

COMPOSICION MODAL DE LAS ARENAS DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR: EVALUACION DE SU PROCEDENCIA

M. Palomares *

RESUMEN

La sedimentación de la cuenca neógena del Guadalquivir entre las provincias de Córdoba y Sevilla está formada por una potente sucesión margosa en la que se intercalan varias unidades arenosas que, de base a techo, se denominan: Arenas Basales, Arenas de Ubeda, Arenas del Guadalquivir, Arenas de Ecija, Arenas de Cuesta el Espino (todas ellas de edad Tortoniense superior), Arenas de Guadarcázar, Calcarenitas de Carmona (de edad Messiniense) y arenas pliocenas.

Arenas Basales tienen una composición lítica, con alto porcentaje en fragmentos de roca metamórficas, y proceden de los complejos metamórficos del Macizo Hespérico paleozoico situado al N de la cuenca. Arenas del Guadalquivir y Arenas de Ecija están formadas por litoarenitas y sublitoarenitas cuyos fragmentos de roca son fundamentalmente carbonáticos. En ambos casos, son arenas procedentes de orógenos reciclados; las primeras proceden de formaciones arenosas neógenas que afloran al N de la cuenca a causa de la retirada progresiva del mar neógeno de la cuenca del Guadalquivir. La unidad Arenas de Ecija procede de los mantos béticos emplazados al S de la cuenca en ese momento.

Tanto la unidad Arenas Basales como Arenas del Guadalquivir son sedimentos originados en medios de plataforma continental y Arenas de Ecija está constituida por sedimentos originados en medio de abanicos submarinos.

Por último, las Arenas de Guadarcázar y las arenas pliocenas son cuarzoarenitas y sublitoarenitas y proceden de la erosión de las formaciones infrayacentes. La alta madurez composicional y textural de Arenas de Guadarcázar se debe a que estas arenas han sido retrabajadas en un medio playero.

La sucesión refleja una etapa inicial con aportes de primer ciclo a partir de rocas metamórficas de cratón estable y una etapa posterior donde el área fuente es sedimento de orógeno reciclado.

Al E de la cuenca, Arenas del Guadalquivir y Arenas de Ecija son litoarenitas y Arenas de Cuesta el Espino son sublitoarenitas. Las primeras proceden de orógenos reciclados mientras que las segundas proceden de bloque continental estable. La evolución composicional de las arenas en esta parte de la cuenca puede indicar una zona de borde de la misma.

Palabras clave: Arenas, Procedencia, Reciclado, Cuenca del Guadalquivir, España.

ABSTRACT

The sedimentation of the Guadalquivir neogene basin between Córdoba and Sevilla towns gave place to a thick marly succession which included several sandstone units: Arenas Basales, Arenas de Ubeda, Arenas del Guadalquivir, Arenas de Ecija, Arenas de Cuesta el Espino (all of them of upper Tortonian age), Arenas de Guadarcázar, Calcarenitas de Carmona (both of Messinian age) and pliocene sands.

Arenas Basales have a lithic composition, showing high percentages of metamorphic rock fragments, and derived from metamorphic complexes of the paleozoic Macizo Hespérico located in the N of the basin. Arenas del Guadalquivir and Arenas de Ecija are litharenites and sublitharenites; their rock fragments are mainly carbonatic and derived from neogene sandy formations that cropped out in the N because of the progressive reduction of the basin. Arenas de Ecija derived from the betic mantles that were emplaced in the S of the basin at that time. Arenas Basales and Arenas del Guadalquivir are platform deposits and Arenas de Ecija are sediments in subsea fans.

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

Finally, Arenas de Guadarcázar and the pliocene sands are quartzarenites and sublitharenites and derived from the underlying sandy formations. The high compositional and textural maturity of Arenas de Guadarcázar was due to the reworking of these sands in a beach environment. The succession reflects an initial stage with first cycle contributions of metamorphic rocks from a stable craton and a later stage in which the source area is formed of sedimentary rocks related to a recycled orogen.

In the eastern part of the basin Arenas del Guadalquivir and Arenas de Ecija are litharenites whilst the Arenas de Cuesta el Espino are sublitharenites; the former derived from a recycled orogen, and the latter from a continental block or a stable craton. The compositional evolution of the sands in this side of the basin could indicate a basin edge zone.

Key words: Sands, Provenance, Recycling, Guadalquivir basin, Spain.

Introducción

La cuenca del Guadalquivir es una depresión neógena, descrita por Borrego y Pendón (1988) como una cuenca típica de antepaís, enmarcada dentro del conjunto de las cuencas alpinas de este tipo. El margen activo de la cuenca lo constituyen las cadenas Béticas situadas al SE de la misma. Al N se sitúa el margen pasivo (cratón paleozoico de la meseta ibérica).

Perconig (1964) y Martínez del Olmo *et al.* (1984) describen la cuenca del Guadalquivir con morfología de semigraben donde el basamento situado al N de la cuenca se hunde progresivamente hacia el SSW con una inclinación media de 2-3°. Por tanto, el Mioceno que rellena esta cuenca aumenta de espesor de N a S.

Asimismo, Megías *et al.* (1983) estudian la evolución sedimentológica de la cuenca del Guadalquivir diferenciando siete Unidades Tectosedimentarias, cuatro del Neógeno antiguo: Oligoceno terminal-Aquitaniense 1 (UTS Ne-O), Aquitaniense 2-Burdigaliense 1 (UTS Ne-1), Burdigaliense 2-Langhiense (UTS Ne-2), Serravaliense-Tortonense 1 (UTS Ne-3); y tres del Neógeno reciente: Tortonense 2-Messiniense 1 (UTS Ne-4), Messiniense 2-Plioceno 1 (UTS Ne-5) y Plioceno 2-Cuaternario (UTS Ne-6). El registro sedimentario que se estudia aquí corresponde al Neógeno reciente de estos autores.

Para Portero y Alvaro (1984), la cuenca del Guadalquivir es un surco frontal a las cadenas Béticas, formado por la deformación de la litosfera como respuesta al engrosamiento de la misma en las zonas externas de las cadenas Béticas. Según estos autores se pueden diferenciar dos etapas de relleno de la cuenca: 1. Etapa Sintectónica, en la que la sedimentación está controlada por una fuerte subsidencia y donde predominan secuencias turbidíticas y fenómenos olistostrómicos, y 2. Etapa Postectónica, caracterizada por la colmatación de la cuenca, en primer lugar mediante emplazamientos de unidades gravitacionales y posteriormente mediante sedimentación marina, transicional y continental.

El objetivo del presente trabajo es el análisis de la procedencia de los sedimentos arenosos del Mioceno superior (Tortonense superior-Messiniense) y Plioceno (todos ellos integrados dentro de las UTS Ne-4 y 5 de Megías *et al.*, 1983) en una zona situada entre las capitales de Córdoba y Sevilla. Dicha zona queda comprendida en la hoja geológica 1:50.000, n.º 964 de La Campana (fig. 1).

El Macizo Hespérico formado por materiales paleozoicos, situado al N de la cuenca, y las zonas externas de las cordilleras Béticas (constituidas por materiales mesozoicos y cenozoicos), situadas al SE (Subbético) y E (Prebético) de la cuenca del Guadalquivir, son las posibles áreas de procedencia de las arenas miocenas y pliocenas de esta cuenca.

Las litologías paleozoicas predominantes del Macizo Hespérico en el área más próxima a la zona de estudio son gneises, esquistos, micaesquistos cuarzoalbiticos, cuarcitas y pizarras según IGME (1975). El Subbético, según Vera (1983), está formado por rocas detríticas, calizas marinas, evaporitas y margas. El Prebético está compuesto por rocas detríticas con intercalaciones de calizas marinas, lutitas, evaporitas, dolomías, arcillas y margas.

El estudio de las arenas miocenas y pliocenas de la cuenca del Guadalquivir se ha llevado a cabo en base a las muestras y datos extraídos a partir de 10 sondeos pertenecientes a los permisos de investigación de hidrocarburos concedidos a CIEPSA, CNWL y REPSOL (permisos Córdoba A-C y Río Guadalquivir K-O) (fig. 1), y a partir de un testigo continuo del sondeo Córdoba B-2.

Los sondeos, salvo Córdoba A-7 y Río Guadalquivir N-1, se han perforado hasta el basamento, encontrándose éste entre 675 m (Córdoba A-3) y 1.265 m (Córdoba B-1). Existe una serie de fallas que dividen el basamento en bloques en la parte central de la zona produciendo un alto relativo. Se han diferenciado ocho unidades arenosas dentro de la serie margosa (Informe Interno de CIEPSA, CNWL y REPSOL) en esta zona de estudio. De base a techo son las siguientes (fig. 2): Arenas Basales, Arenas de

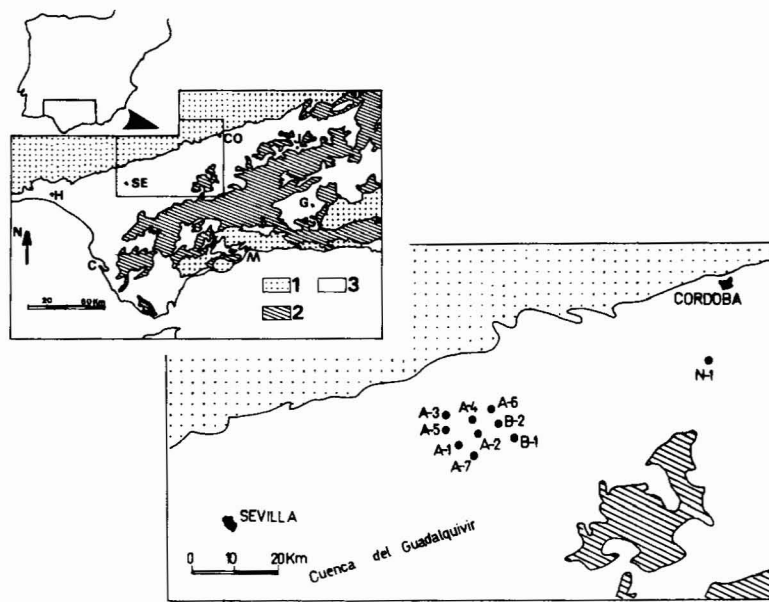


Fig. 1.—Localización geográfica y geológica de la Cuenca del Guadalquivir. (1: Paleozoico; 2: Mesozoico; 3: Neógeno. CO: Córdoba; SE: Sevilla; H: Huelva; C: Cádiz; M: Málaga; G: Granada) y situación relativa de los sondeos de los permisos Córdoba A-B y del sondeo Río Guadalquivir N-1.

Ubeda, Arenas del Guadalquivir (descritas por vez primera por Martínez del Olmo *et al.*, 1984), Arenas de Ecija, Arenas de Cuesta el Espino (todas ellas de edad Tortonense superior), Arenas de Guadarcázar, Calcarenitas de Carmona (descritas por primera vez por Martínez del Olmo *et al.*, 1984) (de edad Messiniense) y arenas pliocenas.

Metodología

En total se tomaron 47 muestras de rípos: 8 de Arenas Basales, 21 de Arenas del Guadalquivir, 9 de Arenas de Ecija, 1 de Arenas de Cuesta el Espino, 6 de Arenas de Guadarcázar, y 2 de las arenas pliocenas. El testigo continuo del sondeo Córdoba B-2 registra una parte de la unidad Arenas del Guadalquivir, del cual se obtuvieron 11 muestras arenosas. Las muestras no consolidadas de los rípos fueron cementadas artificialmente con resina plástica para poder realizar láminas delgadas de cada una de las muestras. Dichas láminas se tiñeron con cobaltinitrito sódico para una mejor identificación de los feldespatos.

El estudio petrográfico de las arenas al microscopio óptico consistió fundamentalmente en un conteo de 300 puntos por lámina. Los granos detríticos de tamaño entre 2 y 0,062 mm son los componentes de la arena contabilizados, siguiendo los criterios de Zuffa (1980). Una vez realizado el conteo de granos de cada una de las muestras se calculó el porcentaje relativo de cada uno de los componentes que integran las arenas, utilizándose posteriormente los diagramas NCE-CE-CI de Zuffa (1980), QFFR de Pettijohn *et al.* (1973), y QtFL de Dickinson *et al.* (1983a) con el fin de caracterizar el depósito en función de los componentes que lo integran, así como analizar su procedencia. Del mismo modo, se utilizó el diagrama QrQoQp de Blatt (1967) para diferenciar las arenas de primer ciclo de las recicladas.

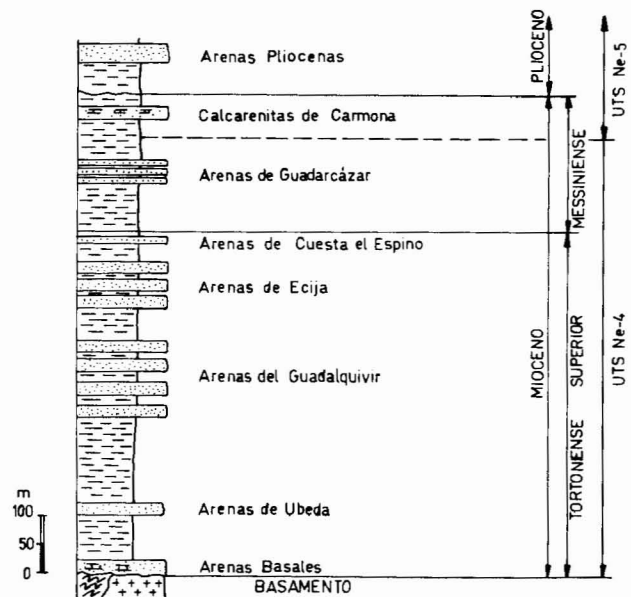


Fig. 2.—Columna estratigráfica síntesis, con denominación de las series neógenas que rellenan la Cuenca del Guadalquivir en la zona de estudio y posición estratigráfica de las formaciones arenosas analizadas. (Síntesis realizada a partir de Informe Interno de CNWL, con indicación de las UTS definidas por Megías *et al.*, 1983.)

Estratigrafía y composición de las unidades arenosas

En la figura 2 se esquematiza la estratigrafía general de la zona de estudio. Arenas Basales es una unidad que se apoya sobre el basamento cristalino paleozoico. En la parte central (sondeos *Córdoba A-2, A-3, A-4, A-5 y B-2*) la potencia de esta unidad es menor (17 m). Este hecho es debido a que el basamento se encuentra afectado por fallas que produjeron un alto central durante el Tortoniense superior que divide la cuenca en dos partes, una al N y otra al S.

La unidad Arenas Basales son arenas con un tamaño medio de grano de 0,5-0,25 mm (medido en granos de cuarzo), pobremente seleccionadas y con granos angulosos y subangulosos. El cuarzo policristalino domina sobre el monocristalino, presentando unidades cristalinas de pequeño tamaño y de forma alargada (fig. 3 A). Los fragmentos de roca son gnéissicos y esquistosos constituidos por cuarzo, moscovita, feldespato potásico, biotita y plagioclasa (fig. 3 B). Los fragmentos de roca carbonática son de mayor tamaño que el resto de los componentes. Los intraclastos son micrítico-margosos con globigerínidos, tienen forma alargada, de mayor tamaño que los cuarzoes y se encuentran redondeados. Los bioclastos son componentes intraclásticos, generalmente rotos y redondeados, y son foraminíferos bentónicos, globigerínidos, briozoos y equinodermos. Como componentes accesorios aparecen glauconitas, piritas, chert (fig. 3 C), micas, fragmentos de roca pizarrosos, baritina, anhidrita y clorita.

La unidad Arenas de Ubeda sólo aparecen en el sondeo *Río Guadalquivir N-1* y no ha sido muestreada. La unidad Arenas del

Guadalquivir son litológicamente variadas (siliciclásticas, bioclásticas e intraclásticas). En todas ellas la matriz es micrítico-margosa y el cemento carbonático. El tamaño de grano es fino y muy fino salvo en el sondeo *Río Guadalquivir N-1*, en el que las arenas son de tamaño muy grueso. Las arenas bioclásticas y siliciclásticas están bien seleccionadas y los granos se encuentran subredondeados, mientras que las arenas intraclásticas están mal seleccionadas y sus granos son angulosos. Los cuarzoes, normalmente monocristalinos, tienen crecimientos sintaxiales (fig. 3 D) y están corroídos por el cemento carbonático. También aparecen cuarzoes idiomorfos con inclusiones salinas y micas (fig. 4 A). Los cuarzoes policristalinos, más redondeados que los monocristalinos, tienen sus unidades cristalinas orientadas. Los bioclastos aparecen redondeados consistiendo en foraminíferos planctónicos (globigerínidos) (fig. 4 B), foraminíferos bentónicos, fragmentos de conchas de moluscos (fig. 4 C), equinodermos (fig. 4 B), algas rojas y briozoos (fig. 4 D). Los fragmentos de roca calcáreos son tanto grains-tones de peloides (fig. 5 A), fragmentos micríticos o fragmentos de caliza esparítica. Los componentes intracuencales son micrítico-margosos de gran tamaño y redondeados, contienen cuarzoes, globigerínidos, glauconitas, opacos y feldespatos potásicos. Asimismo aparecen fragmentos de roca gnéissicos y pizarrosos. Como componentes menos frecuentes aparecen feldespatos potásicos, plagioclasas, glauconita, opacos y chert.

La unidad Arenas de Ecija (fig. 2) aumenta de espesor hacia el S mientras que hacia el N gradan a depósitos margosos. Son arenas de tamaño de grano fino, generalmente bien seleccionadas. La matriz es micrítico-arcillosa y el cemento es carbonático. Los clastos de cuarzo son redondeados y subangulosos; estos últimos

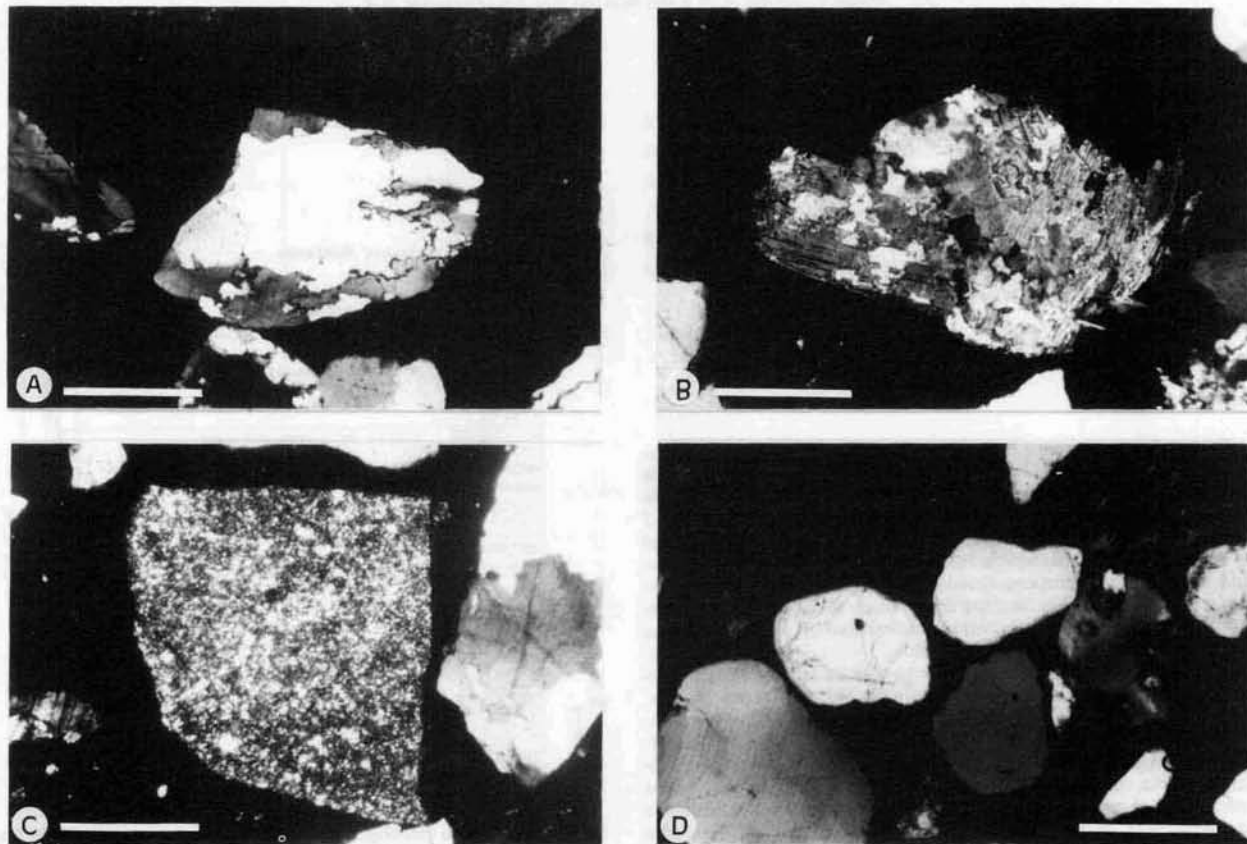


Fig. 3.—A) Cuarzo policristalino con unidades cristalinas alargadas y contactos intercristalinos suturados. N.C. Escala: 0,5 mm. B) Fragmento de roca gnéissico constituido por cuarzo y moscovita. N.C. Escala: 0,5 mm. C) Fragmento de chert. N.C. Escala: 0,5 mm. D) Granos de cuarzo redondeados y subredondeados. En la parte superior puede observarse un grano de cuarzo con crecimiento sintaxial redondeado. N.C. Escala: 0,5 mm.

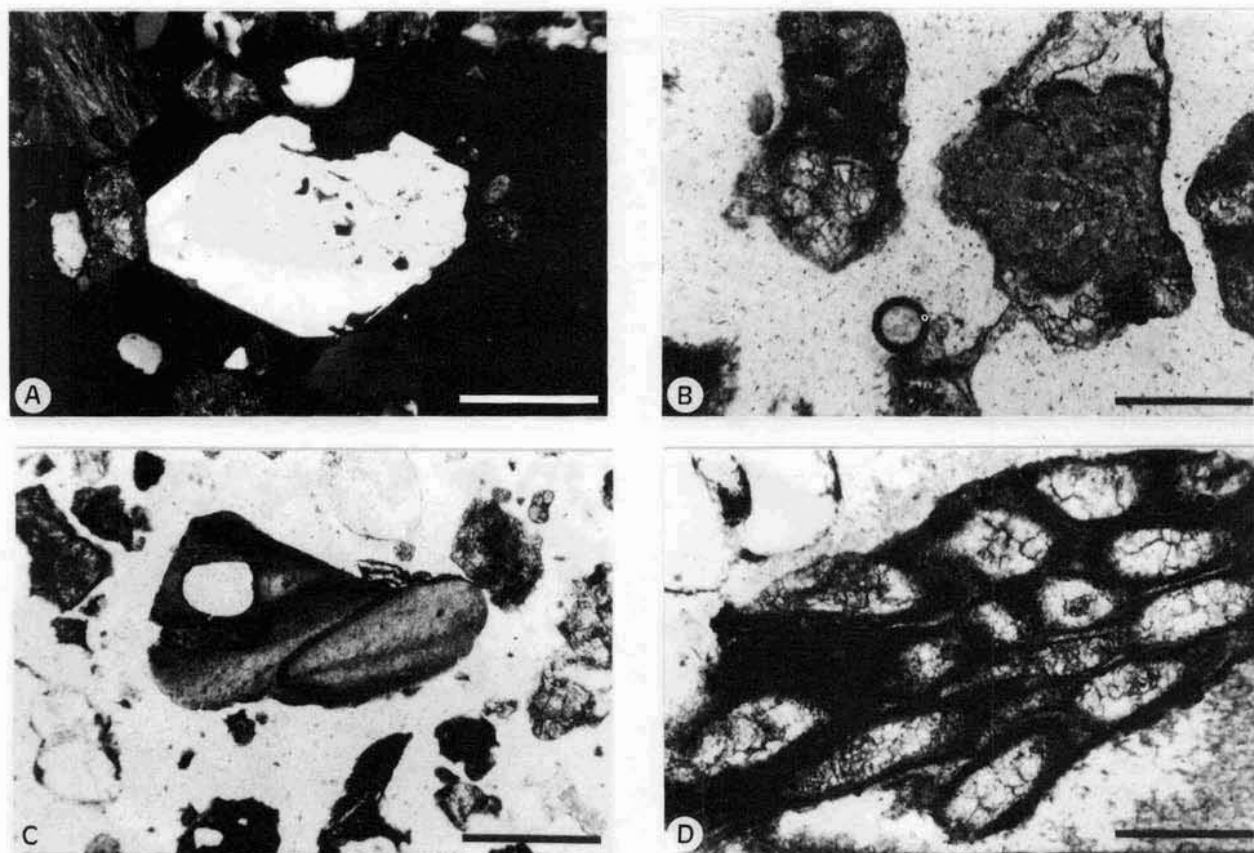


Fig. 4.—A) Grano de cuarzo idiomorfo con inclusiones salinas disueltas. N.C. Escala: 0,5 mm. B) Globigerínido relleno de cemento esparítico (izquierdo) y espícula de equinodermo con cemento sintaxial (derecha). N.P. Escala: 0,5 mm. C) Fragmento de concha de molusco redondeado. N.P. Escala: 0,5 mm. D) Sección de briozoo con las cámaras rellenas de cemento esparítico. N.P. Escala: 0,25 mm.

corresponden a los de menor tamaño, estando su grado de redondez producido por la corrosión del carbonato. Los granos de cuarzo presentan, a veces, crecimiento sintaxial. Los intraclastos y bioclastos presentes en estas arenas son similares a los descritos para las Arenas del Guadalquivir. Asimismo, aparecen restos orgánicos fosfáticos rellenos de pirita.

La unidad Arenas de Cuesta el Espino aparece exclusivamente al E de la cuenca. Esta unidad ha sido cortada por el sondeo *Río Guadalquivir N-1*. Son arenas de tamaño de grano muy grueso (2-1 mm) y se encuentran bien seleccionadas. Presentan alta cantidad de cuarzoes tanto monocristalinos como policristalinos. Asimismo, poseen alta cantidad de feldespatos, tanto feldespatos potásicos como plagioclasas, presentando alto grado de alteración. Otros componentes, como fragmentos carbonáticos (intraclastos y extraclastos), chert y bioclastos, aparecen en menor proporción.

Las arenas de la unidad Arenas de Guadarcázar tienen un tamaño de grano medio y fino y se encuentran bien seleccionadas. Los cuarzoes policristalinos están constituidos por individuos cristalinos alargados y bordes poco definidos. Los cuarzoes monocristalinos presentan, a veces, crecimiento sintaxial. En ocasiones se han identificado cuarzoes idiomorfos con inclusiones salinas. Otros componentes que aparecen son intraclastos (fig. 5 B), bioclastos, extraclastos carbonáticos (fig. 5 C), todos ellos similares a los descritos anteriormente, y fragmentos de roca metamórficos, feldespatos potásicos (fig. 5 D), micas, chert y opacos.

La unidad Calcarenitas de Carmona aparece aflorante y fue descrita por Martínez del Olmo *et al.* (1984). Estas arenas no han sido muestreadas.

Las arenas pliocenas aparecen exclusivamente al NW (en el sondeo *Córdoba A-3*). Presentan alta cantidad de cuarzoes predominantemente monocristalinos redondeados y subredondeados y, a veces, con crecimientos sintaxiales. Los intraclastos son micritico-margosos; los bioclastos son conchas de moluscos, briozoos, foraminíferos bentónicos y equinodermos. Entre los minerales accesorios destacan los feldespatos potásicos, plagioclasas y glauconitas.

Primeras conclusiones sobre datos composicionales

El tamaño de grano de las arenas de las unidades descritas es similar en todas ellas salvo en Arenas Basales, en Arenas del Guadalquivir (sondeo *Río Guadalquivir N-1*) y en Arenas de Cuesta el Espino donde presentan un tamaño de grano ligeramente mayor. Asimismo, hemos de destacar que los fragmentos de roca calcáreos y bioclastos son de mayor tamaño que los componentes siliciclásticos.

La presencia de cuarzo con crecimiento sintaxial redondeado (y por tanto, heredado) y con inclusiones salinas, junto a la existencia de fragmentos de

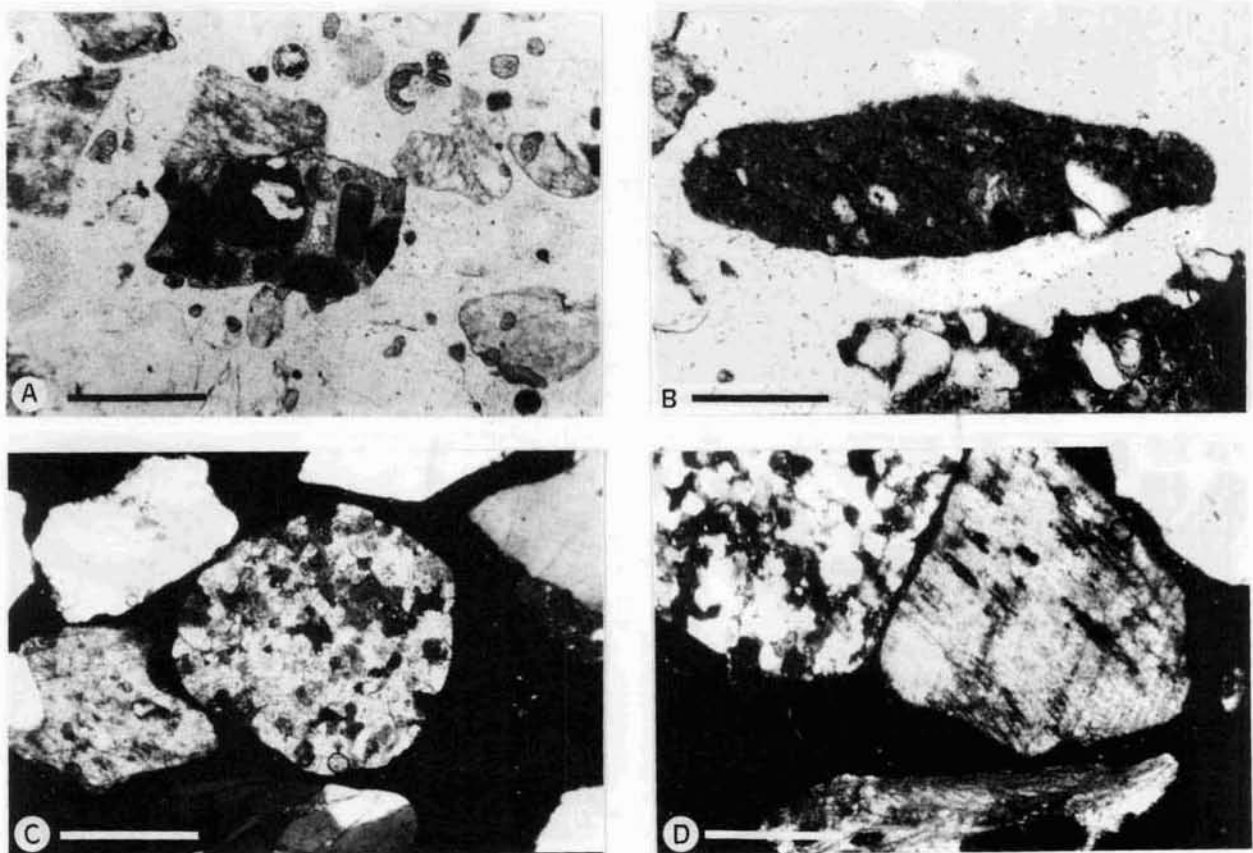


Fig. 5.—A) Fragmento extracelular calcáreo de grainstone de peloides con cemento esparítico y feldespato potásico. N.P. Escala: 0,5 mm. B) Intraclasto micrítico-margoso redondeado y de forma alargada. Contiene granos de cuarzo y minerales opacos. N.P. Escala: 0,25 mm. C) Fragmento de roca calcáreo extracelular consistente en un mosaico mesocrystalino. N.C. Escala: 0,5 mm. D) Feldespato potásico, cuarzo monocristalino, cuarzo policristalino y fragmento de concha de molusco. N.C. Escala: 0,5 mm.

roca carbonáticas nos hace pensar en una procedencia sedimentaria para las unidades arenosas de esta cuenca que lo posean.

Los cuarzos policristalinos, constituidos por cristales alargados y con contactos intercristalinos suturados indican una procedencia metamórfica de bajo grado (Young, 1976, y Palomares, 1988). Los esquistos y pizarras paleozoicos del Macizo Hespérico de la meseta norte podrían haber sido las fuentes que nutrieron estos clastos.

Los bioclastos más frecuentes son foraminíferos, briozoos, equinodermos, conchas de moluscos y algas rojas. En las arenas de tamaño más fino los bioclastos que aparecen con mayor frecuencia son los foraminíferos planctónicos, mientras que los foraminíferos bentónicos y el resto de bioclastos predominan en arenas de tamaño más grueso. Asimismo, los bioclastos están, comúnmente, redondeados y rotos, lo que indica que han sufrido importantes procesos de transporte.

Los intraclastos son micrítico-margosos redondeados y, en ocasiones, se encuentran en el esqueleto en altas proporciones. El origen de estos componentes estaría relacionado con la erosión de los niveles margosos intercalados. Nos encontramos ante una zona de la cuenca del Guadalquivir inestable tectónicamente que provoca que los sedimentos más recientes sirvan de área fuente al siguiente evento sedimentario o siguiente unidad arenosa generando depósitos de autofagia.

La glauconita se encuentra rellenando fósiles junto con cristales de pirita. Las arenas de la unidad Arenas del Guadalquivir son las que contienen mayor cantidad de dicho componente. La glauconita es de color marrón y de pequeño tamaño cristalino (esmectítica?). Según Odin (1985) este tipo de glauconita sería incipiente, autigénica o sinsedimentaria generada en ambiente ligeramente reductor.

La presencia de chert puede indicar áreas fuentes carbonáticas (Mack, 1981). Asimismo, Dickinson y

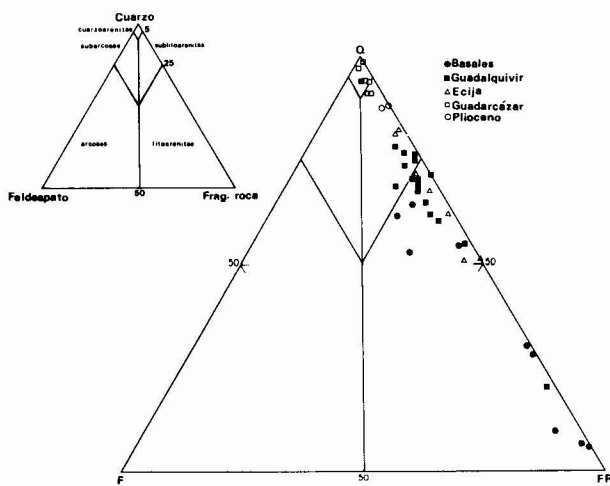


Fig. 6.—Representación en el diagrama de Pettijohn *et al.* (1973) de la composición modal de las formaciones arenosas en la zona de los permisos de Córdoba A-B.

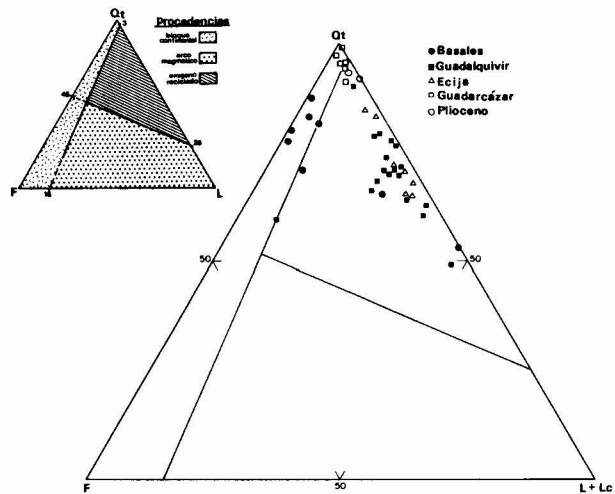


Fig. 7.—Composición modal de las unidades arenosas representada en el diagrama de Dickinson *et al.* (1983a) (modificado por Mack, 1983) en la zona de los permisos de Córdoba A-B.

Suczek (1979), han señalado la importancia de los granos de chert intracuencales generados por la silicificación de bioclastos. En las arenas estudiadas se encuentran tanto granos de chert extracuencales (granos de chert redondeados) como granos intracuencales producto de silicificaciones tempranas selectivas de determinados bioclastos.

Composición modal y procedencia de las arenas

Zona de los permisos Córdoba A-B

En la zona de los permisos de Córdoba A-B se aprecia claramente un aumento progresivo del cuarzo en detrimento de la cantidad de fragmentos de roca y, en menor medida, de feldespatos desde las unidades arenosas basales a las unidades arenosas del techo de la serie.

En un diagrama QFFR (fig. 6), las arenas de la unidad Arenas Basales se proyectan dentro del campo de las litoarenitas, con mayor contenido en fragmentos de rocas.

Arenas del Guadalquivir son litoarenitas y sublitoarenitas. El cambio de madurez composicional entre Arenas Basales y Arenas del Guadalquivir está acompañado por un cambio drástico en el tipo de fragmentos de roca que presentan. Mientras que los fragmentos de roca de las arenas de la unidad Arenas Basales son metamórficos, en Arenas del Guadalquivir los fragmentos de roca son calcáreos. Existe, por lo tanto, un cambio importante en la litología del área fuente, siendo en el primer caso complejos de rocas metamórficas granudas (gneises y esquistos)

y en el segundo caso son litologías sedimentarias (fundamentalmente carbonáticas).

Las arenas de la unidad Arenas de Ecija tienen una composición similar a Arenas del Guadalquivir (fig. 6). Si bien se observa un ligero aumento en cuanto a la madurez composicional, con un aumento en la cantidad de cuarzo y una pequeña disminución del feldespato, la procedencia de estas arenas se mantiene con una clara componente sedimentaria carbonática.

Las arenas de la unidad Arenas de Guadarcázar representan los términos con mayor madurez composicional proyectándose próximas o en el campo de las cuarzoarenitas (fig. 6). Por último, las arenas pliocenas son de composición sublitoarenítica.

La madurez composicional aumenta desde Arenas Basales a Arenas de Guadarcázar y vuelve a disminuir dicha característica en las arenas pliocenas. Este índice viene indicado por una disminución progresiva de feldespatos y fragmentos de roca en favor del cuarzo.

Según el diagrama QtFL de Dickinson *et al.* (1983) (fig. 7), las arenas de la unidad Arenas Basales se proyectan en el campo de procedencia del bloque continental, son, por lo tanto, arenas de primer ciclo, es decir, derivadas de rocas cristalinas (plutónicas y metamórficas) del Macizo Hespérico. Por el contrario, Arenas del Guadalquivir, Arenas de Ecija, Arenas de Guadarcázar y arenas pliocenas proceden de orógenos reciclados, probablemente de las zonas externas de las cordilleras Béticas, situadas al SE de la zona de estudio. La evidencia del reciclado de las arenas de la unidad Arenas del Guadalquivir, Arenas de Ecija y Arenas de Guadarcázar también

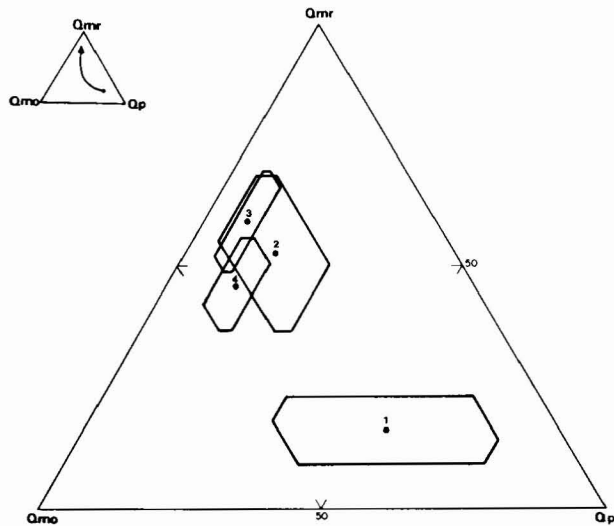


Fig. 8.—Contenido relativo de las diferentes tipologías de granos de cuarzo (Qmr: cuarzo monocristalino con extinción recta; Qmo: cuarzo monocristalino con extinción ondulante; Qp: cuarzo policristalino) (Blatt, 1967) en 1: Arenas Basales; 2: Arenas del Guadalquivir; 3: Arenas de Ecija; y 4: Arenas de Guadarcázar. Se representa la media y la dispersión para cada formación arenosa.

nos la proporciona la cantidad relativa de las diferentes tipologías de granos de cuarzo en cada tipo de arenas (fig. 8). Las muestras de las Arenas Basales contienen una alta proporción de cuarzoes policristalinos (hasta un 70 %) y relativamente baja cantidad de cuarzoes monocristalinos con extinción recta. Por el contrario, Arenas del Guadalquivir, Arenas de Ecija y Arenas de Guadarcázar poseen baja cantidad de cuarzoes policristalinos (< 30 %) y alta cantidad de cuarzoes monocristalinos con extinción recta (> 35 %). Tanto los cuarzoes policristalinos como los monocristalinos con extinción ondulante son más inestables mecánicamente en el medio sedimentario que los cuarzoes monocristalinos con extinción recta. Comparando nuestros datos con las evoluciones composicionales obtenidas por Blatt (1967), las arenas de la unidad Arenas Basales son de primer ciclo y menos maduras que el resto de las unidades arenosas (fig. 8), las cuales son producto de un proceso de reciclado.

La elevada madurez composicional de Arenas de Guadarcázar está producida por ser arenas recicladas de los sedimentos anteriores. Por otra parte, durante el Tortonense-Plioceno, en la cuenca del Guadalquivir se produce el relleno final de ésta mediante una sedimentación litoral y de plataforma somera progradante (Portero y Alvaro, 1984). Los sedimentos se redistribuyen por tormentas y el abastecimiento de sedimentos se produce a favor de las arenas sedimentarias con anterioridad. La continua removiliación del sedimento en medio litoral es el factor de-

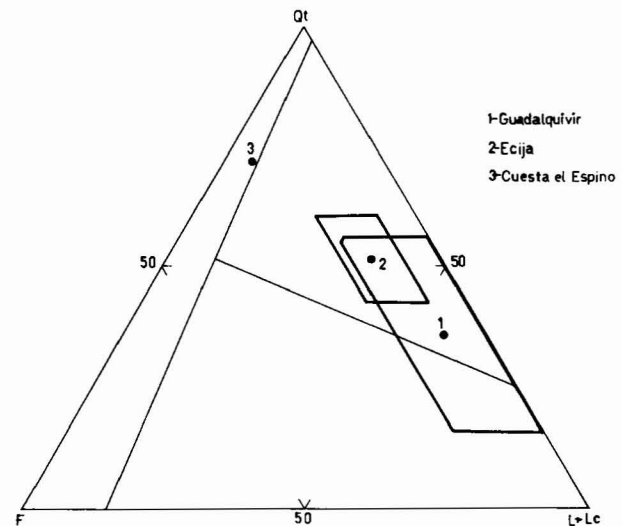


Fig. 9.—Representación en el diagrama de Dickinson *et al.* (1983) (modificado por Mack, 1983) de la composición modal de la unidad Arenas del Guadalquivir, de Ecija y de Cuesta el Espino, en la zona del sondeo *Río Guadalquivir N-1*. Se representa la media y la dispersión para cada formación arenosa.

finitivo que hace que las arenas de la unidad Arenas de Guadarcázar sean de composición cuarzoarenítica. La composición de estas arenas varía sustancialmente, con una disminución de feldespatos y fragmentos de roca debido a la rotura y disolución de estos granos por las constantes colisiones de grano contra grano en este medio sedimentario (Mack, 1967).

Zona del sondeo *Río Guadalquivir N-1*

La evolución composicional de las arenas en la zona donde se sitúa el sondeo *Río Guadalquivir N-1* se observa en la figura 9. Arenas del Guadalquivir y Arenas de Ecija en el punto del sondeo *Río Guadalquivir N-1* son litoarenitas, y las arenas de la unidad Arenas de Cuesta el Espino son sublitoarenitas. La composición de las primeras indica una procedencia de orógenos reciclados y las segundas de cratón estable. El aumento progresivo de cuarzo y feldespato con respecto a los fragmentos de roca, de tipo fundamentalmente carbonático en las Arenas del Guadalquivir, indica un aumento progresivo de aportes de litologías metamórficas granudas con la consiguiente disminución de los aportes de tipo carbonático.

La procedencia de las arenas en la zona de los permios *Córdoba A-B* va variando desde arenas metamórficas para Arenas Basales a áreas fuentes de tipo carbonático para Arenas del Guadalquivir y Arenas de Ecija. Además, se produce un continuo retrabajamiento de estas arenas, fundamentalmente para las

Arenas del Guadarcázar que se nutren exclusivamente de los sedimentos propios de la cuenca («canibalismo»), de acuerdo con Portero y Alvaro (1984). La sucesión refleja una etapa inicial con aportes de primer ciclo a partir de rocas del basamento, y una etapa posterior donde las áreas fuentes son reemplazadas por áreas pertenecientes al orógeno de colisión, evolución clásica de sedimentación en cuencas de foreland (Schwab, 1986).

Por el contrario, para la zona del sondeo *Río Guadalquivir N-1*, la procedencia de las arenas evoluciona de forma inversa, desde aportes con predominio carbonatado a una clara influencia de litologías metamórficas de tipo granudo, lo que indica un progresivo cambio de aportes hacia un predominio de rocas procedentes del basamento por procesos de reactivación del mismo. Ambas zonas, por tanto, tienen una evolución composicional diferente, probablemente porque la parte de la cuenca donde se sitúa el sondeo *Río Guadalquivir N-1* pertenezca a una zona de borde de cuenca.

Variaciones espaciales de la composición de las arenas

Si nos limitamos a la zona de los permisos *Córdoba A-B*, según el diagrama NCE-CI-CE (fig. 10), la unidad Arenas Basales son fundamentalmente arenas siliciclásticas, presentando componentes carbonáticos en bajas proporciones. Arenas del Guadalquivir y Arenas de Ecija presentan mayor cantidad de componentes carbonáticos extracuencales (CE) (mayor en la segundas) que Arenas de Guadarcázar y arenas pliocenas; todas ellas tienen contenidos variables en componentes siliciclásticos (NCE) e intracústicos (CI). Esta característica apoya la hipótesis

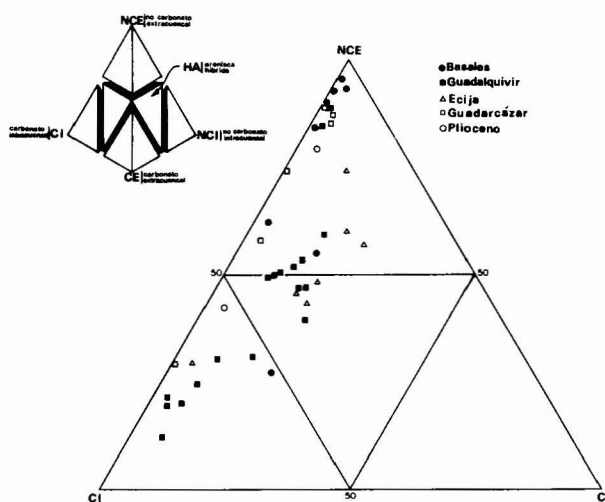


Fig. 10.—Composición modal de las unidades arenosas en la zona de los permisos de *Córdoba A-B*, representada en el diagrama de Zuffa (1980).

de una procedencia sedimentaria para la unidad Arenas del Guadalquivir y Arenas de Ecija. La unidad Arena de Guadarcázar y pliocenas presentan baja proporción en fragmentos carbonáticos extracuencales a causa del proceso de retrabajado que han sufrido en medio playero.

La unidad Arenas Basales se pueden dividir en dos grupos, unas con alto contenido en componentes siliciclásticos (sondeos *Córdoba A-3, A-6, B-1 y B-2*) (fig. 11 a) y otra con un claro componente lítico carbonático acompañado de un aumento de componentes intracuencales (sondeos *Córdoba A-1, A-4 y A-5*). Las primeras tienen una procedencia de materiales cristalinos (gneises y esquistos) situados al N de la

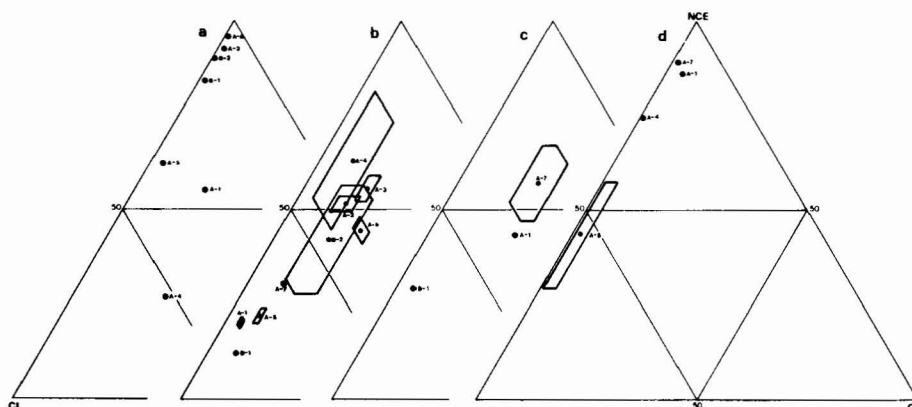


Fig. 11.—Variación espacial de la composición modal, representada en los diagramas de Zuffa (1980), de a) Arenas Basales; b) Arenas del Guadalquivir; c) Arenas de Ecija, y d) Arenas de Guadarcázar, en los diferentes sondeos de los permisos de *Córdoba A-B*.

cuenca y las segundas (al W) poseen una clara influencia de procedencias de litologías carbonáticas.

La unidad Arenas del Guadalquivir son arenas siliciclásticas e híbridas al N e intraclásticas al S (fig. 11 b). Existe, por lo tanto, una distalidad de N a S. Las arenas de la unidad Arenas del Guadalquivir son recicladas de las arenas sedimentadas anteriormente y aflorantes al N. El mar mioceno se retira progresivamente de la cuenca del Guadalquivir quedando al descubierto la unidad Arenas Basales que sirve de área fuente a la unidad Arenas del Guadalquivir. En el sondeo *Córdoba A-4* estas arenas poseen una alta madurez composicional atribuida a la alta removilización del sedimento en esta zona donde existe un alto central producido por el juego de fallas que afectan a esta zona. El retrabajamiento del sedimento produce un incremento en el grado de madurez textural y composicional.

En las arenas de la unidad Arenas de Ecija se observa una inversión de la dirección de los aportes, siendo éstos del S. En la zona N el aporte de componentes extracuencales (tanto siliciclásticos como carbonáticos) es sustituido por componentes intracuencales (bioclastos y carbonatos intracuencales). El origen de los fragmentos de roca carbonáticos en Arenas de Ecija en el sondeo *Córdoba A-7* estaría relacionado con las series carbonáticas de las zonas externas de las cordilleras Béticas (fig. 11 c).

Las arenas de la unidad Arenas de Guadarcázar presentan un aumento en la cantidad de intraclastos y bioclastos hacia el N de la zona mientras que hacia el S aumenta la cantidad de componentes siliciclásticos. Este hecho, junto con la baja cantidad de fragmentos de roca carbonática en Arenas de Guadarcázar (< 5 %), permite admitir que éstas son arenas recicladas de las formaciones arenosas infrayacentes (fig. 11 d). Además hay que añadir un proceso de removilización en medio litoral como ya indicamos. Durante la sedimentación de Arenas Basales y Arenas del Guadalquivir los aportes provienen del NE, y a partir de la sedimentación de Arenas de Ecija cambia este sentido de aportes provocado por el emplazamiento de mantos, siendo en este caso del S, manteniéndose hasta la sedimentación de la unidad Arenas de Guadarcázar.

Evolución de los aportes y etapas de relleno de la cuenca

Las etapas principales en la evolución de la zona de la cuenca del Guadalquivir que estudiamos junto con los principales procesos se han esquematizado en la figura 12 y en el cuadro I.

Sobre el basamento paleozoico se asienta la serie arenosa de la unidad Arenas Basales. Este depósito

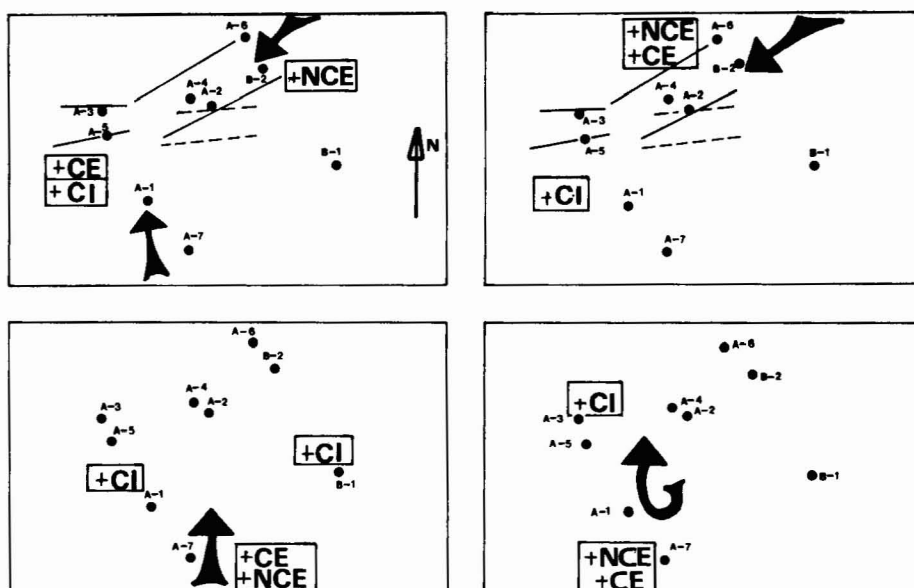
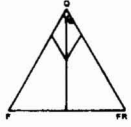
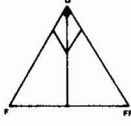
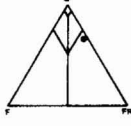
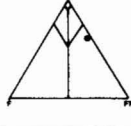
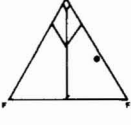


Fig. 12.—Esquema de la evolución de los aportes durante el Tortoniano superior-Plioceno para la zona de estudio. 1. Etapa de sedimentación de Arenas Basales; 2. Etapa de sedimentación de Arenas del Guadalquivir; 3. Etapa de sedimentación de Arenas de Ecija, y 4. Etapa de sedimentación de las Arenas de Guadarcázar. CI: carbonatos intracuencales; CE: carbonatos extracuencales, y NCE: componentes extracuencales no carbonáticos. Las líneas en las etapas 1 y 2 representan líneas de fallas que afectan al basamento y a la sedimentación durante esas etapas, produciendo un relieve positivo en la zona.

Tabla 1.—Síntesis de las etapas principales en el relleno de la cuenca del Guadalquivir durante la sedimentación neógena de la zona de estudio, destacando la composición de los depósitos arenosos, direcciones de aporte y procedencia (basado en datos propios, datos del Informe Interno CNWL y en Portero y Alvaro, 1984).

Arenas	Composición según Pettijohn et al. (1973)	Edad	Aportes	Procedencia	Eventos sin sediment.
Pliocenas		Plioceno	—	«Canibalismo» de las arenas anteriormente sedimentadas	Erosión de las formaciones arenosas sedimentadas anteriormente. Colmatación de la cuenca
Guadarcázar		Messiniense	SSW	«Canibalismo» y retrabajamiento de las arenas infrayacentes	Reducción de la cuenca y relleno de la misma
Ecija		Tortonense superior	SSW	Mesozoico carbonático bético	Desplazamientos de mantos desde las cordilleras Béticas al S. de la cuenca
Guadalquivir		Tortonense superior	NE	Sedimentos neógenos aflorantes al N. de la cuenca	Descenso del nivel del mar y reducción de la cuenca
Basales		Tortonense superior	NE	Rocas cristalinas del Macizo Hespérico	Fallado del basamento

presenta mayor potencia al N que al S de la zona de estudio, mientras que en la parte central se reduce la potencia debido a un relieve positivo producido por un juego de fallas. Estas arenas tienen una procedencia del NE, derivan del Macizo Hespérico paleozoico, y son arenas de primer ciclo con una composición cuarzo-feldespática según los criterios de Dickinson *et al.* (1983) (fig. 7). También hay que señalar, para las arenas de los sondeos situados al W, una componente de aportes béticos con mayor contenido en fragmentos de roca carbonáticos (fig. 12, etapa 1).

La unidad Arenas del Guadalquivir es de edad Tortonense Superior y se nutren de las rocas sedimentarias aflorantes al NE (Arenas Basales) (fig. 12, etapa 2).

El efecto del emplazamiento de mantos béticos hacia el NW da lugar a un cambio en el sentido de los aportes. Así, Arenas de Ecija de edad Tortonense superior tiene procedencia S y SSW y deriva de los mantos béticos emplazados en ese momento. Los da-

tos composicionales de las Arenas de Ecija revelan una elevada cantidad de fragmentos de roca carbonáticos con respecto al resto de las arenas y, por lo tanto, confirma la procedencia a partir de rocas sedimentarias de las zonas externas de las cordilleras Béticas (fundamentalmente Subbético) (fig. 12, etapa 3).

La unidad Arenas Basales y Arenas del Guadalquivir son barras en plataforma continental con influencia mareal mientras que la unidad Arenas de Ecija está originada en un medio de abanicos submarinos.

La unidad Arenas de Guadarcázar (Messiniense) se nutre de la erosión de las unidades sedimentarias que afloran en los bordes de la cuenca a causa de una progresiva reducción de la misma por su colmatación y la retirada del mar neógeno. Al igual que la unidad Arenas de Ecija, la unidad Arenas de Guadarcázar procede del S. Es una sedimentación arenosa, con arenas muy maduras composicional y tex-

turalmente producto de una continua removilización del sedimento en medio litoral, donde los granos de arena más inestables mecánicamente (feldespatos y fragmentos de roca carbonáticos y metamórficos) tienden a desaparecer (fig. 12, etapa 4).

La sedimentación pliocena es de colmatación de la cuenca. Estos sedimentos son discordantes con los materiales miocenos por erosión. A su vez están erosionados por la red fluvial actual, por lo que solamente se encuentran al NW de la cuenca.

Conclusiones

Del análisis petrográfico de las formaciones arenosas de la cuenca del Guadalquivir se obtiene que los componentes fundamentales que integran las arenas son cuarzo, fragmentos de roca carbonáticos (tanto intra como extraclastos), bioclastos, feldespatos, fragmentos de roca metamórfica y, en menor proporción, micas, chert, opacos (pirita), minerales pesados y fragmentos de roca pizarrosos.

En la zona de los permisos de *Córdoba A-B*, se aprecia un aumento progresivo de cuarzo en detrimento de la cantidad de fragmentos de roca y feldespatos desde las unidades basales a las unidades del techo de la serie. Existe, por tanto, un aumento de la madurez composicional hacia el techo. Las arenas de la unidad Arenas Basales poseen fragmentos de roca metamórficos mientras que, en Arenas del Guadalquivir y Arenas de Ecija son fundamentalmente carbonáticos, lo que indica que existe un cambio importante en cuanto a la litología del área fuente. En el primer caso proceden de rocas metamórficas (gneises y esquistos) del Paleozoico y, en el segundo proceden de litologías sedimentarias carbonáticas.

Las arenas de la unidad Arenas de Guadarcázar presentan un incremento brusco en el grado de madurez composicional con respecto a Arenas del Guadalquivir y Arenas de Ecija. Este hecho se ha atribuido al reciclado y a procesos de removilización de la arena en la cuenca de sedimentación en medio litoral o playero.

Las arenas de la unidad Arenas Basales son arenas de primer ciclo, mientras que en Arenas del Guadalquivir, Arenas de Ecija y Arenas de Guadarcázar las arenas son recicladas, según criterios de Dickinson *et al.* (1983a) y de Blatt (1976).

Las arenas de la zona donde se sitúa el sondeo *Río Guadalquivir N-1* tienen una evolución composicional diferente a las arenas de la zona de los permisos de *Córdoba A-B*. De las arenas de la unidad Arenas del Guadalquivir y Arenas de Ecija a las arenas de la unidad Arenas de Guadarcázar existe un aumento progresivo de cuarzo y feldespato con respecto a los fragmentos de roca fundamentalmente carbonáticos.

Esta variación indica un aumento hacia techo de aportes de litologías metamórficas granudas (Palomares, 1988, y Tortosa *et al.*, 1989) y una disminución de los aportes de tipo carbonático.

Si analizamos las variaciones espaciales, las Arenas Basales tienen alto contenido en cuarzo y feldespatos al E y centro de la cuenca mientras que al W tienen un claro componente lítico. Las primeras proceden de rocas metamórficas (gneises, esquistos) situados al N de la cuenca y las segundas (al W) tienen aportes de litologías carbonáticas. Se puede decir que los aportes en este momento en la cuenca son del NE.

Las arenas de la unidad Arenas del Guadalquivir son siliciclásticas al N e intraclásticas al S, por lo que puede deducirse que los aportes provienen del N. Son arenas producto de reciclado de las arenas sedimentadas anteriormente en la cuenca y aflorantes al N en ese momento por reducción de la misma.

La unidad Arenas de Ecija, al contrario de Arenas del Guadalquivir, provienen del S. Su alto contenido en fragmentos de roca carbonático nos lleva a pensar que proceden de los mantos emplazados al S de la cuenca durante la sedimentación miocena.

Por último, Arenas de Guadarcázar son arenas recicladas de las formaciones arenosas infrayacentes por movilización del sustrato y de las arenas aflorantes al sur por removilización progresiva de la cuenca. Así, Arenas Basales y Arenas del Guadalquivir provienen del NE mientras que las Arenas de Ecija y Arenas de Guadarcázar provienen del S. Por tanto, existe un cambio en el sentido de los aportes, propio de las cuencas foreland (Schwab, 1986). Las arenas pliocenas probablemente tengan un origen similar al de las arenas de la unidad Arenas de Guadarcázar, si bien el proceso de retrabajamiento es menor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a CNWL OIL ESPAÑA, y en particular a Fernando Meléndez, por las sugerencias y facilidades en la realización de este trabajo; el cual ha sido posible gracias a una beca concedida por la Dirección General de la Energía, del Ministerio de Industria y Energía.

Referencias

- Blatt, H. (1967). Provenance determinations and recycling of sediments. *J. Sed. Petrology*, 37, 1031-1044.
- Borrego, J. y Pendón, G. (1988). Progradación deltaica tortoniense en el sector de Villanueva del Río y Minas (provincia de Sevilla). *II Congreso Geológico de España, Granada*, comunicaciones 1, 47-50.
- Dickinson, W. R.; Beard, L. S.; Brakenridge, G. R.; Erjavec, J. L.; Ferguson, R. C.; Inman, K. F.; Knepp, R. A.; Linaberg, F. A., y Ryberg, P. T. (1983a). Pro-

- venance of North American phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 94, 222-235.
- Dickinson, W. R. y Suczek, C. A. (1979). Plate tectonics and sandstone compositions. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 63, 2164-2182.
- IGME (1975). Mapa geológico a escala 1:50.000, n.º 942, Palma del Río.
- Mack, G. H. (1978). The survivability of labile light-mineral grains in fluvial, eolian and littoral marine environments: The Permian Cuttle and Cedar Mesa Formations, Moab, Utah. *Sedimentology*, 25, 587-604.
- Mack, G. H. (1981). Composition of modern stream sand in a humid climate derived from a low-grade metamorphic and sedimentary foreland fold-thrust belt of North Georgia. *J. Sed. Petrology*, 51, 1247-1258.
- Mack, G. H. (1983). Exceptions to the relationship between plate tectonics and sandstone composition. *J. Sed. Petrology*, 54, 212-220.
- Martínez del Olmo, W.; García Mayo, J.; Leret, G.; Serrano, A., y Suárez, J. (1984). Modelo tectosedimentario del bajo Guadalquivir. *I Congreso Español de Geología, Segovia*, Tomo I, 199-213.
- Megías, A. G.; Leret, G.; Martínez del Olmo, W., y Soler, R. (1983). La sedimentación neógena en las Béticas: Análisis tectosedimentario. *Mediterránea Ser. Geo.*, 1, 83-103.
- Odin, G. S. (1985). Significance of green particles (glaucony, berthierine, chlorite) in arenites. En: *Provenance of Arenites* (G. G. Zuffa, ed.), D. Riedel Publishing Company NATO-ASI C-148, 279-308.
- Palomares, M. (1988). *Análisis de las arenas actuales derivadas de rocas metamórficas del Sistema Central: Aplicación a los estudios de procedencia*. Tesis de licenciatura, UCM, 191 págs.
- Perconig, E. (1964). La tectónica del Mioceno de la cuenca del Guadalquivir (España meridional). *Cursillos y conferencias. Instituto Lucas Mallada*, 9, 271-273.
- Pettijohn, F. J.; Potter, P. E., y Siever, R. (1973). *Sand and sandstones*. Springer-Verlag, Nueva York, 618 págs.
- Portero, J. M. y Alvaro, M. (1984). La depresión del Guadalquivir, cuenca de antepaís durante el Neógeno: Génesis, evolución y relleno final. *I Congreso Español de Geología, Segovia*, 3, 241-252.
- Tortosa, A.; Palomares, M., y Arribas, J. (1989). Caracterización composicional de los depósitos arenosos actuales generados en el Sistema Central. *Estudios Geol.*, 45, 205-213.
- Schwab, F. L. (1986). Sedimentary «signatures» of foreland basin assemblages: real or counterfeit? *Spec. Pubs. Int. Ass. Sediment.*, 8, 395-410.
- Vera, J. A. (1983). Las zonas externas de las Cordilleras Béticas. En: *Geología de España* (J. A. Comba, ed.), Libro Jubilar J. M. Ríos, 2, 218-251.
- Young, S. W. (1976). Petrographic textures of detrital polycrystalline quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks. *J. Sed. Petrology*, 46, 595-603.
- Zuffa, G. G. (1980). Hybrid arenites: their compositions and classifications. *J. Sed. Petrology*, 50, 21-29.

Recibido el 30 de abril de 1990
Aceptado el 30 de diciembre de 1990