

CARACTERIZACION COMPOSICIONAL DE LOS DEPOSITOS ARENOSOS ACTUALES GENERADOS EN EL SISTEMA CENTRAL

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

RESUMEN

Se caracteriza composicionalmente la fracción ligera arenosa de los depósitos detríticos actuales generados en zonas de cabecera de arroyos que drenan macizos del Sistema Central con distintas litologías (plutónicas, gnéicas o pizarras-esquistos). Dicha caracterización se ha basado en el análisis petrográfico de las muestras recogidas. Este análisis se ha efectuado, en cada muestra, en cinco fracciones de tamaño con intervalos de 1ϕ entre 2 mm y 0,062 mm. De este modo se estudia el control que ejercen tanto la litología del área fuente como el tamaño de grano en la composición modal de los depósitos.

Con la disminución del tamaño de grano se produce una disminución del contenido en fragmentos de roca. Por el contrario, el porcentaje de feldespatos aumenta en las fracciones de tamaño más fino debido a su inestabilidad mecánica. Dicha inestabilidad nos hace dudar, por otro lado, de la utilidad del índice K/P (relación entre feldespato potásico y plagioclasa) en análisis de procedencia de areniscas ya que hace variar considerablemente su valor de unas fracciones a otras. El contenido en granos de cuarzo es independiente del tamaño de grano en arenas de procedencia plutónica, mientras que en los depósitos derivados de áreas metamórficas aumenta con la disminución del tamaño de grano.

Las tendencias de variación de todos los componentes en función del tamaño de grano son similares en todos los depósitos, sin embargo, el contenido en cada uno de ellos difiere mucho en función de la litología de partida.

El lugar de proyección de los depósitos estudiados en un diagrama de composición QFFR (Pettijohn *et al.*, 1973) está controlado por el tamaño de grano y por la litología del área de procedencia. Así, las arenas de origen pizarroso-esquistoso aparecen proyectadas en todas sus fracciones cerca del margen QFR. Por el contrario, el lugar de proyección de las arenas de procedencia plutónica y gnéica varía con el tamaño de grano desde el polo FR hasta las proximidades del margen QF, por lo que consideramos que la proyección de una única fracción de tamaño específico (0,5-0,25 mm.), si bien permite la discriminación de litologías, hace que se pierda una importante información acerca de la composición global del depósito.

Palabras clave: Arenas, depósitos actuales, Sistema Central.

ABSTRACT

In this work we have studied the light mineral fraction of modern sands derived from single source lithologies (plutonic, gneissic or slate-schists) in the Sistema Central (Central Spain). In this way we can analyze the control of the source area lithology in sand composition.

First we pay attention on the control of grain size sand in composition. Rock fragments decrease when grain size decreases. However, the amount of feldspar increases due to its low mechanical stability. Thus, the K/P index (K-feldspar/plagioclases) is highly variable with grain size, because the different mechanical stabilities of both minerals.

The trends of the amounts of components in relation with grain size are very similar, in all deposits. However, each percentages vary markedly between source areas with different lithologies.

The projection area of the studied sands in a QFFR diagram is highly controlled by grain size and lithology of source area. Thus, sands derived from slate-schists lithology appear near QFR fringe in all grain size fractions. Sands derived from plutonic or gneissic rocks have a high dispersion in the diagram, from FR pole to QF fringe, depending on grain size of the sand.

We conclude that the use of a single sand size fraction (0,5-0,25 mm) to provenance analysis permits to discriminate source lithologies, but with a loss of information about global deposit composition.

Key words: Sands, modern deposits, Central System (Spain).

* Departamento de Petrología y Geoquímica, Universidad Complutense. 28040 Madrid.

Introducción

Los estudios petrológicos sobre la procedencia de areniscas intentan deducir el origen de los depósitos sedimentarios (litología del área fuente, ambiente de transporte-sedimentación y tectónica), a partir del análisis textural y composicional de los constituyentes clásticos.

Clasicamente, los estudios relacionados con la composición modal de los componentes fundamentales de la fracción ligera del depósito (cuarzo, feldespato y fragmentos de roca) han sido los más empleados, debido a la información que se obtiene, principalmente, sobre la naturaleza del área fuente (litología, tectónica), madurez, clima, etc. Además, la elevada representatividad de los componentes de la fracción ligera en el depósito detrítico hace que las interpretaciones basadas en ellos sean más fiables, en contraposición a los métodos basados en poblaciones minoritarias del depósito (por ej., minerales pesados).

En el presente trabajo, se caracteriza composicionalmente la fracción ligera arenosa (2-0,062 mm) de los depósitos detríticos actuales, generados en zonas de cabecera de arroyos que drenan macizos del Sistema Central con litologías únicas, tanto plutónicas como metamórficas (fig. 1). Estos depósitos son el resultado

de la erosión, con escaso transporte, de las rocas que constituyen el área fuente. De este modo, podemos caracterizar composicionalmente los depósitos arenosos en función de las distintas litologías de partida. Dicha caracterización podrá servir de base a futuras investigaciones sobre procedencia de areniscas antiguas al reconocer el tipo de depósito arenoso que genera una determinada litología en el área fuente.

El trabajo que presentamos pertenece a una línea de investigación del Departamento de Petrología y Geoquímica de la U.C.M. dedicada al estudio de la procedencia en sedimentos detríticos actuales. Otros datos referentes a la caracterización de los depósitos actuales del Sistema Central pueden consultarse en Palomares *et al.* (1988 a), (1988 b) y Tortosa *et al.*, (1988).

Metodología de trabajo

La realización del presente trabajo se ha basado en un muestreo de arenas actuales de zonas de cabecera de arroyos que drenan macizos del Sistema Central con distintas litologías (plutónicas, gnéissicas y pizarroso-esquistosas). Las características litológicas de los 18 macizos muestreados figuran en la tabla 1.

Se recogieron un total de 41 muestras que fueron posteriormente tamizadas en cinco fracciones de tamaño con intervalos de 1 Ø

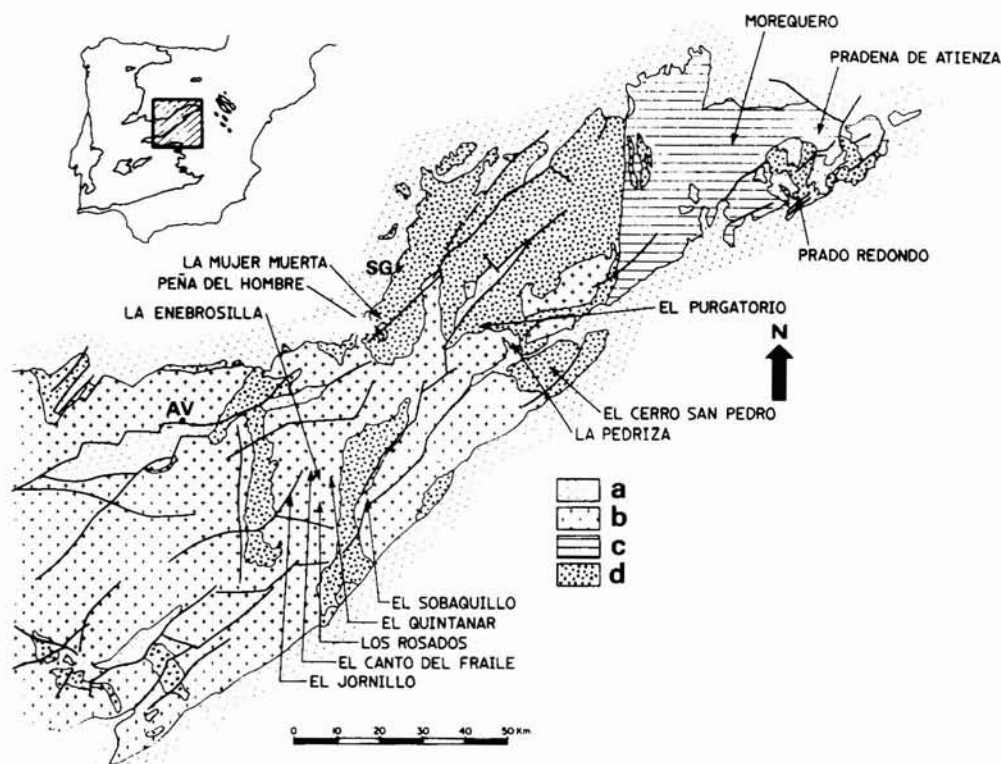


Fig. 1.—Mapa de situación general de los macizos muestreados en el Sistema Central. SG: Segovia. AV: Avila. a) Rocas sedimentarias. b) Rocas plutónicas. c) Rocas metamórficas de alto grado. d) Rocas metamórficas de bajo grado (sobre cartografía de Capote *et al.*, 1981).

Tabla 1.—Relación de muestras, macizos y arroyos conla correspondiente litología

Muestras	Litología	Macizo	Arroyo
P-1,2,3, y 4	Leucogranitos biotíticos de grano grueso a muy grueso.	La Pedriza	De la Majadilla
PH-1,2,3,4, y 5	Granitos de grano grueso muy homogéneos.	La Peña del Hombre	De la Becada
EN-1,2,3 y 4	Adamellitas de grano medio a grueso.	La Enebrosilla	Perpend. al río Sotillos
Q-1,2, y 3	Leucogranito biotítico de grano medio a fino.	El Quintanar	Del Quintanar
RO-1 y 2	Leucogranato pegmatítico.	Los Rosados	Perpend. al río Sotillos
F-1 y 2	Adamellitas porfídicas.	El canto del Fraile	Perpend. al arroyo Valdellido
J-1	Adamellita.	El Jornillo	Perpend. al río Alberche
SO-1	Granodiorita foliada.	El Sobaquillo	Almenara
CSP-1,2 y 3	Gneis glandular de grano grueso.	Cerro de San Pedro	De los Cantos y Valdesalices
MM-1,2,3 y 4	Leucogneis de grano fino a medio.	La Mujer Muerta	Milanillos y Madrones
VP-1 y 2	Gneis ocelar grueso.	El Purgatorio	Perpend. arroyo de la Angostura.
CO-1 y 2	Gneis glandular de tamaño grueso.	Prado Redondo	Paral. a la carretera Hiende-laencina-Congostrina.
U-1 y 2	Alternancia de capas cuarcíticas y pizarroso-esquistosas.	Morequero	Paralelo al arroyo Vallejos
RE-1,3 y 4	Pizarras negras homogéneas.	Prádena de Atienza	La Retuerta
VL-0,1 y 2	Alternancia de pizarras y esquistos.	Prádena de Atienza	Paral. al de Valdesalices

entre 2 mm y 0,062 mm. Estas fracciones se cementaron artificialmente mediante resina plástica AL-100 con la finalidad de realizar láminas delgadas. Para una mejor identificación mineralógica, las láminas delgadas fueron sometidas a tinción con cobaltonitrito sódico para colorear selectivamente los feldespatos potásicos (Chayes, 1952). La determinación cuantitativa de la mineralogía de las preparaciones en lámina delgada se ha realizado mediante un conteo de 400 puntos, aproximadamente, por cada preparación, utilizando el método micrométrico puntual (Glagolev-Chayes, 1933-1956).

Petrografía de la fracción ligera

Para caracterizar los depósitos arenosos en función de los constituyentes principales de la fracción ligera describimos, en primer lugar, cada uno de dichos componentes, detallando los datos cuantitativos en las cinco fracciones clastométricas en que se separaron cada una de las muestras. Posteriormente, se analiza la composición modal de dichos depósitos y su variación en función del tamaño de grano, utilizando para ello diagramas triangulares de composición (QFFR de Pettijohn *et al.*, 1973).

Los componentes: descripción y contenido

Fragmentos de roca: Se han considerado como tales a todos aquellos granos compuestos por dos o más unidades cristalinas de distinta naturaleza y en los que ninguna fase mineral supera el 90% del área total de la sección del grano. Los fragmentos de roca formados por unidades cristalinas con tamaño inferior a 0,062 mm son denominados fragmentos de roca lábiles, según criterios de Dickinson (1970).

En las arenas procedentes de áreas fuentes pizarroso-esquistosas (bajo grado metamórfico) los fragmentos de roca están formados

por cuarzo, biotita y moscovita fundamentalmente. Predominan los agregados compuestos por un número elevado de cristales por grano, con una marcada orientación y tamaño cristalino inferior a 0,062 mm (fragmentos de roca lábiles). En estos granos las micas aparecen kinkadas, deformadas y en bandas. Otro tipo de fragmento de roca, menos frecuente en estas arenas, es el formado por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, con un tamaño cristalino algo mayor que los anteriores.

Los fragmentos de roca en arenas de origen gnéisico y plutónico son, principalmente, agregados de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y micas. El número de cristales por grano es, generalmente, de 3 a 5 en arenas plutónicas y de 4 a 10 en arenas de procedencia gnéisica. En cuanto a las texturas de estos componentes, abundan las plagioclasas idiomorfas, siendo los cristales de feldespato potásico y cuarzo subidiomorfos y alotriomorfos. Los contactos intercristalinos son rectos entre feldespatos, mientras que pueden ser tanto rectos como suturados entre cristales de cuarzo y feldespato.

En todas las arenas analizadas, el contenido en fragmentos de roca disminuye a medida que disminuye el tamaño de la fracción arenosa. Esta disminución es debida a la rotura de los fragmentos de roca según las uniones entre las distintas fases minerales. De este modo, las especies minerales que en las fracciones más gruesas están formando parte de fragmentos de roca, pasan a ser granos monominerales en las fracciones de tamaño más fino. El contenido en fragmentos de roca dependerá del tamaño cristalino de la roca que constituye el área fuente. Así, en las muestras procedentes de litologías con tamaño cristalino fino, y en sus fracciones de tamaño grueso, los constituyentes monominerales estarán escasamente representados.

Por otro lado, en arenas procedentes de macizos con tamaño cristalino heterogéneo, la disminución en el contenido en fragmentos de roca es progresiva a lo largo de todas las fracciones de tamaño, mientras que en arenas derivadas de macizos con tamaño cristalino homogéneo la disminución es más brusca a partir de la fracción arenosa correspondiente al tamaño medio cristalino de la roca original. De este modo es posible reconocer, a partir del depósito detrítico, la homogeneidad del macizo que constituye el área fuente y su tamaño cristalino medio.

En las arenas derivadas de macizos plutónicos el porcentaje medio de fragmentos de roca es del 55% en la fracción de tamaño

2-1 mm y va descendiendo en las fracciones siguientes hasta el 5% existente en la fracción 0,125-0,062 mm. En las arenas de origen metamórfico el contenido en fragmentos de roca es superior al de arenas de procedencia plutónica; en arenas derivadas de áreas gnéicas el contenido varía entre el 79% (fracción 2-1 mm) y el 9% (fracción 0,125-0,062 mm). Por último, las arenas recogidas en macizos pizarroso-esquistosos presentan contenidos muy elevados en fragmentos de roca, variando entre 97% (fracción 2-1 mm) y 52% (fracción 0,125-0,062 mm).

Feldespato potásico: En todas las muestras estudiadas, los feldespatos potásicos se presentan en granos idiomorfos y subidiomorfos. Son frecuentes los intercrecimientos con plagioclasas así como texturas gráficas. Algunos granos presentan inclusiones de cuarzo y biotita, lamelas de deformación y extinción ondulante.

Una característica muy común, tanto en arenas de procedencia plutónica como gnéica, es la presencia de feldespatos potásicos maclados. Por el contrario, en arenas de origen pizarroso-esquistoso no se han encontrado individuos maclados en ninguna de las cinco fracciones.

El contenido de feldespato potásico en granos simples aumenta con la disminución del tamaño de grano en todas las muestras, independientemente de la litología de partida. Dicho aumento se relaciona, por un lado, con la rotura de los fragmentos de roca en individuos monominerales y, por otro, con la inestabilidad mecánica del feldespato potásico, que le permite fracturarse por sus planos de exfoliación, pasando a formar parte de las fracciones de tamaño más fino con más facilidad que otros componentes.

Sin embargo, su porcentaje respecto al total de los constituyentes de la arena difiere mucho en función de la litología del área de procedencia. Así, en los depósitos detríticos procedentes de áreas fuentes plutónicas varía entre el 16% en la fracción 2-1 mm y el 21% en la fracción 0,125-0,062 mm. En arenas gnéicas el contenido respectivo en estas fracciones es del 7% y 19%, mientras que en las arenas de origen pizarroso-esquistoso el contenido es marcadamente menor, apareciendo únicamente en las fracciones arenosas más finas sin sobrepasar el 3%.

Por lo que se refiere a los granos maclados de feldespato potásico, su porcentaje decrece en todos los tipos de arenas a medida que disminuye el tamaño de grano. Este hecho se ha atribuido a la rotura de dichos granos por sus planos de macla, que representan zonas de debilidad, generando individuos más pequeños en los que este carácter deja de observarse. La presencia de feldespato potásico maclado es más frecuente en arenas de origen plutónico que en las de origen gnéico, así en la fracción

arenosa más gruesa el contenido de feldespato potásico maclado es del 26% en arenas de procedencia plutónica y del 12% en las de origen gnéico. Dichos componentes descienden con el tamaño de grano hasta el 21% y el 1%, respectivamente, en la fracción de tamaño más fino.

Plagioclasa: Estos minerales aparecen en las muestras analizadas como individuos simples, maclados y zonados. Se presentan en granos idiomorfos y subidiomorfos y son muy numerosos los granos con diferentes grados de alteración a minerales de arcilla. En arenas de origen plutónico y gnéico son comunes las texturas peritéticas, encontrándose también, aunque con menor frecuencia, texturas gráficas y mirmequíticas.

En arenas procedentes de litologías pizarroso-esquistosas, las plagioclasas son muy escasas, apareciendo únicamente en las fracciones más finas y sin llegar a alcanzar, en ningún caso, el 0,8% respecto a la composición total de la fracción ligera.

Tanto en arenas derivadas de rocas plutónicas como en las procedentes de litologías gnéicas, el contenido en individuos simples de plagioclasa aumenta invariablemente al disminuir el tamaño de las fracción arenosa. Su comportamiento es similar al del feldespato potásico ya que su fácil rotura mecánica hace que se concentre principalmente en los tamaños finos. El porcentaje de plagioclasa es superior en arenas plutónicas que en las de origen gnéico; así, en las primeras dicho porcentaje varía entre el 7% y el 40% (fracciones 2-1 mm y 0,125-0,062 mm, respectivamente) y en las de origen gnéico entre el 2% y el 31%, en las mismas fracciones.

Por lo que respecta a los granos de plagioclasa maclados, en la figura 2 se han representado sus contenidos en función del tamaño de grano, observándose una disminución progresiva, con el tamaño, de dichos contenidos en las arenas de procedencia plutónica y gnéica. La disminución en la cantidad de plagioclasas macladas a medida que disminuye el tamaño de grano fue atribuida por Basu (1976) a que estos minerales se rompen preferentemente a lo largo de los planos de macla, dejando de observarse este carácter en las fracciones de tamaño más fino.

En cuanto al contenido de individuos zonados de plagioclasa, hemos observado que no muestra tendencias en función del tamaño de grano. En general, su porcentaje es superior en arenas de origen plutónico (llegando a superar en algunos casos el 40% de la población total de plagioclasas) que en arenas derivadas de rocas gnéicas, en las que no alcanza el 10% en ninguna de sus cinco fracciones.

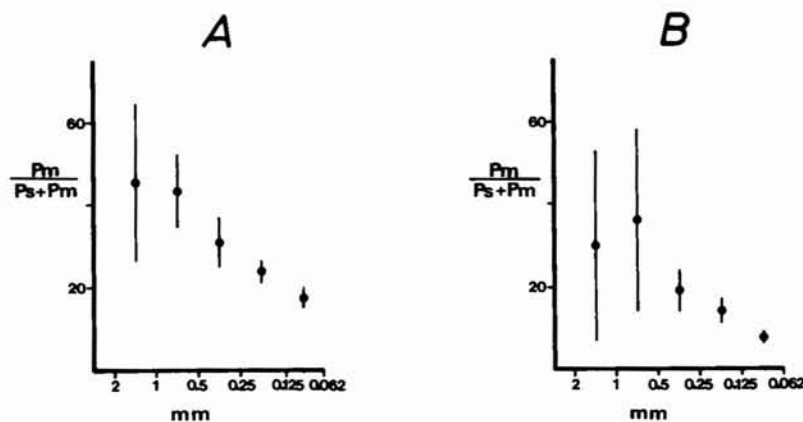


Fig. 2.—Variación en el contenido en granos de plagioclasa maclados en función del tamaño de grano. A: Arenas procedentes de rocas plutónicas. B: Arenas procedentes de rocas gnéicas. Los puntos representan el valor medio y la longitud de las líneas indica la dispersión de este valor.

Relación K/P: El índice K/P, en el que K y P son individuos de feldespato potásico y plagioclasa respectivamente, tanto simples como constituyentes de fragmentos de roca (según criterios de Dickinson, 1970), ha sido utilizado para distinguir ambientes paleoclimáticos (Basu, 1976) y como indicador de ambientes tectónicos (Dickinson *et al.*, 1983).

Hemos estudiado el efecto del tamaño de grano sobre esta relación en arenas de origen plutónico y gnéisico. En las arenas de procedencia pizarroso-esquistosa no se ha estudiado debido a la escasa cantidad de feldespato potásico y plagioclasa que presentan.

El valor de la relación K/P disminuye en todos los casos con el tamaño de grano (fig. 3). Este hecho indica que las plagioclasas son más inestables mecánicamente que los feldespatos potásicos. De este modo, las plagioclasas se concentran en las fracciones de tamaño más fino.

En las arenas de origen gnéisico se produce, en la fracción de tamaño 1-0,5 mm, un ligero aumento del feldespato potásico respecto al contenido en plagioclasa. Dicho aumento está relacionado con la rotura de los fragmentos de roca en sus constituyentes monominerales y con la elevada inestabilidad de los granos de plagioclasa en los tamaños más gruesos. Así, en la fracción 2-1 mm la relación K/P presenta un valor semejante al de la roca original, ya que la mayoría de plagioclasas y feldespatos potásicos están formando parte de los fragmentos de roca. Cuando dichos componentes se rompen en sus granos monominerales, la inestabilidad mecánica, más acusada en las plagioclasas, hace que el valor de la relación K/P aumente. Este hecho no es frecuente en las arenas de origen plutónico ya que tienen mayor cantidad de feldespatos en grano en la fracción 2-1 mm.

El valor del índice K/P es más elevado en arenas de origen gnéisico que en las plutónicas. Así, en las primeras este valor es inferior a 1 únicamente en la fracción más fina. Sin embargo, en las arenas de origen plutónico el contenido de plagioclasas es superior al de feldespatos potásicos en las fracciones 0,25-0,125 mm. y 0,125-0,062 mm.

Cuarzo: Se presenta en granos angulosos y subangulosos. En arenas de procedencia metamórfica es común la presencia de granos con inclusiones de biotita y de feldespato potásico.

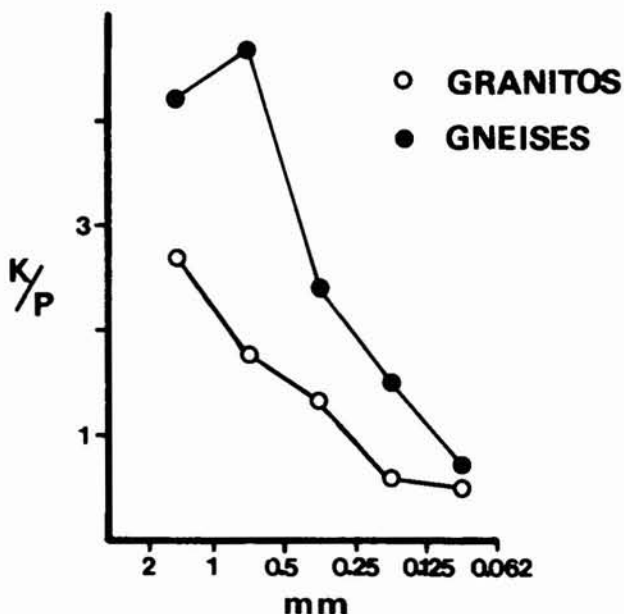


Fig. 3.—Variación del valor del índice K/P en función del tamaño de grano en arenas derivadas de áreas fuentes plutónicas y gnéisicas.

El contenido de cuarzo respecto a la composición total del depósito arenoso no es muy dependiente del tamaño de grano debido a su elevada estabilidad mecánica y química. En arenas de origen plutónico su porcentaje en la fracción 2-1 mm es del 22%, pasando a ser del 34% en la fracción arenosa más fina.

En las arenas derivadas de áreas gnéisicas y pizarroso-esquistosas es más apreciable el aumento en el porcentaje de cuarzo con la disminución del tamaño de grano. Su contenido en la fracción de tamaño 2-1 mm representa tan solo el 12% y 3%, respectivamente, pasando al 41% y 44% en la fracción 0,125-0,062 mm. El mayor aumento en depósitos de procedencia metamórfica es debido a que en dichas litologías los cuarzos tienen un tamaño cristalino muy variable.

Se han distinguido cuatro tipologías diferentes de granos de cuarzo (Basu, *et al.*, 1975): cuarzo monocristalino con extinción recta, monocristalino con extinción ondulante, policristalino con 2 ó 3 individuos cristalinicos y policristalino con más de tres individuos por grano; estas tipologías han sido utilizadas por distintos autores para caracterizar las litologías de las diferentes áreas fuentes en depósitos de primer ciclo de sedimentación (Basu *et al.*, 1975; Young, 1976; entre otros). Sobre el contenido en las cuatro tipologías de cuarzo en las arenas estudiadas, así como su utilidad en análisis de procedencia de areniscas remitimos al lector a los datos recogidos en Tortosa *et al.* (1988).

Composicion modal: relación con el tamaño de grano

En el anterior apartado ya se ha tenido ocasión de mencionar la influencia del tamaño de grano en el contenido de los componentes fundamentales de la arena. No obstante, es necesario analizar conjuntamente las variaciones composicionales que se producen. En la figura 4 se han representado los contenidos de los componentes mencionados en función del tamaño de grano de cada fracción. Para la realización de estos diagramas se han sumado los contenidos en feldespato potásico y plagioclasa, resultando tres líneas de variación correspondientes a los porcentajes de cuarzo (Q), feldespatos (F) y fragmentos de roca (FR) en cada una de las cinco fracciones de tamaño de grano.

Independientemente de la litología de partida, al disminuir el tamaño de grano aumenta el contenido en feldespatos y disminuye el de fragmentos de roca. El cuarzo presenta tendencia a aumentar con el decrecimiento del tamaño de la fracción arenosa.

La composición modal de las arenas derivadas de áreas pizarroso-esquistosas está constituida fundamentalmente por fragmentos de roca. En las tres fracciones más gruesas este componente se encuentra representando del 90% al 100% de la composición global de los depósitos. A partir de la fracción de tamaño 0,5-0,25 mm el porcentaje de fragmentos de roca disminuye y aumenta el contenido en cuarzo ya que es a partir de este intervalo de tamaño cuando se individualiza este mineral de los fragmentos de roca. Sin embargo, en las fracciones de tamaño más fino los fragmentos de roca continúan siendo los constituyentes fundamentales. El feldespato es un componente muy escaso en este tipo de arenas, solamente está presente en las fracciones 0,25-0,125 mm y 0,125-0,062 mm, y con porcentajes inferiores al 10%.

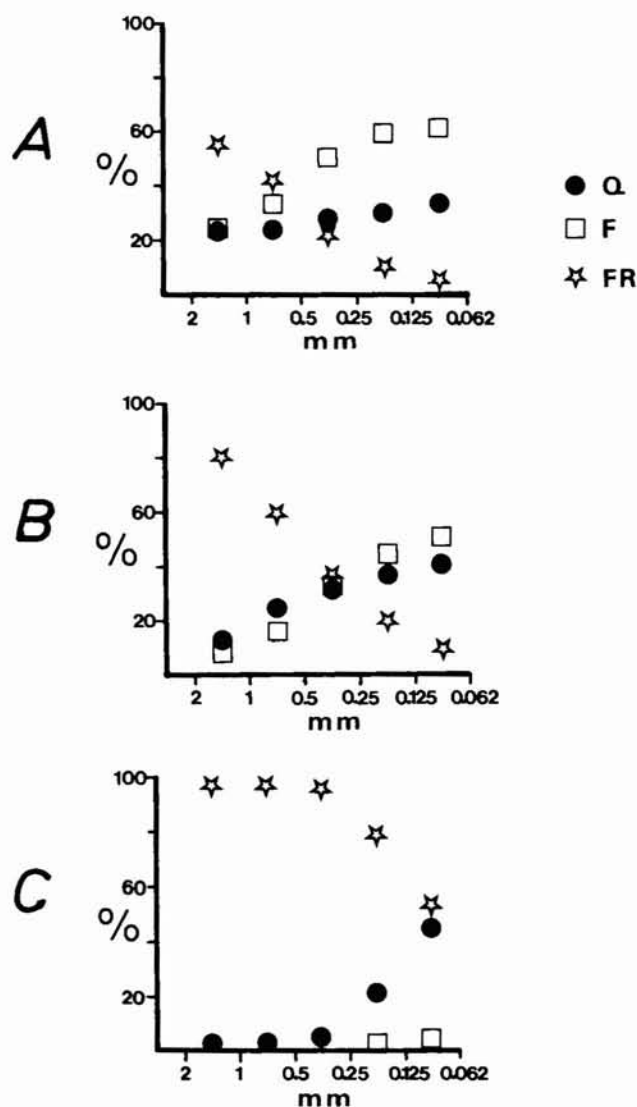


Fig. 4.—Variación del contenido en cuarzo (Q), feldspatos (F) y fragmentos de roca (FR) en función del tamaño de grano de los depósitos estudiados. A: procedentes de rocas plutónicas. B: Procedentes de rocas gnéissicas. C: Procedentes de rocas pizarroso-esquistosas.

En las arenas derivadas de litologías plutónicas la disminución en el contenido en fragmentos de roca va ligada a un aumento en el contenido de feldspatos, siendo estas dos líneas de variación simétricas entre sí (fig. 4). En cuanto al porcentaje de cuarzo, si bien presenta una ligera tendencia a aumentar con la disminución del tamaño de grano, permanece prácticamente constante en todas las fracciones arenosas, con una variación del 10% entre la fracción de tamaño más gruesa (2-1 mm) y la más fina (0,125-0,062 mm). Este hecho indica que los planos de unión entre distintas especies minerales en un fragmento de roca (por ejemplo, feldespato-cuarzo) así como los

planos de exfoliación de los propios feldspatos son mucho más inestables mecánicamente que las uniones cuarzo-cuarzo. Así, se produce un acusado descenso en el contenido de fragmentos de roca acompañado de un incremento en feldspatos con la disminución del tamaño de grano, mientras que el cuarzo puede presentarse como granos policristalinos en las fracciones gruesas y como monocristalinos en las finas, sin presentar una tendencia general clara en la variación de su contenido con el tamaño de grano (fig. 4).

Por último, en arenas de origen gnéissico el contenido en fragmentos de roca es superior al de las arenas de procedencia plutónica, que hace que en las fracciones de tamaño medio no sólo aumente el contenido en feldspatos (ligado a la disminución de fragmentos de roca) sino que también se aprecia un incremento en el contenido en cuarzo, si bien menor que el de feldspatos. El aumento en el porcentaje de cuarzo es más importante en el paso de las fracciones gruesas a las medias; en el resto de las fracciones (0,25-0,125 mm y 0,125-0,062 mm) esta tendencia se suaviza debido a que ya ha descendido considerablemente el contenido en fragmentos de roca (fig. 4).

Como se ha venido observando, si bien las tendencias de variación de los constituyentes fundamentales de la fracción ligera en función del tamaño de grano son similares en todos los depósitos arenosos estudiados, los contenidos en cada uno de dichos componentes difiere mucho en función de la litología de partida.

Composición modal: diagrama QFFR (Pettijohn, et al., 1973)

El análisis modal de la fracción ligera, nos ha permitido caracterizar los depósitos arenosos actuales mediante su proyección en el diagrama triangular de composición QFFR (Pettijohn, et al., 1973), muy utilizado en los estudios de procedencia en areniscas, debido a que los criterios empleados se relacionan directamente con aspectos relativos a la naturaleza del área fuente, en contraposición con los criterios de Dickinson (1970) y (1985) donde se da una mayor prioridad a la composición mineral de la roca origen (Palomares, 1988 y Tortosa, 1988).

En el diagrama de la figura 5 (ver también tabla 2) se ha representado la composición media de las arenas estudiadas en función de la litología de partida y del tamaño de grano. Se ha proyectado la media (indicada por un punto), así como la dispersión que presenta este valor para cada fracción (representada por un campo alrededor de la media). Asimismo, se han numerado las fracciones de mayor a menor con números del 1 al 5, respectivamente.

En primer lugar, se aprecia la gran dependencia de la composición con el tamaño de grano y con la litología del área de procedencia. Así, las arenas de procedencia pizarroso-esquistosa quedan proyectadas

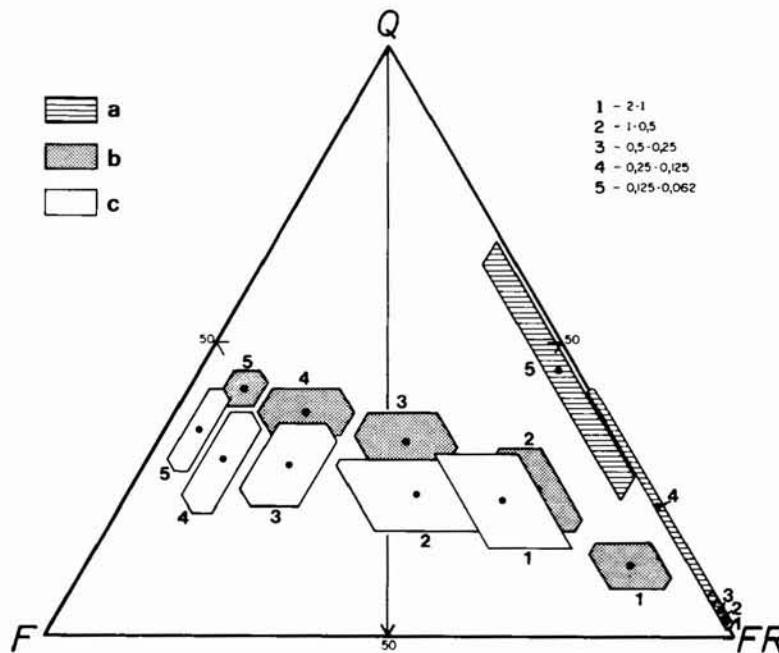


Fig. 5.—Proyección de las arenas analizadas en un diagrama QFFR (Pettijohn *et al.*, 1973) en sus cinco fracciones de tamaño. a: Procedencia pizarroso-esquistosa. b: Procedencia gnéisica. c: Procedencia plutónica.

en todas las fracciones en el margen QFR o próximas a él, claramente separadas del resto de los depósitos estudiados (fig. 5). A medida que disminuye el tamaño de grano se produce una tendencia a aumentar el contenido en cuarzo en detrimento de los fragmentos de roca. En este tipo de arenas únicamente aparecen

feldespatos en la fracción de tamaño más fino (0,125-0,062 mm) y con un porcentaje muy bajo (3%). La dispersión del contenido en feldespatos es muy baja; sin embargo, los contenidos en cuarzo y fragmentos de roca difieren mucho de unos macizos a otros dependiendo de su tamaño cristalino. De este modo,

Tabla 2.—Valores medios y desviación de los contenidos en los tres componentes fundamentales del esqueleto de las arenas actuales generadas en el Sistema Central, en función de la litología de origen y de la fracción arenosa analizada. Q: cuarzo. F: feldespato. FR: fragmentos de roca

	2-1 mm	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,062
GRANITOS					
Q	23±8	25±6	29±7	31±9	35±7
F	22±6	33±9	50±9	59±9	60±7
FR	55±15	42±14	21±5	10±3	5±2
GNEISES					
Q	12±4	25±7	32±5	37±4	41±3
F	9±5	16±4	32±7	44±7	50±4
FR	79±7	59±9	36±8	19±7	9±3
PIZARRAS-ESQUISTOS					
Q	3±4	3±4	4±3	22±20	45±24
F	0	0	0	0,5	3±2
FR	97±4	97±4	96±3	78±20	52±20

si dicho tamaño es muy fino, en las fracciones finas continuará siendo muy alto el porcentaje de fragmentos de roca. Por este motivo, en estas arenas se obtienen campos de dispersión muy grandes. En cualquier caso, la cantidad de fragmentos de roca es muy alta incluso en la fracción de tamaño más fina.

El lugar de proyección de la composición de las arenas procedentes de áreas fuentes plutónicas y gnéicas es bastante similar, si bien varía ligeramente entre sí, a medida que disminuye el tamaño de grano, desde zonas próximas al polo FR hasta las proximidades del margen QF. Estas tendencias son similares en ambos tipos de arenas y se deben a la disminución en el contenido en fragmentos de roca ligado, fundamentalmente, a un aumento en el porcentaje de feldespatos. El hecho de que las arenas gnéicas tengan mayor cantidad de fragmentos de roca da lugar a un desplazamiento hacia el polo FR de todas sus fracciones respecto al lugar de proyección de las arenas derivadas de litologías plutónicas (fig. 5).

Con el fin de eliminar la dependencia de la composición con el tamaño de grano, los autores que utilizan este tipo de representación en análisis de procedencia de areniscas (Basu *et al.*, 1975; Young, 1976; etc.) emplean únicamente la composición modal de una población de un tamaño de grano específico (0,5-0,25 mm.).

La composición modal de la fracción de tamaño 0,5-0,25 mm (representada con el número 3 en la figura) es diferente en función de la litología de partida, en arenas plutónicas dicha composición modal se proyecta dentro del campo donde se cumple que $F > FR$, mientras que la composición modal de las arenas de procedencia gnéica lo hace en el campo $FR > F$ si bien su proyección se realiza muy próxima e incluso sobre el límite entre ambos campos.

Si bien resulta útil la elección de un determinado tamaño para diferenciar áreas fuentes de distintas litologías, dicha elección conlleva el riesgo de perder información acerca de la composición global del depósito arenoso.

Conclusiones

Se han caracterizado composicionalmente los depósitos arenosos actuales de zonas de cabecera de arroyos originados a partir de litologías plutónicas y metamórficas del Sistema Central. Dicha caracterización se ha realizado en base a un análisis mineralógico de la fracción ligera, en función del tamaño de grano.

Independientemente de la litología de partida, se produce una disminución del contenido en fragmentos de roca a medida que disminuye el tamaño de grano.

En cuanto al contenido en feldespatos, destaca la concentración de plagioclasas y, en menor medida, de feldespatos potásicos en las fracciones de tamaño más fino como consecuencia de su inestabilidad mecánica.

Los individuos maclados de ambas especies minerales disminuyen en contenido con el tamaño de grano debido a que los planos de macla representan planos de debilidad, produciéndose la rotura preferente de los granos a favor de dichos planos.

Consideramos que el uso del índice K/P en análisis de procedencia en areniscas ha de hacerse teniendo en cuenta el tamaño de grano ya que la inestabilidad mecánica de estos componentes hace variar considerablemente su valor de unas fracciones a otras.

El contenido en granos de cuarzo es independiente del tamaño de grano en arenas de origen plutónico debido a su elevada estabilidad mecánica y química. En depósitos derivados de rocas metamórficas el porcentaje de cuarzo tiende a aumentar con la disminución de tamaño de grano como consecuencia de la mayor cantidad de granos de cuarzo en fragmentos de roca en las fracciones de tamaño más grueso.

Si bien las tendencias de variación de los constituyentes fundamentales de la fracción ligera en función del tamaño de grano son similares en todos los depósitos arenosos estudiados, los contenidos en cada uno de dichos componentes difiere mucho en función de la litología de partida.

La composición modal de las arenas de procedencia pizarroso-esquistosa está constituida fundamentalmente por fragmentos de roca. Al disminuir el tamaño de grano disminuye el porcentaje de fragmentos de roca y aumenta el contenido en cuarzo, pero los fragmentos de roca continúan siendo los constituyentes fundamentales. En arenas de origen plutónico la disminución en fragmentos de roca con la disminución del tamaño de la fracción va ligada únicamente a un incremento en el contenido en feldespatos, siendo prácticamente constante el contenido en cuarzo en las cinco fracciones estudiadas. Por otra parte, en los depósitos derivados de áreas gnéicas a medida que disminuye el porcentaje de fragmentos de roca se produce un aumento en el contenido en granos de feldespato y cuarzo.

Se han caracterizado los depósitos arenosos actuales mediante su proyección en el diagrama triangular de composición QFFR (Pettijohn *et al.*, 1973). El lugar de proyección de la composición de las arenas está controlado por el tamaño de grano y por la litología del área de procedencia. Las arenas de procedencia pizarrosa-esquistosa quedan proyectadas en sus cinco fracciones en las proximidades del margen QFR. El lugar de proyección de las arenas de origen plutónico y gnéico varía con el tamaño de grano desde las proximidades del polo FR hasta zonas próximas al margen QF. Todas las fracciones de los depósitos derivados de zonas gnéicas quedan desplazadas hacia el polo FR respecto al campo de proyección de las arenas de procedencia plutónica debido a su mayor contenido en fragmentos de roca.

El empleo de una fracción arenosa específica (0,5-0,25 mm.) es útil para distinguir entre áreas plutónicas,

gnéicas y pizarroso-esquistosas; sin embargo, de este modo se pierde una importante información acerca de la composición de la totalidad del depósito.

Referencias

- Basu, A. (1976). Petrology of holocene fluvial sand derived from plutonic source rocks: implications to paleoclimatic interpretation. *J. Sed. Petrology*, 46, 694-709.
- 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.
- Capote, R.; Casquet, C. y Fernández Casals, M. J. (1981). La tectónica hercínica de cabalgamientos en el Sistema Central español. *Cuad. Geol. Ibérica*, 7, 455-469.
- Chayes, F. (1952). Notes on the staining of potash feldspar with sodium cobaltinitrite in thin section. *Amer. Mineral.*, 37, 337-340.
- Chayes, F. (1956). *Petrographic modal analysis*. Wiley and Sons. New York, 113 p.
- Dickinson, W. R. (1970). Interpreting detrital modes of grauwacke and arkose. *J. Sed. Petrology*, 40, 695-707.
- Dickinson, W. R.; Beard, L. S.; Brakenridge, G. R.; Erjavec, J. L.; Ferguson, R. C.; Inman, K. F.; Knepp, R. A.; Linaberg, F. A. y Ryberg, P. T. (1983). Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 94, 222-235.
- Dickinson, W. R. (1985). Provenance relations from detrital modes of sandstones. En: *Provenance of Arenites*. Ed. G. G. Zuffa. NATO ASI Series C-148, 333-361.
- Glagolev, A. A. (1933). On the geometrical methods of quantitative mineralogical analysis of rocks (in Russian). *Trans. Inst. Econ. Min.*, Moscow, 59, 1-47.
- 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 p.
- Palomares, M.; Tortosa, A. y Arribas J. (1988 a). Caracterización clastométrica de los depósitos detríticos en cabecera de arroyo: Implicaciones genéticas. *Bol. Real Soc. Hist. Nat.*, (en prensa).
- Palomares, M.; Tortosa, A. y Arribas, J. (1988 b). Estudio de la fracción pesada de arenas actuales derivadas del Sistema Central y su aplicación a los estudios de procedencia. *Bol. Geol. Min.* (en prensa).
- Pettijohn, F. P.; Potter, P. E. y Siever, R. (1973). *Sand and sandstones*. Springer-Verlag, New York-Heidelberg-Berlin, 618 p.
- 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 p.
- Tortosa, A.; Palomares, M. y Arribas, J. (1988). Tipologías de cuarzo como indicadores de la procedencia en areniscas: excepciones al método de Basu *et al.*, (1975). *Estudios Geol.*, 44, 385-390.
- Young, S. W. (1976). Petrographic textures of detrital polycrystalline quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks. *J. Sed. Petrology*, 46, 595-603.

Recibido el 16 de enero de 1989
Aceptado el 21 de abril de 1989