete contienen las capas de carbón explotables presentan una asociación metamórfica en los minerales pesados, por lo que se puede deducir que el área fuente era paleozoica. Ello implica que las unidades suprayacentes, y por tanto las triásicas, podrían haber contribuido como área fuente de material detrítico al sistema deltaico. Por tanto, los resultados son compatibles con la hipótesis de que las evaporitas triásicas fueron una fuente esencial del azufre de los carbones de Ariño-Oliete.

CONCLUSIONES

1. Se diferencian en el área dos asociaciones mineralógicas. Una con turmalina, circón, y rutilo y

otra con cianita, estaurilita y granate. Así mismo se pueden diferenciar dos provincias, una septentrional con cianita y otra meridional en que este mineral es muy escaso.

2. La serie Barrabasa (techo de la Fm. Escucha en la cubeta de Ariño-Oliete) presenta como minerales pesados únicamente turmalina, circón y rutilo, en el techo muy rodados. El mayor rodamiento de estos minerales en el techo de la formación podría ser debido a que procedían de un área fuente más lejana o que se trate de un material reciclado.
3. La turmalina, y a veces el circón, por su variedad morfoscópica en casi todas las muestras parece indicar que se trata de un material reciclado.
4. La cianita que se encuentra en dos formas, una prismática y otra ovalada, parece también indicar que ha habido una mezcla de sedimentos, unos con fuente más próxima que suministraría los minerales más angulosos y otros con fuente más lejana, de la que procedería la cianita rodada; o bien que esta última procede de un material reciclado.
5. Para los minerales típicos del metamorfismo, el área fuente pueden ser las rocas metamórficas del Macizo Castellano, que al contener cianita demuestran que proceden de ciertos gneis y micaesquistos. Otras posibles fuentes nororientales son, por el momento, hipotéticas.
6. Las muestras de Barrabasa (techo de la Fm. Escucha en el sector norte) presentan una proporción de minerales metamórficos prácticamente nula, y un alto contenido en turmalina, circón y rutilo. Esta asociación mineralógica ha de proceder del reciclaje sucesivo de asociaciones mineralógicas pre-existentes, quedando al final únicamente los minerales más resistentes. Estos podría tener como área fuente la "Plataforma del Ebro", como se deduce también del estudio de las paleocorrientes.
7. El presente estudio no permite precisar con exactitud la edad de los materiales del área fuente de la Fm. Escucha en el área de estudio. Este hecho se debe a que las áreas fuentes han podido variar en el tiempo y también al reciclaje de sedimentos evidenciado en el presente trabajo.
8. La asociación metamórfica de minerales pesados determinada para los tramos medio y basal del sector

de Ariño-Oliete indican un área fuente paleozoica. Por tanto, todas las unidades suprayacentes, incluyendo las evaporitas triásicas, podían contribuir como área fuente de material detrítico al sistema deltaico. Por ello los resultados obtenidos son compatibles con la hipótesis de que los materiales triásicos fueron una fuente esencial del azufre enriquecido en los carbones albienses de la zona de Ariño-Oliete.

9. El reciclaje de sedimentos de la Fm. Escucha o un área fuente más alejada explicarían que la cubeta de Utrillas no estuviese afectada por aportes de sulfatos triásicos, y por tanto que el contenido en azufre de los carbones fuese menor.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J. M., Ramirez del Pozo, J., Riba, O., 1971. Algunas precisiones sobre la sedimentación y paleo-ecología del Cretácico inferior de la zona Utrillas - Villarroya de los Pinares (Teruel). *Est. Geol.*, 27, 497-512.
- Aguilar, J. M., 1983. Mapa Geológico de España. Esc. 1:50.000, nº 465. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- Ashauer, H. y Teichmüller, R., 1946. Origen y desarrollo de las cordilleras variscas y alpidicas de Cataluña. *Publ. Alemanas sobre Geol. de España*, CSIC, 3:5-102.
- Cailleux, A., Tricart, J., 1965. Initiation a l'étude de les sables et les galets. T. I, II, III. Centre de Documentation Universitaire, Paris, 366 p.
- Canerot, J., 1974. Recherches géologiques aux confins des chaines Ibérique et Catalane (Espagne). Ediciones ENADIMSA, serie 5 (4), 517 p.
- Carls, P., 1983. La Zona Asturoccidental-Leonesa en Aragón y el Macizo del Ebro como prolongación del Macizo Cantábrico. Libro Jubilar J.M. Ríos. *Geología de España*, III, 11-32, IGME, Madrid.
- Cervera, A., Pardo, G., Villena, J. 1976. Algunas precisiones lito-estratigráficas sobre la formación de los lignitos de Escucha. *Tecniterrae*, 14, 25-33.
- Guimerà, J. 1984. Paleogene evolution of deformation in the NE Iberian Peninsula. *Geol. Mag.*, 121, 413-420.
- Masriera, A., Ullastre, J., 1982. Hipótesis y problemas acerca del origen de las asociaciones de minerales pesados del Senoniense del Pirineo catalán. *Cuadernos Geología Ibérica*, 8, 949-963.
- Milner, H., 1940. *Sedimentary petrography*. Thomas Murby, London, 666 p.
- Pardo, G., 1979. *Estratigrafía y sedimentología de las formaciones detríticas del Cretácico inferior terminal, en el Bajo Aragón Turolense*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza.
- Pérez Mateos, J., 1965. Análisis mineralógico de arenas. Métodos de estudio. Patronato Alonso Herrera, C.S.I.C., Madrid, 265 p.
- Querol, X., Chinchón, J. S., López-Soler, A., 1989. Iron sulfide precipitation in Albian Coal of the Maestrazgo Basin southeastern Iberia Range Northeastern Spain. *Int. J. Coal Geol.*, 11, 171-189.
- Querol, X., 1990. Distribución de material mineral y azufre en los carbones de la formación Escucha. Relación con los factores geológicos, sedimentológicos y diagenéticos. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 509 p.

Querol, X., Fernández-Turiel, J. L., López-Soler, A., Hagemann, H. W., Dehmer, J., Juan, R., Ruiz, C., 1991. Distribution of sulfur in coals of the Teruel Mining District (NE Spain). *Int. J. Coal Geol.*, 18, 327-348.

Querol, X., Salas, R., Pardo, G., Ardevol, L., 1992. Albian coal-bearing deposits of the Iberian Range, NE Spain. *Bull. Geol. Soc. Am. Spec. Papers*, 267, 193-208.

Riba, O., Reguant, S., Villena, J., 1983. Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. Libro Jubilar J.M. Ríos. *Geología de España*, II, 131-159. IGME, Madrid.

Rincón, R., 1982. Minerales pesados de las facies detríticas del Cretácico inferior de la Cordillera Ibérica suroccidental. *Cuadernos Geología Ibérica*, 8, 259-265.

Ríos, J. M., 1963. Relación de las principales actividades para la investigación de hidrocarburos, llevadas a cabo en España durante 1962. *Notas y comunicaciones IGME*, 70, 147-200.

Salas, R., Casas, A., 1993. Mesozoic extensional tectonics, stratigraphy and crustal evolution during the Alpine cycle of the eastern Iberian basin. *Tectonophysics*, 288, 33-55.

Utrilla, R., 1989. Les composicions isotòpiques ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$) del sulfat, com a indicadors de origen de les evaporites del Mesozoic i del Cenozoic de la Península Ibèrica i les Illes Balears. Ph. D. Thesis, Universitat de Barcelona, 276 p.