

# PETROGRAFÍA DE LOS DEPOSITOS ARENOSOS FLUVIALES Y COSTEROS EN LA PENÍNSULA DE TÁNGER: IMPLICACIONES SOBRE LA DINÁMICA FLUVIAL Y LITORAL

Laila Fillali<sup>1</sup>, Guillermina Garzón<sup>1</sup> y José Arribas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid. fillalibouali\_laila@hotmail.com, minigar@geo.ucm.es

<sup>2</sup> Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. arribas@geo.ucm.es

**Resumen:** El estudio petrográfico de los depósitos fluviales y litorales de la vertiente atlántica de la Península de Tánger ha permitido el análisis de las relaciones entre la dinámica fluvial y litoral dentro del marco geodinámico de la cordillera del Rif y su posterior comparación con su homólogo bético. Las cuencas fluviales se alinean con las direcciones estructurales de la cordillera y van haciéndose más extensas hacia el Sur, a medida que se expande el arco rifeño. Las características cuarzolíticas de las arenas fluviales reflejan su origen en los mantos numídicos y en las zonas internas rifeñas y alcanzan progresivamente una mayor madurez a lo largo de su recorrido. En su desembocadura, se produce un enriquecimiento en carbonatos al cortar los ríos las plataformas lumaquéllicas costeras. Las arenas playeras, en contraste, presentan gran homogeneidad y madurez mineralógica, debido a la alta dinámica litoral atlántica. Estos datos demuestran una gran similitud de petrofacies con las arenas fluviales y litorales de la cordillera Bética, aunque difiere la mayor abundancia de feldespatos en las arenas béticas, que drenan directamente rocas cristalinas y metamórficas. Las arenas costeras atlánticas son muy similares en ambas cordilleras, frente a la escasa madurez mineralógica que presenta la costa bética mediterránea por su menor dinámica litoral.

**Palabras clave:** Arenas actuales, depósitos costeros, dinámica fluvial, petrofacies, Marruecos.

**Abstract:** The present paper deals with the petrological study of fluvial and littoral deposits of the Tangier Peninsula Atlantic catchments (Morocco). It allowed us to establish relationships between littoral and fluvial dynamic in the Rif Cordillera geological frame and, further on, to compare it with equivalent sediments on the Betic Cordillera (Iberian Peninsula). Fluvial basins are elongated following the range main thrust structures, and enlarge towards the South, according to the Rif arch expansion. Fluvial sands are quartzolitic, with a maturity increase downstream, showing its origin in the Rif Internal Domain and Numidic flysch. Carbonate enrichment occurs on river mouths, as rivers incise on the Pleistocene lumaquelic platforms. Beach sands mineralogy, on the other hand, is homogeneous and mature, due to the strong Atlantic Ocean dynamic. This petrofacies is similar to the Betic fluvial and littoral sands ones, even though the Iberian sands are rich in feldspars as result of their granitic and metamorphic rocks provenance. Atlantic coastal sands are rather similar on both sides of the Gibraltar strait, by opposite to the poor mineralogical maturity of Betic Mediterranean sands related to a weak coastal dynamic.

**Key words:** Actual sands, coastal sands, fluvial dynamic, petrofacies, Morocco.

Fillali, L., Garzón, G. y Arribas, J. (2005). Petrografía de los depósitos arenosos fluviales y costeros en la península de Tánger: implicaciones sobre la dinámica fluvial y litoral. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 18 (3-4): 195-205

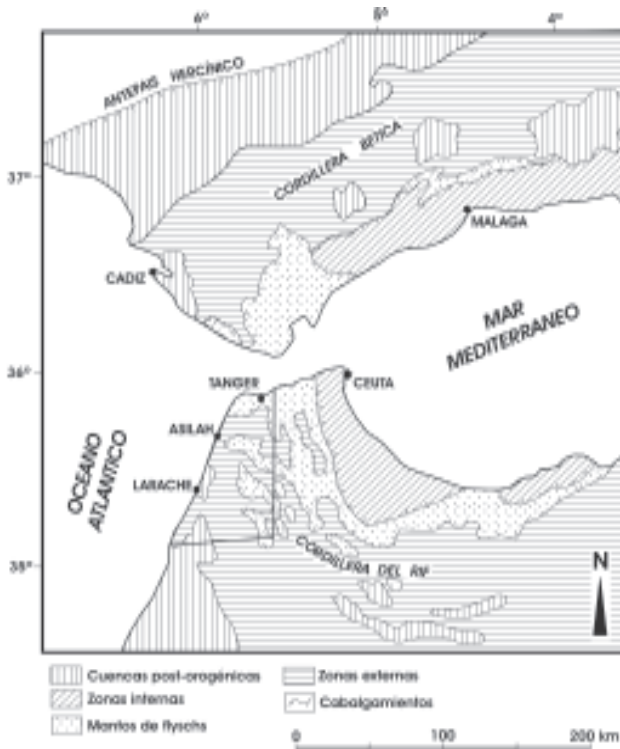
La cordillera del Rif representa una cadena de plegamiento colisional producida por el choque entre las placas africana y euroasiática. La zona de estudio se encuentra situada en las estribaciones occidentales de dicha cordillera, en su arqueamiento norteado hacia el estrecho de Gibraltar (Península de Tánger) (Fig. 1).

El objetivo principal de este trabajo es analizar la interacción entre la dinámica fluvial y la costera y su posible repercusión sobre la fragilidad de los espacios naturales costeros. Para ello, es necesario establecer las relaciones entre los sedimentos de las playas, los aportes de los ríos y el marco geodinámico de la

cordillera del Rif en la que éstos depósitos han evolucionado.

Los estudios petrográficos de los depósitos arenosos actuales han puesto de manifiesto su gran utilidad en el análisis de la dinámica fluvial (i.e., Tortosa *et al.*, 1997; Arribas *et al.*, 2000; Le Pera *et al.*, 2001) y litoral (i.e., Picard y McBride, 1993; Kairo *et al.*, 1993), así como las relaciones entre ambas en ámbitos geodinámicos y geotectónicos concretos (i.e., Le Pera y Critelli, 1997; Critelli *et al.*, 2003).

Por todo ello, nos planteamos abordar el análisis de la dinámica fluvial y litoral en la vertiente atlántica de



**Figura 1.-** Situación de la zona de estudio en el contexto de las cordilleras del Rif y Bética.

la Península de Tánger a la luz de los datos petrográficos de sus sedimentos arenosos. Dicho análisis permitirá además el contraste con los realizados previamente en la cordillera Bética (Critelli *et al.*, 2003), homóloga rifeña en la península Ibérica, y con las petrofacies arenosas de otros sistemas orogénicos colisionales del Mediterráneo centro-occidental.

### Marco litológico y morfoestructural

La cadena rifeña se originó a partir de dos grandes surcos subsidentes, de dirección paralela a las actuales estructuras (Fig. 2). En el surco meridional (Dominio Externo) se acumuló una secuencia detrítica del orden de 4000 m de potencia de margas, arcillas y arenas, junto con algunos niveles carbonatados. En el surco septentrional (Dominio Interno) se generaron durante el Oligoceno cerca de 5000 m de potencia de depósitos turbidíticos, donde actualmente se desarrolla la fosa del estrecho de Gibraltar-Alborán. Durante el Tortonense Inferior las series turbidíticas del Dominio Interno se desplazaron hacia el SO emplazándose sobre el Dominio Externo mediante extensos cabalgamientos que dieron lugar a varios mantos (Numídico, de Beni Ider y de Mellousa). El Dominio Externo sobre el que descansan estos mantos está constituido por margas grises senonienses que configuran la unidad paraautóctona de Tánger. El manto Numídico es el más extenso y mejor representado en el área de estudio. Litológicamente consiste en potentes bancos de cuarzoarenitas

oligocenas con cemento ferruginoso e intercalaciones de carbonatos.

### Unidades geomorfológicas y evolución de la zona

La morfología actual de la zona puede considerarse definida a partir del Tortonense Inferior El Gharbaoui (1978). El relieve se erosionó rápidamente, depositándose las unidades pliocenas sobre una superficie de abrasión de carácter regional que corresponde a una orla de piedemonte suave hacia el mar. Hacia el Sur, la transgresión pliocena llegó hasta la ciudad de Ksar el Kebir. Entre el Plioceno final y el Cuaternario antiguo, la zona fue sometida a un régimen comprensivo de dirección de esfuerzos NE-SW al E-W, y que es responsable de la formación de los pliegues en las formaciones Villafranquienses. El Cuaternario se caracteriza por la reactivación de fallas (Pierre *et al.*, 1974) y en el litoral Atlántico se presentan varios niveles cuaternarios encajados y deformados. En esta zona subsidente, los niveles más recientes están hundidos, encontrándose casi al nivel del mar actual (El Gharbaoui, 1977).

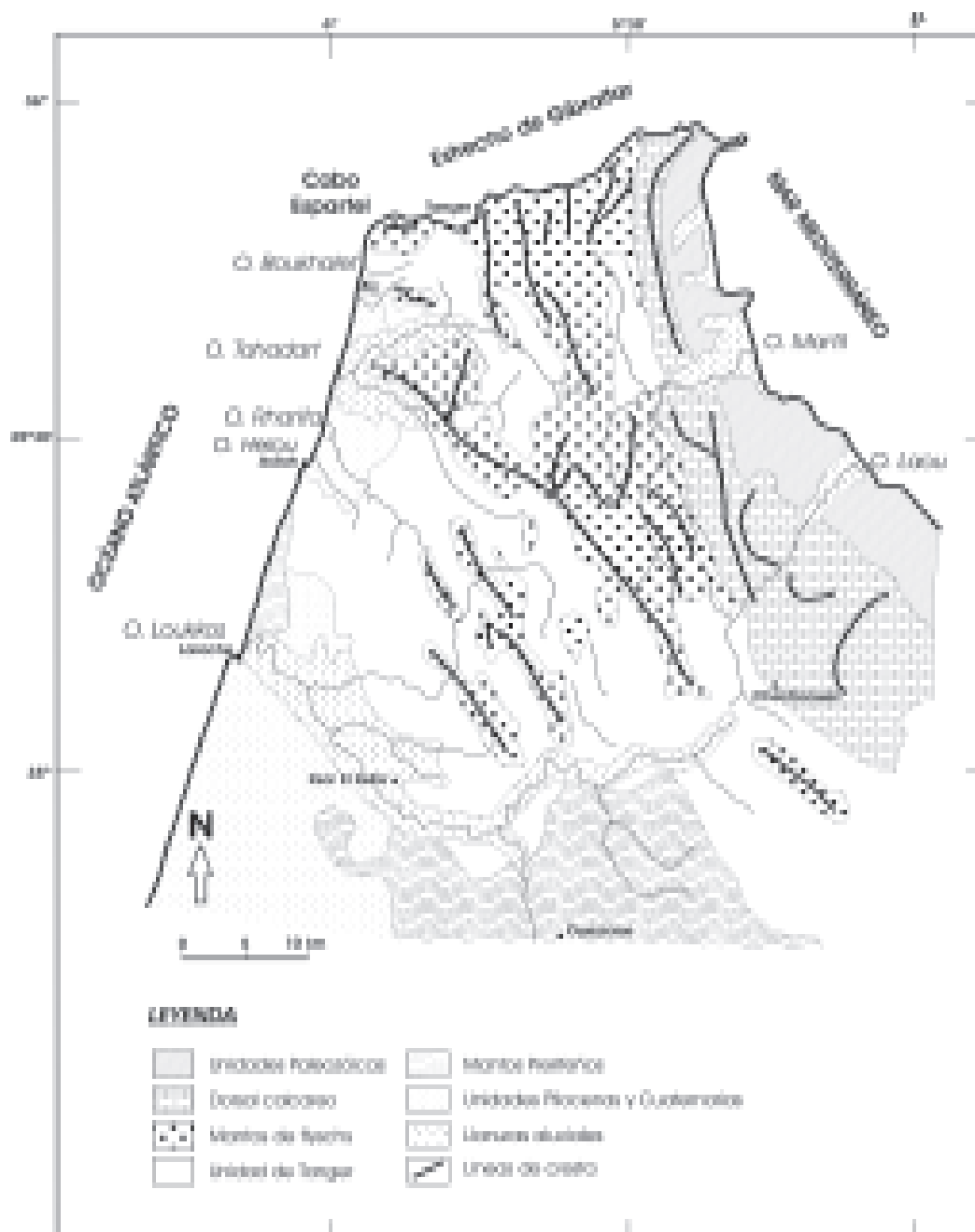
La figura 3 representa una síntesis de las principales unidades geomorfológicas establecidos por la cartografía de El Gharbaoui (1978). La península de Tánger está dominada por las altas crestas numídicas que corresponden a klippe cabalgantes de areniscas, estratificadas en bancos de varios centenares de metros de espesor separados por argilitas. En el interior y desagüando hacia su vertiente Atlántica, existen grandes depresiones, mas o menos cerradas, definidas por la erosión diferencial sobre las margas y esquistos poco resistentes de la unidad de Tánger.

Los depósitos pliocenos consisten en arenas grisáceas poco consolidadas con intercalaciones calcáreas y niveles de péctenes y ostreidos, así como una unidad muy característica de areniscas lumaquélicas. Estas areniscas definen unas plataformas costeras, con acantilados verticalizados, desarrolladas inmediatamente al sur de Cabo Espartel. Estas formaciones se encuentran también al sur de Larache conectadas con las formaciones Villafranquienses.

El Villafranquiense se presenta sobre el Plioceno en una formación de arenas rojas silíceas, generalmente arenosas y a veces con cantos, y definen plataformas que en ocasiones aparecen formando costras cementadas por óxidos de hierro.

Los ríos Atlánticos tienen extensos tramos formados por llanuras de inundación, frecuentemente cenagosas. Los estuarios se desarrollan sobre las margas pliocenas, formando extensas planicies muy inundables dada su dificultad de drenaje hacia el mar por los fuertes temporales invernales de poniente. Las terrazas fluviales no tienen gran desarrollo y al llegar a la proximidad de las grandes llanuras se reducen rápidamente, convergiendo.

Las playas arenosas dominan a lo largo de la costa, exceptuando la zona norte, con una zona intermareal



**Figura 2.-** Principales unidades morfoestructurales de la Peninsula de Tanger y posición de los ríos (Oueds) estudiados (basado en André y El Gharbaoui, 1973).

muy amplia. Están constituidas por arenas de grano fino a medio de gran homogeneidad, aunque localmente aparecen acumulaciones de gravas en la zona supramareal, que se atribuyen a una edad Flandriense.

Estas playas están limitadas hacia el continente por un cordón litoral muy desarrollado, que aumenta en importancia del norte al sur, correspondiendo con las zonas donde hay playas arenosas actuales. Esta formación eólica varía entre 2-4 m de altura y está alimentada por las arenas de las playas transportadas por los vientos que vienen esencialmente del sector NO al SE.

Existen unas formaciones de cordones dunares antiguos, consolidados, que están bien desarrollados a

ambos lados de la desembocadura de río Loukkos. Se consideran Pleistoceno Superior y podrían correlacionarse con los niveles de paleoplayas que afloran junto a las areniscas lumaquéllicas del valle del río Tahadart.

### Morfología y trazado de las cuencas fluviales

Los valles fluviales se orientan a favor de las unidades más blandas, según la dirección SE-NO de las principales estructuras cabalgantes. A su vez la dirección complementaria de fracturación SO-NE controla las gargantas que cortan transversalmente las anteriores estructuras dominantes.

La morfología de la vertiente Atlántica está definida fundamentalmente por la presencia de las areniscas numídicas, que se superponen y quedan colgadas definiendo los relieves sobre las margas de la unidad de Tánger, que constituyen las zonas deprimidas, formando depresiones o valles fluviales. En estas areniscas numídicas se desarrolla la divisoria de agua entre las vertientes atlántica y mediterránea, pero los grandes cursos de agua se configuran a partir de un rosario de depresiones interiores desarrolladas en las margas, y elongadas también a favor de la cordillera.

El curso más importante de la zona es el río Loukkos (Fig. 4) junto con su afluente el Makhazene que se une a él poco antes de su desembocadura en Larache. Hacia el norte hay otros sistemas fluviales importantes, los Oueds Rharifa- Bouknafet y Tahadart, que confluye con otra gran arteria, el Oued El Hachef cerca de su desembocadura.

La importancia de los ríos aumenta de norte a sur de la Península en donde la red hidrográfica está muy jerarquizada y los ríos tienen un entramado muy denso. Esto concuerda con la adaptación de las cuencas a la configuración de la Cordillera, que permite el desarrollo de cuencas más elongadas a medida que se abre el arco rifeño hacia el sur. La cuenca más meridional de las estudiadas, la del Loukkos, es la más extensa con aproximadamente 180 km de longitud y una superficie total de 3750 km<sup>2</sup>. En su tramo de cabecera (40 km aproximadamente) tiene características torrenciales. A partir de ahí, el río discurre por un paisaje ondulado trazando numerosos meandros hasta su tramo bajo, donde también su trazado es muy sinuoso sobre una amplia llanura aluvial.

Los ríos de la península de Tánger tienen un régimen torrencial, por lo que los caudales instantáneos son grandes, respecto al caudal medio anual. Por ejemplo un río bien jerarquizado como el Loukkos presenta un caudal máximo instantáneo de 1680 m<sup>3</sup>/s, sobre un flujo medio anual de 34.1 m<sup>3</sup>/s medido en su tramo bajo (estación de aforo de Tfer) en el año hidrológico 1970-1971 (El Gharbaoui, 1977). Estas avenidas son frecuentes en invierno (enero, febrero) y primavera (marzo y abril).

### Métodos petrográficos y descripción de componentes arenosos

Se han muestreado los principales cursos fluviales (Fig. 4), aunque los tramos bajos de los ríos presentan dificultades para el estudio de las petrofacies arenosas dado su elevado contenido en material arcilloso, por su carácter marismoso. Se han recogido un total de 13 muestras fluviales. Asimismo se han tomado 20 muestras en las playas relacionadas con la desembocadura de estos ríos. El análisis de las arenas se ha realizado mediante un conteo de un mínimo de 300 granos sobre la fracción 0.5 – 0.25 mm en el microscopio petrográfico, empleándose el método de

Gazzi-Dickinson (Ingrensoil *et al.*, 1984). En la **tabla I** se recogen los datos del análisis petrográfico. Los componentes principales han sido reagrupados en las clases petrográficas que a continuación se describen:

a) Cuarzo (Q): El cuarzo es el mineral dominante. Está presente con gran variedad de tipologías con índices de redondez muy variables. El tipo dominante es el cuarzo monocristalino con extinción recta (Qmr) (Tabla I). En ocasiones se observa la presencia de metacuarcitas. Son muy frecuentes los cementos sintaxiales heredados, proporcionando a los clastos cierto idiomorfismo (Fig. 5A). La presencia de estos cementos indica un origen reciclado a partir de series sedimentarias. Los granos de cuarzo constituyendo fragmentos de roca, y en especial de areniscas, son también muy importantes (Fig. 5B).

b) Feldespatos (F): son muy escasos. Tanto el feldespato potásico (K) como las plagioclasas (P) no llegan a superar el 1% del total del esqueleto (Tabla I).

c) Fragmentos de roca afánítica (L): Se incluyen en esta clase una amplia variedad de fragmentos de roca lábiles como el chert (Ch) que forma granos homogéneos y ocasionalmente orientados; los fragmentos de pizarras metamórficas (Lm) (Fig. 5C), y los fragmentos de pizarras metasedimentarias (Ls). La diferencia entre Lm y Ls se ha establecido por el grado de orientación que presentaban sus componentes cristalinas. Los fragmentos de roca afánítica aparecen con mayor abundancia en las arenas fluviales.

d) Extraclastos carbonáticos (CE): Se han observado clastos calcáreos y dolomíticos (Fig 5D). Los clastos calcáreos son muy frecuentes, presentando texturas esparíticas (SI) y micríticas (MI), siendo su presencia más importante en las muestras litorales. Además, se incluyen en esta clase los cristales de calcita que constituyen el cemento de fragmentos de areniscas (Ccs), así como restos de fósiles calcáreos reciclados de formaciones sedimentarias previas (F). Los granos dolomíticos son frecuentes en las muestras fluviales siendo fundamentalmente esparíticos (Sd) de dolomita ferrosa.

e) Otros extraclastos: Las micas (biotita y moscovita) están presentes en las arenas pero en porcentajes muy minoritarios. Su frecuencia en arenas fluviales es mayor que en las litorales, pero siempre en porcentajes <1%. También se han identificado minerales densos (turmalina, circón y rutilo). La presencia sistemática de estos minerales, aún en porcentajes muy bajos (<0.5%), sugiere un elevado grado de madurez de los depósitos arenosos con altos valores en el índice ZTR.

f) Intraclastos carbonáticos (CI): Todos ellos son de naturaleza carbonática, y corresponden a bioclastos, fundamentalmente de moluscos, foraminíferos,

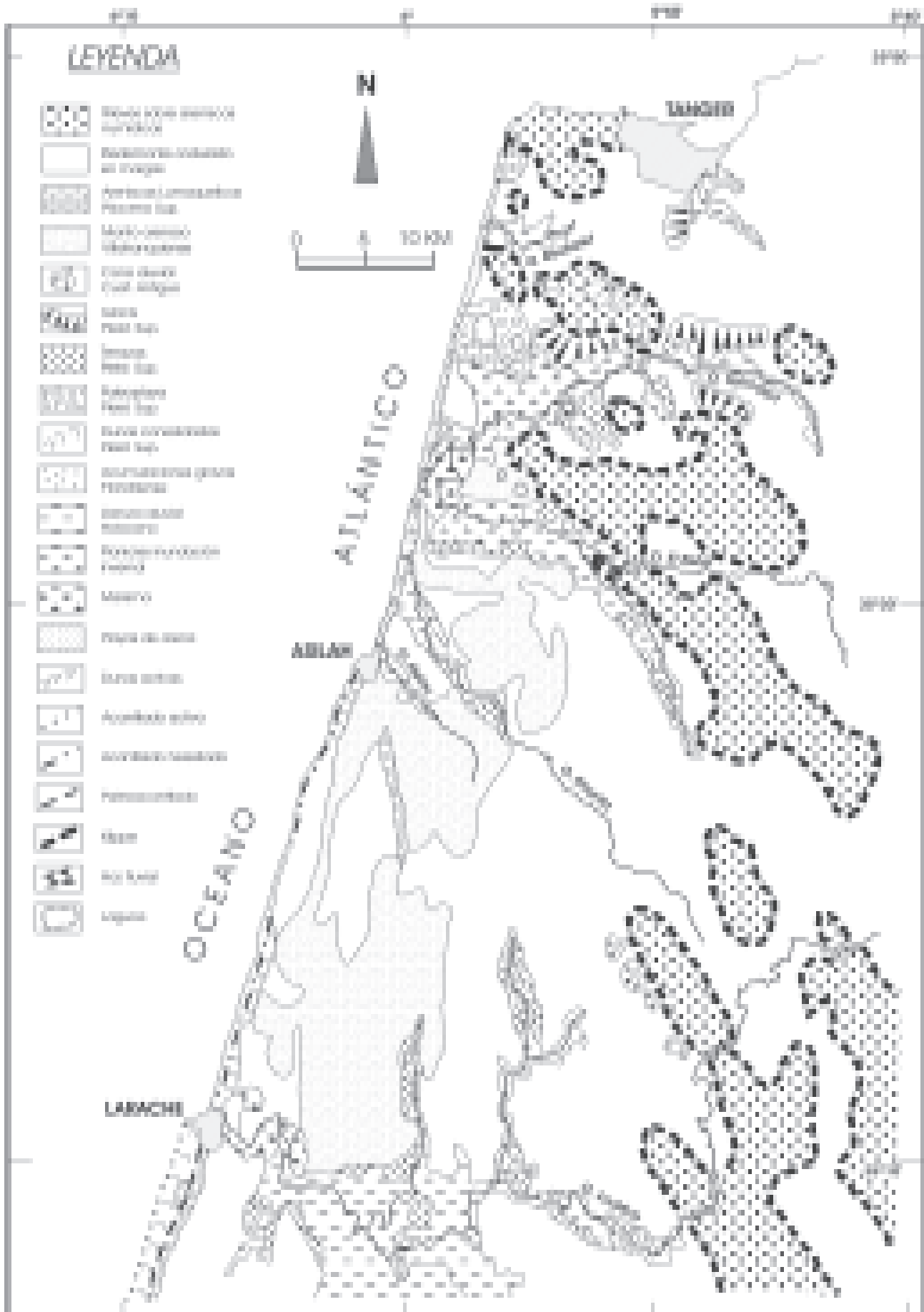
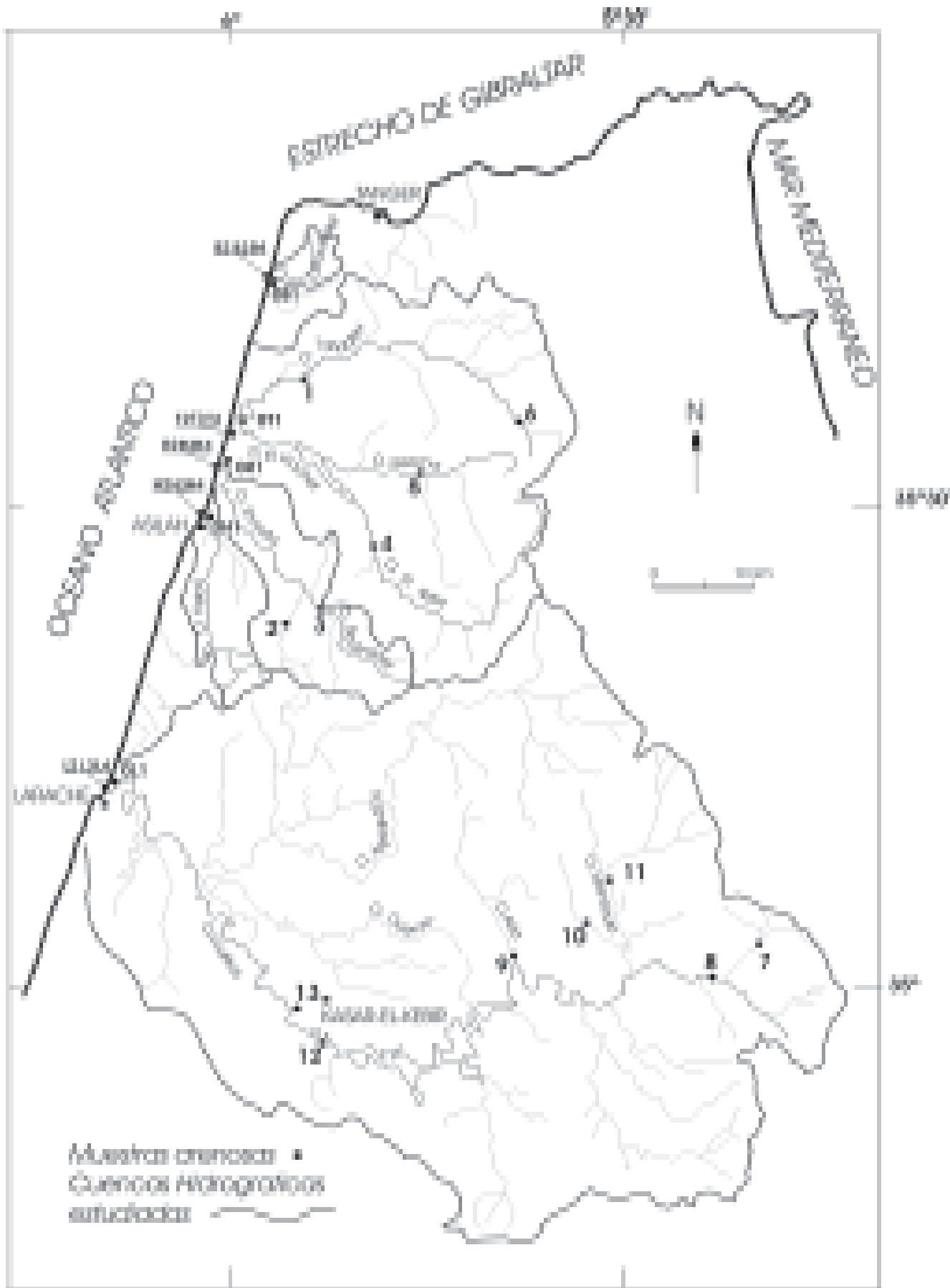


Figura 3.- Esquema geomorfológico de la vertiente Atlántica de la Península de Tángier (adaptado a partir de El Gharbaoui, 1978).



**Figura 4.-** Cuencas hidrográficas estudiadas junto con la situación de las muestras fluviales y litorales.

equinodermos, briozoos y algas rojas. Están presentes con un gran porcentaje en las muestras litorales y de desembocadura.

**Composición modal de las arenas**

Las arenas fluviales muestran un gran porcentaje de extraclastos que llega hasta 92.3%. La presencia de los clastos carbonáticos, también es importante (un máximo de 45.8%). Este porcentaje aumenta más en las muestras fluviales de desembocadura por la influencia marina y llega hasta el 53.9%. Sin embargo, las muestras litorales presentan una composición homogénea y son más ricas en clastos carbonáticos, a causa de la presencia de bioclastos. Así pues, las arenas litorales pueden considerarse como extracuencales siliciclasticas (Di Giulio y Valloni, 1992).

Analizando la fracción extracuenal, tanto las arenas litorales como las fluviales son litoareníticas, con un contenido escaso en feldespato y muy variable en fragmentos de roca, (Fig. 6A). La composición media es Q<sub>36.2</sub>F<sub>0.2</sub>R<sub>63.6</sub> para las muestras fluviales y Q<sub>63.8</sub>F<sub>0.5</sub>R<sub>35.7</sub> para las muestras litorales.

Las muestras fluviales presentan valores muy dispersos, oscilando entre 17% y 93.7% en fragmento de roca (R en Fig. 6A), al contrario que las muestras litorales (Fig. 6A) que son más homogéneas y donde y la

relación Q/R es más estrecha que en los depósitos fluviales.

Los tipos de fragmentos de roca son variados, como lo son las rocas que constituyen las áreas fuentes de la cordillera Rifeña (sedimentarias siliciclasticas, sedimentarias carbonáticas y metamórficas). Los fragmentos de roca dominante en las arenas litorales son los fragmentos de roca sedimentaria carbonática con una media de 60,5% de toda la fracción lítica frente al 38% de fragmentos de roca sedimentaria siliciclastica. Los fragmentos de roca metamórfica en las muestras litorales son muy escasos (1,3%).

Las muestras fluviales presentan una composición lítica muy heterogénea (Fig. 6B), en donde los fragmentos de roca metamórfica tienen un gran protagonismo.

La diferencia en cuanto a la composición de la población lítica entre las arenas litorales y fluviales, puede explicarse por la intensa acción de la dinámica litoral, agudizando los efectos de la abrasión mecánica en las arenas costeras.

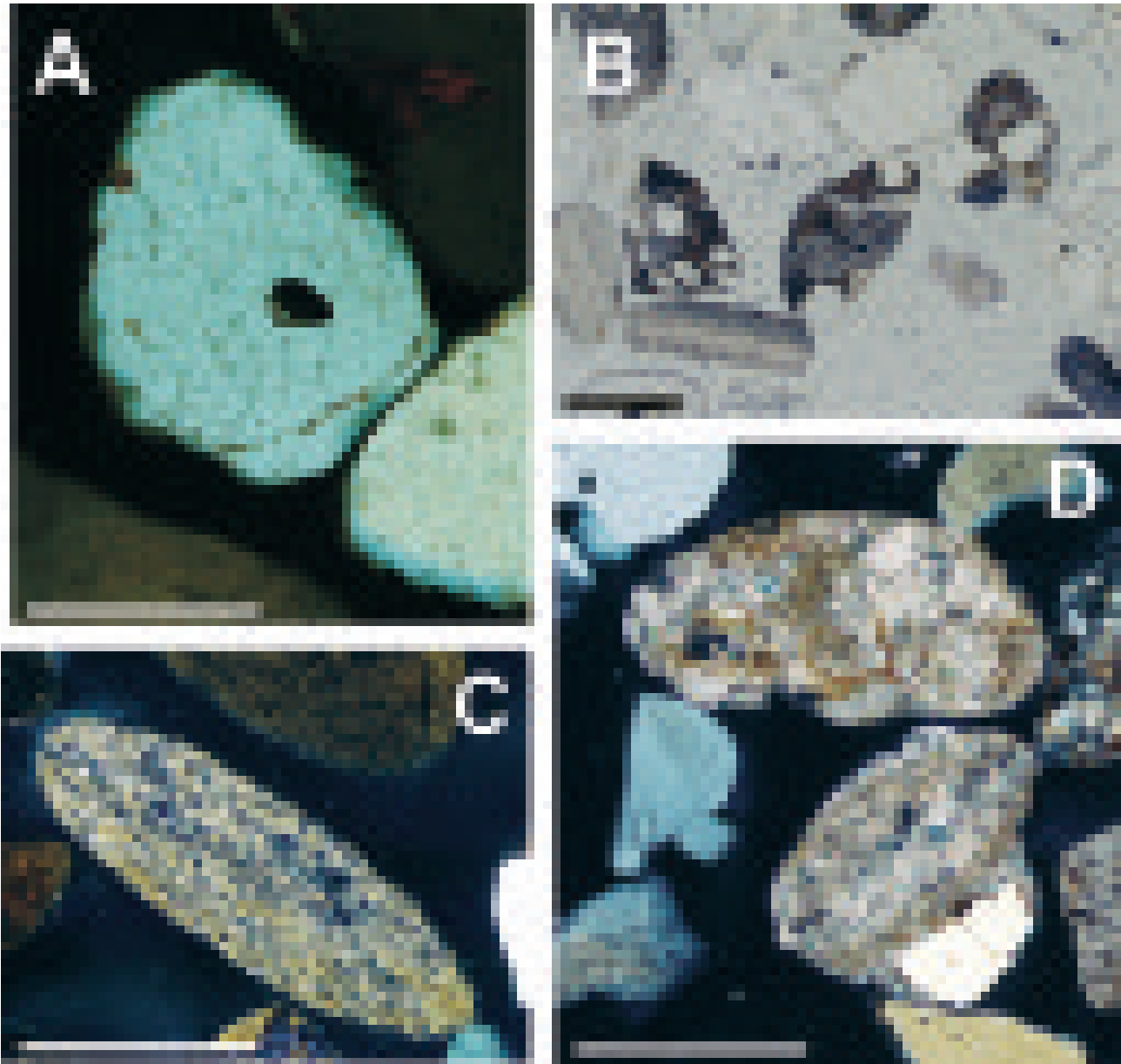
**Modas arenosas fluviales y cuencas de drenaje**

El análisis de la composición de las arenas de las cuencas de los ríos principales (Loukkos, Rharifa y Tahadart) a lo largo de sus cursos fluviales, permite

MUESTRAS	FRAGMENTOS DE ROCA	TANAGER					TAMADART					RHRIFA						
		FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR		
Q	Quartz	104	106	101	100	100	108	112	100	100	104	101	100	100	104	100	100	100
F	Feldspato	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
R	Rocas	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
TOTAL		107	104	100	97	100	106	114	100	100	104	101	100	104	100	100	100	100
FR		48.5	54.8	57.0	58.8	57.0	58.5	58.8	58.0	58.7	58.7	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0	58.0
R		18.6	14.4	14.0	14.5	14.0	14.1	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
FR		37	34	34	34	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
R		10.4	10.6	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
FR		10.4	10.6	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

FR: fragmentos de roca, R: rocas, F: feldspato

Tabla I.- Base de datos petrográficos de las arenas fluviales y litorales de la Península de Tánger.



**Figura 5.-** Componentes detríticos más relevantes de las arenas fluviales y litorales de la Península de Tanger. **A)** Grano de cuarzo monocristalino con cemento syntaxial heredado. Nícoles cruzados. **B)** Fragmentos de rocas sedimentarias (areniscas) y bioclastos. Nícoles paralelos. **C)** Fragmento de roca metamórfica. Nícoles cruzados. **D)** Fragmentos de rocas sedimentarias carbonáticas con texturas esparíticas y terrígenos. Nícoles cruzados. En todas las fotografías la escala corresponde a 0.25mm.

observar la existencia de pautas equivalentes en cuanto a la evolución de la composición de los depósitos arenosos transportados.

Reagrupando las muestras de cabecera, tramo medio y desembocadura de las tres cuencas (C, M y D respectivamente en Fig. 7A y B), se observa que la evolución de la composición de las arenas varía desde valores muy ricos en líticos en la cabecera con porcentaje en R que superan el 70% (QFR %R, Fig. 7A), hasta valores del orden de 60% en su curso medio. Los aportes locales más ricos en cuarzo, relacionados con la erosión de las zonas más externas del arco rifeño (manto numídico) que está construido por sucesivas formaciones de cuarzoarenitas, son los causantes de la pérdida progresiva de fragmentos de roca provenientes de las zonas internas de la cadena.

Asimismo las arenas estuarinas de desembocadura están expuestas a la contaminación de los aportes de la deriva litoral, mucho más ricos en cuarzo. Analizando la evolución de las tipologías de los fragmentos de roca, se aprecia una pérdida considerable en el contenido de fragmentos de roca metamórfica (Rm) desde las cabeceras a los tramos medios, persistiendo los fragmentos de roca sedimentaria (Rsc y Rss) (Fig. 7B). Aguas abajo (curso medio a desembocadura) el contenido en fragmentos de roca carbonática aumenta en detrimento de los fragmentos sedimentarias siliciclásticas (Rss). Este cambio se asocia a la erosión de las formaciones pliocenas calcareníticas. Al mismo tiempo, en las desembocaduras se manifiesta un incremento de componentes de



intraclastos resaltando la fuerte influencia mareal estuarina sobre los canales fluviales.

En la cuenca del Rharifa, cabe destacar el dominio de los fragmentos de roca carbonáticos (Rsc) en toda la cuenca (60-70% del total de R), en comparación con la cuenca de Loukkos (20-40%). Esto es debido al tamaño más reducido de la cuenca del Rharifa, que se nutre principalmente de los depósitos calcareníticos Pliocenos.

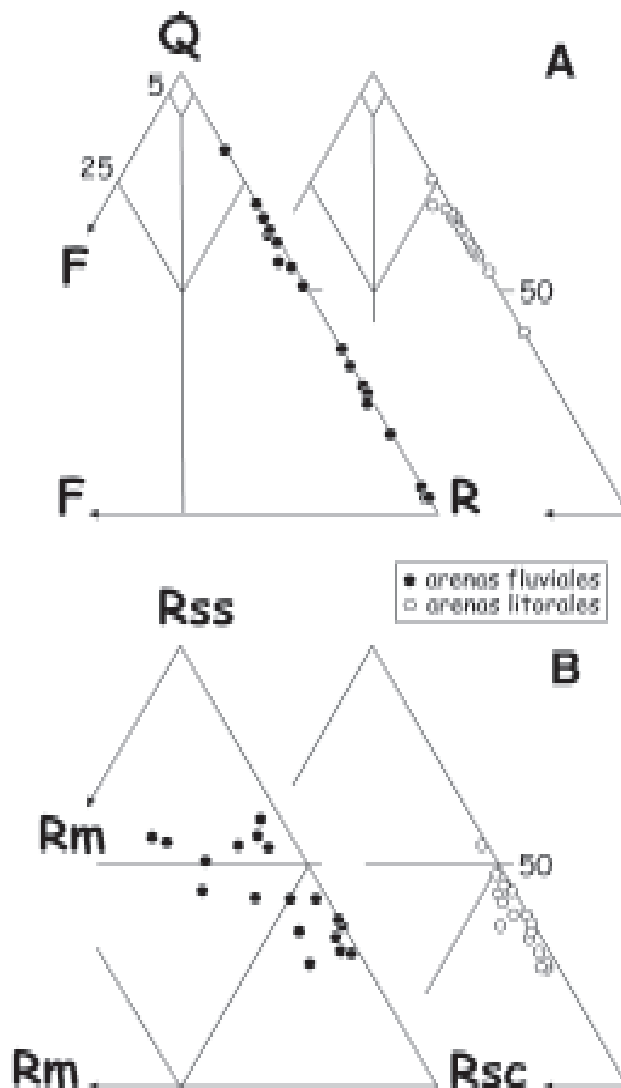
En general se observa una evolución bastante paralela entre las tres cuencas con pérdida de fragmentos de roca metamórfica, así como de fragmentos de roca sedimentaria siliciclástica (areniscas, Rss) y enriquecimiento en cuarzo, al alejarnos de las cabeceras. Asimismo, en todas las cuencas se manifiesta la influencia estuarina en sus desembocaduras que hace perder o diluir la señal composicional de los propios depósitos arenosos fluviales. Las diferencias se manifiestan sobre todo en el río Tahadart donde se observa un aumento importante de los fragmentos de roca carbonática (Rsc) en el tramo estuarino por la erosión de las lumaquelas Pliocenas aflorantes. Los fragmentos líticos (Lt), muy ricos en el Loukkos (70%) y Tahadart (69%) disminuyen en el Rharifa a un 47%. Estos fragmentos líticos del río Rharifa no son de naturaleza metamórfica, sino sedimentaria carbonática debido a que su área madre se desarrolla fundamentalmente en las margas de la unidad de Tánger y no en los mantos de areniscas numídicas como los anteriores cursos fluviales.

**Modas arenosas litorales**

Todas las muestras litorales son muy semejantes, siendo más ricas en cuarzo que las fluviales (Fig. 6A), con un contenido en fragmentos de roca sedimentarios dominantes y porcentajes inferiores al 5% en Rm (Fig. 6B). La relación entre Rss/Rsc es aproximadamente de 2/3 (Fig. 6B). No obstante la gran homogeneidad composicional, es posible observar ligeras variaciones con respecto a la composición de las arenas en las desembocaduras de los cursos fluviales más próximos, debido a la leve influencia de los aportes fluviales sobre las arenas litorales.

**Ambientes geotectónicos y comparación con otras áreas**

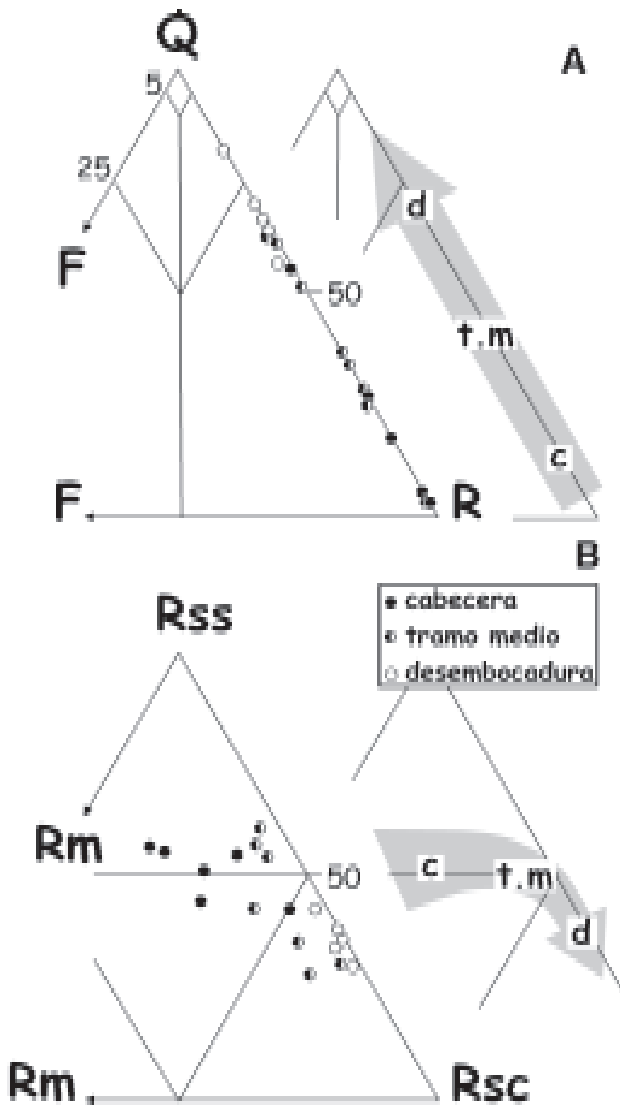
Se han utilizado los diagramas de Dickinson *et al.* (1983) y Dickinson (1985), que relacionan la composición de los depósitos arenosos con el ambiente geotectónico. Se han empleado los datos obtenidos en el análisis modal de la composición del esqueleto utilizando los índices composicionales Qm, F y Lt (Tabla I). De este modo, las arenas quedan proyectadas en el campo de los orógenos reciclados. Exclusivamente dos muestras han quedado proyectadas



**Figura 6.-** Diagramas en los que se describe la composición de las arenas fluviales y litorales de la Península de Tánger. **A)** Composición modal principal de las muestras fluviales y litorales según un diagrama QFR (Pettijhon *et al.*, 1973). **B)** Composición de la población lítica de las muestras litorales y fluviales según un diagrama RssRscRm. Rss: fragmentos de roca sedimentaria siliciclástica. Rsc: Fragmentos de roca sedimentaria carbonática. Rm: Fragmentos de roca metamórfica.

en el cratón interior, y corresponden al río Loukkos en su desembocadura (OL1) y (L2). Las arenas del litoral quedan proyectadas muy próximas al polo del cuarzo, y por lo tanto, al campo de ambientes orogénicos relacionados con cratones interiores. Por el contrario las muestras fluviales muestran una amplia variedad cuarzolítica (de  $Q_{83}F_0Lt_{17}$  a  $Q_{5.9}F_{0.4}Lt_{93.7}$ ). Las petrofacies más líticas corresponden a las fluviales del río Loukkos y Tahadart. Esto indica su carácter reciclado a partir de las series sedimentarias de la cordillera rifeña. Según Dickinson (1985) esta petrofacies de «orógenos reciclados» se desarrolla en marcos geotectónicos donde las rocas pertenecen a sistemas de plegamiento y cabalgamiento de sedimentos compactados.

Comparando la composición de las arenas analizadas con los datos publicados por Critelli *et al.*,



**Figura 7.-** Proyección de las muestras fluviales en los diagramas de la figura 6 destacándose la evolución de la composición a lo largo de los cursos fluviales. **A)** Proyección sobre un diagrama QFR (Pettijohn *et al.*, 1973). **B)** Proyección sobre un diagrama de tipologías de fragmentos de roca (RssRscRm). Rss: fragmentos de roca sedimentaria siliciclastica. Rsc: Fragmentos de roca sedimentaria carbonática. Rm: Fragmentos de roca metamórfica.

(2003) sobre muestras litorales y fluviales de la costa bética, puede constatar un paralelismo de las petrofacies arenosas. Así, las arenas fluviales rifeñas muestran una petrofacies equivalente a las petrofacies cuarzolíticas de la costa bética mediterránea (Almería - Málaga y Marbella, Critelli *et al.*, 2003). No obstante, existe un mayor contenido en feldespatos en las petrofacies béticas mediterráneas y que puede atribuirse a varios factores. En primer lugar, el corto trayecto de los cursos fluviales en el área bética impide una maduración del depósito fluvial durante su transporte. En segundo lugar, los cursos fluviales béticos drenan las zonas internas de la cadena, incorporando detritos procedentes de rocas cristalinas y metamórficas con un contenido variable en feldespatos. Por último, la escasa dinámica costera mediterránea impide la reelaboración y maduración del

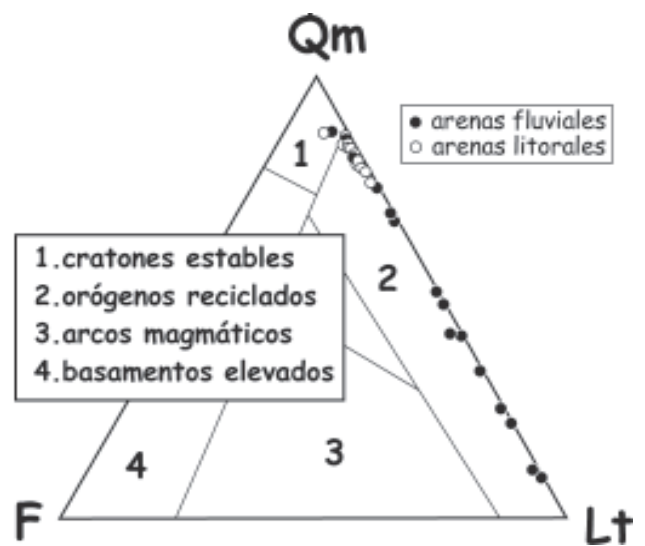
depósito en ambiente litoral, tal y como se ha puesto de manifiesto en otras áreas del Mediterráneo (Le Pera y Critelli, 1997).

Por otra parte, la petrofacies cuarzosa litoral correspondiente al área Algeciras - Cádiz (Critelli *et al.*, 2003) es equivalente a la petrofacies de las arenas litorales de la Península de Tánger. Esto se debe al paralelismo en cuanto a la naturaleza de las áreas fuentes (zona del Flysch bético - Mantos numídicos rifeños), y a la importante dinámica costera atlántica que se manifiesta en ambas áreas.

**Conclusiones**

En la vertiente Atlántica de la Península de Tánger las cuencas fluviales se alinean con las direcciones estructurales de la cordillera del Rif. Los sistemas de drenaje se van haciendo más extensos hacia el Sur, a medida que se expande el arco de la Cordillera Rifeña alcanzando un gran desarrollo y jerarquización. Las cuencas se labran en las margas de la unidad paraautoctona de Tánger, después de cortar los mantos de areniscas numídicas cabalgantes sobre ellas. En su tramo bajo, los cursos de los ríos se encajan a su vez en las plataformas de lumaquelas pliocenas que penetran en los tramos costeros de los valles.

Estas características quedan muy bien definidas en la impronta petrográfica de las arenas fluviales. Los sedimentos fluviales, que se nutren de los mantos numídicos y de las zonas internas de la cadena, van alcanzando progresivamente una mayor madurez a lo largo de su recorrido (desde  $Q_{10}F_0R_{90}$  en sus cabeceras hasta valores de  $Q_{65}F_0R_{25}$  en los tramos medios). A lo largo de estos trayectos, la proporción en fragmentos de roca metamórfica desciende drásticamente (desde  $Rm_{25}Rss_{50}Rsc_{25}$  hasta  $Rm_{10}Rss_{45}Rsc_{45}$ ) disminuyendo



**Figura 8.-** Proyección de la composición de las arenas fluviales y litorales de la Península de Tánger sobre el diagrama QFLt (Dickinson *et al.*, 1983), discriminante de ambientes geotectónicos.

también la proporción en fragmentos de areniscas. Por último, en las desembocaduras se produce aún una mayor madurez ( $Q_{75}F_0R_{25}$ , aprox.), por la pérdida en fragmentos de roca, siendo su naturaleza eminentemente carbonática ( $R_{m_0}R_{ss_{25}}R_{sc_{75}}$ ), al encajarse en las plataformas lumaquéticas costeras.

La comparación de estos datos con los datos de las arenas fluviales y litorales de la Cordillera Bética (Critelli *et al.*, 2003) demuestran una gran similitud en cuanto a sus petrofacies. La composición de las arenas de los cursos fluviales de la Península de Tánger presenta petrofacies cuarzolítica equivalente a la descrita en la costa bética mediterránea. No obstante difiere de ellas en su escaso contenido en feldespatos. Esto es debido a que la citada red fluvial bética drena directamente rocas cristalinas y metamórficas de las zonas internas de la cadena, a través de cortos cursos fluviales. Además, las petrofacies de la costa mediterránea bética no adquieren una madurez mineralógica consistente debido a la falta de reelaboración por la escasa dinámica costera mediterránea.

Las petrofacies litorales atlánticas son muy similares debido a la equivalencia de sus áreas fuentes (zona de Flysch bético - Mantos Numídicos rifeños) y a la importante dinámica litoral atlántica que imprime un grado de homogenización y madurez mineralógica al depósito.

### Agradecimientos

Queremos expresar nuestra gratitud a Amparo Tortosa por su ayuda y aportaciones, especialmente en el trabajo de campo. Agradecemos, así mismo, su colaboración a Pedro Lozano, a Guillermo Pinto y a Agustín Blanco por la preparación de muestras y de dibujos. El estudio se ha hecho en relación con los siguientes proyectos REN2000-0468/MAR y BTE-2001-0026.

### Referencias

- Andre, A. et El Gharbaoui, A. (1973): Aspects de la morphologie littorale de la péninsule de Tanger. *Revue de Géographie du Maroc*, 23-24: 125-149.
- Arribas, J., Gomez-Gras, D., Rossel, J. y Tortosa, A. (1990): Estudio comparativo de las areniscas de la isla de Menorca: evidencias de su reciclado. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 3: 105-116.
- Arribas, J., Critelli, S., Le Pera, E. and Tortosa, A. (2000): Composition of modern stream sand derived from a mixture of sedimentary and metamorphic source rocks (Henares River, Central Spain). *Sedimentary Geology*, 133: 27-48.
- Critelli, S., Arribas, J., Le Pera, E., Tortosa, A., Marsaglia, K.M. and Latter, K.K. (2003): The recycled orogenic sand provenance from an uplifted thrust belt, Betic Cordillera, southern Spain. *Journal of Sedimentary Research*, 73: 72-81.
- Di Guilio, A. e Valloni, R. (1992): Analisi microscopica delle areniti terrigene: parametri petrolologici e composizionali modal. *Acta Naturalia*, 28: 101 p.
- Dickinson, W.R. (1985): Provenance relations from detrital modes of sandstones. En: *Provenance of arenites* (G.C. Zuffa, Ed.). NATO ASI Series, C-148: 333-362.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A. and Ryberg, P.T., (1983): Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94: 222-235.
- El Gharbaoui, A. (1977): Note préliminaire sur l'évolution géomorphologique de la péninsule de Tanger. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7,19,3: 615-622.
- El Gharbaoui, A. (1978): *La carte géomorphologique de la péninsule de Tanger au 1:100000*. Travaux de l'institut scientifique, serie Geologie et Geographie Physique n° 15. Univ. Mohamed V, Rabat.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P. and Sores, S.W. (1984): The effects of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 103-116.
- Kairo, S., Suttner, L.J. and Dutta, P.K. (1993): Variability in sandstone composition as a function of depositional environment in coarse-grained delta systems. En: *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments* (M.J. Johnsson y A. Basu, Eds.). Geological Society of America Special Paper, 284: 263-283. Boulder, Colorado.
- Le Pera, E. and Critelli, S. (1997): Sourceland controls on the composition of beach and fluvial sand of the northern Tyrrhenian coast of Calabria, Italy: Implications for actualistic petrofacies. *Sedimentary Geology*, 110: 81-97.
- Le Pera, E., Arribas, J., Critelli, S. and Tortosa, A. (2001): The effects of source rocks and chemical weathering on the petrogenesis of siliciclastic sand from the Neto river (Calabria, Italy): Implications for provenance studies. *Sedimentology*, 48: 357-378.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and Siever, R. (1973): *Sand and sandstones*. Springer-Verlag, New York-Heidelberg- Berlin, 618 p.
- Picard, M.D. and McBride, E.F. (1993): Beach sands of Elba Island, Tuscany, Italy: Roundness study and evidence of provenance. En: *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments* (M.J. Johnsson y A. Basu, Eds.). Geological Society of America Special Paper, 284: 235-245. Boulder, Colorado.
- Pierre, G., Gigout, M. y Rampoux, J.P. (1974): *Sur le quaternaire du littoral marocain de Larache à Tetouan et ses déformations*. 2ème R.A.S.T., S.G.E.D. 315 p.
- Tortosa, A., Arribas, J., Garzón, G., Fernández, P. y Palomares, M. (1997): Análisis petrológico de depósitos de terrazas aplicado al estudio de los procesos de captura en los ríos Adaja, Voltoya y Eresma (provincias de Segovia y Valladolid). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 10 (1-2): 131-145.

Manuscrito recibido el xx de xxxxxxx de 2005

Aceptado el manuscrito revisado el xx de xxxxxxx de 2005