

## TIPOLOGIAS DE CUARZO COMO INDICADORES DE LA PROCEDENCIA EN ARENISCAS: EXCEPCIONES AL METODO DE BASU *et al.* (1975)

A. Tortosa\*, M. Palomares\* y J. Arribas\*

### RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el contenido de las distintas tipologías de cuarzo, definidas por Basu *et al.* (1975) para análisis de procedencia, en depósitos arenosos actuales, generados a partir de macizos del Sistema Central con distintas litologías (granitos, gneises, pizarras-esquistos). Aplicando la metodología de dichos autores se observa que, para los depósitos estudiados, pierde validez para discriminar áreas de procedencia plutónica y metamórfica de alto grado en función del contenido en las tipologías monocristalinas. No obstante, se corrobora la utilidad del contenido en las tipologías policristalinas para diferenciar áreas metamórficas de bajo grado.

**Palabras clave:** Arenas, depósitos actuales, petrología, procedencia, tipologías de granos de cuarzo.

### ABSTRACT

In this study we have analyzed the content of the different detrital quartz types (Basu *et al.*, 1975) in recent sands derived from single source areas (granitic, gneissic and slate-schists lithologies) in the Sistema Central. Following the methodology of Basu *et al.* (1975), for sand provenance interpretation, we have observed that, in these deposits, the content of monocristaline quartz types is not useful to discriminate plutonic and high rank metamorphic sources. However, we can confirm the validity of the policristaline types content to distinguish sands of low rank metamorphic parentage.

**Key words:** Petrology, provenance, quartz grain types, recent deposits, sands.

### Introducción

El objetivo fundamental de los análisis de procedencia en areniscas es el conocimiento de la litología del área fuente. Gran parte de los estudios que sobre este tema se han realizado se basan en el análisis específico de determinados minerales detríticos, como los minerales pesados (Morton, 1985), feldspatos (Helmold, 1985) y cuarzos (Basu, 1985) entre otros.

Una de las especies minerales a la que se ha prestado especial atención en este tipo de análisis ha sido el cuarzo detrítico, debido a su alta estabilidad mecánica y química, que lo convierten en el constituyente fundamental más frecuente en los depósitos arenosos.

Si bien son numerosos los trabajos de procedencia de areniscas basados en el análisis mineralógico de este componente (Krynine, 1946; Blatt y Christie, 1963; Conolly, 1965; Folk, 1965; Blatt, 1967a y b;

entre otros), hasta la aparición del trabajo de Basu *et al.* (1975) no se establece una metodología concreta para diferenciar áreas fuentes en función del contenido en las distintas tipologías de granos de cuarzo.

Actualmente dicho método estadístico de poblaciones es uno de los más utilizados para la caracterización litológica de áreas de procedencia.

Sin embargo, el método de Basu *et al.* (1975) es un método actualista, basado en el estudio de arenas actuales de primer ciclo recogidas en arroyos de primer orden en áreas geográficas determinadas (E y W de los Estados Unidos). La limitación geográfica en el estudio de dichos autores hace necesario contrastar sus resultados con los obtenidos a partir de depósitos similares en otras áreas geográficas, para poder realizar una extrapolación válida en el registro fósil.

Con el presente estudio hemos querido aplicar la metodología de Basu *et al.* (1975) en los depósitos

\* Departamento de Petrología y Geoquímica. U.C.M. 28040 Madrid.

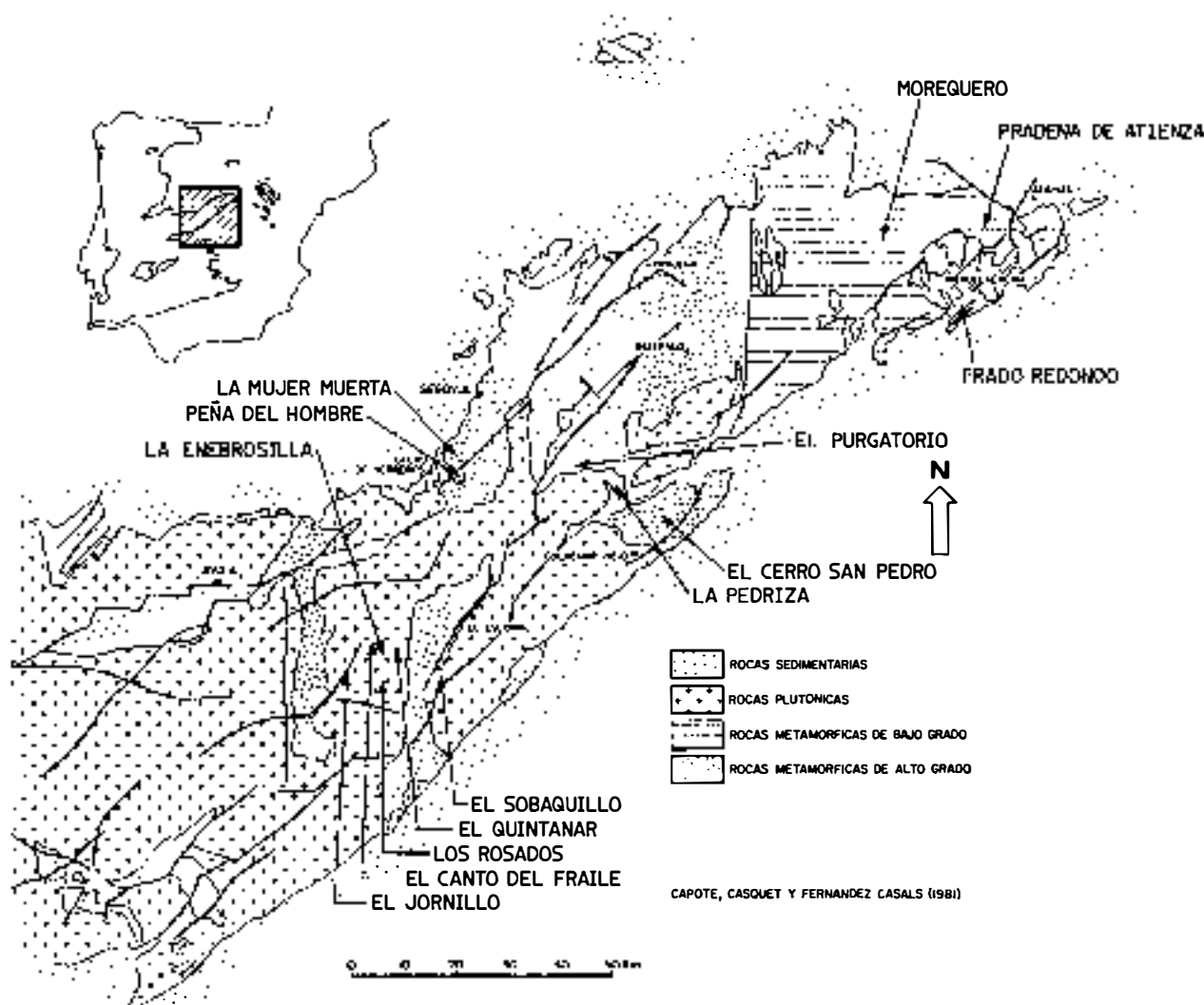


Fig. 1.—Localización de los distintos macizos graníticos y metamórficos muestreados, sobre una cartografía de Capote *et al.* (1981).

actuales generados en el Sistema Central. De este modo se han muestreado zonas de cabecera de arroyos, que drenan áreas graníticas o metamórficas con características texturales y composicionales conocidas (fig. 1). Así es posible, por un lado, establecer una relación directa entre la litología del área fuente y la composición del depósito generado y, por otro, la comparación con los resultados obtenidos por Basu *et al.* (1975).

Este trabajo es el resultado de las primeras investigaciones que se vienen realizando en el Departamento de Petrología de la U.C.M. sobre los depósitos detríticos actuales del Sistema Central en relación con los análisis de procedencia.

#### Metodología

Este estudio está basado en el análisis de 41 muestras de arenas

de cabecera de arroyos que drenan distintos macizos litológicos del Sistema Central (graníticos, gnéissicos y pizarroso-esquistosos).

Según Aparicio *et al.* (1975) y Casillas y Peinado (1988) las litologías de los macizos graníticos muestreados corresponden a leucogranitos biotíticos (La Pedriza, Peña del Hombre y El Quintanar), adamellitas (La Enebrosilla), leucogranitos pegmatíticos (Los Rosados), adamellitas porfídicas (El Canto del Fraile) y granodioritas foliadas (El Jornillo y El Sobaquillo).

En cuanto a las litologías metamórficas, se recogieron muestras de arenas procedentes de pizarras y esquistos con temperaturas de formación inferiores a 450° (macizos de Morequero y Prádena de Atienza) (López Ruiz *et al.*, 1975), así como arenas derivadas de leucogneises y gneises glandulares con temperaturas de formación correspondientes tanto a bajo grado (Prado Redondo) como a alto grado metamórfico (Cerro de San Pedro, La Mujer Muerta y El Purgatorio), según Aparicio *et al.* (1980); Navidad y Peinado (1981) y Villaseca (1984), entre otros.

Las muestras recogidas fueron tamizadas en 5 fracciones de tamaño con intervalos de  $\phi$  entre 2 mm. y 0,062 mm. Posteriormente, y para la realización de láminas delgadas, se cementaron cada una de dichas fracciones con resina plástica AL-100.

El análisis de las tipologías de cuarzo se ha basado en los datos obtenidos de la composición modal de estas arenas, analizada mediante el conteo en platina micrométrica normal de aproximadamente 400 puntos por lámina.

Se han distinguido las cuatro tipologías de granos de cuarzo en función del carácter de la extinción y de la policristalinidad (Basu *et al.*, 1975):

- *Cuarzo monocristalino con extinción recta* (Qmr): Granos de cuarzo constituidos por un único cristal, o con presencia de otra fase mineral en porcentaje inferior al 10% del total del grano, cuya extinción completa se consigue con un giro de la platina inferior o igual a 5°.
- *Cuarzo monocristalino con extinción ondulante* (Qmo): Se distingue del tipo anterior en que para conseguir la extinción completa de la superficie del grano es necesario un giro de la platina superior a 5°.
- *Cuarzo policristalino con 2 ó 3 unidades cristalinas* (Qp2-3): Granos de cuarzo constituidos por 2 ó 3 unidades cristalinas con distinta orientación óptica.
- *Cuarzo policristalino con más de 3 unidades cristalinas* (Qp>3): Similar al tipo anterior, pero con un número superior de unidades cristalinas por grano.

**Aspectos petrográficos generales de las arenas**

Por lo que respecta a la composición general, tanto los depósitos arenosos graníticos como los metamórficos están constituidos, fundamentalmente, por fragmentos de roca, feldespatos y cuarzos. El contenido relativo de cada uno de dichos componentes varía en función del tamaño de grano.

En la fracción arenosa de tamaño medio (0,5-0,25

mm.), la composición media en las arenas de origen granítico es de Q<sub>30</sub>F<sub>50</sub>FR<sub>20</sub>, siendo de Q<sub>30</sub>F<sub>30</sub>FR<sub>40</sub> en las originadas a partir de rocas gnéicas. Por último, las arenas pizarroso-esquistosas tienen una composición media en dicho intervalo de tamaños de Q<sub>5</sub>F<sub>0</sub>FR<sub>95</sub>.

Los fragmentos de roca de arenas procedentes de áreas graníticas y gnéicas están formados principalmente por cuarzo y feldespato, predominando los agregados constituidos por escasos individuos (entre 4 y 8), mientras que en las arenas procedentes de pizarras y esquistos predominan los fragmentos de roca lábiles (Dickinson, 1970), constituidos por gran número de individuos de tamaño inferior a 0,062 mm.

Por lo que respecta a los granos de feldespato, aparecen tanto feldespatos potásicos como plagioclasas, presentando formas idiomorfas o subidiomorfas; son también frecuentes los granos maclados de ambas especies. En las arenas pizarroso-esquistosas no se han encontrado granos de plagioclasa para el intervalo 0,5-0,25 mm.

El cuarzo se presenta como granos angulosos y subangulosos, con inclusiones de biotita en las arenas de origen metamórfico (gnéicas y pizarroso-esquistosas). En arenas procedentes de granitos deformados (El Jornillo y El Sobaquillo) y en algunas procedentes de gneises aparecen cuarzoes recristalizados, formados por unidades cristalinas de gran tamaño con contactos rectos en uniones a 120°. Esta recristalización ha sido

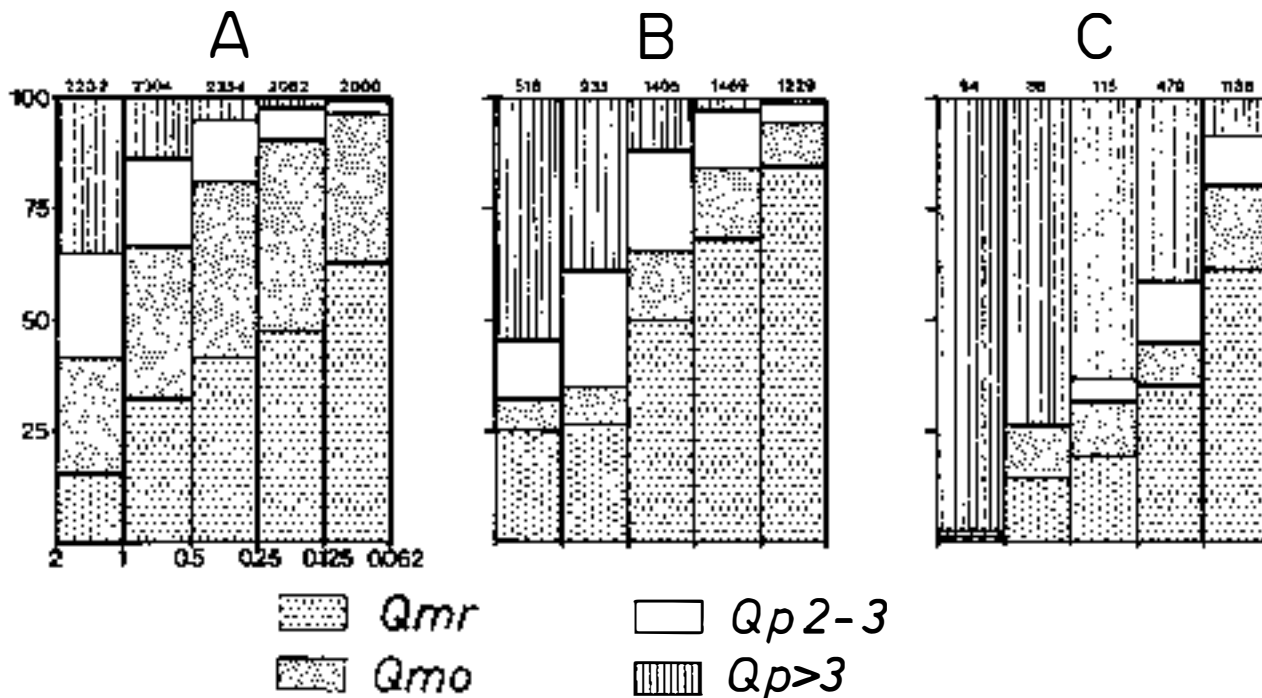


Fig. 2.—Contenido relativo de las tipologías de granos de cuarzo en arenas actuales del Sistema Central en función del tamaño de grano. A: arenas de origen granítico. B: arenas de origen gnéico. C: arenas de origen pizarroso-esquistoso. Los números que figuran sobre cada representación indican puntos correspondientes a granos de cuarzo contabilizados.

interpretada por Young (1976) como secundaria y típica de granitos y rocas metamórficas de alto grado.

Para una mayor información acerca de la caracterización composicional y textural de estos depósitos, remitimos a los trabajos de Palomares (1988) y Tortosa (1988).

### Tipologías de cuarzo: resultados y discusión

Del análisis microscópico de las cuatro tipologías de cuarzo definidas anteriormente se deduce que el contenido en cada una de ellas difiere en función del tamaño de grano y del área de procedencia.

Estudiando la variación en el contenido en estas tipologías en función del tamaño de grano, se observa una disminución progresiva del porcentaje de cuarzos policristalinos en favor de las variedades monocristalinas a medida que disminuye el tamaño de grano de las arenas (fig. 2). Esto es debido a la rotura de los granos por las uniones intercrystalinas, pasando de  $Q_p > 3$  a  $Q_p 2-3$  y, finalmente, a cuarzos monocristalinos. Esto da lugar a incrementos en el contenido de  $Q_p 2-3$  en el paso de la fracción 2-1 mm a la fracción 1-0,5 mm, para disminuir de nuevo dicho contenido en las fracciones más finas.

Cabe señalar también que, en arenas procedentes de áreas plutónicas y gnéicas, el contenido en  $Q_{mo}$  tiende a disminuir en las fracciones más finas (figs. 2A y 2B). Si bien dicha tendencia se ha relacionado con la inestabilidad, tanto mecánica como química, de esta tipología frente a la monocristalina con extinción recta (Basu, 1976), consideramos que es la escasa preservación del carácter ondulado de la extinción la causa fundamental de dicha disminución.

Por lo que respecta a la influencia de la litología del área fuente en el contenido de las diferentes

tipologías de cuarzo, se ha representado en la fig. 3 el contenido de las mismas en función de la litología de partida en la fracción de tamaño medio (0,5-0,25 mm). En arenas generadas a partir de áreas plutónicas y gnéicas predominan las tipologías monocristalinas, mientras que en arenas procedentes de áreas pizarroso-esquistosas las tipologías policristalinas constituyen la mayor parte de la población total de granos de cuarzo.

Por otro lado, en arenas plutónicas y metamórficas de alto grado, los granos de cuarzo policristalinos están constituidos predominantemente por pocos cristales (no más de cinco por grano), siendo los contactos entre ellos frecuentemente rectos. Por el contrario, en el caso de arenas derivadas de áreas metamórficas de bajo grado predominan los granos de cuarzo policristalinos con más de cinco unidades por grano, siendo las unidades cristalinas de tamaño fino a muy fino. Los contactos intercrystalinos son, en su mayoría, suturados.

En cuanto a las tipologías monocristalinas, en los tres tipos de arenas es superior el contenido en cuarzos con extinción recta que con extinción ondulante, estando especialmente marcada esta diferencia en las arenas procedentes de áreas gnéicas.

El contenido en cuarzos policristalinos es muy similar al propuesto por Basu *et al.* (1975) en arenas de origen plutónico y gnéico. Sin embargo, las arenas procedentes de áreas de bajo grado metamórfico presentan mayor contenido en las variedades policristalinas que las propuestas por estos autores, predominando los granos formados por más de 3 unidades cristalinas. A pesar de estas diferencias, el criterio propuesto por Basu *et al.* (1975), en cuanto a que el contenido en granos de cuarzo policristalinos es útil para diferenciar arenas procedentes de áreas de bajo grado metamórfico de arenas procedentes de áreas plutónicas y metamórficas de alto grado, es válido en los depósitos estudiados.

En cuanto al contenido en cada una de las tipologías monocristalinas, en arenas derivadas de áreas gnéicas es muy similar al propuesto por estos autores. Sin embargo, en arenas de origen granítico, aunque el contenido global de las tipologías monocristalinas es similar, varía mucho el porcentaje relativo de cada una de ellas. Así, el contenido en granos de cuarzo con extinción ondulante es del 40% en las arenas graníticas analizadas, mientras que el contenido en esta tipología es del 4% en las arenas estudiadas por Basu *et al.* (1975). De este modo, el criterio de los autores mencionados para distinguir áreas plutónicas de áreas metamórficas de alto grado en función del contenido en granos de cuarzo con extinción ondulante no es válido en las arenas estudiadas por nosotros.

Consideramos que estas diferencias en el contenido de la tipología  $Q_{mo}$  en arenas de origen granítico son debidas a que la aparición de este carácter va a

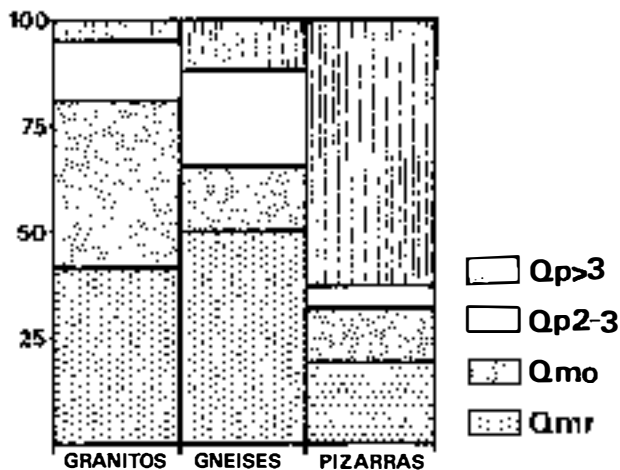


Fig. 3.—Contenido medio relativo de las tipologías de granos de cuarzo en la fracción 0,5-0,25 mm., en arenas actuales del Sistema Central, en función de la litología del área fuente.

estar condicionada por distintos factores. Así, la deformación (muestras recogidas en los macizos del Jornillo y El Sobaquillo) y las condiciones de cristalización del magma durante su emplazamiento (alto grado de viscosidad [Arzi, 1978]), provocan un incremento en el porcentaje existente de dicha tipología.

### Representación rómbica

Se han proyectado los porcentajes relativos de las cuatro tipologías en el diagrama rómbico utilizado por Basu *et al.* (1975) para diferenciar áreas de procedencia. Se ha representado el contenido medio en cada tipología y la dispersión que presenta este valor, obteniéndose un área de dispersión para cada macizo cuyo punto central es el valor medio.

Las muestras procedentes de áreas pizarroso-esquistosas quedan proyectadas en el campo de las arenas

derivadas de áreas con bajo grado metamórfico, en el triángulo inferior y con altos contenidos en cuarzos policristalinos (fig. 4). Como se ha comentado anteriormente, estas arenas proceden de macizos con temperaturas de formación inferiores a 450°. Este valor concuerda con los datos de temperatura de formación de litologías metamórficas de bajo grado en Basu (1985).

Por lo que respecta a las arenas derivadas de rocas gnéissicas, su lugar de proyección en el diagrama depende del grado metamórfico y no de su litología gnéissica. Así, las muestras procedentes de los macizos de La Mujer Muerta y El Purgatorio (con alto grado metamórfico) quedan proyectadas en zonas medias del diagrama, en el campo de proyección de arenas procedentes de áreas de alto y medio grado metamórfico. Sin embargo, las arenas gnéissicas procedentes de Prado Redondo (macizo de bajo grado metamórfico) quedan proyectadas en zonas de bajo grado metamórfico, pero con menor contenido en cuarzos policristalinos que las arenas pizarroso-esquistosas. La única excepción se presenta en las muestras recogidas en el Cerro de San Pedro (alto grado metamórfico) que al contener gran cantidad de cuarzos monocristalinos con extinción recta llegan a proyectarse en el campo de las áreas plutónicas (fig. 4).

Las diferencias más notables aparecen en las arenas de origen plutónico debido al amplio rango del contenido en  $Q_m$  de unos macizos a otros, quedando proyectadas las arenas en cualquier campo del diagrama, si bien quedan restringidas a la zona central, con escaso contenido en tipologías policristalinas. Así, las muestras de los macizos de La Pedriza y La Peña del Hombre se proyectan en el campo de áreas plutónicas, mientras que las arenas de Los Rosados, El Jornillo y La Enebrósilla lo hacen en el campo de alto y medio grado metamórfico. Por último, las arenas de los macizos de El Sobaquillo, El Canto del Fraile y El Quintanar aparecen proyectadas en el campo propuesto para arenas derivadas de zonas con metamorfismo de bajo grado (fig. 4).

En resumen, el diagrama rómbico de Basu *et al.* (1975) llega a discriminar aceptablemente arenas de procedencia pizarroso-esquistosa del resto de las arenas estudiadas. No obstante, existe una amplia dispersión en cuanto a la proyección de arenas de origen plutónico. Cabe señalar, además, cómo el diagrama no llega a diferenciar litologías metamórficas, sino que discrimina en función del grado metamórfico. Este hecho puede comprobarse con el análisis de las litologías gnéissicas.

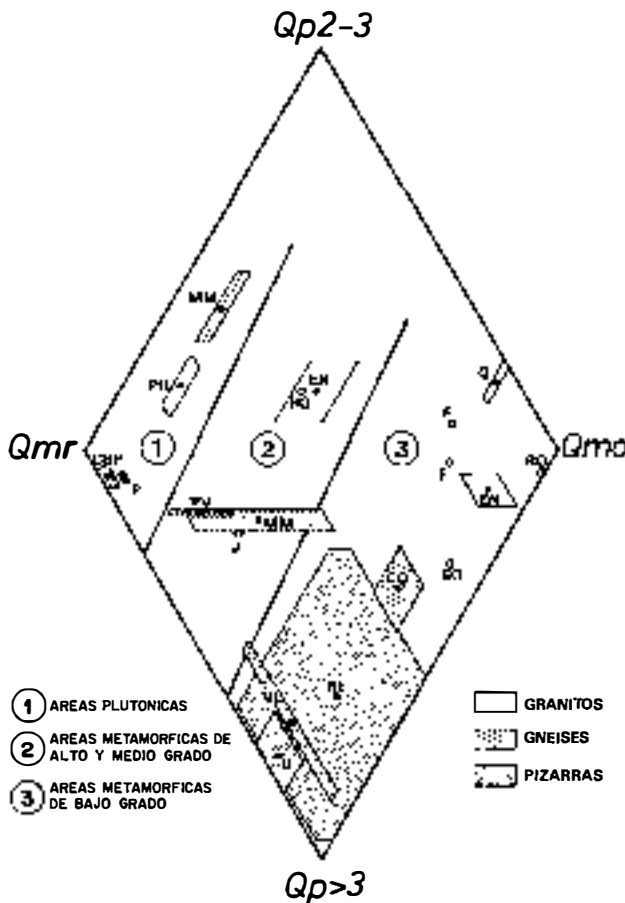


Fig. 4.—Representación rómbica de las tipologías de cuarzo (Basu *et al.*, 1975) en arenas actuales del Sistema Central. P: La Pedriza. PH: La Peña del Hombre. EN: La Enebrósilla. Q: El Quintanar. F: El Canto del Fraile. RO: Los Rosados. J: El Jornillo. SO: El Sobaquillo, MM: La Mujer Muerta. CSP: Cerro de San Pedro. PV: El Purgatorio. CO: Prado Redondo. U: Morequero. RE y VL: macizos de Prádena de Atienza.

### Conclusiones

Siguiendo la metodología de Basu *et al.* (1975) se han calculado los contenidos en las cuatro tipologías de cuarzo de los depósitos detríticos de primer ciclo

originados a partir de distintas litologías del Sistema Central. El tamaño y la litología del área fuente son los factores que controlan directamente sus contenidos relativos.

A medida que disminuye el tamaño de grano, decrece el porcentaje relativo de los granos de cuarzo policristalinos en favor de las tipologías monocristalinas.

Los contenidos en cuarzos policristalinos son superiores en arenas derivadas de áreas con bajo grado metamórfico a los de arenas procedentes de zonas plutónicas y metamórficas de medio y alto grado.

El contenido en cuarzos monocristalinos con extinción ondulante en arenas plutónicas es muy variable de unos macizos a otros, relacionándose con la presencia de deformación y con las condiciones de cristalización del magma.

Si bien las arenas pizarrosas-esquistosas presentan mayor cantidad de cuarzos policristalinos que la propuesta por Basu *et al.* (1975), sigue siendo válido en estos depósitos el criterio de estos autores para distinguir áreas metamórficas de bajo grado en función del contenido en tipologías policristalinas.

Las arenas gnéicas quedan proyectadas en el diagrama rómbico construido por Basu *et al.* (1975) dependiendo de su temperatura de formación y no de su litología.

Las arenas procedentes de áreas plutónicas se proyectan en cualquier campo del diagrama en función de su contenido en cuarzos monocristalinos con extinción ondulante, en el triángulo inferior o superior, pero siempre con porcentajes bajos de cuarzo policristalino.

Los campos de aparición en el diagrama de las arenas plutónicas hacen perder validez al criterio de Basu *et al.* (1975) para separar áreas plutónicas de áreas metamórficas de alto grado en función del contenido existente en Q<sub>mo</sub>.

Consideramos, por todo ello, que esta metodología de análisis de procedencia en arenas no debe ser empleada sistemáticamente para resolución de problemas concretos debido a las limitaciones que presenta, tal y como se han expuesto en este trabajo.

## Referencias

- Aparicio, A. (1975): *Los materiales graníticos hercínicos del Sistema Central español*. Memoria del IGME, 88: 145 pág.
- Aparicio, A. y Galán, E. (1980): Las características del metamorfismo hercínico de bajo y muy bajo grado en el sector oriental del Sistema Central (provincia de Guadalajara). *Estudios geol.*, 36: 75-84.
- Arzi, A. A. (1978): Critical phenomena in the rheology of partially melted rocks. *Tectonophysics*, 44: 173-184.
- Basu, A.; Young, S. W.; Suttner, L. J.; James, W. C. y Mack, G. H. (1975): Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *J. Sed. Petrology*, 45: 873-882.
- Basu, A. (1976): Petrology of Holocene fluvial sand derived from plutonic source rocks: implications to paleoclimatic interpretations. *J. Sed. Petrology*, 46: 694-709.
- Basu, A. (1985): Reading provenance from detrital quartz. En: «Provenance of Arenites». Ed. G. G. Zuffa. NATO ASI Series C-148: 231-248.
- Blatt, H. y Christie, J. M. (1963): Undulatory extinction in quartz of igneous and metamorphic rocks and its significance in provenance studies of sedimentary rocks. *J. Sed. Petrology*, 33: 559-579.
- Blatt, H. (1967 a): Original characteristics of clastic quartz grains. *J. Sed. Petrology*, 37: 401-424.
- Blatt, H. (1967 b): Provenance determinations and recycling of sediments. *J. Sed. Petrology*, 37: 1031-1044.
- Casillas, R. y Peinado, M. (1987): Secuencias graníticas en el área de San Martín de Valdeiglesias (Sistema Central español). En: «Geología de los granitoides y rocas asociadas del macizo hispérico. Libro homenaje a L.C. García de Figuerola». Ed. Rueda: 281-292.
- Conolly, J. R. (1965): The occurrence of polycrystallinity and undulatory extinction in quartz in sandstein. *J. Sed. Petrology*, 35: 116-135.
- Decker, J. y Helmold, K. P. (1985): The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point counting method. Discussion. *J. Sed. Petrology*, 55: 617-618.
- Dickinson, W. R. (1970): Interpreting detrital modes of grauwacke and arkose. *J. Sed. Petrology*, 40: 695-707.
- Folk, R. L. (1965): *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill's Bookstore. Austin: 170 págs.
- Helmold, K. P. (1985): Provenance of feldspathic sandstones - The effect of diagenesis on provenance interpretations: A review. En «Provenance of Arenites». Ed. G. G. Zuffa. NATO ASI Series C-148: 139-164.
- Krynine, P. D. (1946): Microscopic morphology of quartz types. *Proc. 2nd. Pan-Am. Cong. Mining Engr. and Geology* 3, 2nd Comm.: 35-49.
- López Ruiz, J.; Aparicio, A. y G. Cacho, L. (1975): El metamorfismo de la Sierra de Guadarrama, Sistema Central español. *Memorias del I.G.M.E.* 86 págs.
- Morton, A. C. (1985): Heavy minerals in provenance studies. En: «Provenance of Arenites». Ed. G.G. Zuffa. NATO ASI Series C-148: 249-278.
- Navidad, M. y Peinado, M. (1981): Ortogneis y metasedimentos de la formación infrabasal al Olló de Sapo (macizo Hiedelaencina, Guadarrama oriental). *Cuad. de Geol. Ibérica*, 7: 183-199.
- Palomares, M. (1988): *Análisis de las arenas actuales derivadas de rocas metamórficas del Sistema Central: Aplicación a los estudios de procedencia*. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid: 191 págs.
- Pettijohn, F. J.; Potter, P. E. y Siever, R. (1973): *Sand and sandstones*. Springer-Verlag, New York-Heidelberg-Berlin: 618 págs.
- Tortosa, A. (1988): *Análisis de las arenas actuales derivadas de rocas plutónicas del Sistema Central: Aplicación a los estudios de procedencia*. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid: 125 págs.
- Villaseca, C. (1984): *Evolución metamórfica del sector centro-septentrional de la Sierra de Guadarrama*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid: 331 págs.
- Young, S. W. (1976): Petrographic textures of detrital polycrystallinity quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks. *J. Sed. Petrology*, 46: 595-603.

Recibido el 14 de octubre de 1988  
Aceptado el 20 de diciembre de 1988