

Interpretación paleoambiental de depósitos siliciclásticos en el sector de Esquivias (Cuenca de Madrid)

M. POZO⁽¹⁾ y J. CASAS^(1 y 2)

(1) Departamento de Q.A. Geología y Geoquímica,
U.A.M., 28049, Madrid

(2) Centro de Ciencias Medioambientales,
C.S.I.C., Serrano 117, 28006, Madrid

RESUMEN

La presencia de litofacies con kerolita-stevensita en la cuenca neógena de Madrid adquiere especial relevancia en el depósito de Esquivias (Toledo). En esta zona las arcillas magnésicas están limitadas a base y a techo por dos unidades detríticas.

En este trabajo se estudian las asociaciones mineralógicas y rasgos sedimentológicos de facies arenosas ligadas a la unidad detrítica inferior (arenas 1), unidad magnésica (arenas 2) y unidad detrítica superior (arenas 3). Los resultados granulométricos son: centil alto, medianas oscilando entre 0.12 y 0.20 mm (80 μ m, en arenas 2) y selección buena, con valores de S_0 entre 1.58 y 2.07, (hasta 4,5 en arenas 2).

La mineralogía de las facies arenosas muestra el predominio de los feldespatos (Ca-Na>K) sobre cuarzo y contenidos variables en mica. La asociación de minerales pesados está constituida principalmente por biotita, circon, apatito, turmalina, granates y andalucita. Estos minerales, incluso los apatitos, muestran frecuentemente granos euhédricos, en ocasiones poco alterados.

Se infiere una sedimentación aluvial siliciclástica en ambiente lacustre salino-alcalino y condiciones climáticas semiáridas.

Palabras clave: Cuenca de Madrid, Arenas, Minerales pesados, Paleoambiente.

ABSTRACT

The occurrence of kerolite-stevensite bearing lithofacies in Neogene Madrid Basin has special outstanding in the Esquivias deposit (Toledo). In this zone Mg clays are bounded at top and bottom by two detrital units.

In this paper the mineralogical association and sedimentological features of sandy facies related to lower detrital unit (arenas 1), magnesian unit (arenas 2) and upper detrital unit (arenas 3) has been studied. Granulometric results are: high centile, median values ranging between 0.12 and 0.20 mm. ($80\mu\text{m}$ in arenas 2) and good sorting with S_0 ranging between 1.58 and 2.07 (up to 4.5 in arenas 2).

The sandy facies mineralogy always shows feldspars (Ca-Na>K) predominance over quartz and variable content in mica. Heavy mineral assemblages mainly are made up of: biotite, zircon, apatite, tourmaline, garnet and andalusite. Often these minerals, even apatites, show euhedral grains, sometimes with unweathered surfaces.

Siliciclastic alluvial sedimentation in saline-alkaline lacustrine environment and semiarid climatic conditions are inferred.

Key Words: Madrid Basin, Sands, Heavy minerals, Paleoenvironment.

INTRODUCCIÓN

La existencia de depósitos de arcillas magnéticas es una de las características del Neógeno de la Cuenca de Madrid, donde su explotación ha tenido y tiene una fuerte incidencia económica. Dentro de estos depósitos destacan los constituidos por kerolita, estevensita o el interestratificado irregular de ambos, con distribución importante en la región comprendida entre Pinto y Esquivias, donde se presentan asociados a episodios clásticos (Pozo, Casas y Moreno, 1994).

La distribución vertical y lateral de litofacies lutíticas con kerolita-estevensita adquiere especial relevancia en la zona de Esquivias (Toledo), donde se llegan a reconocer cuatro capas que alternan con litofacies de mudstones verdes con pasadas arenosas subordinadas, constituyendo una unidad bien diferenciada (unidad magnética) con una potencia media de 15 m., interpretándose como depósitos de llanura lutítica (mud flat) con rasgos palustres variables (Pozo y Casas, 1995). Esta unidad está limitada a base y techo por dos unidades detríticas (superior e inferior), constituidas por litofacies de arenas micáceas y lutitas gris verdosas laminadas con intercalaciones de carbonatos negros subordinados, que se disponen en secuencias («sheet floods», relleno de canal, depósitos deltaicos) con rasgos similares a los descritos por Lomoschitz, Calvo y Ordóñez (1985). Estos materiales de-

tríticos se han interpretado como depósitos de «fan delta» resultado de la progradación hacia el centro de la cuenca de los sistemas de abanicos aluviales, con especial relevancia a lo largo de la unidad intermedia del Mioceño (Hoyos *et al.*, 1985).

La actividad tectónica y las características del área madre, así como el ambiente deposicional y los procesos diagenéticos influenciados por el clima, configuran los rasgos texturales y mineralógicos de las secuencias clásicas. En este trabajo se estudian y comparan la composición mineralógica y la distribución granulométrica de litofacies arenosas asociadas a la unidad detrítica inferior (arenas 1), magnésica (arenas 2) y superior (arenas 3). Los objetivos son precisar las condiciones paleoambientales de transporte y depósito de estos materiales, así como las características de la hidroquímica que rigen la génesis de las arcillas magnésicas y minerales diagénéticos asociados.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES

Para este estudio se han seleccionado 16 muestras procedentes de 10 sondeos, frentes de cantera y afloramientos ubicados al N.W. de Esquivias (Fig. 1 a y b).

Los niveles muestreados corresponden fundamentalmente a dos litofacies arenosas: arenas sueltas y arenas limo-arcillosas, que presentan geometrías tabulares y se disponen con base plana o erosiva sobre mudstones verdes en la unidad magnésica o con base plana preferente en las unidades detríticas inferior y superior, donde se asocian a mudstones grises laminados y términos laminados de mudstones/arenas. En la descripción de los materiales finos masivos, con proporciones variables de arcilla y limo se ha optado por emplear el término anglosajón «mudstone» en un sentido amplio, incluyendo en el mismo, a veces, lutitas y limolitas.

Arenas sueltas (0,10-2,5 m)

Constituidas por arenas finas a gruesas con proporción variable en micas muestran tonalidades que van de verde amarillento a gris, presentando términos masivos o intensamente laminados (paralela, oblicua) y clastos lutíticos en proporción variable. Aunque se han reconocido en los tres tramos diferenciados de arenas, predominan y muestran mayor potencia en los 1 y 3, donde pueden rellenar perforaciones en el techo de litofacies de mudstones/arenas laminadas entre las que se intercalan.

Arenas limo-arcillosas (0,25-1,90 m)

Se caracterizan por presentar una mayor compacidad debida a la proporción de finos (arcilla-limo), con tonos que van del gris claro al verde. Las arenas son en general finas, con predominio de los términos masivos y ocasionalmente con laminación difusa. El mejor desarrollo de esta litofacies se ha observado en el tramo de arenas 2 donde el componente samítico coexiste con clastos sefíticos dispersos o acumulados en pequeñas lentículas.

En el episodio detrítico superior (tramo de arenas 3) se han observado localmente niveles de arenisca cementada por calcita.

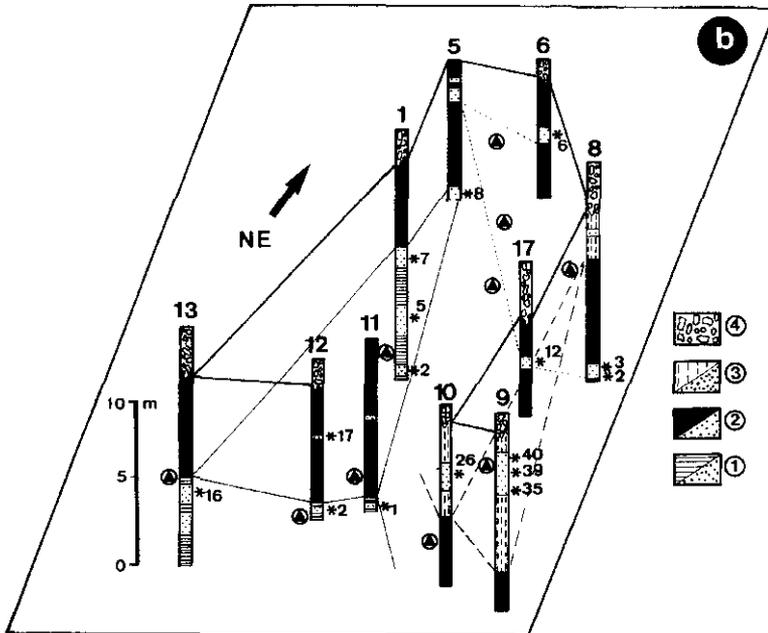
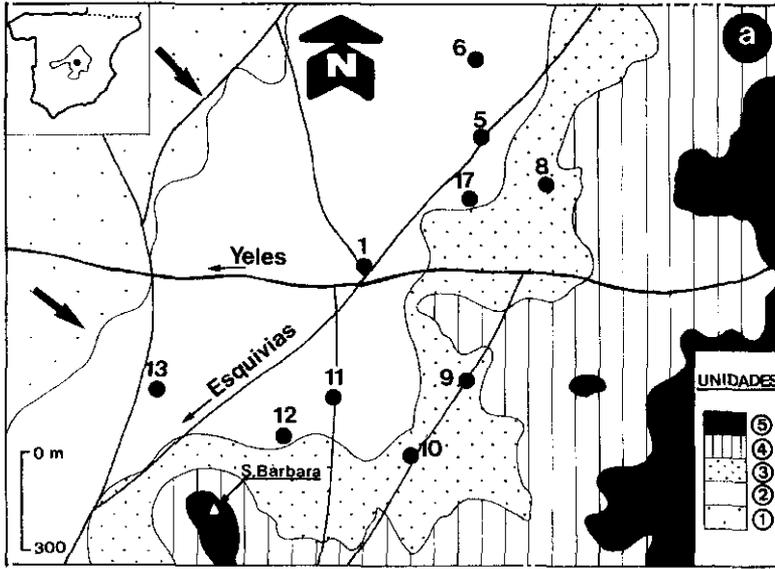
METODOLOGÍA ANALÍTICA

Las muestras se han estudiado texturalmente tras disgregarlas en agua con dispersantes. Con el fin de precisar lo más posible las condiciones de sedimentación final, no se han disgregado los numerosos intraclastos lutíticos que existen en la mayoría de las muestras. La separación por tamaños se ha efectuado por tamizado para fracciones mayores de 64 μm . y por diferencia para tamaños limo (64-2 μm) y arcilla (<2 μm).

El estudio petrográfico se realizó en láminas delgadas de muestras embudidas en plástico y teñidas con rojo de alizarina para detectar la presencia de clastos y cementos calcíticos. Para el estudio de los minerales pesados se seleccionaron los tamaños entre 0.25 y 0.12 mm, separándose con bromoformo la fracción densa para caracterizar sus constituyentes mediante microscopía óptica. Una selección de minerales pesados se ha preparado para el estudio en detalle de su hábito, superficie y composición química por Microscopía Electrónica de Barrido con un equipo S.E.M. Philips modelo XL 30 dotado de análisis puntual EDS.

Fig. 1.—a) Mapa geológico de la zona estudiada y localización de las columnas litológicas muestreadas. 1. arenas micáceas y mudstones (unidad detrítica inferior). 2. lutitas rosas y mudstones verdes con arenas (unidad magnésica). 3. arenas micáceas y mudstones (unidad detrítica superior). 4. lutitas, margas y carbonatos. 5. lutitas y rocas silíceas masivas. Las flechas negras indican las principales direcciones de aportes. b) Correlación de columnas litológicas y posición de las muestras. 1) unidad detrítica inferior (arenas 1). 2) unidad magnésica (arenas 2). 3) unidad detrítica superior (arenas 3). 4) depósitos clásticos recientes.

Fig. 1.—a) Geological map of the studied zone and location of sampled lithological sections. 1. Micaceous sands and mudstones (lower detrital unit). 2. Pink lutites and green mudstones with sands (magnesian unit). 3. Micaceous sands and mudstones (upper detrital unit). 4. lutites, marls and carbonates. 5. Lutites and massive siliceous rocks. Black arrows indicate main detrital supply direction. b) Lithological section correlation and samples location. 1) Lower detrital unit (arenas 1). 2) Magnesian unit (arenas 2). 3) Upper detrital unit (arenas 3). 4) Recent clastic deposits.



La caracterización mineralógica de la muestra total y de la fracción arcilla se ha efectuado mediante D.R.X. con un difractor Philips P.W. 1140. De la fracción arcilla se han preparado agregados orientados de muestras saturadas en Mg y K, tratadas con E.T.G. y calcinadas a 550°C. Los valores de d_{060} se han estudiado sobre polvo de arcilla desorientado. Para cuantificar las distintas especies minerales se han usado los valores de Schultz (1964) y de Barahona (1974).

CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

Las muestras estudiadas presentan predominio de la fracción arena sobre los limos y arcillas, pues las dos últimas fracciones no superan nunca en conjunto el 50 %, siendo más frecuentes los tamaños comprendidos entre 2 y 3 unidades phi. Podemos establecer diferencias de detalle entre los tres tramos estudiados.

Las muestras correspondientes al tramo de arenas 1 presentan las granulometrías mas gruesas, aunque heterogéneas. Las curvas de distribución de tamaños (Fig. 2.A) tienen máximos que, en ocasiones, llegan hasta 0.5 mm., aunque el tamaño mas habitual de estos máximos sea 0.125 mm. Cada una de las muestras posee buena selección, con curvas acumulativas de pendientes acusadas (Fig. 2.B). Por lo que respecta a los porcentajes de limos y arcillas son siempre inferiores al 35% y, en algún caso al 10%. Los valores estadísticos de este tramo presentan buena selección, con índice de Trask [$S_0 = (p_{25}/p_{75})^{1/2}$] menor que 2 y medianas en torno a 0.180 mm., excepto en la muestra 6-8 en que alcanza el valor de 0.540 mm.

El tramo de arenas 2 presenta características sedimentológicas algo diferentes, pues, como se ve en la figura 2. C y D, su distribución granulométrica se desplaza hacia tamaños mas finos, con máximos de 0.125 mm. y contenido en limos y arcillas mayor, superando siempre el 15%. Son curvas unimodales, con pendientes menos acusadas que en los otros dos tramos. Todo esto se refleja en los valores estadísticos, donde S_0 oscila ahora entre 1.7 y 4.5 y las medianas entre 0.080 y 0.270 mm.

En cuanto a las muestras del tramo de arenas 3 son muy homogéneas, más similares a las del tramo 1 (Fig. 2. E y F). Son curvas con pendientes más fuertes, y dos máximos marcados entre 0.125 y 0.50 mm. acaparando entre ambos el 35 % del total de cada muestra y estando las medianas comprendidas entre estos valores. Se trata en general de las muestras de granulometría más gruesa con porcentajes muy bajos en limos y arcillas (a veces menos del 5 %), y selección en general buena, variando S_0 entre 1.58 y 2.07.

Estos datos pueden analizarse mejor en la figura 3a, que recoge la comparación entre mediana y selección. Destaca en ella la homogeneidad de las muestras del tramo de arenas 1, con selección buena y mediana variable, aunque en cinco de ellas oscila sólo entre 157 y 180 μm . En el tramo de arenas

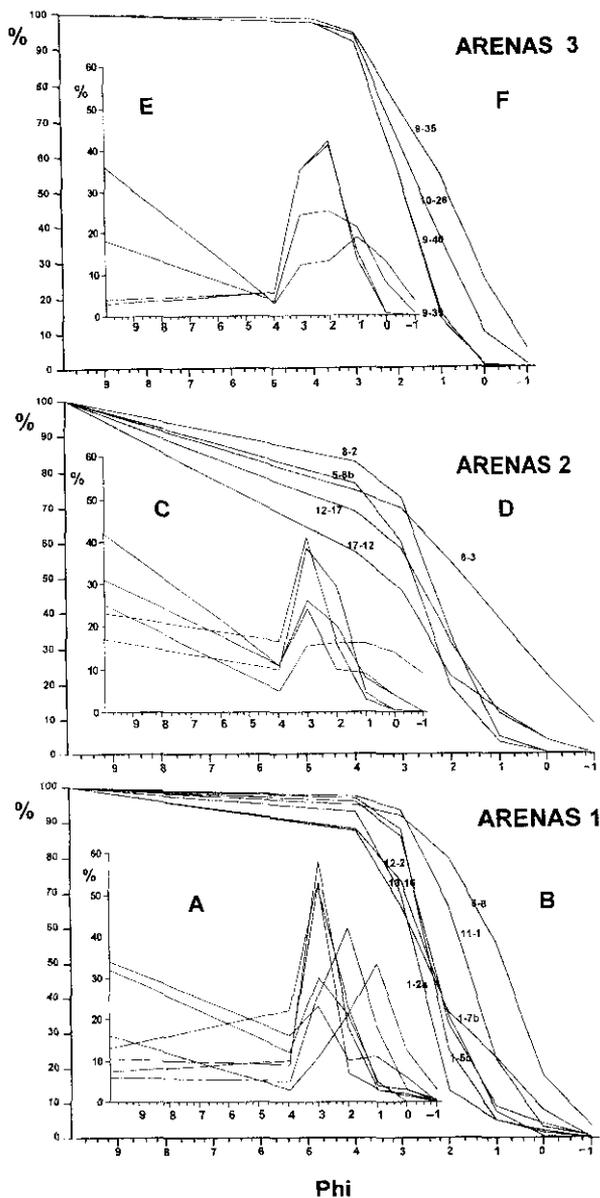


Fig. 2.—Curvas granulométricas: Arenas 1: A. Curvas normales. B. Curvas acumulativas. Arenas 2: C. Curvas normales. D. Curvas acumulativas. Arenas 3: E. Curvas normales. F. Curvas acumulativas.

Fig. 2.—Granulometric curves: Arenas 1: A. normal curves. B. cumulative curves; arenas 2: C. normal curves. D. cumulative curves; Arenas 3: E. normal curves. F. cumulative curves.

2 se observa la dispersión más elevada con selección muy variable. En el tramo de arenas 3, como sucedía en el 1, se presentan medianas variables y buena selección.

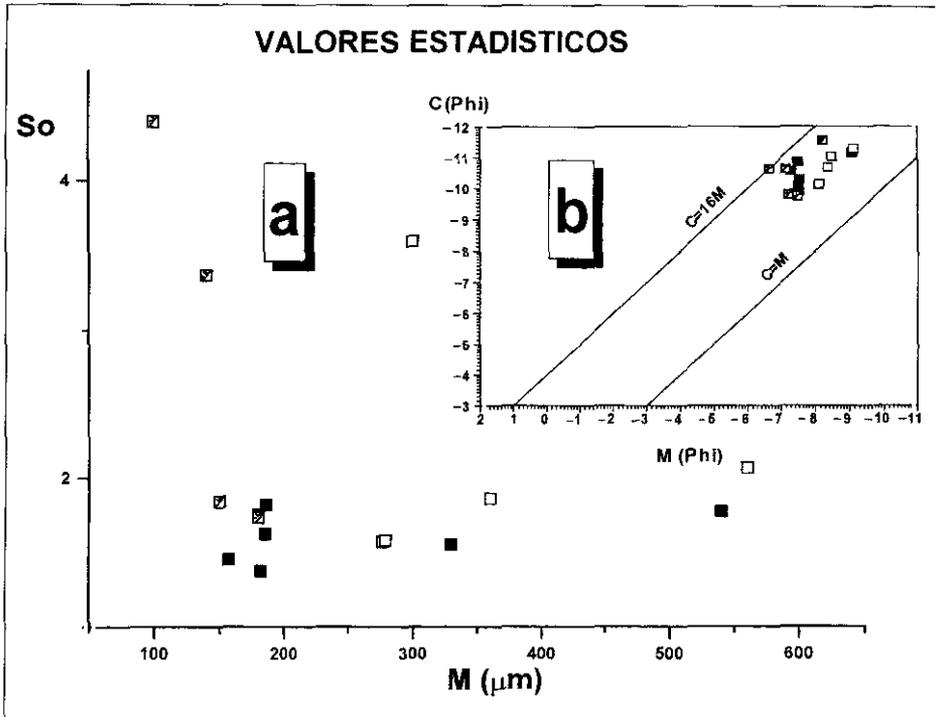


Fig. 3.—Valores estadísticos de las granulometrías. a. diagrama mediana (M)-índice de Trask (S_o), b. diagrama centil (C)-mediana (M). ■ Arenas 1. ▣ Arenas 2. □ Arenas 3.

Fig. 3.—Statistical granulometric values. a. Median (M)-Trask index (S_o) diagram. b. Centil (C)-Median (M) diagram. ■ Arenas 1. ▣ Arenas 2. □ Arenas 3.

Atendiendo a los resultados del gráfico C-M, (Fig. 3b) vemos que la mayoría de las muestras están comprendidas en el intervalo entre $C=4M$ y $C=12M$, con valores de centil y mediana altos para ambos parámetros. Las muestras del tramo 2 son las más dispersas en cuanto a C siendo las medianas, como ya vimos, las más bajas. El centil es alto y semejante en arenas 1 y 3. A este respecto conviene recordar que no se disgregaron los intraclastos por lo que estos valores caracterizarían sobre todo la deposición final del sedimento, que puede ser resultado de la removilización de materiales previamente consolidados.

ESTUDIO MINERALÓGICO Y PETROGRÁFICO

MINERALOGÍA TOTAL

Los resultados del estudio mineralógico de muestra total ponen de manifiesto constituyentes y proporciones similares en los tres tramos diferenciados. Relacionamos a continuación los rangos composicionales observados y su valor medio.

Las arenas limo-arcillosas son predominantes en las muestras estudiadas, presentando contenidos en filosilicatos entre 18-46% (\bar{x} =35%), siendo de reseñar que una proporción importante de ellos corresponde a micas, únicos filosilicatos presentes en las arenas sueltas. Dentro de los terrígenos destaca en todas las muestras el predominio neto de los feldespatos sobre el cuarzo (12-19 %, \bar{x} =15%), y dentro de éstos de las plagioclasas (18-51%, \bar{x} =32%) sobre los feldespatos potásicos (4-31 %, \bar{x} =16%), destacando tanto en potásicos como en calcosódicos la agudeza de sus reflexiones en DRX, indicativa de la buena cristalinidad de estos minerales.

En niveles de arenas sueltas asociadas al tramo de arenas 2 se han identificado ceolitas de la serie heulandita-clinoptilolita, en cristales euhédricos de tamaño inferior al milímetro, hecho que también se ha constatado en rellenos de porosidades en lutitas asociadas (Pozo *et al.*, 1995).

El estudio de la fracción arcilla (<2 μ m) en niveles con porcentajes importantes de finos muestra una asociación formada por: esmectita trioctaédrica, illita y escasa caolinita. Las proporciones de illita y esmectita son variables, observándose contenidos más altos de esmectita en los niveles con mayor proporción de arcilla sobre todo en aquellos muestreados del tramo de arenas 2.

PETROGRAFÍA

Petrográficamente, y en función de la proporción de matriz argilo-micácea, del porcentaje de cuarzo y de la relación feldespato/fragmentos de roca, se han diferenciado arcosas y grauvacas feldespáticas (Pettijohn, Potter & Siever, 1987). El esqueleto oscila entre denso y quebrantado, estando constituido por clastos de subredondeados a angulosos a veces prismoidales, que presentan selección moderada a mala. Ocasionalmente se han observado poblaciones con tamaños de grano diferente, exhibiendo los clastos mayores morfologías más angulosas. La mineralogía del esqueleto está constituida predominantemente por feldespatos (plagioclasas, microclina, ortosa y pertitas), cuarzo (mono y policristalino) y micas, con predominio de biotitas verdes sobre moscovita. Como subordinados se han reconocido fragmentos de

rocas tanto ígneas (texturas equigranulares, micrográficas y granofíricas), como metamórficas (texturas lepidoblásticas, foliación) ricas en minerales micáceos. Como accesorios se han identificado, especialmente en el tramo de arenas 1, circón, turmalina y apatito frecuentemente euhédricos a subeuhédricos.

Destaca en los feldespatos la coexistencia de granos frescos con otros que muestran un grado variable de alteración, en general bajo, observándose en ellos de manera incipiente vacuolización e illitización, hecho especialmente reseñable en el tramo 2. En los fragmentos de roca es notable el escaso grado de alteración tanto en clastos metamórficos como ígneos. En las micas es reseñable el predominio de la biotita de color verde, que presenta en los tres tramos evidencias de acción mecánica, como redondeamiento de los bordes y rotura de láminas siguiendo planos de exfoliación. En arenas 2 se observan además fenómenos de alteración química con liberación de hierro e incipiente cloritización del filosilicato, así como perforaciones con rellenos de arcilla orientada (argilanes) ligadas a la actividad de raíces, lo que indica procesos edáficos.

Aunque la existencia de cementos no es frecuente en estos materiales, se ha detectado calcita en agregados fibrorradiales en las arenas 1, ceolitas (heulandita-clinoptilolita) en las arenas 2 y calcita esparítica poiquilotópica en las arenas 3. En niveles con calcita es relevante la existencia de procesos de calcitización de terrígenos y de corrosión de cuarzo.

MINERALOGÍA DE PESADOS

Los resultados del estudio mineralógico (tabla 1) muestran un elevado contenido en biotitas en casi todas las muestras, llegando en la 1-2a al 99% de los pesados. Únicamente se observa un descenso de este mineral en las muestras correspondientes al tramo de arenas 3, en el que dos de ellas dan contenidos inferiores al 20%. En cuanto al resto de los minerales, se registran porcentajes de circón relativamente elevados, con valores entre 2 y 40%, apatito entre 1 y 21% y turmalina oscilando entre 2 y 24% y llegando al 47% en la muestra 9-39. Son frecuentes los granates (1-17%) y la andalucita (1-8%). Ocasionalmente y sin sobrepasar el 3 % se presentan hornblenda, estauroлита, epidota, distena y rutilo.

Sobre la procedencia de los minerales vemos en la figura 4 la comparación entre biotita, andalucita-granate-estauroлита y apatito-circón. Puede observarse que los contenidos son bastante homogéneos, con predominio de biotita, escasez de apatito, granate y estauroлита y proporciones variables de apatito y circón. Si prescindimos de la biotita, mayoritaria pero ubicua y comparamos turmalina con andalucita-granate-estauroлита y apatito-circón,

	Muestra	Biotita	Circon	Apatito	Turmal.	Granate	Andalu.	Otros
A R E N A S 1	13-16	60	21	6	5	4	1	1E1H1F
	12-2	66	8	7	13	2	1	2H1E
	11-1	72	6	4	8	8	—	2E
	1-2a	99	—	—	—	—	—	1H
	1-5c	75	18	2	2	1	1	1H
	1-7b	77	15	2	4	1	—	1F
	6-8	37	23	15	14	5	3	1F1R
A R E N A S 2	12-17	44	17	14	14	7	—	3H1F
	17-2	92	2	1	—	2	2	1F
	8-2	24	12	20	20	17	6	1F
	8-3	51	29	4	6	10	—	—
	5-6b	35	17	15	23	7	2	1F
A R E N A S 3	9-39	11	12	2	47	17	5	3H1F1D
	9-40	54	8	1	16	10	8	1H1F1R
	9-35	17	40	21	10	8	1	1E2H
	10-26	48	12	11	19	4	5	1An

Tabla 1.—Porcentaje de minerales pesados en las muestras estudiadas. E: estaurólita. H: hornblenda. F: epidota. D: distena. R: rutilo. An: anatasa-broquita

Table 1.—Percentage of heavy minerals. E: staurolite. H: hornblende. F: epidote. D: kyanite. R: rutile. An: anatase-broquite.

vemos que las muestras de arenas 3 son las que presentan mayor variedad y proporción más alta de minerales metamórficos, en tanto que en arenas 1 y arenas 2 son netamente mayoritarios apatito y circón.

Del estudio morfológico de los granos individuales es posible también extraer consecuencias de interés: podemos ver en las distintas fotografías de la figura 5 como los minerales presentan un grado de alteración generalmente bajo. Las turmalinas (Fig. 5a) conservan caras prismáticas con estrías bien vi-

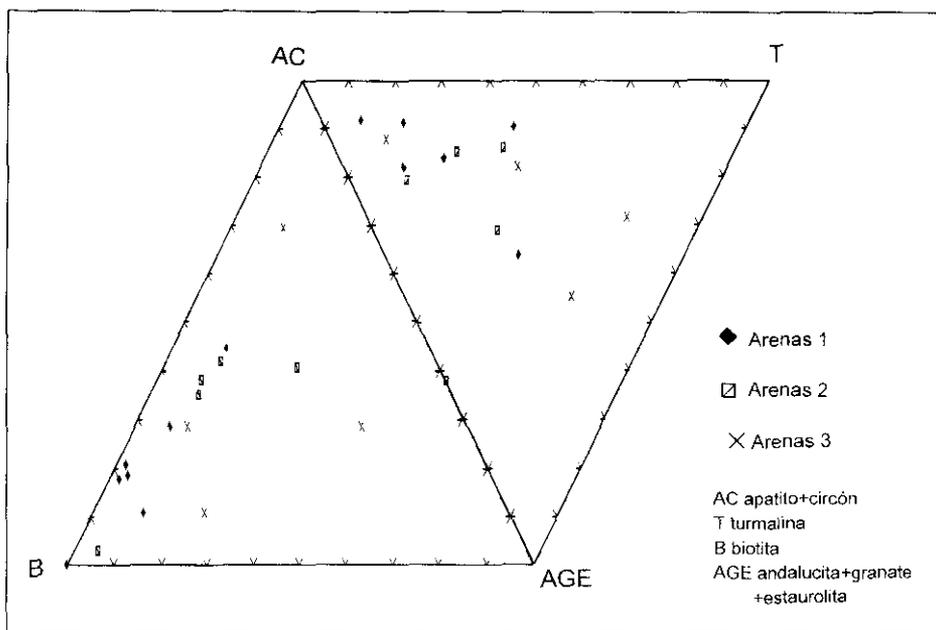


Fig. 4.—Representación de frecuencia de minerales pesados. B: biotita. T: turmalina. AC: apatito + circón. AGE: andalucita + granate + estaurolita. ◆ Arenas 1. ◼ Arenas 2. X Arenas 3
 Fig. 4.—Ternary diagram of heavy minerals. B, biotite, T, tourmaline; AC, apatite + zircon; AGE, andalusite + garnet + staurolite. ◆ Arenas 1. ◼ Arenas 2. X Arenas 3.

sibles y los circones (Fig. 5b) vértices agudos sin ninguna marca debida a choques o fracturas. Estos rasgos, si bien evidencian escaso desgaste, no son sorprendentes dado el alto grado de resistencia de estos minerales. Sin embargo en los apatitos se han observado diversos grados de abrasión (redondez) y de meteorización química (disolución), frecuentemente los granos conservan su hábito prismático, con aristas marcadas y superficies que evidencian ataque químico en grado muy variable, coexistiendo en una misma muestra ejemplares idiomorfos y rodados (Figs. 5, c, d y e). Si bien el desarrollo de cavidades de disolución no parece tener relación con el tamaño, en el caso de la abrasión sí, habiéndose observado las morfologías cuhédricas en los de menor tamaño y las más redondeadas en los mayores. Analizados puntualmente con EDAX varios granos de apatito se apreció la siguiente composición química: P 49.79; Ca 38.83; F 0.22, correspondiente a hidroxapatito, con baja proporción de flúor.

En cuanto a las micas, caracterizadas por EDS como biotitas, conservan a veces contornos regulares y presentan superficies con grado de alteración moderado (Fig. 5f).

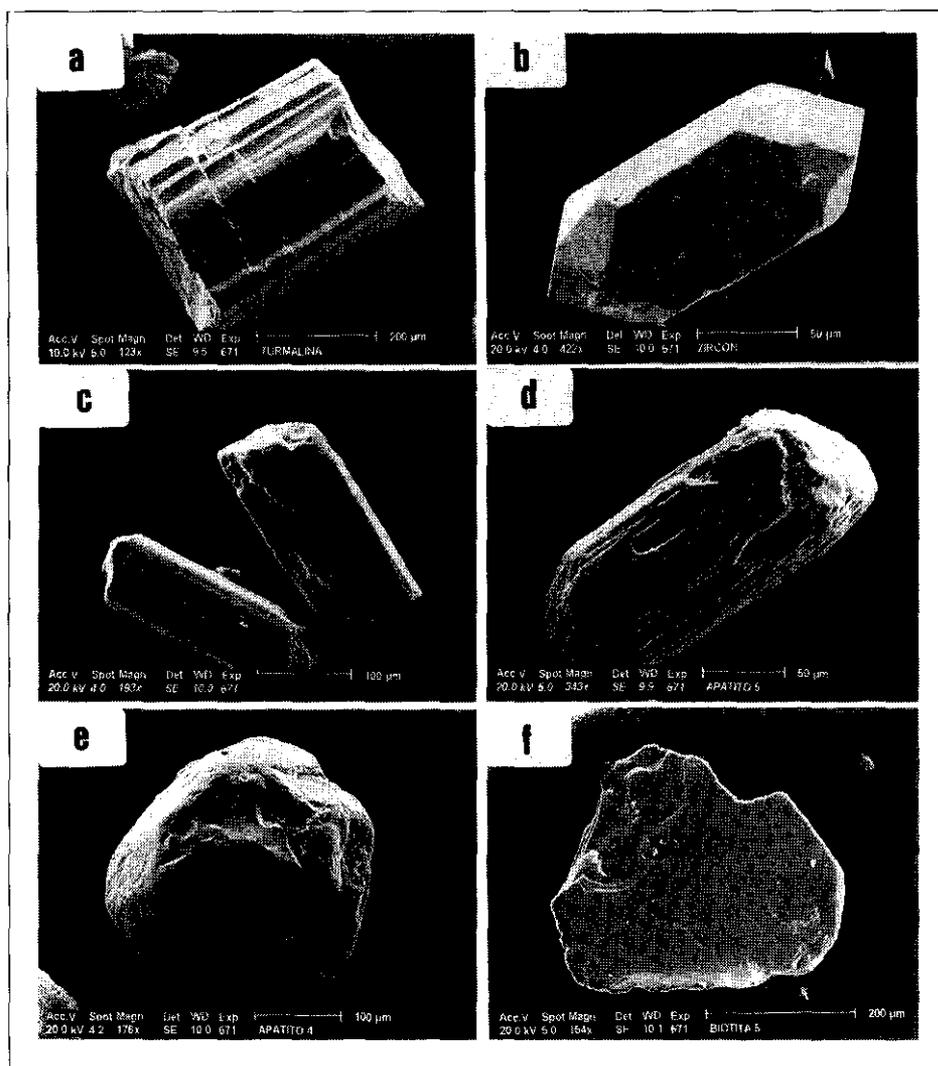


Fig. 5.—Morfología de los granos minerales. a. Turmalina. b. Circón idiomorfo. c. Grano prismático de apatito. d. Apatito con abundantes huellas de disolución. e. Apatito rodado con rasgos de abrasión y disolución. f. Biotita.

Fig. 5.—Grain morphology of heavy minerals. a. Tourmaline. b. Euhedral zircon grain. c. Prismatic grain of apatite. d. Highly etching apatite. e. Rounded apatite with abrasion and dissolution features. f. Biotite.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONSIDERACIONES GRANULOMÉTRICAS

Desde el punto de vista granulométrico las muestras estudiadas presentan como características generales una buena selección y medianas situadas en los tamaños correspondientes a arena fina. Dentro de este conjunto poseen rasgos diferentes algunas muestras del tramo 2, que presentan una proporción mucho más alta de tamaños limo y arcilla así como una pobre selección. Estas últimas muestras son las que más se aproximan por sus características sedimentológicas a las descritas para formaciones semejantes en áreas próximas (Lomoschitz *et al.*, 1985; Alonso, Calvo y García del Cura, 1986) o a las que nosotros hemos encontrado en depósitos arcósicos de la zona de Yuncos (Pozo y Casas, 1992) que correspondían a materiales transportados principalmente por suspensión. Analizando diagramas centil/ mediana Lomoschitz *et al.* (*op. cit.*) deducen que el transporte de las arenas micáceas tuvo lugar en un fluido de escasa viscosidad y estado de flujo bajo, predominando el transporte en saltación y suspensión gradada sobre el rólido y suspensión uniforme.

Los datos obtenidos en el presente trabajo proyectados en el diagrama C-M muestran diferencias significativas con los de los autores mencionados, especialmente en lo que se refiere a valores más altos de las medianas y a cocientes C/M más elevados. En nuestra zona, estas características distintas pueden deberse a una removilización de materiales ya consolidados que, posteriormente, sufrieron un transporte hasta la posición actual en un medio poco destructivo y con capacidad de arrastre considerable, lo que permitió el transporte de los intraclastos. La granulometría más fina y peor selección observada en niveles del tramo de arenas 2 refleja la entrada episódica de materiales con removilización de depósitos (clastos lutíticos), que sugieren condiciones climáticas áridas o semiáridas con estación húmeda rápida y seca más larga, en la que los sedimentos de llanura lutítica (mud flat) quedan periódicamente expuestos y sometidos a desecación. Por su parte los altos valores de mediana en el tramo 3 pueden interpretarse como debidos a una reactivación progradante de los aportes procedentes de los sistemas de abanicos aluviales del borde de cuenca septentrional.

ASPECTOS MINERALÓGICOS

La composición mineralógica descrita evidencia de una parte la clara influencia de las áreas graníticas de la Sierra del Guadarrama y de otra la poca importancia de los aportes procedentes de áreas metamórficas (Somosierra), dada la escasez de minerales característicos de este origen. Si bien es cierto

que el apatito se puede detectar en rocas metamórficas, lo más frecuente es que se presente en rocas ígneas graníticas o venas hidrotermales normalmente en un rango que oscila entre 0.1-1% (Deer, Howie & Zussman (1992). Aparicio *et al.* (1975) reflejan las composiciones de las rocas de las probables áreas fuentes, y de acuerdo con sus descripciones se puede inferir la influencia mucho mayor de las áreas graníticas que de las metamórficas en la composición de los sedimentos de la zona.

La abundancia relativa de feldespatos respecto al cuarzo es un hecho peculiar en estas arenas ya que en general lo lógico sería lo contrario, pues los feldespatos son menos estables en el ambiente sedimentario (Blatt, 1992) mostrando relaciones feldespato/cuarzo de 1/6 en las areniscas, mientras que en áreas madre graníticas esta relación es del orden de 3/1. Datos similares han registrado Aguilar y Portero (1984) interpretándolos como resultado de una baja alteración química en el área madre. En nuestro caso, la abundancia de biotitas y plagioclasas sugiere condiciones de erosión y depósito rápido, como las de zonas áridas y semiáridas, con desarrollo de abanicos episódicos estacionales, lo que justificaría además la existencia de feldespatos frescos y alterados juntos. Estos resultados son coherentes con la interpretación paleoclimática basada en micromamíferos establecida por López Martínez, Sesé Benito y Herráez (1987) para el Aragoniense medio de la Cuenca de Madrid.

La asociación de minerales pesados en las facies detríticas micáceas de la zona de Esquivias se caracteriza por un predominio, además de la biotita, de circón, turmalina y apatito, con granate y andalucita subordinados. Esta asociación difiere de la descrita en facies equivalentes en la zona de Paracuellos (Alonso *et al.*, 1986) y N. E. de la cuenca (Lomoschitz *et al.*, 1985) donde granate y estauroлита adquieren mayor relevancia y apenas se cita apatito. En la zona sur, Pérez Mateos y Vadour (1972) y Lomoschitz *et al.* (1985) reflejan asociaciones de pesados similares a la nuestra, aunque en el caso de los primeros no incluyen apatito debido al tratamiento ácido previo al que se sometieron las muestras.

Estas referencias bibliográficas sugieren desarrollo de abanicos con mayor influencia del área fuente metamórfica en la zona norte de la cuenca y de los granitoides al sur. En nuestro caso se observa en los tres tramos arenosos diferenciados un predominio de los aportes con origen en áreas madre graníticas, aunque el aumento de minerales metamórficos en el tramo 3 indica interacción con aportes de áreas fuente metamórficas. Esto concuerda con las dos zonas del Sistema Central que suministran a la cuenca sedimentos clásticos: al este de la falla de la Berzosa materiales graníticos y metamórficos de alto grado y al oeste metamórficos de bajo grado (Hoyos *et al.* 1985).

Otros datos que justifican la escasa agresividad del medio de transporte son, en el estudio de minerales pesados, la presencia de circones euhédricos, las morfologías prismáticas con caras estriadas en las turmalinas y, de forma

especial, la cantidad y aspecto de los apatitos. La existencia en la misma muestra de granos de apatito euhédricos y redondeados puede implicar un origen por fragmentación de rocas ígneas en los primeros y de removilización de sedimentos previos en los segundos, interpretación similar a la dada por Robson (1987) para circones en una situación similar.

La importancia del apatito como indicador de condiciones hidroquímicas fue estudiada por Morton (1984) quien observó que este mineral es estable a gran profundidad, donde participan aguas ligeramente alcalinas (condiciones diagenéticas) mientras que a pH ácido (aguas meteóricas), sufre disolución en diverso grado. Según este autor, a $\text{pH} < 7$, solo olivino, piroxeno, anfíbol y esfena son más solubles que apatito. Esta dependencia se había puesto ya de manifiesto en el trabajo experimental de Nickel (1973), quien observó que a $\text{pH} = 5,6$ el apatito era el mineral más susceptible de disolución de entre los pesados. Para Lindsay (1979) los fosfatos de calcio, y concretamente el apatito, muestran un incremento notable en su solubilidad según disminuye el pH, hecho especialmente notable en el hidroxiapatito. En el diagrama ión fosfato-pH de este autor es de destacar el hecho de que en condiciones muy básicas también aumenta la solubilización.

Las asociaciones mineralógicas observadas en los distintos tramos arenosos indican participación de aguas con hidroquímicas distintas, así en el tramo 1 destaca la presencia de yeso y de agregados de calcita fibrorradial con posible precursor aragonítico o de calcita magnesiana, todo ello indicativo de cierta salinidad. En el tramo de arenas 2 el excelente desarrollo de las arcillas magnésicas (saponita, kerolita-estevensita, sepiolita) y posteriormente de ceolitas (clinoptilolita-heulandita) indica medios ricos en magnesio y sílice, con participación importante de los procesos de neoformación durante la diagénesis temprana y episodios edáficos. Finalmente, la existencia de cementos calcíticos en mosaicos esparíticos poiquilotópicos marca el tránsito hacia condiciones de menor salinidad-alcalinidad, hecho confirmado por Bellanca *et al.* (1992) mediante geoquímica isotópica en unidades suprayacentes de esta zona, donde se establecen condiciones lacustres ligadas a una fase expansiva.

A la vista de los resultados, el episodio de endulzamiento puede estar en relación con la progradación de abanicos aluviales de la zona norte que se unirían a los ya actuantes del borde occidental, hecho que justificaría mezclas de sedimentos y sobre todo el incremento en el tramo 3 de minerales metamórficos.

CONCLUSIONES

El estudio de las asociaciones de minerales pesados en los tramos arenosos 1 y 2 diferenciados en el depósito de arcillas magnésicas de Esquivias pone de manifiesto la influencia predominante de un área fuente constituido

por granitoides que se ubicaría en la Sierra de Guadarrama. En el tramo de arenas 3, el relativo incremento en minerales ligados al metamorfismo así como de fragmentos de rocas metamórficas indica además la participación de un área madre situada en la zona de Somosierra.

La existencia de frecuentes intraclastos lutíticos en las facies arenosas estudiadas sugiere periodos de emersión y desecación de materiales previamente consolidados, con retrabajamiento posterior por aportes rápidos y estacionales ligados a la actividad de abanicos aluviales. Esta interpretación justifica la abundancia y aspecto de biotitas y feldespatos, interpretándose el clima como predominantemente semiárido.

La presencia de apatito, junto a otros minerales endogénicos y autigénicos (arcillas magnésicas, yeso, calcita y ceolitas) y el predominio de feldespato sobre cuarzo permiten inferir una hidroquímica alcalina con salinidad general decreciente desde el tramo 1 al 3. Esta disminución en la salinidad coincide con una etapa generalizada de endulzamiento en la cuenca, observable en las unidades suprayacentes a las estudiadas, que podría estar en relación con la actuación combinada de aportes de la zona este y norte del Sistema Central.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación PB91-0023, financiado por la D.I.G.I.C.Y.T. Deseamos asimismo agradecer al Dr. J. A. Medina de la U.A.M. su colaboración en el estudio mediante S.E.M.

REFERENCIAS

- AGUILAR, M. y PORTERO, J. M. (1984): «Las arenitas de los abanicos aluviales terciarios del borde suroriental del Sistema Central», *I Congreso Español de Geología Tomo 3*, 147-158.
- ALONSO, A. M., CALVO, J. P. y GARCÍA DEL CURA, M. A. (1986): «Sedimentología y Petrología de los abanicos aluviales y facies adyacentes en el Neógeno de Paracuellos de Jarama (Madrid)», *Estudios Geol.* 42, 79-101.
- APARICIO, A., BARRERA, J. L., CARABALLO, J. M., PEINADO, M. y TINAO, J. M. (1975): «Los materiales graníticos hercínicos del Sistema Central Español», *Memorias I.G.M.E.*, 88, 147 pp.
- BARAHONA, E. (1974): «Arcillas de ladrillería de la Provincia de Granada: Evaluación de algunos Ensayos de Materias Primas», *Tesis Doctoral, Univ. Granada*, 309 p.
- BELLANCA, A., CALVO, J. P., CENSI, P., NERI, R. y POZO, M. (1992): «Recognition of lake level changes in miocene lacustrine units, Madrid Basin, Spain. Evidence from facies analysis, isotope geochemistry and clay mineralogy», *Sedimentary Geol.* 76, 135-153.
- BLATT, H. (1992): *Sedimentary Petrology*, Freeman and Co., Nueva York, 514 pp.

- DEER, W. A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1992): *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, Longman Scientific & Technical, 696 pp.
- HOYOS, M., JUNCO, F., PLAZA, J. M., RAMÍREZ, A. y RUIZ, J. (1985): «El Mioceno de Madrid», en *Geología y paleontología del terciario continental de la Provincia de Madrid*, C.S.I.C., Madrid
- LINDSAY, A. (1979): *Chemical equilibria in soils*, J. Wiley & Sons, Nueva York, 449 pp.
- LOMOSCHITZ, A., CALVO, J. P. y ORDÓÑEZ, S. (1985): «Sedimentología de las facies detríticas de la unidad intermedia del Mioceno al sur y este de Madrid», *Estudios Geol.*, 41, 343-358
- LÓPEZ MARTÍNEZ, M., SESE BENITO, C. y HERRÁEZ, E. (1987): «Los yacimientos de micromamíferos del área de Madrid», *Bol. Geol. Min.*, 98, 17-34.
- MORTON, A.C. (1984): «Stability of detrital heavy minerals in tertiary sandstones from the North Sea Basin», *Clay miner.*, 19, 287-308
- NICKEL, E. (1973): «Experimental dissolution of light and heavy minerals in comparison with weathering and intrastratal solution», *Contr. Sedimentology* 1, 1-68.
- PÉREZ MATEOS, J. y VADOUR, J. (1972): «Estudio mineralógico y geomorfológico de las regiones arenosas al sur de Madrid», *Estudios Geol.* XXVIII, 201-208.
- PETTJOHN, F. J., POTTER, P. E. y SIEVER, R. (1987): *Sand and Sandstone*, Springer-Verlag, Nueva York, 553 pp.
- POZO, M. y CASAS, J. (1992): «Mineralogía y sedimentología del yacimiento de saponita de Yuncos (Toledo)», *Estudios Geol.*, 48, 47-65.
- (1995): «Distribución y caracterización de litofacies en el yacimiento de arcillas magnéticas de Esquivias (Neógeno de la Cuenca de Madrid)», *Bol. Geol. y Min.* 106-3, 265-282
- y MORENO, A. (1994): «Sedimentology and mineralogy of lacustrine facies with magnesium clays (kerolite-stevensite, stevensite, sepiolite) in the Madrid Basin Miocene (Spain)», *Abstracts de la Reunión I.A.S. Ischia '94*, 335-336.
- MEDINA, J. A., MORENO, A. y MARTÍN RUBI, J. A. (1995): «Mineralogénesis de ceolitas en facies lacustres-palustres con arcillas magnéticas de la Cuenca de Madrid», *Bol. Soc. Esp. Mineralogía*, 18-2, 7 y 8.
- ROBSON, D. A. (1987): «The persistence of Zircons in the clastics of the sedimentary Succession in Northern Britain: An SEM study», en *Clastic Particles*, ed. J. R. Marshall Van Nostrand Co Inc. 51-65.
- SCHULTZ, L. G. (1964): «Quantitative Interpretation of Mineralogical Composition from X-R and Chemical Data for the Pierre Shale», *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 391C, 31pp.

Manuscrito recibido: 29 de junio 1995

Manuscrito aceptado: 20 diciembre 1995