

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y MICROTTEXTURAL DE LA BARRA QUE CIERRA LA SEBKHA BOU-AREG (MARRUECOS)

L. TORCAL SAINZ (1) & F. LÓPEZ BERMÚDEZ (2)

(1) Departamento de Edafología, E.T.S.I. Agrónomos,
Univ. Politécnica. 28040 Madrid.

(2) Area de Geografía Física (Lab.de Geomorfología).
Univ. de Murcia. 30001 Murcia.

Resumen: El Mediterráneo occidental cubre una extensión de 860.000 km² y en sus límites, diversos y dinámicos procesos han favorecido la formación de barras de arena y lagunas costeras que constituyen importantes fronteras geológicas entre ambientes marinos y terrestres. Con el objetivo de contribuir al conocimiento de la génesis y evolución de una de las más importantes albuferas, la *Sebkha Bou-Areg o Mar Chica* (Norte de Marruecos), se realiza un estudio granulométrico, petrográfico, de difracción de rayos X y de exoscopia de los depósitos arenosos que constituyen la barra o restinga que encierra el humedal. Se ha seleccionado un depósito detrítico situado en el sector central del borde mediterráneo de la barra (coordenadas 2° 49'36"E; 35° 11'20"N), próximo a una antigua fortificación en ruinas. La toma de muestras se efectuó de techo a muro, en cada nivel que se observó algún pequeño cambio, con el objeto de determinar las posibles variaciones sedimentológicas que se han producido.

Palabras clave: Mediterráneo, sebkha, albufera, mineralogía, difracción de rayos X, exoscopia, paleoambientes.

Abstract: Mineralogical and microtextural characterization at *Sebkha Bou-Areg seashore* (Marocco). The Western Mediterranean has a extension of 860.000 km² and its limits, several processes have to suit the formation of barriers and lagoons that are important geo-ecological borders between terrestrial and sea environments. With the objective to contribute to the knowledge of origin and evolution about one of the most important lagoon of Western Mediterranean, the *Sebkha Bou-Areg or Mar Chica* (North Marocco), a granulometric, petrographic, X-ray diffraction and quartz grain microtextures study have been carried out in order to characterize sands deposits with constitute the close seashore this fantastic coastal environment. A detritic outcrop has been selected situated in the middle of mediterranean side of seashore (coordinates 2° 49'36"E; 35° 11'20"N) close to old fortification tower. Samples were taken from the top to the base in order to determine possible variations of sedimentology.

Key words: Mediterranean, sebkha, lagoon, mineralogy, X-ray diffraction, quartz surface microtextures, paleoenvironment.

1. Introducción

Las lagunas litorales o albuferas son lugares de transición, fronteras ecológicas, entre los ambientes terrestre y marino que presentan un gran interés geomorfológico, sedimentológico, limnológico, ecológico,

y paleoambiental. El término albufera (del árabe *al-buháira* = "mar pequeña"; lagoon en inglés; *étang littoral* en francés; *estany* en catalán) alude a áreas de aguas someras, dispuestas paralelamente a la costa, separadas del mar por restingas, cuyas bocanas o "golas" permiten cierta comunicación (Rosselló, 1993). A los lagos y lagunas saladas que ocupan el centro de depresiones endorreicas hacia donde convergen las escorrentías del territorio circundante, se les conoce con el nombre de *sebkha* (Tri-cart, 1954). Cuando estas geoformas se hallan en el interior, *sebkhas* continentales, suelen estar ligadas a depresiones hidro-eólicas cuyas aguas desaparecen estacionalmente por evaporación, cristalizando las sales en eflorescencias fácilmente removidas y transportadas por el viento. Si bien es con término árabe *sebkha* como aparece en la cartografía del Maghreb y se la llama popularmente, esta gran superficie de agua casi completamente confinada en el litoral Norte de Marruecos, no puede ser considerada geohidrológicamente como tal, sino como una *albufera o lagoon*.

Se ha estimado que, en las costas del Mediterráneo, la superficie ocupada por lagunas salobres y marismas es de 6.500 km², de los que probablemente la mitad se hallan en el Mediterráneo occidental (Margalef, 1989). Estos humedales salinos costeros que se desarrollan detrás de barras de arena y/o cantos, se dan en costas bajas en donde el acarreo y acumulación de sedimentos, antiguos, recientes y actuales, desempeñan una función primordial y en ellos, por lo general, la influencia humana también ha sido relevante. En la cuenca mediterránea occidental, el litoral del Languedoc (Francia), el sector litoral del NE de la isla de Mallorca, el del sur de la isla de Cerdeña, el sector italiano entre Nápoles y Orbetello, los sectores litorales catalán, valenciano, murciano y andaluz oriental (península Ibérica) y los litorales marroquí, argelino y tunecino, ofrecen abundancia de albuferas actuales o relictas. Para su formación, es esencial un suministro abundante de arena en las inmediaciones de la costa, por ello, casi todas las albuferas están asociadas a corrientes fluviales que desembocan en ellas o cerca de ellas (Rosselló, 1993) y los aportes fluviales del sistema de drenaje de las llanuras costeras en las que se enmarcan, también parecen desempeñar una apreciable función modeladora, al menos, en el perímetro interior o continental.

La más externa albufera del litoral mediterráneo de Marruecos es conocida como *sebkha Bou-Areg* y también, en el pasado como Laguna de Puerto Nuevo, Laguna de Melilla, Laguna de Nador y Mar Chica (con claras connotaciones por su extensión, configuración, profundidad y características limnológicas con el *Mar Menor* en la costa de Murcia). La laguna de unos 115 km² de superficie y de forma, aproximadamente, ovalada, tiene unos 22 km de eje mayor (orientado de NW a SE) y 7 de anchura. La profundidad máxima es de 8 metros y se encuentra en el tercio NE, en las proximidades del promontorio volcánico del Atalayón. La albufera está cerrada por una restinga, barra o cordón arenoso de unos 25 Km de longitud, una anchura que oscila entre 1000 m (en Azrou Ourhioul, extremo suroccidental y próximo al poblado de Kariat Arekmam) y 100 m (próximo a la *boûkâna*). Presenta una topografía con ligeras ondulaciones, una altitud máxima de 19 m y, toda ella está cubierta por un notable conjunto de dunas fósiles consideradas de edad pleistocena por unos (Del Valle & Hernández Iruegas, 1917) y mucho más recientes, del final del pluvial Soltaniense (equivalente al Würm europeo y edad 17.000 B.P.) para otros (Weisrock et al., 1985; Barathon, 1986). Sobre el conjunto dunar se han acumulado materiales areno-arcillosos más recientes, pequeñas dunas funcionales e importantes acumulaciones de conchas de moluscos y arena biodetrítica.

En la actualidad, la comunicación hidráulica entre la laguna hipersalina y el Mediterráneo, se realiza a través de un canal de desagüe o "*boûkâna*" por donde las tormentas fuerzan la entrada de agua de mar. La tendencia a su cegamiento por acumulación de sedimentos arrastrados por las corrientes longitudinales y oleaje transversal, exige el dragado frecuente del canal para que el humedal no quede cerrado. La interferencia antrópica modifica fácilmente estos espacios anfibios, tanto más, cuanto más precario es su equilibrio (Rosselló, 1993). Existe una abundante cartografía y numerosas referencias acerca de la incidencia antrópica sobre la albufera, desde el siglo XVI (Lillo, 1995) y de la existencia de otras bocanas ("Gola de los Españoles", "Gola de la Restinga de Tofiño"). En el paisaje actual del arenal se inscriben diversos poblados (Oulad Aïsa, Oulad Zehra...) cuyos habitantes practican una economía mixta de pesca artesanal y agricultura de subsistencia con agua extraída de pozos excavados en los depósitos arenosos de la barra.

El objetivo de este trabajo es determinar la mineralogía, tanto de arcillas como de arenas, así como las microtexturas de los granos de cuarzo, con el fin de averiguar la procedencia y los ambientes sedimentarios por los que han pasado los materiales que constituyen la barra y, con ello, contribuir al conocimiento de la génesis y evolución de este importante ambiente costero salino de alto valor ambiental. Con este fin se ha seleccionado un depósito detrítico relativamente potente, situado en el sector central del borde mediterráneo de la barra.

2. El marco geomorfológico

El Marruecos nororiental es representativo del dominio mediterráneo tanto por su relieve compartimentado, constituido por montañas individualizadas entre depresiones y cuencas, como por la naturaleza esencialmente carbonatada de los macizos montañosos (Laoui-na, 1990). Es un relieve netamente diferenciado del Marruecos atlántico. La *sebkha Bou-Areg* se sitúa dentro de la "provincia volcánica de La Guelaya" (Fuster, 1956), perteneciente al dominio morfoestructural del Rif oriental. Desde el punto de vista geográfico esta provincia se extiende desde el espigón que constituye el Cabo de las Tres Forcas al Norte, al Oued Quert al Oeste y a las llanuras de Garet y Bou Areg hacia el Sur, pero desde el punto de vista geológico, petrológico y genético se incluyen también en la denominación las Islas Chafarinas (Fig. 1).

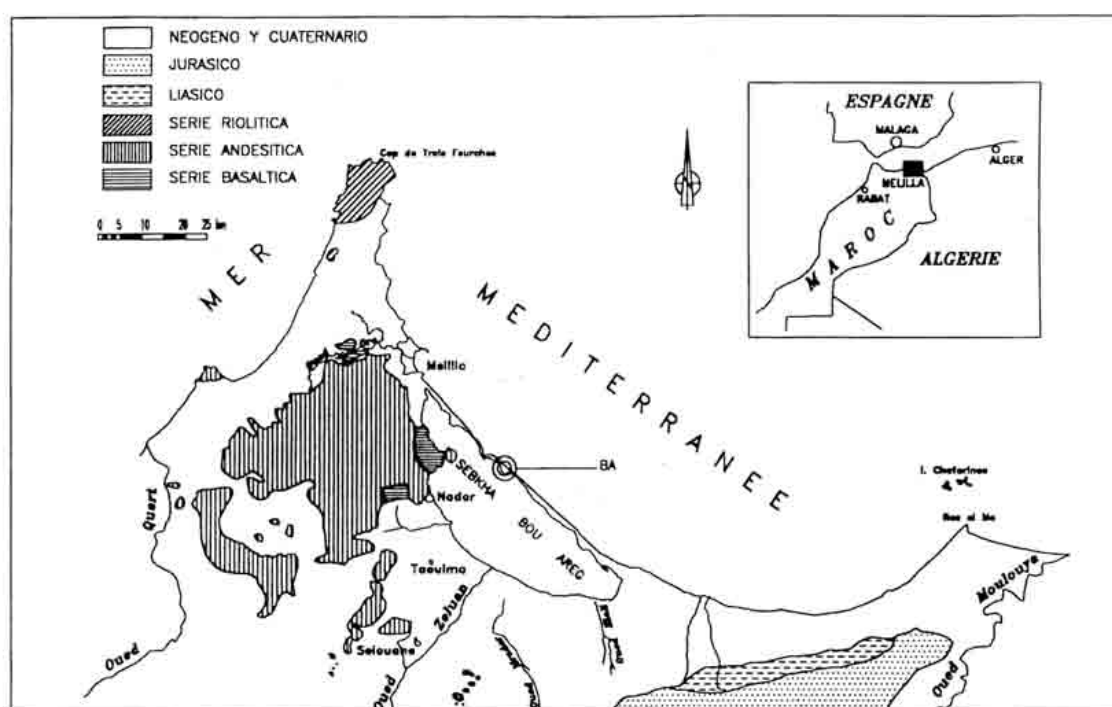


Fig. 1 Localización y características geológicas básicas del entorno de la sebkha (modificado de J.M. FUSTER, 1957).
Location and some geological features of the sebkha and the surrounding area (modified from FUSTER, 1957).

Las rocas volcánicas que enmarcan la sebkha por la zona septentrional, se incluyen dentro del "complejo del Gurugú" (Fuster, 1956; 1957), constituido por el monte Gurugú, que es el edificio volcánico más importante de toda la región, el Atalayón y las islas Chafarinas. Está formado este complejo por una sucesión de coladas de andesitas piroxénico-biotíticas con o sin olivino, con intercalaciones de materiales piroclásticos. En zonas periféricas estas coladas pre-pliocenas quedan recubiertas en algunos puntos, como en el istmo del Atalayón y las Islas Chafarinas, por coladas más recientes, post-pliocenas, de basaltos andesíticos.

En la zona meridional la sebkha está limitada por los llanos de Bou Areg que son una prolongación de la llanura de Garet. Esta llanura está constituida, esencialmente, por margas arcillosas, areniscas y arenas del Mioceno y Plioceno, así como por travertinos, arcillas y arenas cuaternarias. Al Norte y Este aparecen pequeños afloramientos de calizas, margas, yesos y conglomerados, fundamentalmente mesozoicos.

La red hidrográfica que vierte a la laguna es esencialmente de tipo esporádico, estando formada casi en su totalidad por abruptos barrancos que al llegar a la zona llana pasan a un régimen tipo ramblas. El único curso de cierta importancia es el Oued Zeluán, que se filtra en los arenales de los llanos de Bou Areg al

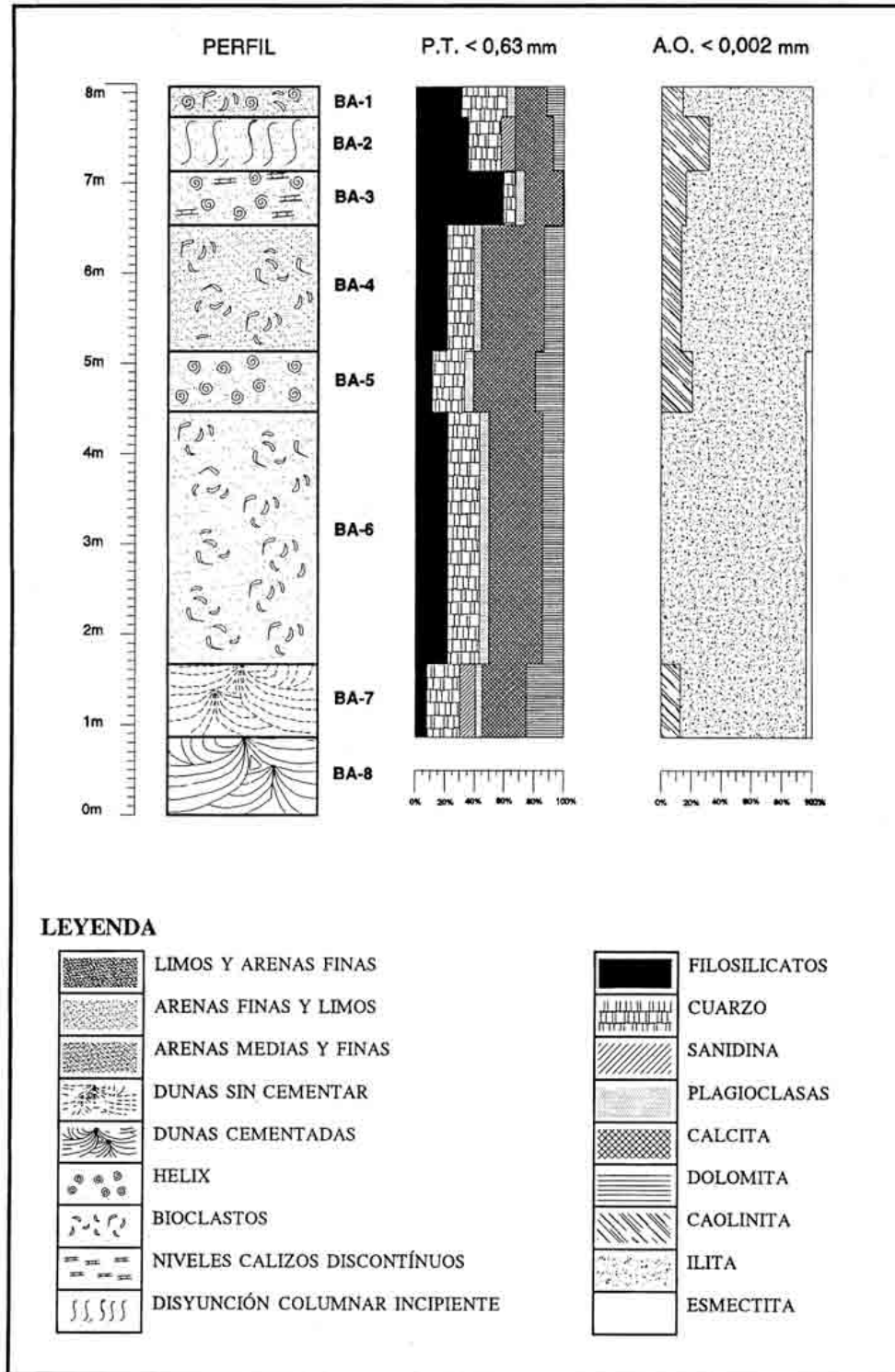


Fig. 2 Columna litoestratigráfica e histogramas de polvo total y agregado orientado.
 Stratigraphic column and x-ray diffraction analysis of the whole fraction (silt+clay) and the clay fraction (A.O.)

Tabla 1. Análisis petrográfico. *Petrographical analysis.*

MUESTRAS		BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7	BA-8
L I G E R O S	CUARZO	■	■	■	■	■	■	■	■
	F. POTÁSICOS	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠
	PLAGIOCLASA	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠
	MOSCOVITA	-	⊠	-	-	-	⊠	⊠	-
	FRAGM. ROCA	⊠	-	⊠	⊠	-	⊠	⊠	⊠
	BIOCLASTOS	⊠	-	-	-	-	-	-	⊠
P E S A D O S	OLIVINO	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠
	AUGITA	■	■	⊠	■	■	⊠	⊠	⊠
	DIOPSIDO	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠
	HORNBLENDA	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠
	BIOTITA	-	⊠	-	-	-	⊠	⊠	-
	RUTILO	⊠	⊠	⊠	-	-	-	-	-
	EPIDOTA	⊠	⊠	-	⊠	⊠	⊠	-	-
	CROMITA	⊠	-	-	⊠	-	-	-	-
	TURMALINA	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	-
	GLAUCONITA	-	-	-	⊠	⊠		-	⊠
OPACOS	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	■	⊠	
<p>■ Muy abundante; ⊠ Abundante; ⊠ Frecuente; ⊠ Escaso; - Ausente</p>									

Sur de Nador. Al Norte de la sebkha, en Melilla, desemboca el río del Oro y a bastante distancia, al Este de las Islas Chafarinas el Oued Moulouya, que es el río más caudaloso del Magreb. Estos cursos de agua tienen una carga sólida elevada, que se explica por las características del medio semiárido, y han desempeñado una función capital en la formación de la barra y en la dinámica de toda la sebkha.

3. Metodología

Se ha seleccionado un depósito detrítico relativamente potente (de unos 8 m), situado en el sector central del borde mediterráneo de la barra, próximo a la bocana, por ser la zona en la que los sedimentos registran el mayor espesor. Las coordenadas del lugar de muestreo son: 35 11'20"N y 2 49'36"E.

La base del afloramiento corresponde a unas dunas muy bien cementadas, atribuidas al Pleistoceno superior (Del Valle & Fernández Iruegas, 1917), aunque con reservas, por no haber encontrado ningún fragmento correspondiente a especies características (Lillo, 1995) y el resto de los niveles muestreados que

integran el perfil, corresponden fundamentalmente a arenas finas y limos arenosos carbonáticos, con algunos lechos de Helix. Se han tomado y analizado muestras de ocho niveles. La descripción de las mismas se realiza de techo a muro.

Las técnicas de Laboratorio que se han utilizado para el estudio de las muestras han sido:

- Separación granulométrica mediante tamizadora electromagnética, utilizando la escala .
- Análisis petrográfico de la fracción de arena comprendida entre 125 y 250 μm , tanto de la fracción ligera como de los minerales pesados.
- Difracción de rayos X de las fracciones < 63 μm (Polvo total, P.T.) y < 2 μm (Agregado orientado, A.O.).
- Exoscopía de los granos de cuarzo mediante microscopio electrónico de barrido (M.E.B.).

Los resultados del estudio petrológico de las secciones delgadas de las correspondientes fracciones de minerales ligeros y pesados de las muestras, quedan reflejados en la Tabla 1, así como el resultado de la sección delgada correspondiente al nivel cementado (muestra BA-8).

Los datos obtenidos a partir de la difracción de rayos X, se han representado en forma de histogramas junto al perfil litoestratigráfico en la Fig. 2 y también figuran expresados en las Tablas 2 y 3.

Para la preparación y estudio de las microtexturas de los granos de cuarzo se han utilizado las técnicas habituales (Torcal & Tello, 1992); la visualización de las mismas se ha realizado con un microscopio electrónico S-2500 de Hitachi. La nomenclatura de las marcas es la establecida por Le Ribault (1975, 1977, 1980), Legigan & Le Ribault (1987) y Torcal & Tello (1992), representando las microtexturas más frecuentes y su frecuencia de aparición en la Tabla 4.

Tabla 2. Análisis por difracción de rayos-X (Limo + Arcilla)
X-ray diffraction analysis of the whole (Silt + clay) fraction.

MUESTRAS	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7
FILOSILICATOS	30,7	35,5	59,3	21,4	11,7	22,2	8,0
CUARZO	30,3	22,0	7,8	17,7	21,4	21,0	22,3
SANIDINA	-	9,3	-	-	-	-	10,4
PLAGIOCLASAS	5,8	-	6,1	5,2	6,0	6,4	4,4
CALCITA	21,4	26,0	25,7	42,4	41,3	36,0	29,6
DOLOMITA	11,8	7,3	1,2	13,3	19,6	14,4	25,2

Tabla 3. Análisis por difracción de rayos-X (Arcillas; A.O.)
X-ray diffraction analysis of the clay fraction (a.O.)

MUESTRAS	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7
CAOLINITA	14	31,5	16	13	20,5	-	12,5
ILITA	86	68,5	84	87	75	96	83,5
ESMECTITA	-	-	-	-	4,5	4	4

Tabla 4. Exoscopía del cuarzo. *Quartz surface microtextures*.

MUESTRAS	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7
FRACTURAS CONCOIDEAS ANGULOSAS	■	■	■	■	■	-	-
FRACTURAS CONCOIDEAS PULIMENTADAS	■	■	■	■	■	■	■
FRACTURAS CONCOIDEAS CON GLÓBULOS DE Si	-	-	■	■	■	■	-
"V" DE CHOQUE ANGULOSAS	■	■	-	-	-	■	■
"V" DE CHOQUE PULIMENTADAS	■	■	■	■	■	■	■
"V" DE CHOQUE CON GLÓBULOS DE Si	-	-	■	■	■	■	-
"V" ORIENTADAS	-	-	■	■	■	-	■
"V" ORIENTADAS CON GLÓBULOS DE Si	-	-	■	■	■	■	■
ARCOS DE CHOQUE ANGULOSOS	■	■	-	-	-	■	■
ARCOS DE CHOQUE PULIMENTADOS	■	■	■	■	■	■	■
CÚPULAS DE CHOQUE ANGULOSAS	■	-	■	-	-	■	-
CÚPULAS DE CHOQUE PULIMENTADAS	■	■	■	■	■	■	■
ESTRÍAS PARALELAS PULIMENTADAS	-	-	■	■	■	-	-
FIGURAS DE FROTAMIENTO AISLADAS	■	-	-	■	■	-	■
SUPERFICIE RUGOSA	■	■	-	-	-	■	■
PULIMENTO DE LA SUPERFICIE	■	-	■	■	■	■	-
PULIMENTO DE LAS MARCAS MECÁNICAS	■	■	■	■	■	■	■
PLACAS ESCAMOSAS	■	■	-	-	-	■	■
PLACAS ESCAMOSAS EN VÍAS DE DISOLUCIÓN	■	■	■	■	■	-	-
GLÓBULOS SILÍCEOS SÓLO EN CARAS	■	■	-	-	-	-	-
GLÓBULOS SILÍCEOS SÓLO EN DEPRESIONES	-	-	■	■	■	■	-
NEOGÉNESIS DE CUARZO MAL FORMADAS	■	■	-	-	-	-	■
NEOGÉNESIS DE CUARZO RECUBRIENDO EL GRANO	■	■	-	-	-	-	■

■ Marca frecuente ; ■ Marca escasa ; - No se encuentra

4. Resultados

El depósito sedimentario, como ya se ha indicado, tiene una potencia aproximada de 8 m y los niveles muestreados han sido también ocho (Fig. 2), cuya descripción de campo es la siguiente:

- 0,30 m. Limos arcillosos y arenas finas, con bioclastos calcáreos y abundante fauna de *Helix*. (Muestra BA-1). Hacia techo se encuentran vestigios arqueológicos Neolíticos-calcolíticos.
- 0,60 m. Arenas finas y limos arcillosos de tonalidades rojizas e incipiente disyunción columnar. (Muestra BA-2).
- 0,60 m. Arenas finas y medias, con pequeños niveles calcáreos de tonos blanquecinos y abundante fauna de *Helix*. (BA-3).
- 1,40 m. Limos arenosos y arenas medias y finas con abundantes bioclastos calcáreos. (BA-4).
- 0,70 m. Arenas medias y finas y limos, de tonalidades amarillentas, con abundante fauna de *Helix*. (BA-5).
- 2,80 m. Arenas medias y finas y limos, con abundantes bioclastos calcáreos, sin estratificar. (BA-6).
- 0,80 m. Depósitos de dunas, con estratificación cruzada, escasamente compactados. (BA-7).
- 0,90 m. Depósitos dunares muy bien cementados, con estratificación cruzada y erosión alveolar (BA-8).

De la muestra BA-8 no se ha realizado separación de minerales ligeros y pesados, ni difracción de rayos X, ni exoscopia del cuarzo, por corresponder a una samita muy bien cementada y únicamente se ha realizado una sección delgada de dicho material. Los resultados se han incluido en la Tabla 1, junto con el estudio de las fracciones ligera y pesada de las demás muestras.

Como puede observarse en la citada Tabla 1, todos los niveles son bastante semejantes. Entre los minerales ligeros es netamente predominante el cuarzo, aunque el feldespato potásico sanidina es bastante abundante. Aparece éste mineral bastante alterado y frecuentemente maclado. Le siguen en abundancia las plagioclasas y el resto de los componentes de las muestras son muy escasos.

Los minerales de la fracción pesada corresponden en una amplia mayoría a piroxenos y olivino procedentes de las andesitas piroxénico-biotíticas y basaltos andesíticos del entorno próximo, en general poco o muy poco rodados, aunque se encuentran en casi todas las muestras pequeños porcentajes de los mismos bastante bien rodados. Aparecen dos tipos de piroxenos, ambos monoclinicos, augita verdosa muy abundante y diópsido más escaso. La hornblenda parda está presente en todas las muestras pero es, en general, bastante escasa. Como accesorios aparecen biotita, rutilo, epidota y cromita. Junto a estos minerales de origen volcánico se encuentran pequeñas proporciones de turmalina, muy bien redondeada y, asimismo, aparecen en algunas muestras (BA-4 y BA-5) granos bien redondeados de glauconita.

La muestra BA-8 corresponde a una subarcosa con abundante cemento carbonatado, calcítico y dolomítico. Los clastos son bastante homométricos y presentan un grado de redondeamiento muy variado, predominando los subangulosos, aunque muchos de ellos son redondeados rotos. Los minerales que presenta son los mismos que los de las demás muestras; la sanidina aparece en grandes cristales con inclusiones adiabáticas, idiomorfas o subidiomorfas.

La mineralogía de la fracción < 63µm (Polvo Total), es bastante semejante en todos los niveles, como puede observarse en la Tabla 2, aunque existen algunas anomalías: en las muestras BA-2 y BA-7, aparece feldespato potásico, concretamente sanidina y además es bastante abundante. Asimismo, en la muestra BA-7, correspondiente a unos depósitos dunares recientes, disminuye notoriamente la proporción de filosilicatos y aumenta la de carbonatos totales, fundamentalmente dolomía.

En cuanto a la fracción arcillosa aparece caolinita y sobre todo ilita, en elevadísima proporción, estando la esmectita presente únicamente en los tres niveles últimos, correspondientes a la base (muro) del afloramiento (muestras BA-5, BA-6 y BA-7), según puede observarse en la Tabla 3.

De la observación bajo lupa binocular se ha comprobado que el porcentaje de granos redondeados aumenta hacia la base del afloramiento, llegando en el nivel BA-7, a ser alrededor del 50 %. Como es obvio, el porcentaje de angulosos y subangulosos aumenta hacia techo de la formación, sobre todo en los niveles BA-1 y BA-2.

Al microscopio electrónico de barrido (M.E.B.) se observa que en la muestra BA-1 (Tabla 4, Lámina 1) la mayor parte de los granos (60 %) tienen un marcado y antiguo episodio eólico, seguidamente han sufrido

un transporte fluvial que ha producido la rotura de gran parte de los mismos, así como las fracturas concoideas, y finalmente han sido ligeramente pulidos y disueltos en un medio marino breve, excepto en un 20 %, aproximadamente, en los que el episodio marino ha sido más prolongado. Los restantes granos han pasado por un medio lagunar y posteriormente por un medio marino de corta duración.

La muestra BA-2 es bastante semejante a la anterior, es decir, los cuarzos han tenido una fuerte y antigua eolización y posteriormente un breve tránsito por un medio fluvial. Finalmente un episodio marino intermareal y/o una evolución en un ambiente lagunar/marismal de corta duración, que ha generado las neogénesis de cuarzo. Se han observado, asimismo, algunos cuarzos euhedrales poco redondeados.

Los granos de cuarzo de la muestra BA-3 también presentan un episodio eólico intenso y prolongado y posterior a él, en un elevado porcentaje de cuarzos, del orden del 50 %, presentan bastantes fracturas concoideas, en general de gran tamaño, producidas en un ambiente fluvial. Finalmente, han tenido una evolución en un medio marino intermareal, más prolongado, en la mayoría de los granos, que en las muestras precedentes, que ha generado la disolución, pulimento y agrandamiento de las marcas mecánicas anteriormente formadas, y el depósito de sílice globulosa en las depresiones. En un 20 % de los granos se han observado estrías paralelas muy patentes, en caras planas, bastante bien pulimentadas, a las que se superponen otras marcas eólicomarinadas. Estas marcas se han encontrado siempre en medios glaciares (Torcal et al, 1984; Torcal & Tortosa, 1985). También se ha observado un 10%, aproximadamente, de cuarzos euhedrales.

Los cuarzos de la muestra BA-4 son, como los de las anteriores, antiguos granos eólicos, transportados y muy rotos en un medio de alta energía, probablemente fluvial, con pequeños porcentajes de euhedrales poco redondeados. Posteriormente han tenido una evolución en un ambiente inframareal prolongado, que ha producido la disolución, pulimento y orientación de las marcas, y en un intermareal breve.

Los granos de cuarzo de la muestra BA-5 son muy semejantes textural y microtexturalmente a los de la muestra anterior BA-4.

Prácticamente todos los cuarzos observados de la muestra BA-6, incluidos los subangulosos y angulosos, corresponden a antiguos granos eólicos, rotos en un medio de alta energía, que ha producido además, otras marcas mecánicas, en general de gran tamaño. Todas estas marcas están bastante pulimentadas por un medio marino inframareal y posteriormente también han pasado por un intermareal. Posteriormente los granos han sufrido un nuevo episodio eólico, menos intenso que el anterior ya que en un 30%, aproximadamente de los cuarzos, se observan, sobreimpuestas, "V" de impacto de mediano tamaño, arcos, e inicio de placas escamosas y superficie rugosa.

En los cuarzos de la muestra BA-7, se observan las características de su paso por los medios indicados para otras muestras (eólico - fluvial- marino). Un 30% a 40% de los granos presentan también marcas mecánicas (arcos y "V" de impacto, de mediano tamaño), poco pulidas, correspondientes a un segundo episodio eólico. En otro 30%, aproximadamente, de los granos y sobreimpuestas a las marcas marinas y eólicas, aparece un depósito bastante generalizado de sílice con formas algo euhedrales, y de pequeño tamaño. Aunque es más frecuente y abundante en zonas protegidas y deprimidas, se ha observado también en superficies lisas, y podría haberse generado, como se ha indicado para otras muestras (BA-1 y BA-2) en un medio lagunar.

5. Discusión

Las rocas que enmarcan la sebkha por la zona septentrional son andesitas piroxénico-biotíticas, generalmente con olivino, y basaltos andesíticos, y por la zona sur margas arcillosas, areniscas y arenas neógenas y cuaternarias. Los depósitos detríticos que constituyen la barra o restinga que cierra la sebkha presentan, por un lado, minerales procedentes de las rocas volcánicas del entorno, sanidina, olivino, piroxenos y anfíboles (Tabla 1), en general poco redondeados, junto con pequeños porcentajes de turmalina muy bien redondeada que tiene que proceder de otra fuente, bien de las areniscas pliocenas que la contengan como mineral heredado, o bien ha tenido que ser transportada por las corrientes marinas litorales. Por otro lado, el cuarzo es muy abundante (Tablas 1 y 2) y todos los granos presentan una marcada ascendencia eólica, aunque enmascarada en muchos de ellos por las abundantes fracturas producidas en un medio de alta energía, marino y/o fluvial. Estos granos de cuarzo podrían proceder, asimismo, de las areniscas neógenas que afloran en

la zona sur de la laguna o igualmente tienen que haber sido transportados por la corriente marina litoral que con dirección Este-Oeste (opuesta a la corriente principal atlántica) vehicule los sedimentos que transporta el Oued Moulouya, cuya desembocadura se halla a 9 km al Este de Ras Kebdana (Cabo del Agua) y a unos 40 km de distancia de la barra. El determinar el área o las áreas fuente del cuarzo y la turmalina es complicado y se necesitaría realizar muestreos sistemáticos tanto de las areniscas y arenas neógenas como de los materiales detríticos que transporta el Moulouya para poder determinarlo.

En los análisis por difracción de rayos X de la fracción arcillosa (Tabla 3), se observa que la esmectita, en pequeña proporción, aparece únicamente en la base del perfil. La presencia de esmectita en zonas próximas (Sur de España, provincias de Cádiz y Huelva) se ha interpretado (Viguié, 1970; Torcal, 1989) como indicadora de un clima seco con estaciones contrastadas, que pasa hacia condiciones más húmedas con la desaparición de la misma. Los porcentajes de este mineral arcilloso son tan escasos y el número de análisis tan reducido que no se puede afirmar que sean representativos de ningún cambio.

En los análisis por difracción de rayos X del Polvo Total (Tabla 2), se ve que la sanidina está presente únicamente en los niveles BA-2 y BA-7, aunque en los análisis petrográficos aparece en todos los niveles, lo cual podría indicar una mayor influencia en los aportes procedentes de los afloramientos volcánicos que jalonan la barra. Por otro lado, el M.E.B., indica que los cuarzos de estos mismos niveles presentan neogénesis de cuarzo euhedral, que reflejan un ambiente lagunar/marismal, lo que podría interpretarse como que durante el depósito de estos materiales la albufera estuvo cerrada y sería, por tanto, mayor la influencia de los aportes continentales.

En los niveles intermedios BA-3, BA-4 y BA-5, al M.E.B. se observa que la influencia del ambiente marino es más manifiesta, lo que unido a la presencia de glauconita es las muestras BA-4 y BA-5, indicaría que durante el depósito de estos materiales los aportes y la influencia marina fue más importante.

En las muestras correspondientes a los niveles BA-6 y BA-7 se observan marcas correspondientes al ambiente eólico, es decir, una segunda eolización, aunque no tan intensa como la primera, lo que indica que los materiales han estado emergidos bastante tiempo y han sido remodelados por el viento. Finalmente, la muestra BA-8 corresponde a unas dunas muy bien cementadas.

6. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos puede afirmarse que, aunque todos los niveles analizados son mineralógica y petrográficamente relativamente semejantes, presentan algunas anomalías a destacar:

- * La gran mayoría de los minerales pesados, olivino, piroxenos, anfíboles..., están muy poco rodados y proceden de las rocas volcánicas del entorno.
- * La turmalina, constante aunque escasa en todos los niveles, está muy bien redondeada y tiene que proceder bien de las areniscas neógenas, o bien ha sido transportada por las corrientes marinas litorales a partir de los sedimentos que el Moulouya vierte al mar (Ruellan, 1971).
- * Aunque la ausencia de esmectita hacia techo de la formación se ha tomado en áreas próximas como indicador de un cambio climático, los porcentajes tan pequeños de este mineral y el escaso número de análisis que se tienen, se consideran insuficientes datos para poder afirmar tal cambio.
- * La presencia de sanidina en los niveles BA-2 y BA-7 indicaría que la influencia de los aportes de las rocas volcánicas durante la sedimentación de estos niveles ha sido más acusada.
- * La exoscopia de los granos de cuarzo de todas las muestras revelan una ascendencia eólica muy antigua, más o menos enmascarada por microtexturas sobreimpuestas de otros ambientes sedimentarios.
- * Se puede establecer una secuencia de predominio de ambientes sedimentarios en función de las microtexturas de los granos de cuarzo que sería:
 - En la base del afloramiento (muestras BA-7 y BA-6) predomina la influencia de un ambiente lagunar/marismal sobre el ambiente marino (cierre de la laguna) y posteriormente existe un episodio eólico moderado.
 - En la zona intermedia (muestras BA-5, BA-4 y BA-3), es más patente la influencia del ambiente marino (los temporales rompen la barra y las aguas marinas penetran en la laguna), tanto inframarino como intermareal.

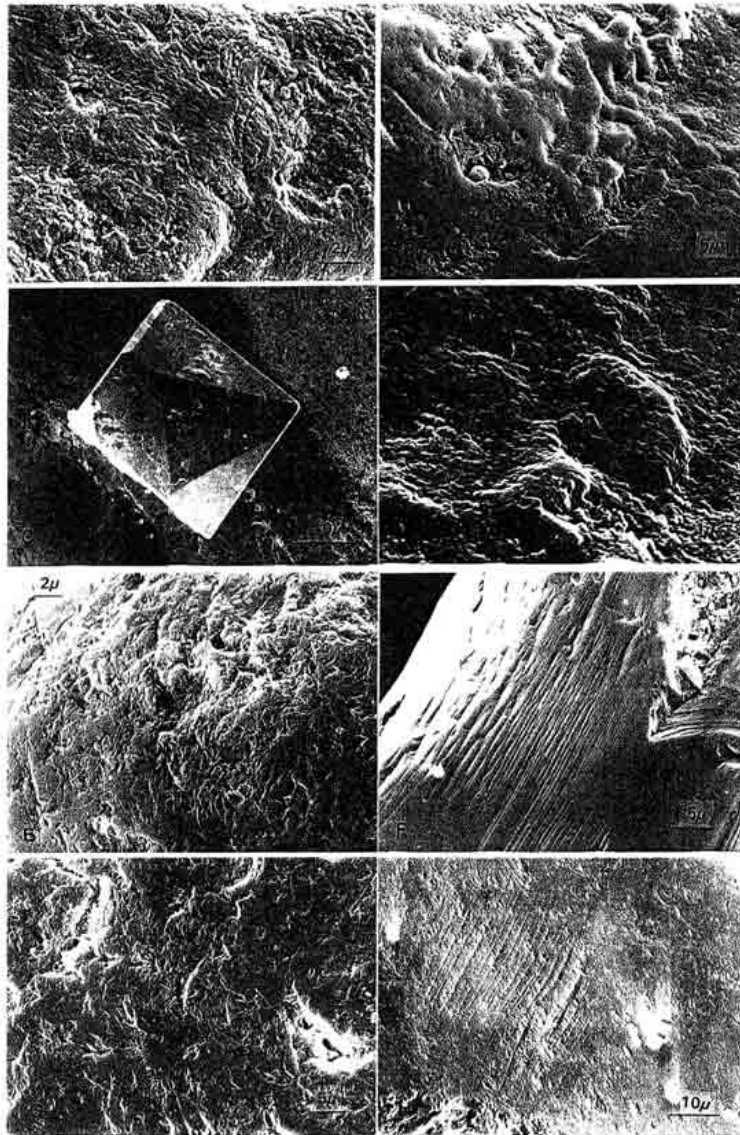


Lámina 1

A.- (BA-1). Superficie rugosa, "amorfozada", debido a los múltiples impactos de origen eólico. Posterior al episodio eólico, el grano ha pasado por un medio marino breve, ya que es observable un ligero pulimento y disolución.

B.- (BA-1). Neogénesis mal formadas de cuarzo, recubriendo gran parte de la superficie del grano.

C.- (BA-2). Grano de cuarzo euhedral muy poco rodado, con pequeños glóbulos de sílice en una de sus caras.

D.- (BA-2). Detalle del grano anterior, en el que puede observarse el depósito de sílice recubriendo parte de la superficie, originado probablemente en un medio lagunar.

E.- (BA-2). Abundantes marcas mecánicas (arcos, formas en "V", "chatter", etc), que dan lugar a una superficie rugosa característica del medio eólico. Estas marcas están ligeramente pulimentadas en un medio marino.

F.- (BA-3). Estriaciones paralelas en un grano subanguloso, originadas probablemente en un medio fluvial. Tanto las marcas mecánicas como la superficie del cuarzo están bastante bien pulimentadas debido a su posterior paso por un medio marino bastante prolongado.

G.- (BA-3). Abundantes arcos, Formas en "V" y "chatter", todas ellas de origen eólico, ligeramente pulimentadas. La superficie del grano también está bastante pulimentada en un medio marino.

H.- (BA-3). Estriaciones paralelas de posible origen glaciar, bastante pulimentadas, en una gran fractura concoidea. A las estriaciones se superponen pequeñas formas en "V" y arcos, originados en un medio eólico posterior, de baja energía.

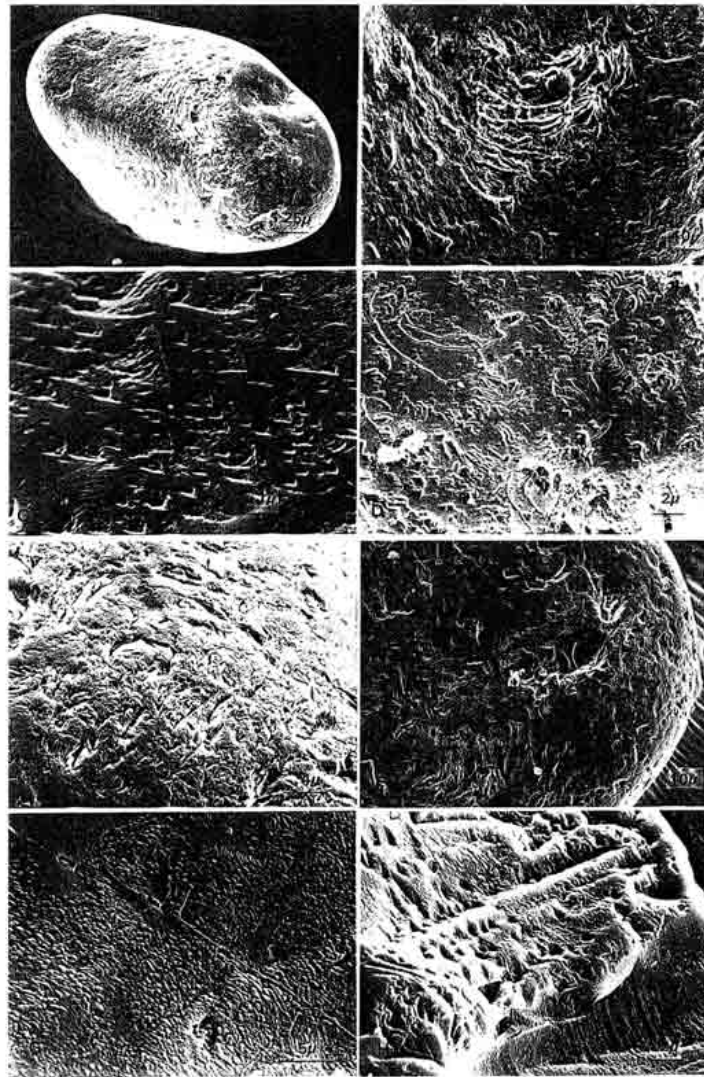


Lámina 2

A.- (BA-4). Grano bien redondeado mostrando una superficie bastante pulimentada, con abundantes arcos, algunos de gran tamaño, formas en "V", algunas orientadas, y una gran marca de frotamiento.

B.- (BA-4). Detalle de la gran marca de frotamiento del grano anterior, originada en un medio de alta energía, sobre una superficie en la que se observan antiguas marcas eólicas bastante pulimentadas en un medio marino.

C.- (BA-4). Abundantes formas en "V" orientadas, de disolución, debidas a la permanencia del grano en un medio marino prolongado, sobre una superficie también bien pulimentada.

D.- (BA-5). Superficie de un grano de cuarzo subredondeado, bien pulimentada, sobre la que se observan abundantes y antiguas marcas eólicas, anteriores al episodio marino, asimismo, bien pulimentadas.

E.- (BA-6). Abundantísimos arcos de choque, algunos de ellos antiguos y pulimentados, de bordes romos, y otros recientes, de bordes más agudos, debidos a una eolización posterior.

F.- (BA-7). Abundantes arcos de choque, formas en "V" y alguna cúpula, todas ellas producidas en un episodio eólico antiguo, dando una superficie ligeramente rugosa. Pulimento posterior en un medio marino y nuevas marcas mecánicas originadas en una segunda eolización.

G.- (BA-7). Pequeñas, abundantes y extendidas neogénesis de cuarzo euhedral, originadas probablemente en un medio lagunar, y que recubren casi toda la superficie del grano, enmascarando los antiguos "chatter".

H.- (BA-7). Escalones paralelos y estriaciones en una gran fractura de un grano de cuarzo subanguloso, recubiertos casi completamente por un abundante depósito silíceo, con formas ligeramente euhedrales, aunque mal formadas.

- Hacia techo de la formación vuelve a tener más influencia el ambiente lagunar (nuevo cierre de la albufera), pero todavía no se aprecia eolización.

Estas constataciones analíticas de la dinámica paleoambiental de la barra de cierre de la sebkha Bou-Areg, se corroboran con episodios recientes durante los cuales el aislamiento y la comunicación de la albufera con el Mediterráneo se producía con cierta frecuencia. Lillo (1995) sintetiza la información disponible desde finales del siglo XIX hasta la actualidad. La albufera se encontraba: confinada hacia el año 1888; comunicada desde 1889 hasta 1907; aislada durante el período 1907-1910; comunicada, por apertura artificial, desde 1910 a 1937; aislada de nuevo, desde 1937 hasta 1941; conectada otra vez con el Mediterráneo por rotura natural en el período 1941-1977; nuevo confinamiento por acumulación de sedimentos, desde 1977 a 1979; apertura por fuertes temporales desde 1979. En la actualidad, la bocana se halla abierta, pero la comunicación hidráulica entre el humedal salobre y el Mediterráneo requiere la casi constante atención de su dragado.

Referencias bibliográficas

- Barathon, J.J.**, 1986: Le littoral occidental du Cap des Trois Fourches (Rif-Oriental): Quelques données de l'évolution récente. *Revue Géographique de Maroc*, Vol. 10, Nouvelle Série, N° 1-2: 17-24.
- Del Valle, A. & Fernández Iruaga, P.**, 1917: Estudios relativos a la geología de Marruecos, Zona de Melilla. *Bol. Inst. Geol. Min. España*. 38: 171-242.
- Fuster, J.M.**, 1956: La provincia volcánica de La Guelaya (Marruecos español). *Estudios Geológicos*, T. XII: 59-94.
- Fuster, J.M.**, 1957: Evolución magmática de la provincia de La Guelaya (Norte de Marruecos). *Cong. Geol. Inter. XXª Sesión, Sección I: Vulcanología del Cenozoico (Ier T.)*. Ciudad de México, 1956, 71-100.
- Laquina, A.**, 1990: *Le Maroc Nord-Oriental. Reliefs, modelés et dynamique du calcaire*. Publications du Rectorat de l'Université Mohammed Ier. Oujda: 605 pp.
- Legigan, Ph.**, 1981: Origine et mise en place du sable des Landes. Apports de l'exoscopie. *Actes du Colloque de Sabres*. Centre National de la Recherche scientifique, Bordeaux, 31-41.
- Legigan, Ph. et Le Ribault, L.**, 1987: *Exoscopie des quartz: Application a la reconstitution des environnements sédimentaires*. En: Miskovsky, J.C. Géologie de la Préhistoire. Ed.: G.E.O.P.R.E., Paris, 499-517.
- Le Ribault, L.**, 1975: L'exoscopie. Methode et applications. *Notes et Memoires*, n 12, Comp. Fr. Pétroles, Paris.
- Le Ribault, L.**, 1977: *L'exoscopie des quartz*. Ed. Mason, Paris.
- Le Ribault, L.**, 1980: *Exoscopie des quartz, fiches signalétiques et interprétation des principaux caractères phenomorphiques*. Tesis 3ème. Cycle. Université Paris-Sud (Centre D'Orsay).
- Lillo, M.**, 1995: *Mar Chica o Sebja de Bu-Areg: Estudio geomorfológico y paleoambiental de la Laguna de Melilla*. Universidad de Murcia. Murcia: 173 pp.
- Margalef, R.**, 1989: Introducción al Mediterráneo. En *El Mediterráneo Occidental*. Dirigido por R.Margalef. Ediciones Omega.Barcelona: 1-17.
- Rosello, V.**, 1993: Albuferas mediterráneas. *Cuadernos de Geografía*, 53: 35-64.Universitat de València.
- Ruellan, A.** (1971): *Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes: Les sols à profil calcaire différencié des plaines en la Basse Moulouya (Maroc oriental)*. Mém. O.R.S.T.O.M., Paris, n° 54.
- Torcal, L.**, 1989: *Los depósitos detríticos Plioceno-Pleistoceno del litoral del golfo de Cádiz: Petrología, mineralogía de arcillas y exoscopia del cuarzo*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid (inérita).
- Torcal, L.; Zazo, C. & Marfil, R.**, 1984: Estudio al M.E.B. de las texturas superficiales de los granos de cuarzo y su aplicación a la interpretación de medios actuales y subactuales. *Estudios Geol.*, 40: 315-339.
- Torcal, L. & Tortosa, E.** (1985): *Microtextural evolution of quartz sand grains in glacial and fluvio-glacial deposits*. First Inter. Conf. on Geomorfology. Manchester.

- Torcal, L. & Tello, B.** 1992: *Análisis de sedimentos con microscopio electrónico de barrido: Exoscopia del cuarzo y sus aplicaciones a la Geomorfología*. Ed. Geofoma Ediciones, Boletín Técnico de la S.E.G., Zaragoza: 36 pp.
- Tricart, J.**, 1954: Una forme de relief climatique: les sebkhas. *Rev. Géomorphologie Dynamique*, 5: 97-101.
- Viguié, C.**, 1974: *Le Neogène de l'Andalousie Nord-Occidentale (Espagne). Histoire géologique du Bassin du Bas-Gudalquivir*. Thèse Univ. Bordeaux, 450 p.
- Weisrock, A.; Delibrias, G.; Rognon, P. & Coudé-Gaussens, G.**, 1985: Variations climatiques et morphogenèse au Maroc atlantique (30-33° N) à la limite Pléistocène-Holocène. *Bull.Soc.Géol. France*, (8), T.I, N° 4: 565-569.