

Estudio de la fracción pesada de arenas actuales derivadas del Sistema Central y su aplicación a los estudios de procedencia.

Por M. PALOMARES (*), A. TORTOSA (*) y J. ARRIBAS (*)

RESUMEN

En el presente trabajo se caracteriza la fracción pesada de las arenas actuales generadas en el Sistema Central a partir de áreas fuentes con litología única: plutónica, gneílica o pizarroso-esquistosa.

Se analiza la proporción de fracción pesada en relación al total de la muestra en función de la litología de partida y del tamaño de grano, observándose cómo dicha fracción es más abundante en las arenas derivadas de pizarras y esquistos. Asimismo la proporción de fracción pesada aumenta con la disminución del tamaño de grano en todos los casos.

Se describe una asociación de minerales pesados transparentes para la fracción de tamaño más fina, 0,125-0,062 mm., en arenas de origen plutónico (turmalina, apatito, andalucita, hornblenda, circón, epidota y monacita), otra en arenas de origen gneílica (sillimanita, apatito, andalucita, turmalina, granate, circón y monacita) y otra en arenas de origen pizarroso-esquistoso (sillimanita, apatito, circón, epidota, distena, rutilo y esfena).

Se pone en duda la utilidad de dichas asociaciones como medio de deducir la litología del área de procedencia de los depósitos arenosos fósiles; en primer lugar por su alta dependencia con el tamaño de grano de la arena, y en segundo lugar por la semejanza de las mismas entre unas litologías de partida y otras.

Palabras clave: Arenas, Depósitos actuales, Minerales pesados, Sistema Central (España).

ABSTRACT

In this work we have analyzed the heavy mineral fraction of modern sands derived from single source lithology (plutonic gneissic or slate-schists) in the Central System (Spain).

The amount of heavy mineral fraction is very high in slate-schists derived sand, and in all samples heavy mineral fraction increases when grain-size reduces.

Transparent heavy mineral associations are described on finest grain-size fraction (0,125-0,062 mm.) to sands with plutonic provenance (tourmaline, apatite, andalucite, hornblende, zircon, epidote and monacite); one other to sands with gneissic provenance (sillimanite, apatite, andalucite, tourmaline, granet, zircon and monacite); and one other to sands with slate-schists provenance (sillimanite, apatite, zircon, epidote, distene, rutile and sphene).

We put in doubt the usefulness of heavy mineral associations as a tool to provenance analysis in ancient sand deposits; first by the high dependence of the associations with grain-size sand, and second by the similitude of associations in sand of different parent rocks.

Key words: Sands, Modern deposits, Heavy minerals, Central System (Spain).

1. INTRODUCCION

En general, los estudios de procedencia de areniscas se han centrado en el análisis específico de determinados componentes detríticos. En la primera mitad de este siglo se utilizó, fundamen-

talmente la fracción pesada (asociación de minerales pesados). Sobre esta línea FEO-CODECIDO (1956) y STATTEGER (1986), entre otros muchos autores, utilizan las asociaciones de minerales pesados como medio de deducir el área de procedencia. Sin embargo, existen problemas a la hora de poder definir asociaciones de dichos minerales que sean relacionables directamente con áreas de procedencia determinadas.

(*) Departamento de Petrología y Geoquímica de la Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

MORTON (1985) observa que las paragénesis de minerales pesados de la roca origen pueden verse modificadas por la alteración, transporte, sedimentación y sobre todo la diagénesis.

Con el presente trabajo nos proponemos, por un lado, aportar nuevos datos sobre las asociaciones de minerales pesados en arenas originadas a partir de diferentes litologías (plutónicas y metamórficas) del Sistema Central, en función de las diferentes fracciones de tamaño; y por otro, comparar dichas asociaciones con las descritas en la bibliografía para arenas procedentes de tipos litológicos similares a los tratados aquí para poder contrastar la viabilidad de esta metodología tradicional.

2. METODOLOGIA

Las muestras recogidas son arenas actuales de arroyos próximos a su cabecera, los cuales drenan macizos con litologías únicas. Se han seleccionado tres tipos litológicos en el Sistema Central: rocas plutónicas (La Pedriza —P—, Peña del Hombre —PH—, Enebrosilla —EN—, Los Rosados —RO—, El Canto del Fraile —F—, El Quintanar —Q—, El Jornillo —J— y El Sobaquillo —SO—), rocas gnéisicas (Cerro de San Pedro —CSP—, La Mujer Muerta —MM—, El Purgatorio —VP— y Prado Redondo —CO—) y rocas pizarroso-esquistosas (macizos de Morequero —U— y Prádena de Atienza —RE y VL—) (fig. 1).

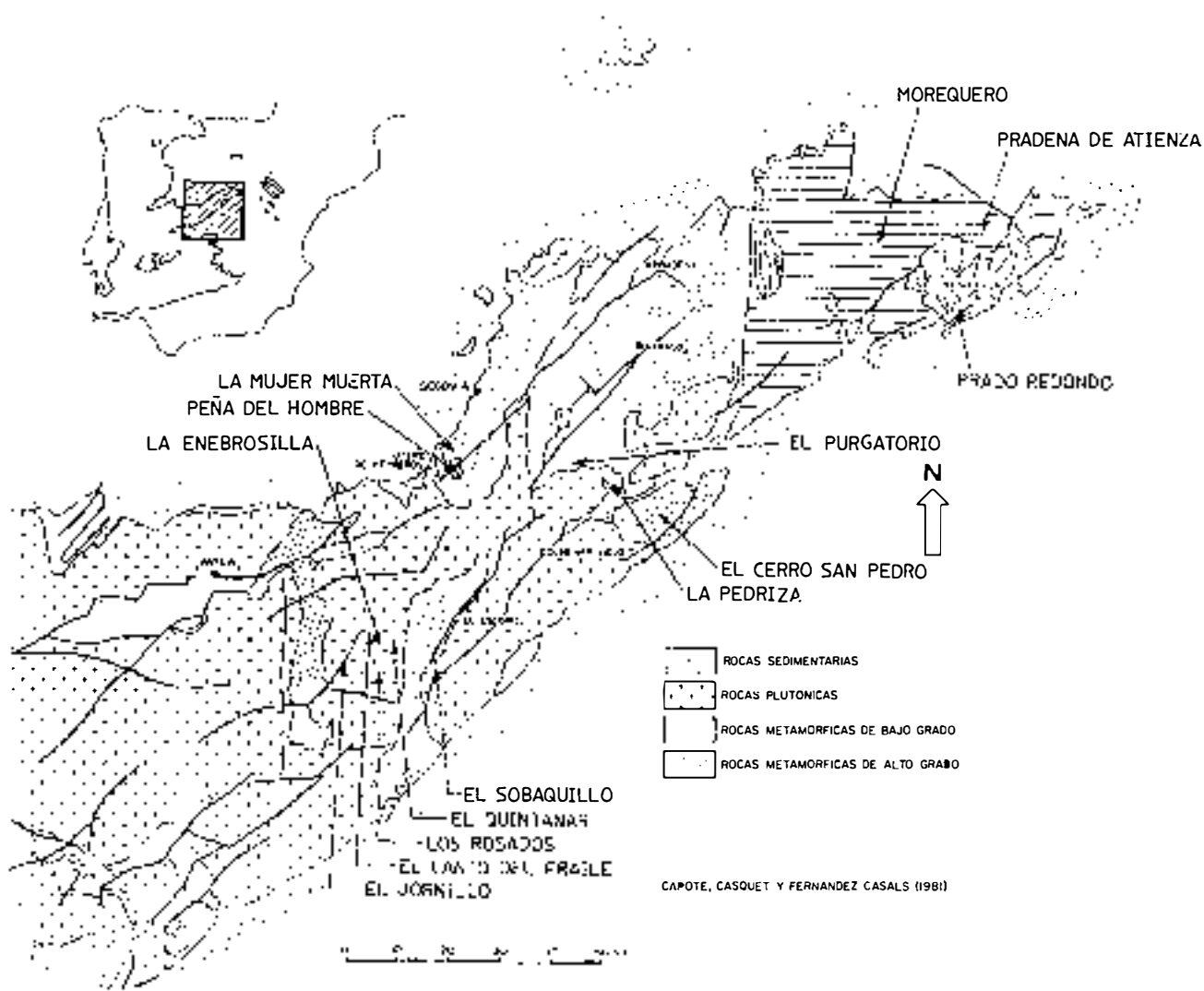


Figura 1.—Mapa de situación general de los macizos muestreados en el Sistema Central.

El muestreo consistió en la toma de 41 muestras, de las cuales 22 son de procedencia plutónica, 11 gneísicas y 8 pizarroso-esquistosa. Los macizos donde se realizó el muestreo, su litología y la localización de las muestras correspondientes se resume en el Cuadro I, basado en los datos de ALVARO et al. (1981), APARICIO y GALAN (1980), APARICIO (1983), CASILLAS y PEINADO (1988), FERNANDEZ CASALS y CAPOTE (1971), ITGE (1959), ITGE (1981), ITGE (1982), LOPE RUIT et al. (1975), NAVIDAD y PEINADO (1981), OCHOA RUIZ DE ZUAZO (1962), TORNOS (1981) y VILLASECA (1984), entre otros.

Las muestras arenosas se han tamizado según cinco fracciones de tamaño, en intervalos de

1 ϕ ., entre 2 mm. y 0,062 mm. De cada una de dichas fracciones se han pesado 4 gr., separándose a partir de esta cantidad la fracción pesada por un lado y la fracción ligera por otro. Esta separación se llevó a cabo por medio de líquidos densos (bromoformo-tribromometano-PANREAC de densidad 2,82-2,83 gr/cm³). Este líquido no ha sido muy eficaz para la separación de micas, en especial de las biotitas, al poseer ambos una densidad similar. Los minerales pesados obtenidos se montaron en grano en vidrios portaobjetos junto con unas gotas de resina plástica AL-100.

El estudio microscópico de la fracción pesada se ha basado en un conteo de 300 granos por fracción de tamaño, siguiendo el método lineal

CUADRO I

Relación de muestras, macizos y arroyos con la 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 Beceda
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 ocellar grueso	El Purgatorio	Perpend. al arroyo de la Angostura
CO-1 y 2	Gneis glandular de tamaño grueso	Prado Redondo	paral. a la carretera Hiedelaencina-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

(GALEHOUSE, 1971). Cabe señalar que las fracciones de tamaño más grueso (2-1 y 1-0,5 mm.) no se analizaron al microscopio petrográfico debido, en primer lugar a la escasez de granos existentes, lo que impedía la obtención de datos representativos; y en segundo lugar a la dificultad de la identificación debido al grosor de dichos granos. Para la caracterización de las diferentes especies de minerales pesados se han empleado las publicaciones de PEREZ MATEOS (1965) y PARFENOFF et al. (1970) junto con una colección particular de A. YEBENES.

Las descripciones petrográficas de las arenas tanto de la fracción pesada como de la ligera se detallan en PALOMARES (1988) y TORTOSA (1988).

3. FRACCION PESADA: CONTENIDOS

La proporción de la fracción pesada respecto a la fracción ligera es muy variable en función del tamaño de grano y de la litología de partida (fig. 2). La cantidad de fracción pesada aumenta con la disminución del tamaño de grano, concentrándose en las fracciones 0,125-0,062 mm. (arenas plutónicas y gneísicas) y 0,25-0,125 mm. (arenas pizarroso-esquistosas). En las arenas de origen plutónico el contenido de la fracción pesada varía entre 0,32 y 2,9 por 100 (en las fracciones 0,5-0,25 mm. y 0,125-0,062 mm, respectivamente). En arenas de origen gneísico esta proporción es de 0,47 a 2,5 por 100. Por último, en las arenas pizarroso-esquistosas este valor se encuentra entre 3,1 y 7,6 por 100.

Por último, en las arenas pizarroso-esquistosas este valor se encuentra entre 3,1 y 7,6 por 100.

El hecho de que la cantidad de minerales densos en las arenas sea mayor que la que presenta la roca origen (1 por 100 según MORTON, 1985), hace suponer que durante la erosión, transporte y sedimentación, los minerales pesados se concentran en las fracciones arenosas más finas.

Se han diferenciado tres grupos de minerales pesados: micas, opacos y transparentes (fig. 3). Dentro de los minerales transparentes se han distinguido 16 especies en arenas metamórficas (fig. 4 y cuadro II) y 18 en arenas plutónicas (figs. 5 y 6).

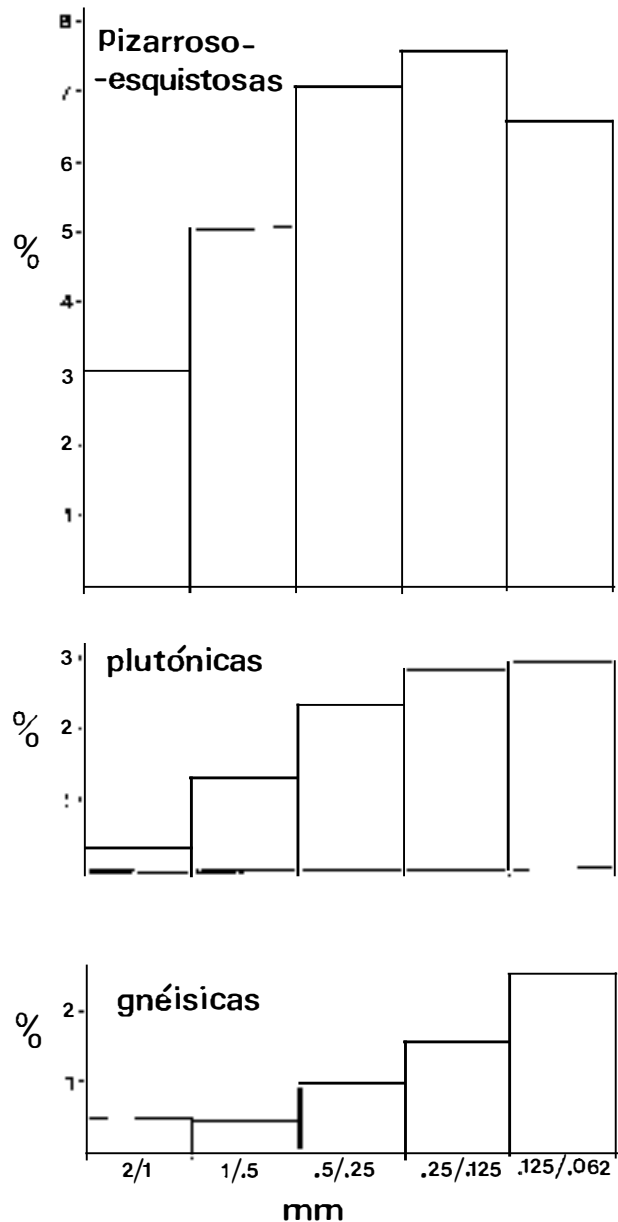
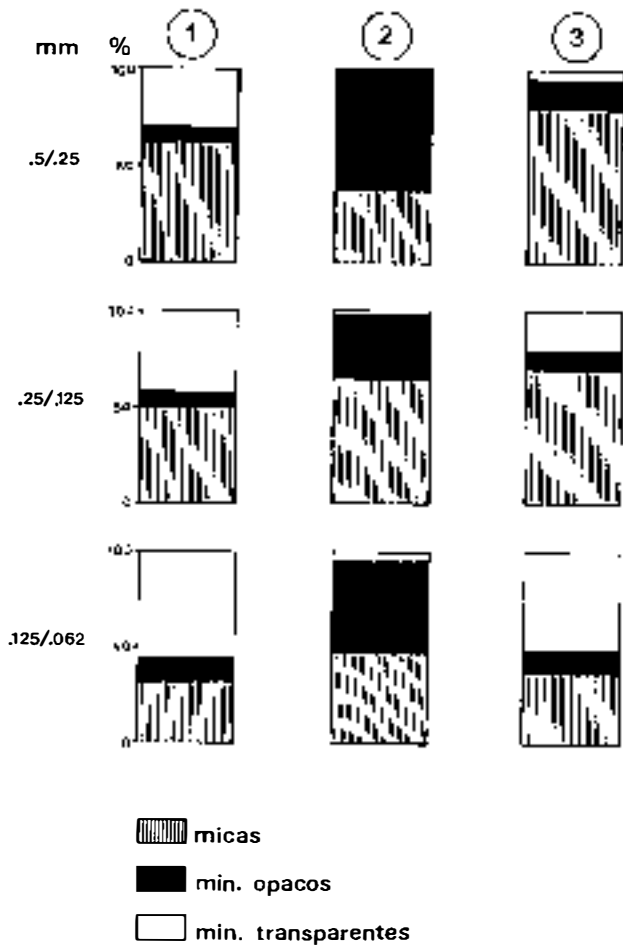


Figura 2.—Porcentaje en peso de la fracción pesada de las arenas de procedencia pizarroso-esquistosa, plutónica y gneísica en función del tamaño de grano. Se representan los valores medios de cada tipo de arena.

La cantidad de micas (fundamentalmente biotitas) en arenas gneísicas, disminuye con el tamaño de grano (fig. 3), desde 65 por 100 en la fracción de tamaño 0,5-0,25 mm a 33,4 por 100 en el tamaño de grano más fino. Lo mismo ocurre



en arenas de origen plutónico, en la fracción 0,5-0,25 mm. donde su porcentaje es de 79,3 por 100, representando el 37,3 por 100 en la fracción de tamaño 0,125-0,062 mm.

Los minerales micáceos en arenas de origen pizarroso-esquistoso son biotitas y cloritas y se presentan con mayor proporción en la fracción de tamaño 0,25-0,125 mm., llegando a alcanzar el 63,8 por 100.

La cantidad de minerales opacos en arenas gnéissicas es más o menos constante en todas las fracciones, variando su valor entre 7 y 13 por 100. En las arenas de origen plutónico esta proporción oscila entre 10 y 15 por 100.

La cantidad de minerales transparentes aumenta con la disminución del tamaño de grano, llegando a representar el 60 y 50 por 100 en las arenas de origen gnéissico y plutónico, respectivamente, en el tamaño de grano más fino. Para las arenas de origen pizarroso-esquistoso la cantidad de minerales transparentes es muy baja o inexistente (10 por 100 como máximo en las fracciones de tamaño más fino). Por el contra-

Figura 3.—Porcentajes relativos de los tres componentes de la fracción pesada de las arenas de procedencia: 1, gnéissica; 2, pizarroso-esquistosa, y 3, plutónica. Se representan los valores medios de cada tipo de arena.

CUADRO II

Asociación de minerales pesados en función del tamaño de grano en arenas de origen pizarroso-esquistoso

MUESTRAS MINERALES	U			RE			VL		
	.5-.25	.25-.125	.125-.062	.5-.25	.25-.125	.125-.062	.5-.25	.25-.125	.125-.062
OPACOS	100	93'8	86'4	100	89'5	76'4	98'1	92'9	74'7
SILLIM.	-	1'2	0'8	-	2'2	1	1'6	1'7	3'6
TURMAL.	-	0'2	2'8	-	-	2'2	-	1'1	4
APATITO	-	-	0'6	-	1'1	6'2	-	2'3	2'1
GRANATE	-	-	-	-	-	0'1	0'1	-	2'6
ANDALU.	-	-	0'2	-	1'1	-	-	-	3'2
HORBLE.	-	0'2	-	-	-	0'3	-	-	-
ZIRCON	-	-	1'7	-	-	2'4	-	-	4
EPIDOTA	-	0'4	2'1	-	-	0'8	-	-	0'6
DISTENA	-	0'2	0'9	-	3'3	3	-	0'5	2'2
RUTILO	-	-	1	-	2'4	2'7	-	-	0'6
ANATASA	-	1'2	0'9	-	-	-	-	-	0'3
ESFENA	-	0'2	1'3	-	-	3'7	-	1'1	0'3
ESTAUR.	-	2'3	1'2	-	0'2	0'3	-	-	-

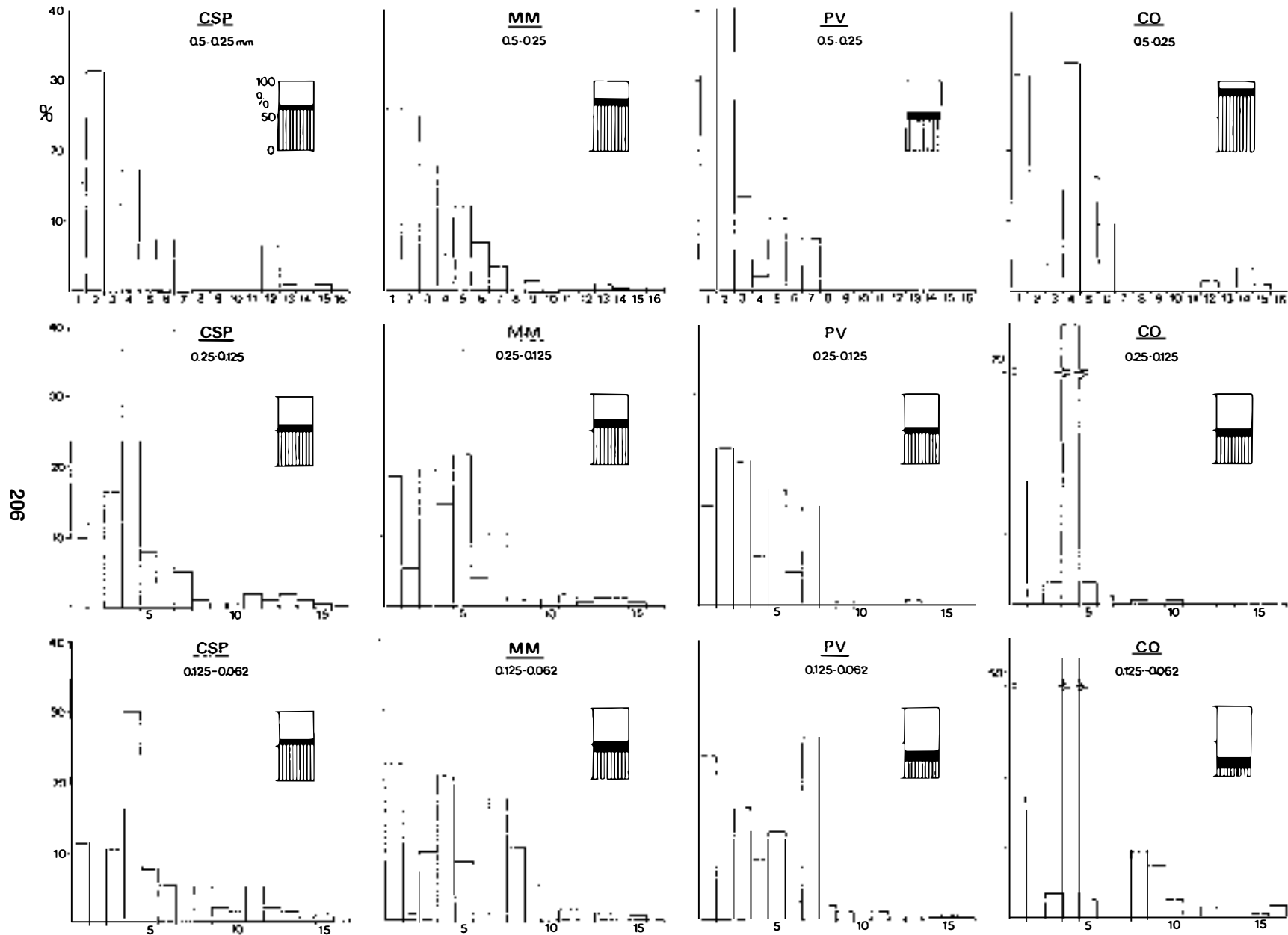


Figura 4.—Porcentajes relativos de los tres componentes de la fracción pesada (transparentes, opacos y micas) y asociaciones de minerales transparentes en función del tamaño de grano en las arenas de origen gneísico: 1, opacos; 2, sillimanita; 3, turmalina; 4, apatito; 5, granate; 6, andalucita; 7, hornblenda; 8, circón; 9, monacita; 10, epidota; 11, distena; 12, rutilo; 13, broquita y anatasa; 14, cordierita; 15, esfena, y 16, estauroлита.

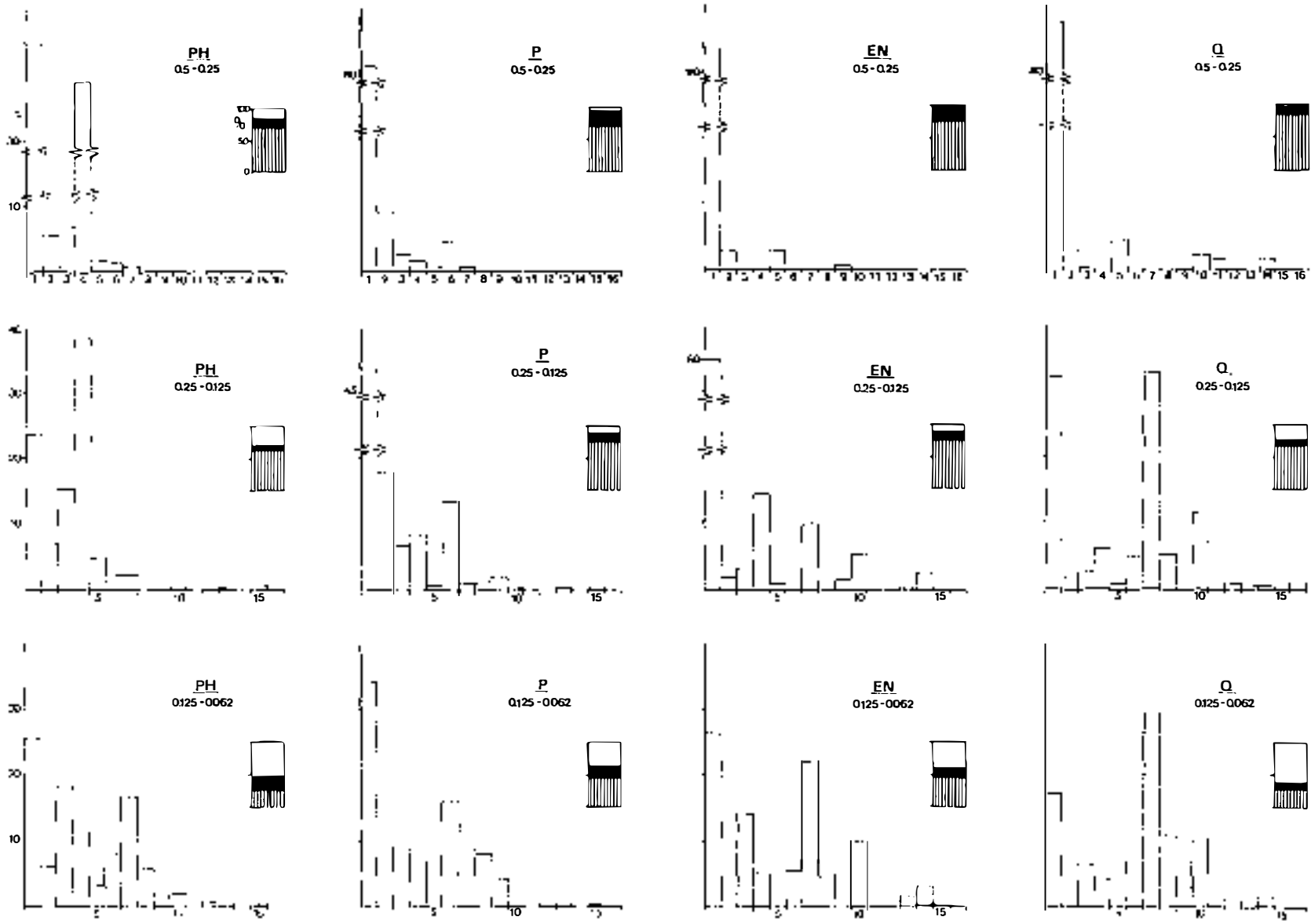


Figura 5.—Porcentajes relativos de los tres componentes de la fracción pesada (transparentes, opacos y micas) y asociaciones de minerales transparentes en función del tamaño de grano en arenas de origen plutónico: 1, opacos; 2, turmalina; 3, apatito; 4, andalucita; 5, granate; 6, hornblenda; 7, circón; 8, xenotima; 9, epidota; 10, monacita; 11, broquita y anatasa; 12, rutilo; 13, corindón; 14, esfena; 15, sillimanita, distena y cordierita, y 16, estauroлита.

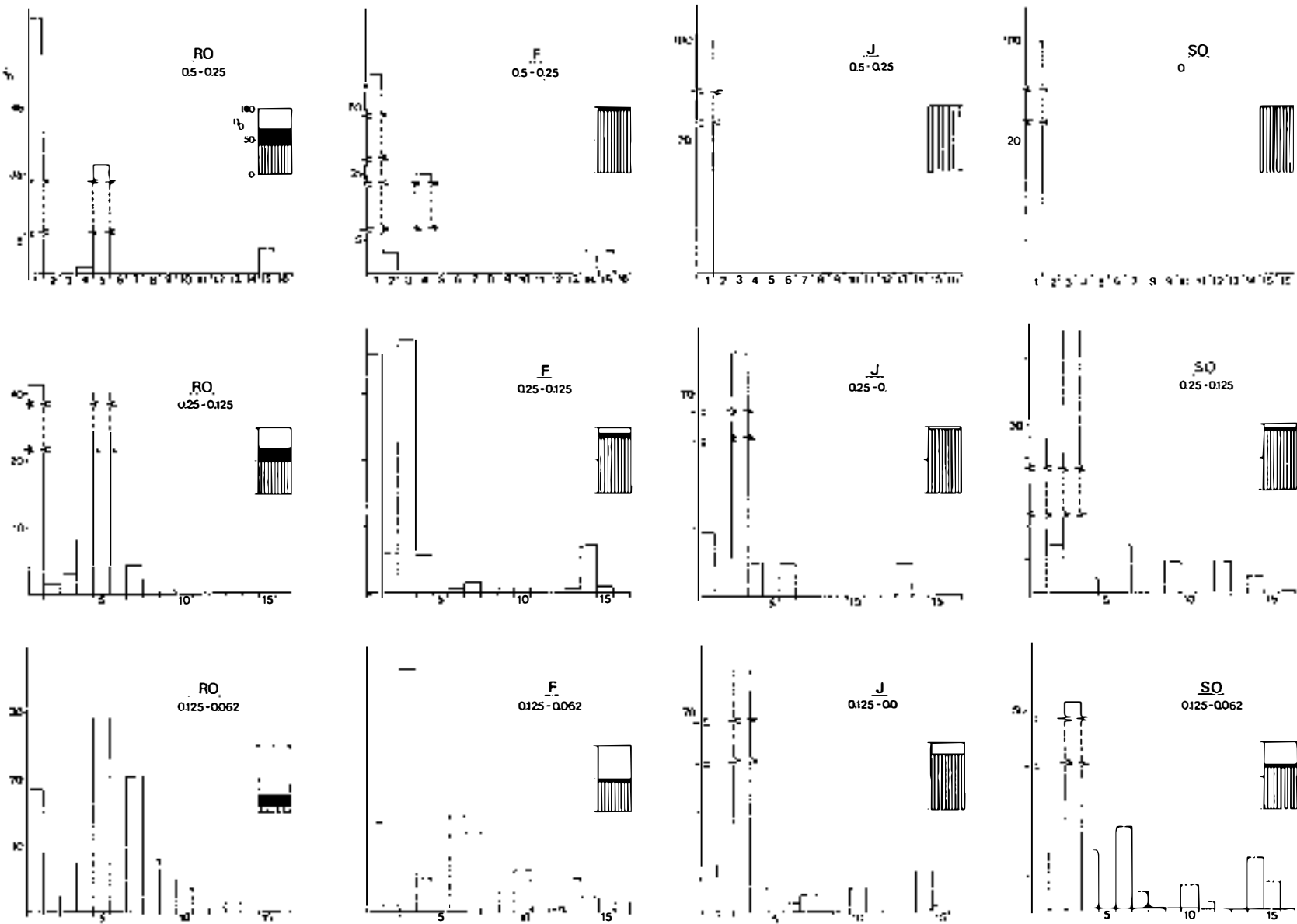


Figura 6.—Porcentajes relativos de los tres componentes de la fracción pesada (transparentes, opacos y micas) y asociaciones de minerales transparentes en función del tamaño de grano en arenas de origen plutónico (ver leyenda en fig. 5).

rio, la suma de minerales micáceos y opacos, para este tipo de arenas, en el tamaño de grano 0,5-0,25 mm. es del 95 por 100 y en la fracción de tamaño más fino esta suma alcanza el 90 por 100.

4. ASOCIACIONES DE MINERALES PESADOS TRANSPARENTES

Se han diferenciado 18 especies de minerales transparentes: turmalina, granate, hornblenda, circón, xenotima, epidota, monacita, broquita, anatasa, rutilo, corindón, esfena, distena, cordierita y estauroлита.

Las proporciones de cada una de estas especies se han recogido en el Cuadro II (arenas pizarroso-esquistosas) y en las figuras 4-6 (arenas gneísicas y plutónicas).

La variación de su contenido en función del tamaño de grano es diferente de unas especies a otras. Así, la sillimanita y andalucita disminuyen con la disminución del tamaño de grano; otros como el circón, monacita, xenotima y epidota aumentan su contenido con la disminución del tamaño de grano. Por otro lado, el granate y la turmalina se concentran en las fracciones de tamaño medio estudiadas (0,25-0,125 mm.). El contenido de andalucita, en arenas plutónicas, y de apatito, en arenas gneísicas, no está controlado por el tamaño de grano, variando su comportamiento en función de la litología particular del área fuente.

En general, se observa un aumento en el número de especies con la disminución del tamaño de grano. Se ha definido una asociación de minerales pesados transparentes que aparecen de forma sistemática en la fracción de tamaño más fino (0,125-0,062 mm.). Para las arenas de origen plutónico esta asociación es turmalina, apatito, andalucita, hornblenda, circón, epidota y monacita.

En arenas de origen gneísico, dicha asociación la forman sillimanita, turmalina, apatito, granate, andalucita, circón y monacita. En las arenas de origen pizarroso-esquistoso la asociación de minerales pesados transparentes es sillimanita, turmalina, apatito, circón, epidota, distena, rutilo y esfena.

Las muestras procedentes del macizo de Prado Redondo (CO) presentan una asociación de minerales pesados transparentes más pobre que el resto de los macizos con litologías gneísicas, debido probablemente a que su temperatura de formación corresponde a bajo grado metamórfico, similar a las áreas pizarroso-esquistosas (PALOMARES, 1988).

5. INTERPRETACION DE LAS ASOCIACIONES DE MINERALES PESADOS

La asociación de minerales pesados que se encuentra en las arenas de origen plutónico coincide prácticamente con la asociación mineral propuesta por FEO-CODECIDO (1956) como típica de este tipo litológico. Sin embargo, el autor no considera importante el contenido en epidota y andalucita, minerales, por el contrario, muy comunes en las áreas de origen plutónico que hemos analizado.

La asociación de minerales pesados que propone FEO-CODECIDO (1956) para arenas de origen metamórfico difiere bastante de la presentada aquí, ya que el autor no incluye la turmalina, el circón, monacita, y apatito en dicha asociación y sin embargo aparecen con frecuencia en las muestras de arenas gneísicas.

Las asociaciones de minerales pesados de arenas plutónicas y metamórficas son muy similares. Las diferencias más notables estriban en las proporciones en que aparecen las diferentes especies de minerales pesados transparentes.

Se pueden establecer diferencias entre ambos tipos litológicos en cuanto al contenido de sillimanita, ya que este mineral es muy frecuente en arenas gneísicas mientras que en arenas plutónicas es esporádico (<0,4 por 100). Sin embargo, se ha de tener en cuenta que las arenas gneísicas de bajo grado (CO) no contienen este mineral, presentando una asociación semejante a la de depósitos de origen plutónico.

Otros minerales, como el circón, son más abundantes en arenas plutónicas (10-25 por 100) que en arenas gneísicas (<10 por 100) y en arenas pizarroso-esquistosas (<4 por 100). Del mismo modo, la distena en arenas de procedencia metamórfica se encuentra en porcentajes bajos (0,2-5 por 100) y en arenas de procedencia plu-

tónica aparece raramente. Así, las diferencias que se observan en las asociaciones de minerales pesados reside en el porcentaje de cada especie mineral.

Los factores externos que inciden directamente en las asociaciones de minerales pesados, analizados por MORTON (1985) (alteración del área fuente, transporte, condiciones hidráulicas y diagénesis) no son muy importantes en nuestros depósitos, ya que el transporte ha sido corto y la alteración en clima semiárido a semihúmedo (CASADO et al., 1980) no modificaría sustancialmente la asociación original. Sin embargo, las asociaciones de minerales pesados encontradas en estos depósitos no difieren básicamente entre sí. Además, las diferencias existentes entre ellas (distintas proporciones en ciertas especies) no diagnostican necesariamente distintas litologías de partida, ya que factores como las condiciones hidráulicas existentes pueden llegar a provocar dichas diferencias (MORTON, 1985).

Por otro lado, las asociaciones de minerales pesados son altamente dependientes del tamaño de grano. Algunos autores han señalado la utilidad de fijar una fracción de tamaño específica para disminuir los efectos que ejerce dicho tamaño sobre las asociaciones y poder comparar así diferentes depósitos. No obstante, el establecer una fracción determinada conlleva el riesgo de no obtener una visión global del sedimento, perdiendo información sobre especies que se concentran en determinadas fracciones de tamaño.

La realización de análisis varietales de determinadas especies de minerales pesados puede ofrecer una mejor discriminación de las litologías de partida (GROVES, 1931; VAN ANDEL y POOLE, 1960, entre otros). En las arenas estudiadas es posible distinguir, en base al color de las turmalinas, entre arenas plutónicas y metamórficas, ya que las turmalinas de color azul se encuentran exclusivamente en las arenas de origen metamórfico. Del mismo modo, la forma de los circones varía en función de su procedencia, así los circones de las arenas de procedencia plutónica son prismáticos largos y euhedrales, mientras que en las arenas gneísicas son redondeados y cortos (PALOMARES y TORTOSA, en preparación).

6. CONCLUSIONES

Se ha caracterizado la fracción pesada de los depósitos arenosos de origen plutónico, gneísico y pizarroso-esquistoso generados en el Sistema Central.

La cantidad de fracción pesada es claramente mayor en arenas de procedencia pizarroso-esquistosa que en las de procedencia gneísica y plutónica. En todos los casos la proporción de fracción pesada aumenta con la disminución del tamaño de grano.

La cantidad de micas obtenida en la fracción pesada es mayor en los tamaños más gruesos (0,5-0,25 mm.), en las arenas de procedencia plutónica y gneísica. En las arenas pizarroso-esquistosas este componente se concentra en la fracción de tamaño 0,25-0,125 mm.

La proporción de minerales opacos en arenas plutónicas y gneísicas es más o menos constante, de 10 a 15 por 100 y de 7 a 13 por 100, respectivamente. Por el contrario, la cantidad de este componente en arenas pizarroso-esquistosas es mayor, de tal forma que la suma de minerales opacos y micas es del 90 al 95 por 100, con lo que la cantidad de minerales pesados transparentes en este tipo de arenas es muy baja (<10 por 100). En arenas gneísicas y plutónicas estos componentes son claramente más abundantes (60 y 50 por 100, respectivamente, en el tamaño de grano más fino).

La cantidad de minerales pesados transparentes aumenta con la disminución del tamaño de grano.

Se ha definido una asociación de minerales pesados transparentes para arenas de origen plutónico (turmalina, apatito, andalucita, hornblenda, circón, epidota y monacita), gneísico (sillimanita, apatito, andalucita, turmalina, granate, circón y monacita), y otra para arenas de origen pizarroso-esquistoso (sillimanita, apatito, circón, epidota, distena, rutilo y esfena). Las asociaciones de minerales pesados transparentes de origen plutónico y gneísico son muy similares. Este hecho pone de manifiesto el escaso valor de dichas asociaciones para determinar la litología del área fuente.

La concentración de las diferentes especies de minerales transparentes está muy influenciada

por el tamaño de grano de la arena, por lo que la utilización de un único tamaño de grano para determinar las asociaciones de minerales pesados conlleva el riesgo de no obtener una visión global de la composición modal real.

Se subraya la utilidad de los análisis varietales sobre determinadas especies para análisis de procedencia como el color de las turmalinas y la forma y redondez de los circones.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARO, M.; BELLIDO, F.; CAPOTE, R.; CASQUET, C.; FUSTER, M. J.; FERNANDEZ CASALS, J. M.; GONZALEZ, F.; NAVIDAD, M.; PEINADO, M., y VILLASECA, C. (1981): *Excursión sobre el metamorfismo y estructura de las series preordovicicas del Sistema Central español y plutonismo asociado*. Cuadernos Geología Ibérica, 7:53-97.
- APARICIO, A., y GALAN, 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.
- CASADO, L. G.; DE NICOLAS, J. P., y MOSQUERA, M. T. (1980): *Atlas climatológico básico de la subregión de Madrid*. MOPU COPLACO, 113 pp.
- CASILLAS, R., y PEINADO, M. (1988): *Secuencias graníticas en el área de San Martín de Valdeiglesias (Sistema Central español)*. En: *Geología de los granitoides y rocas asociadas del macizo hespérico. Libro homenaje a L. C. García de Figuerola*. Ed. Rueda, 281-292.
- CARVER, R. E. (1971): *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley Interscience, 653 pp.
- FEO-CODECIDO, G. (1956): *Heavy-mineral techniques and their application to Venezuelan stratigraphy*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 40:984-1000.
- FERNANDEZ CASALS, M. J., y CAPOTE, R. (1971): *Los gneises glandulares del Guadarrama oriental*. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.), 69:69-80.
- GALEHOUSE, J. S. (1971): *Point Counting*. En: *Procedures in Sedimentary Petrology*. R. E. Carver (Ed.), Wiley-Interscience, 385-407.
- GROVES, A. W. (1931): *The unroofing of the Dartmoor granite and distribution of its detritus in southern England*. Quart. J. Geol. Soc. Lond., 87:62-96.
- ITGE (1959): *Mapa geológico a escala 1:50.000, núm. 509. Torrelaguna*.
- ITGE (1981): *Mapa geológico a escala 1:50.000, núm. 460. Hiendelaencina*.
- ITGE (1982): *Mapa geológico a escala 1:50.000, núm. 433. Atienza*.
- LOPEZ RUIZ, J.; APARICIO, A., y GARCIA CACHO, L. (1975): *El metamorfismo de la Sierra de Guadarrama*. Mem. ITGE, 86 pp.
- MORTON, A. C. (1985): *Heavy minerals in provenance studies*. En: *Provenance of Arenites*. G. G. Zuffa (Ed.), NATO ASI Series C-148:247-278.
- NAVIDAD, M., y PEINADO, M. (1981): *Ortogneises y metasedimentos de la formación infrabasial al Olla de Sapo (macizo de Hiendelaencina, Guadarrama oriental)*. Cuadernos Geología Ibérica, 7:183-199.
- OCHOA RUIZ DE ZUAZO, G. (1962): *Datos preliminares sobre el macizo metamórfico de San Pedro*. Rev. R. Acad. Cienc. Exac., Físicas y Naturales, Madrid, tomo LVI, cuaderno II:443-457.
- 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 pp.
- PARFENOFF, A.; POMEROL, C., y TOURENQ, J. (1970): *Les mineraux en grains. Méthodes d'étude et détermination*. Masson et Cie., editeurs, 578 pp.
- PEREZ MATEOS, J. (1965): *Análisis mineralógico de arenas, métodos de estudio*. Patronato «Alonso de Herrera», Manuales de ciencia actual, núm. 1, CSIC, 267 pp.
- STATTEGGER, K. (1986): *Heavy minerals and provenance of sands modeling of litological end members from sand of northern Austria and from sandstones of the austroalpine gosan formation (late Cretaceous)*. Jour. Sed. Petrology, 57:301-310.
- TORNOS, F. (1981): *Petrología de las rocas metamórficas del alto valle del Lozoya (Sistema Central español)*. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid, 138 pp.
- 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 pp.
- VAN ANDEL, T. H., y POOLE, D. M. (1960): *Sources of recent sediments in the northern gulf of Mexico*. Jour. Sed. Petrology, 30:91-122.
- VILLASECA, C. (1984): *Evolución metamórfica del sector centro septentrional de la Sierra de Guadarrama*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 331 pp.
- ZUFFA, G. G., ed. (1985): *Provenance of arenites*. NATO ASI series C-148:408 pp.

Original recibido: Octubre de 1988.

Original aceptado: Mayo de 1989.