

## EVOLUCION GRANOMETRICA Y MORFOMETRICA DE LOS MINERALES PESADOS CON EL TRANSPORTE: SECTOR OESTE DE LA RIVERA DE LA MIMBRE (SALAMANCA)

R. Fort González (\*)

### RESUMEN

Los parámetros granométricos de los minerales pesados que existen en los arroyos de la vertiente occidental de la Rivera de La Mimbres (oeste de la prov. de Salamanca), han sido estudiados para conocer su evolución desde la roca origen. El centil y la selección de los minerales pesados son los que evolucionan más rápidamente con el transporte, mientras que el tamaño medio, mediana y sesgo permanecen casi constantes. La disminución del centil para un transporte de tres kilómetros es más acusada para los minerales de mayor densidad ( $-\Delta \Phi$  para la Casiterita = 1.06  $\Phi$ , Monacita = 0.63  $\Phi$ , Circón = 0.61  $\Phi$ , Ilmenita = 0.46  $\Phi$ , Turmalina y Apatito = 0.26  $\Phi$  y Andalucita = 0.17  $\Phi$ ).

La esfericidad de los minerales pesados permanece constante para un transporte de tres kilómetros, mientras que la redondez aumenta ligeramente para los minerales resistentes a la abrasión (Ilmenita), siendo mayor para las especies de baja resistencia (Casiterita).

**PALABRAS CLAVE:** Placeres aluviales, minerales pesados, granometrías, morfometrías.

### ABSTRACT

Granulometric parameters of heavy minerals in ephemeral rivers of the western side of Rivera de La Mimbres (Western Salamanca) have been analyzed to ascertain their textural variations from the source rock areas. Percentil and sorting of the heavy mineral fraction evolve very quickly along transport. By the contrary, mean size, median and skewness remain near constant. Percentil values decrease more markedly for higher dense minerals ( $-\Delta \Phi$  for Cassiterite = 1.06  $\Phi$ , Monacite = 0.63  $\Phi$ , Zircon = 0.61  $\Phi$ , Ilmenite = 0.46  $\Phi$ , Turmaline and Apatite = 0.26  $\Phi$ , Andalucite = 0.17  $\Phi$ ) along the same distance transport (3 kilometers).

Sphericity of the heavy mineral remains constant with transport. Roundness is slightly increased in the grains that are more resistant to abrasion (Ilmenite), being this increase more marked in the lower resistant species (Cassiterite).

**KEY WORDS:** Alluvial placers, heavy minerals, grain-size distributions, morphometric parameters.

### Introducción

La distribución granométrica de los minerales pesados que existen en los depósitos aluviales, dependerán, en un primer lugar, de la distribución que exista en el área madre, y, por otro lado, por las características hidrodinámicas del medio de transporte, las cuales van a producir la abrasión de las partículas transportadas variando las características granométricas del material transportado, que será mayor cuanto mayor sea la distancia y el tiempo que dura el transporte. Por lo tanto, los efectos del trans-

porte sobre los minerales van dirigidos a variar las características granométricas de los minerales desde la roca origen hacia las zonas más alejadas de ésta.

El efecto de la abrasión, durante el transporte, sobre las características granométricas del material original, han sido estudiadas de forma experimental y en medios naturales por diversos autores: Berthois y Portie (1957); Kuenen (1959); Pollack (1961); Church y Kellerhalls (1978); McLaren y Bowles (1985); etc. Estos autores indican que los granos de la fracción ligera (cuarzos y feldespatos), sufren una ligera disminución del tamaño medio del grano durante el transporte. Esta disminución se realiza muy lentamente para el tamaño medio, mientras que para el centil su evolución hacia

(\*) Departamento de Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

tamaños más finos es más rápida. Este efecto no es debido a la acción abrasiva del medio, sino a la disminución de la capacidad de transporte del medio fluvial aguas abajo, provocando la sedimentación de los tamaños gruesos en las zonas próximas de cabecera.

Los demás caracteres de la distribución granométrica evolucionan igualmente con el transporte. Así, el índice de curtosis aumenta con la distancia del transporte, presentando distribuciones más angulosas según nos alejamos de la roca origen (Pollack, 1961). Para este autor, el sesgo ( $\alpha$ ) y la selección ( $\sigma_n$ ), no aumentan con el transporte. Por el contrario, Leopold *et al.* (1964), consideran que la selección aumenta rápidamente a los pocos kilómetros del inicio del transporte.

La evolución de los parámetros granométricos de los minerales pesados con el transporte han sido menos estudiados, pero pueden ser considerados en la misma línea que el que sufre la fracción ligera, sufriendo una disminución de sus parámetros granométricos con dicho transporte (Brigg, 1965 y Morton, 1985).

Pollack (1961), considera que los parámetros morfométricos y principalmente la redondez de los minerales pesados, se incrementa aguas abajo del área madre, pero, por el contrario, disminuye para la fracción ligera. Russell (1937); Morris (1957) y Kuenen (1959), han determinado de forma experimental cómo la redondez y la esfericidad de los granos de la fracción ligera disminuyen con la distancia y la intensidad del medio de transporte. Igualmente, esta disminución es más patente para las granometrías más finas de los minerales. A grandes rasgos se puede considerar que la redondez y la esfericidad de los minerales tienden a aumentar con el transporte.

Estas variaciones de los parámetros morfométricos y granométricos de los minerales transportados dependen, además de las condiciones hidrodinámicas del medio, de las características propias del mineral y, principalmente, de su resistencia a la abrasión. Esta resistencia es directamente proporcional a su dureza y su tenacidad e inversamente proporcional al número y grado de perfeccionamiento de los planos de clivaje del mineral (Kukharencó, 1961). La determinación de la resistencia a la abrasión de distintos minerales por pesados han sido dados por distintos autores con un orden relativo de abrasibilidad (Friese, 1931; Thiel, 1945; Kukharencó, 1961 y Macdonald, 1983). La resistencia a la abrasión es distinta para cada especie mineral, por lo tanto, la facilidad de alcanzar formas redondeadas difieren de unas especies a otras, Berkman (1976) da un orden relativo de la resistencia que presentan los minerales pesados a tener formas redondeadas.

La persistencia de un mineral pesado en el cauce fluvial o en cualquier medio de transporte no va a depender exclusivamente de la resistencia a la abrasión de estos minerales, sino que el tamaño de los granos, las características superficiales del mineral, la velocidad de las corrientes de transporte, la densidad del mineral transportado y la longitud o tiempo de transporte, van a establecer el grado de desgaste de los minerales pesados y su persistencia en el medio de transporte.

En general, se puede establecer que el grado de desgaste de cualquier especie mineral es directamente proporcional a la velocidad y al tiempo-espacio recorrido, así como a la densidad y la granometría del mineral. Cuanto menor sea su resistencia al desgaste, la persistencia del mineral será menor.

El objetivo de este trabajo es conocer cómo evolucionan los parámetros granométricos y morfométricos de las distintas especies de minerales pesados, con el transporte dentro del medio fluvial. Para ello se han estudiado estos parámetros para las distintas especies minerales que se encuentran en los cauces de los arroyos que tienen como cabecera el batolito

granito de Fuentes de Oñoro (Salamanca), que es la roca origen de los aportes de minerales pesados que posteriormente enriquecen a los aluviones de la región.

## Descripción de la zona

Desde un punto de vista geológico el área de estudio está localizada a lo largo del contacto entre el batolito granítico de Fuentes de Oñoro y los depósitos terciarios de la cuenca de Ciudad Rodrigo. Se estudiaron los arroyos de primer y segundo orden de la vertiente oeste de la Rivera de La Mimbres, también denominado de las Aguilas.

Corretge y López Plaza (1977) y Fort (1985), han estudiado la geología de este borde de la cuenca. Este borde está constituido por granitos de facies monzoníticas y leucograníticas albiticos, los cuales presentan abundantes minerales pesados dentro de sus facies y constituidos principalmente por andalucita, apatito, turmalina, circón, ilmenita monacita, casiterita, tantalita, etc.

El terciario está constituido por arcosas muy poco evolucionadas presentando dentro de sus facies una mineralogía heredada del batolito granítico, teniendo como minerales pesados turmalina, andalucita e ilmenita, y, en menor proporción, casiterita, granates, circón, etc.

Dentro de esta región existen depósitos eluviales, deluviales y coluviales definidos por Fort y Gonzalo (1985) y Fort (1985), que proceden del desmantelamiento del área granítica conservando sus características mineralógicas, y en la que la granometría y morfometría de los distintos minerales es similar a la del batolito granítico.

Los depósitos aluviales que existen en esta zona son de pequeña potencia, habiendo sido generados en condiciones hidrodinámicas bajas y esporádicas a excepción de los arroyos de las Riveras del Campo del Berrocal y las del Fresno, que discurren sobre el zócalo granítico, y en que el caudal de agua en sus cauces presenta una hidrodinámica mayor.

Todos los arroyos de la zona estudiada tienen sus aportes a partir del zócalo granítico desembocando todos en la Rivera de La Mimbres, que discurre sobre las facies terciarias. En general, los valles son amplios y de escasa profundidad, pues la capacidad hidrodinámica de estos arroyos es pequeña.

Los aluviones están constituidos por samitas sefíticas y samitas sefíticas con abundantes minerales pesados que pueden alcanzar el 1% del total. La fracción pesada está constituida principalmente por ilmenita, casiterita, turmalina negra y turmalina verde, andalucita, circón, apatito, rutilo, broquita, anatasa, monacita, tantalita, oro, etc.

## Metodología

Para realizar un estudio comparativo de los parámetros granométricos de las distintas especies de minerales pesados según su situación con respecto de la zona granítica de Fuentes de Oñoro, y conocer cómo evolucionan estos índices desde el área madre, se procedió a realizar un muestreo de los distintos arroyos de la zona. Este muestreo se realizó a intervalos de 100-250 metros con tomas de muestras de 1,5 a 2 kilogramos de peso unitario, que fueron cuarteadas a 250 gramos. La fracción superior a 0.063 milímetros ( $4\Phi$ ) fue tamizada a escala  $1/2\Phi$ , mientras que la fracción inferior fue rechazada. Las fracciones entre  $-3\Phi$  y  $-1\Phi$  fueron sometidas a

una separación visual de los distintos minerales pesados, fue realizado para cada especie y para cada intervalo granométrico.

Las fracciones granométricas comprendidas entre  $-0.5\phi$  y  $4\phi$ , fueron separados los minerales pesados por medio de líquidos densos (Bromoforno). Para conocer el porcentaje de cada especie mineral que existía en cada uno de los diez intervalos granométricos se realizó el conteo de granos (300-1.000 granos).

Con esta metodología se confeccionó las distribuciones granométricas de los distintos minerales pesados existentes en los arroyos, diferenciándolos según su distancia desde el área granítica de los cuales procedían. Se formaron tres grupos de aluviones según su distancia desde dicha roca origen y teniendo en cuenta el «bed rock» sobre los que se encontraban los aluviones:

1. Aluviones con «bed rock» granítico.
2. Aluviones con «bed rock» detrítico y próximos al área granítica en su cabecera.
3. Aluviones más distales con «bed rock» detrítico.

En cada uno de estos grupos de aluviones se determinó los parámetros granométricos de los distintos minerales pesados. Los parámetros estudiados fueron: Centil, tamaño medio, mediana, selección y sesgo. Se utilizaron para la definición de estos índices los propuestos por Inman (1952),

Los caracteres morfométricos de la casiterita e ilmenita fueron estudiados aplicando los índices de redondez y esfericidad de Krumbein y Sloss (1955), en las fracciones granométricas  $0.5\phi$ ,  $1.5\phi$ ,  $2.5\phi$  y  $3.5\phi$ . El número de granos estudiados en esta determinación fue de 100 para cada intervalo y para cada mineral.

## Resultados

### Evolución de los parámetros granométricos

Los datos obtenidos en este estudio indican que existe una evolución de los parámetros granométricos de los minerales pesados según son transportados y alejados del área fuente de las que proceden, por las corrientes fluviales.

En las tablas I, II, III y IV, se han sintetizado el valor del Centil, Mediana, selección y sesgo respectivamente de los principales minerales pesados detectados en los aluviones de la zona, diferenciándolos según se encontrasen sobre materiales graníticos, en la cabecera de los arroyos (en las proximidades del área granítica) y en las zonas más distales de dicha área.

Estos resultados nos indican que la media y la mediana de las distintas especies minerales varían escasamente con el transporte. No se observa ningún cambio aparente según se encuentre sobre el granito, en las cabeceras de los arroyos o en zonas más interiores de la cuenca de Ciudad Rodrigo.

Por el contrario, se observa una disminución aparente del centil de los minerales que se localizan en los aluviones con «bed rock» granítico con respecto

TABLA I

Centil de los Minerales Pesados en aluviones

MINERAL	1		2		3	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Anatasa	0.96	0.28	1.35	0.71	1.79	0.95
Andalucita	1.05	0.23	1.07	0.41	1.22	0.86
Apatito	-0.31	0.78	-0.52	0.73	-0.05	0.45
Casiterita	-0.65	0.98	-0.37	1.08	0.41	0.52
Circón	1.36	0.40	1.73	0.63	1.97	0.70
Ilmenita	0.22	0.58	0.68	0.46	0.65	0.40
Monacita	1.22	0.75	1.28	0.72	1.85	
Turmalina N.	-1.04	0.64	0.06	0.95	-0.78	0.62
Turmalina V.	0.68	0.44	0.13	0.39	0.47	0.39

Resultados en unidades  $\phi$

1 - Aluviones con bed-rock granítico.

2 - Aluviones en cabeceras de arroyos y con bed-rock detrítico.

3 - Aluviones más distales y con bed-rock detrítico.

TABLA II

Mediana de los Minerales Pesados en los Aluviones.

MINERAL	1		2		3	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Anatasa	2.55	0.25	2.58	0.36	2.50	0.48
Andalucita	2.21	0.17	2.31	0.11	2.04	0.06
Apatito	1.69	0.48	1.57	0.71	1.63	0.30
Casiterita	1.99	0.33	2.10	0.21	2.17	0.07
Circón	2.99	0.19	3.21	0.15	3.05	0.17
Ilmenita	2.18	0.08	2.28	0.21	2.21	0.12
Monacita	2.87	0.28	2.87	0.34	2.87	0.26
Turmalina N.	1.11	0.44	1.22	0.68	1.02	0.29
Turmalina V.	2.36	0.14	2.18	0.20	2.00	0.30

Resultados en unidades  $\phi$

1 - Aluviones con bed-rock granítico.

2 - Aluviones en cabeceras de arroyos y con bed-rock detrítico.

3 - Aluviones más distales y con bed-rock detrítica.

TABLA III

Selección de los Minerales Pesados en los Aluviones

MINERALES	1		2		3	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Anatasa	0.61	0.07	0.67	0.40	0.51	0.23
Andalucita	0.40	0.04	0.54	0.06	0.55	0.12
Apatito	0.77	0.23	0.69	0.17	0.65	0.17
Casiterita	0.88	0.11	0.70	0.13	0.57	0.07
Circón	0.55	0.11	0.42	0.02	0.41	0.16
Ilmenita	0.63	0.08	0.60	0.04	0.54	0.03
Monacita	0.60	0.17	0.48	0.20	0.47	0.17
Turmalina N.	0.78	0.22	0.55	0.16	0.73	0.22
Turmalina V.	0.57	0.08	0.85	0.11	0.66	0.11

- 1 - Aluviones con bed-rock granítico.  
 2 - Aluviones en cabeceras de arroyos y con bed-rock detrítico.  
 3 - Aluviales más distales y con bed-rock detrítico

TABLA IV

Sesgo de los Minerales Pesados en los Aluviones

MINERALES	1		2		3	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Anatasa	0.22	0.26	-0.16	0.25	0.12	0.32
Andalucita	0.03	0.17	0.08	0.21	0.14	0.10
Apatito	-0.26	0.26	-0.38	0.05	-0.08	0.22
Casiterita	-0.17	0.21	-0.05	0.13	0.06	0.10
Circón	-0.17	0.12	-0.26	0.14	-0.10	0.26
Ilmenita	-0.07	0.26	-0.02	0.07	0.07	0.07
Monacita	0.02	0.42	-0.04	0.20	-0.02	0.23
Turmalina N.	0.02	0.33	0.08	0.22	-0.07	0.13
Turmalina V.	0.22	0.23	0.06	0.13	0.15	0.14

- 1 - Aluviones con bed-rock granítico.  
 2 - Aluviones en cabecera de arroyo y con bed-rock detrítico.  
 3 - Aluviones más distales y con bed-rock detrítico.

a los que se hallan sobre los depósitos detríticos del terciario, en zonas más alejadas de la roca origen. Esta evolución se hace más patente para algunas especies como son para la anatasa, la andalucita, casiterita, circón e ilmenita, en las que el centil disminuye rápida y progresivamente según nos adentramos hacia el interior de la cuenca.

Otro carácter que evoluciona rápidamente con el transporte es la selección granométrica de los minerales. Esta selección aumenta para los aluviones localizados sobre los depósitos terciarios, indicándonos un proceso de transporte mayor y más selectivo. Para el caso concreto de la casiterita su selección aumenta al pasar de ser moderadamente seleccionada a ser moderadamente bien seleccionada, según el concepto de Inman (1952). Esto es de esperar, puesto que las características hidrodinámicas del fluido tienen que seleccionar el material transportado, desde su origen hasta la zona de deposición.

Con el transporte, igualmente, se tiende a obtener distribuciones simétricas y sesgadas hacia fracciones finas partiendo de las distribuciones sesgadas a gruesas en los aluviones con «bed rock» granítico (tabla IV). Esto es debido al efecto selectivo de las corrientes fluviales y a su disminución de la capacidad de transporte con la distancia.

Estas características evolutivas de los parámetros granométricos es real para cada especie mineral, pero se hace más patente para aquellos que presentan unos pesos específicos más elevados como son la casiterita, ilmenita y monacita (fig. 1). Esta evo-

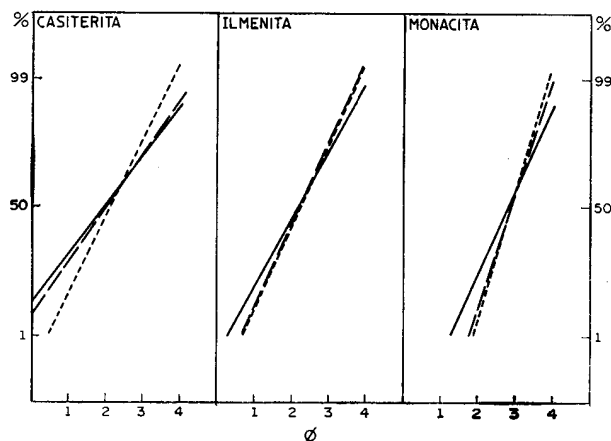


Fig. 1.—Síntesis de las distribuciones granométricas de la casiterita, ilmenita y monacita según su transporte. Raya Continua: Aluviones con «bed rock» granítico. Raya Discontinua Larga: Aluviones de cabecera y «bed rock» detrítico. Raya Discontinua Corta: Aluviones distales con «bed rock» detrítico.

lución se mantiene igualmente para la anatasa y circón, pero para los minerales que presentan densidades menores, esta evolución desde las zonas graníticas a las zonas más interiores de la cuenca no es tan patente, e incluso el centil y la selección evolucionan inversamente como pueden ser para la turmalina verde (fig. 2). Esto implica la existencia de nuevas áreas de aporte como pudieran ser los mismos depósitos terciarios o incluso de los materiales retrabajados de los deluviones y coluviones procedentes de los granitos.

Se puede observar cómo es el centil, entre todos los parámetros granométricos, el índice que evoluciona más rápidamente desde el área madre. Esta evolución es producto, más que al efecto abrasivo del medio de transporte sobre el mineral transportado, a la disminución de su capacidad de acarreo, lo que provoca la sedimentación de los minerales pesados con un centil mayor en cabecera o en las proximidades de la roca origen.

La disminución del centil con la distancia dentro del área estudiada, y para un transporte del orden de los tres kilómetros, es presentada en la tabla V, estando expresada su disminución en unidades  $\Phi$ .

Esta pérdida de la granometría del mineral es alta para los minerales de interés económico (casiterita, ilmenita, monacita, etc.), hecho que es importante tener en consideración durante la prospección de yacimientos aluvionares de estos minerales, puesto que los depósitos de mayor interés serán los que se localizan en las zonas próximas al área fuente, puesto que su granometría será mayor.

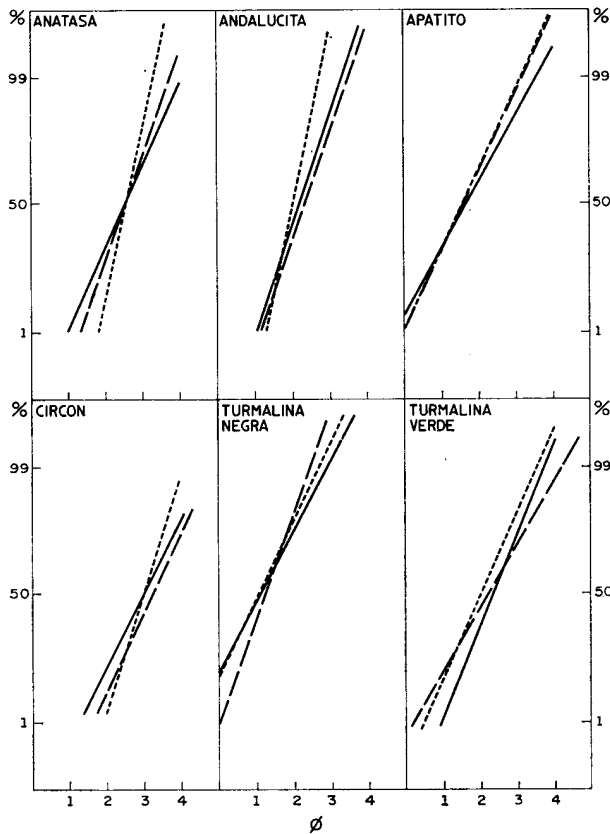


Fig. 2.—Síntesis de las distribuciones granométricas del resto de minerales pesados estudiados. Raya Continua: Aluviones con «bed rock» granítico. Raya Discontinua Larga: Aluviones de cabecera y «bed rock» detrítico. Raya Discontinua Corta: Aluviones distales con «bed rock» detrítico.

Atendiendo a la disminución del tamaño de los granos de las distintas especies de minerales pesados con el transporte, podemos apreciar que la pérdida de tamaño es más intensa para los minerales con mayor peso específico. De esta forma, se puede generar una gradación de estos minerales desde el área de procedencia quedándose en zonas más próximas a ésta los minerales de mayor densidad, como es la casiterita. Esto coincide con el concepto de Capacidad de Migración de Kukharencó (1961), la cual es inversamente proporcional a la densidad del mineral.

TABLA V

Disminución del centil con el transporte

	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Centil
Casiterita	7.00	1.06
Monacita	5,15	0.63
Circón	4.70	0.61
Ilmenita	4.70	0.46
Anatasa	3.90	0.83
Turmalina	3,25	0.26
Apatito	3.25	0.26
Andalucita	3.15	0.17

*Evolución de los parámetros morfométricos*

La variación de los caracteres morfométricos con el transporte se estudiaron únicamente en la casiterita y en la ilmenita, al ser éstos los de mayor densidad y con altos contenidos en los aluviones. Los resultados obtenidos indican que la esfericidad de estos minerales permanecen constantes, tanto en los aluviones con «bed rock» granítico como sobre los de «bed rock» detríticos.

La redondez de las ilmenitas existentes en los arroyos que discurren sobre el granito varían ligeramente con respecto a la redondez que presenta este mineral en la roca origen. Así, si consideramos similares los caracteres morfométricos de las ilmenitas que se encuentran en los depósitos deluviales con los existentes en la roca origen granítica, al proceder aquéllas de éstas y al ser depósitos poco evolucionados, la redondez de las ilmenitas existen-

tes en la roca origen es de 0.54 (Fort y Gonzalo, 1985). Este índice de redondez pasa a 0.55 en los aluviones con «bed rock» granítico, mientras que las ilmenitas que se localizan en los arroyos más evolucionados y a la mayor distancia del área madre, sobre depósitos arcóscicos del terciario, este índice es de 0.61, indicando un proceso de redondeamiento durante el transporte de este mineral dentro del cauce fluvial.

El comportamiento del índice de redondez de la casiterita es similar al de la ilmenita, evolucionando desde un índice de 0.63 en los aluviones sobre las facies graníticas hasta un índice de 0.69 en zonas más alejadas, ya sobre el terciario. Este aumento de la redondez en la casiterita se puede cuantificar en un 10% para un transporte aproximado de tres kilómetros.

Las morfometrías de la ilmenita y la casiterita se estudiaron su evolución en los intervalos granométricos 0.5  $\Phi$ , 1.5  $\Phi$ , 2.5  $\Phi$  y 3.5  $\Phi$ . Para el caso concreto de la ilmenita no se observan grandes variaciones de los índices de esfericidad, índice de redondez y relación diámetro/espesor en cada uno de estos intervalos estudiados, permaneciendo constantes dichos valores desde las áreas graníticas a las zonas más distales, dentro de la cuenca terciaria.

TABLA VI

Caracteres Morfométricos de la Casiterita

	INTERVALOS GRANOMETRICOS				
	0.5 $\Phi$	1.5 $\Phi$	2.5 $\Phi$	3.5 $\Phi$	
A	Redondez	0.50	0.43	0.45	0.43
	Esfericidad	0.53	0.54	0.60	0.55
	d/e	1.77	1.40	1.67	1.89
B	Redondez	0.56	0.67	0.76	0.66
	Esfericidad	0.69	0.72	0.77	0.74
	d/e	1.62	1.85	1.82	2.50

A- Aluviones sobre el zócalo granítico.

B- Aluviones más distales sobre depósitos terciarios.

Por el contrario, los granos de casiterita presentan una mayor variación de estos caracteres morfométricos en cada intervalo granométrico. La distribución de las morfometrías en el área granítica, que son similares a las existentes en los depósitos deluviales (Fort, 1985), pueden observarse en la tabla VI, en que los índices de redondez y esfericidad perma-

necen constantes. Para los aluviones en zonas más alejadas del área granítica, la redondez y la esfericidad de este mineral aumentan con la disminución del tamaño de grano de la casiterita, encontrándose el valor más alto en el intervalo 2.5  $\Phi$ , disminuyendo ligeramente para granometrías más finas. Así, la redondez es de 0.56 en el intervalo 0.5  $\Phi$  y de 0.76 en el intervalo 2.5  $\Phi$ . La esfericidad es de 0.69 para el intervalo 0.5  $\Phi$ , siendo para el de 2.5  $\Phi$  de 0.77.

Esta diferenciación morfométrica según la granometría es interpretada al modo de transporte de las distintas fracciones que pueden ir por rólido, saltación y suspensión, lo que provoca un redondeamiento de las partículas diferencial según su tamaño.

La relación diámetro/espesor de los granos definido por Tourtelot (1968), aumentan según disminuye la granometría del mineral pasando de 1.62 en el intervalo 0.5  $\Phi$  a 2.50 en el intervalo 3.5  $\Phi$ , para el caso de la casiterita (Tabla VI). Este aumento de la relación d/e es progresiva según disminuye el tamaño del grano.

La evolución de los caracteres morfométricos hacia índices de redondez y de esfericidad más elevados según aumenta la distancia a la que son transportados los minerales pesados, es más patente para aquellos minerales que tienen una resistencia a la abrasión menor. Así, este efecto del aumento de la redondez y la esfericidad es más acusado para la casiterita que para la ilmenita, debido a que la abrasibilidad de aquél durante el transporte es mayor (Macdonald, 1983).

## Conclusiones

Se puede indicar que la granometría y morfometría de los minerales pesados que son transportados por corrientes fluviales, evolucionan desde las áreas madres de aporte hacia las zonas más distales de sedimentación.

— El centil disminuye rápidamente con una pérdida de 1.06  $\Phi$  para la casiterita y para un transporte de tres kilómetros. Esta disminución es menor según disminuye la densidad del mineral transportado, llegando a ser de 0.17  $\Phi$  para la andalucita. La pérdida del centil es interpretada, además del efecto abrasivo del medio, por la pérdida de capacidad de transporte en la hidrodinámica fluvial, produciendo la sedimentación de las especies más densas y de granometría mayor en las zonas próximas al área madre.

— El tamaño medio de los granos y la mediana de las distintas especies permanecen constantes a lo largo del transporte.

— La selección granométrica aumenta con el transporte, por la acción hidrodinámica del medio,

que produce un efecto selectivo sobre la granometría del mineral pesado.

— El sesgo con el transporte tiende ligeramente hacia granometrías más finas.

La evolución de los índices morfométricos de los minerales pesados con el transporte son diferentes para cada especie mineral en función a su capacidad de resistencia a la abrasión por el medio fluvial.

— La esfericidad aumenta muy ligeramente, pudiéndose decir que permanecen constantes con el transporte.

— La redondez aumenta para los minerales menos resistentes a la abrasión (casiterita), que pueden llegar a un 10% de su índice de abrasión para un transporte de tres kilómetros. Por el contrario, para los minerales más resistentes a la abrasión (ilmenita), el aumento de la redondez es más bajo.

— Los índices de redondez y relación d/e, aumentan para los intervalos granométricos más finos, siendo interpretado por el modo de transporte de cada partícula, lo que produce una abrasión diferencial según su granometría.

## Bibliografía

- BERKMAN, D. A.  
1976. *Field geologists manual*. A.I.M.M. Monograph, núm. 9. Melbourne.
- BERTHOIS, L. y PORTIER, J.  
1957. *Reserches expérimentales sur le façonnement des grains des sables quartzeux*. *C. R. Acad. Sci.*, 245, 1152-1154.
- BRIGGS, L. I.  
1965. Heavy minerals correlations and provenances. *Jour. Sed. Petrol.*, 35, 939-955.
- CHURCH, M. y KELLERHALS, R.  
1978. On the statistics of grain size variation along a gravel river. *Can. Jour. of Earth Sci.*, 15, 1151-1160.
- CORRETGE, L. G. y LÓPEZ PLAZA, M.  
1977. Geología del área granítica y metamórfica al oeste de Ciudad Rodrigo (Salamanca): II. Las rocas graníticas. *Stud. Geol.*, 12, 47-73.
- FORT, R.  
1985. *Prospección de placeres estanníferos en las áreas de Fuentes de Oñoro y Golpejas (provincia de Salamanca)*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 493 págs.
- FORT, R. y GONZALO, F.  
1985. Las mineralizaciones de Sn-Ti del borde occidental de la cuenca de Ciudad Rodrigo. *Cuadernos Lab. Xeol. de Laxe*, 9, 203-220.
- INMAN, D. L.  
1952. Measures for describing the sizes distribution of sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, 22, 125-145.
- KRUMBEIN, W. C. y SLOSS, L.  
1955. *Stratigraphy and sedimentation*. Ed. Freeman. San Francisco, 497 págs.
- KUENEN, PH. H.  
1959. Experimental abrasion III: Fluvial action on sand. *Am. Jour. Sci.*, 257, 172-190.
- KUKHARENCO, A. A.  
1961. *Mineralogie des gisements alluvionnaires*. Trad. Morosoff. B. R. G. M., 5149, 125 págs.
- LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. y MILLER, J. P.  
1964. *Fluvial processes in geomorphology*. Ed. Freeman, W. H. & Co., San Francisco, 522 págs.
- MACDONALD, E. H.  
1983. *Alluvial Mining: The geology, technology and economics of placer*. Ed. Chapman & Hall, New York, 508 págs.
- MCLAREN, P. y BOWLES, D.  
1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Jour. Sed. Petrol.*, 55, 457-476.
- MORRIS, W. J.  
1957. Effects of sphericity, roundness and velocity on transportation of sand grains. *Jour. Sed. Petrol.*, 27, 27-31.
- MORTON, A. C.  
1985. Heavy minerals in provenance studies. In: *Provenance of Arenites* (G. G. Zuffa, edit.), D. Reidel Publishing Company, Boston, 249-277.
- POLLACK, J. M.  
1961. Significance of compositional properties of south canadian river channel sand. New Mexico, Texas and Oklahoma. *Jour. Sed. Petrol.*, 31, 15-37.
- RUSSELL, R. D.  
1939. Effects of transportation on sedimentary particles. In: *Symposium Recent Marine Sediments, 1968* (Parker D. Trask, edit.). Dover Publication inc., New York, 33-47.
- THIEL, G. A.  
1945. Mechanical effects of stream transportation on mineral grains of sand size. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 56, 1207.
- TOURTELOT, H. A.  
1968. Hydraulic equivalence of grains of quartz and heavier minerals and implications the study of placers. *Geol. Survey Prog. Paper.*, 594 F, 13 páginas.

Recibido el 30 de octubre de 1985.  
Aceptado el 6 de noviembre de 1985.