

Geoquímica de los sedimentos de playas entre Fnideq y M'diq (Tetuán, NE de Marruecos)

Geochemical characteristics of the beach sediments between Fnideq and M'diq (Tetuan, NE of Morocco).

D. Nachite ⁽¹⁾, I. Amri ⁽¹⁾, G. Anfuso ⁽²⁾, E. Bello ⁽³⁾, E. Marocchino ⁽⁴⁾, J. Benavente ⁽²⁾ y C. Vaccaro ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ UFR «Sciences de la Mer», Laboratoire d'Océanographie Appliquée, Fac. Sciences, 93000 - Tétouan, Marruecos. nachited@hotmail.com

⁽²⁾ Departament de Ciències de la Terra, Facultat de Ciències del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, Polígono Río San Pedro s/n, 11510 Puerto Real (Cádiz), España. giorgio.anfuso@uca.es, javier.benavente@uca.es

⁽³⁾ Área de Análisis Geográfico Regional, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, Polígono Río San Pedro s/n, 11510 Puerto Real (Cádiz), España. emma.bello@uca.es,

⁽⁴⁾ Facoltà di Scienze Geologiche, Università di Ferrara, Corso Ercole I d'Este n° 32, 44100 Ferrara, Italia.

ABSTRACT.

Seventeen samples of beach sediments were gathered along the littoral between Fnideq and M'diq (NE of Morocco). The mineralogy of the studied samples was investigated through X ray and the obtained geochemical characteristics were used to identify different littoral zones. This way, three main coastal sectors were obtained: the beach of M'diq, which sediments come from the metamorphic complex of Cabo Negro and are characterised by a high content in metals and Potassium; the beaches between Kabila and Marine Smir, that present high levels of carbonates (essentially shell fragments) and high content in Sr; and, the others beaches that contain sediments with intermediate levels of carbonates.

Key-words: Beach, geochemical plotters, sediments, Morocco.

Geogaceta, 38 (2005), 159-162
ISSN: 0213683X

Introducción

El objetivo principal del presente trabajo es determinar las características geoquímicas de los sedimentos arenosos de la costa entre M'diq y Fnideq, en el litoral mediterráneo del norte de Marruecos, constituido esencialmente por playas arenosas abiertas hacia el Este.

La determinación de las características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas de los depósitos arenosos son muy importantes a la hora de desarrollar un programa de seguimiento del litoral y para el proyecto y diseño de obras de protección o de regeneración de playa. Por ejemplo, la granulometría de los sedimentos y su contenido en fragmentos de conchas o minerales pesados, determinan su atractivo turístico (color de la arena, compactación de los depósitos, etc.). Además, a partir de estos datos, en el ámbito de investigaciones futuras, se podrán definir las fuentes de aportes de

los sedimentos (Komar *et al.*, 1989; Frihy y Komar 1993; Frihy, 1994, Anfuso *et al.*, 1999), esencialmente constituidas por litotipos sedimentarios.

Zona de estudio.

La zona litoral estudiada incluye unos 24 Km. de costa homogénea y continua, principalmente arenosa, orientada N-S, abierta hacia el este y limitada al norte por el promontorio de Ceuta y al sur por Cabo Negro (Fig.1). La franja litoral estudiada presenta dos grandes llanuras costeras de elevación inferior a los 10 m., limitadas por relieves de altura moderada. Las llanuras se extienden en correspondencia con los dos ríos principales que desembocan en la zona de estudio (Bekkali, 1987): el río Negro y el río Smir. En la parte norte del área se encuentra el río Fnideq, que presenta menor importancia y carácter marcadamente estacional. Las playas forman una morfología continua a lo largo de los 24

Km. de litoral estudiado, siendo interrumpidas localmente por pequeños salientes rocosos o estructuras portuarias (Fig. 1). La playa seca presenta una pendiente suave hacia el mar siendo, a veces, completamente plana. Su anchura varía a lo largo del litoral, de 50 a 150 m. Los valores máximos se observan aguas arriba (al sur) de las principales estructuras naturales o antrópicas (que interrumpen la deriva litoral), o en correspondencia con las desembocaduras de los ríos, donde los acantilados están retranqueados. Los acantilados, principalmente inactivos, están bastante desarrollados a lo largo del litoral, y se pueden dividir en función de su litología en duros y friables. Los primeros forman los principales cabos rocosos, los segundos, presentan menor altura y son más abundantes a lo largo del tramo estudiado. Las dunas, en general estabilizadas por la vegetación (enebro, lentisco y tamariz y otros arbustos y plantas típicas de la flora mediterránea), forman cordones paralelos a la línea de costa, de diferentes

Muestras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
M en Φ	0.68	-0.22	0.78	0.43	0.04	0.26	-0.38	-0.17	0.25	-0.01	1.3	-1.15	0.41	0.91	-0.87	-0.61	0.28
σ en Φ	1.39	1.97	3.19	3.84	0.67	0.65	1.26	1	1.11	1.69	0.85	1.9	1.81	1.39	1.45	1.66	1.3
Sk en Φ	-0.3	-0.11	-0.4	-0.59	-0.78	-0.55	-0.41	0.39	-0.29	-0.36	-0.12	0.64	0.41	-0.57	-0.06	0.1	-0.89
% CaCO ₃ total	21,9	35,7	30,7	25,4	31,3	40,06	24,5	31,5	28,3	30,5	19	14,5	15,8	17,6	27,6	23,7	27,4

Tabla I.- Índices granulométricos de los sedimentos en unidad \hat{O} (M: media, \hat{o} : desviación estándar, Sk: Skewness).

Table I.- Granulometric indices of the sediments in \hat{O} units (M: granulometric average, \hat{o} : standard deviation, Sk: Skewness).

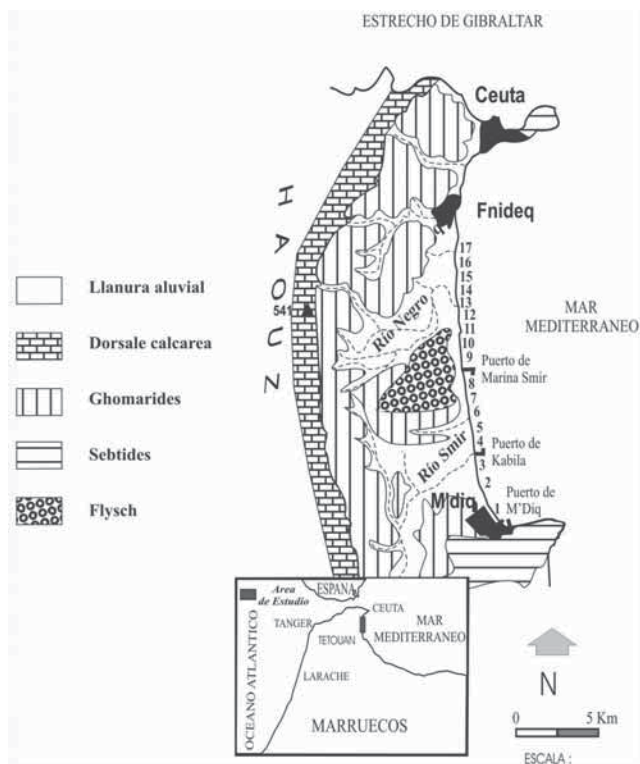


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado con ubicación de las muestras.

Fig. 1.- Simplified geological map with location of the samples.

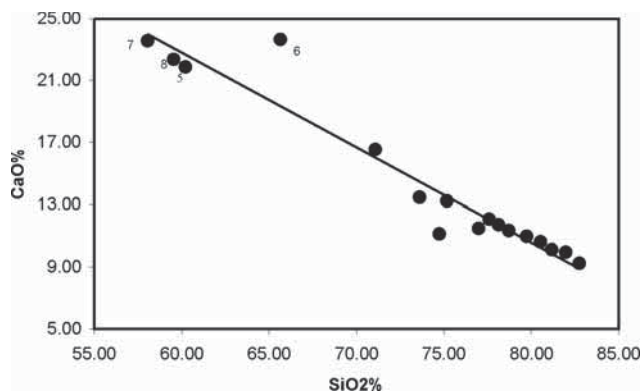


Fig. 2.- Relación SiO₂ / CaO en las diferentes muestras (5: número de la muestra).

Fig. 2.- Relation SiO₂ / CaO in different samples (5: number of the sample).

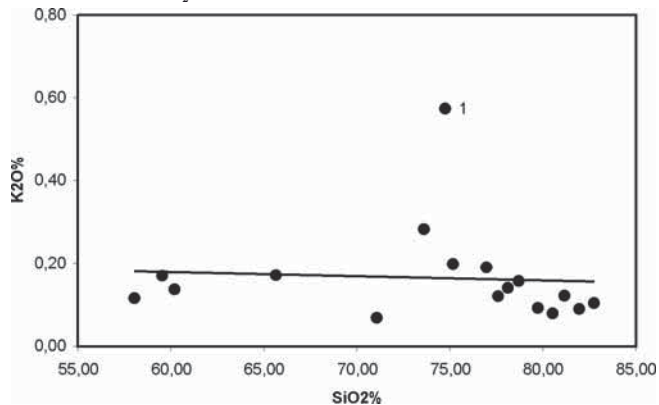


Fig. 3.- Relación SiO₂ / K₂O en las diferentes muestras (1: número de la muestra).

Fig. 3.- Relation SiO₂ / CaO in different samples (1: number of the sample).

alturas (de 2 a 3 m). Hoy en día los cordones dunares están ocupados por estructuras antrópicas como carreteras, hoteles y urbanizaciones (Anfuso *et al.*, 2004; Nachite *et al.*, 2004).

Geología.

El litoral mediterráneo entre Fnideq y M' diq (Fig. 1) constituye el límite de la parte septentrional del dominio interno de la cadena del Rif. Presenta orientación N-S y muestra tres grandes conjuntos estructurales: los Sebtides, los Ghomarides y la dorsal calcárea (Kornprobst, 1974).

Los Sebtides, de edad paleozoica, están constituidos por materiales metamórficos, ultrabásicos (peridotitas y kinzigitas) al norte de Ceuta y por gneis y micaesquistos al sur, en la zona de Cabo Negro. Los Ghomarides son materiales principalmente paleozoicos, esencialmente detríticos, ligeramente o no metamorfoseados: están constituidos por areniscas, margas y arcillas. La dorsal calcárea está esencialmente formada por materiales carbonatados, triasico-líasicos, subyacentes a materiales terrígenos carbonatados y silicoclásticos que llegan hasta el Mioceno inferior (Nold *et al.*, 1981).

Metodología.

En julio de 2003 se tomaron muestras superficiales de los sedimentos de las zonas intermareales en 17 transeptos normales a la línea de costa y distribuidos homogéneamente a lo largo del litoral estudiado. Las muestras de sedimento fueron tamizadas en laboratorio mediante una batería de 18 tamices, desde -1 F hasta 4 F, con intervalos de 0.5 F. Las muestras fueron luego analizadas en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Ferrara (IT) mediante Rayos X. De esta manera se obtuvo la composición química de las muestras y se establecieron los principales elementos que contienen óxido (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅) y su porcentaje en peso, así como la composición en elementos traza (Pb, Zn, Ni, Co, Cr, V, Th en ppm).

Para el conjunto de los resultados obtenidos, se utilizaron algunos trazadores geoquímicos como las correlaciones SiO₂-CaO; Fe-Al-Ti, Rb-Ba-V-Zn-Zr y las relaciones SiO₂/K₂O, TiO₂/Al₂O₃ - TiO₂-Fe₂O₃ y Sr/Rb.

Resultados y Discusión.

Sedimentología de las playas. (Tabla I).

En general las playas están formadas por sedimentos con granulometría gruesa (M< 1

F), mal seleccionados ($\phi > 1 F$), con una evolución del índice de asimetría hacia tamaños gruesos ($Sk < 0 F$), características ligadas a procesos energéticos bastante fuertes (Nachite *et al.*, 2004). Solamente las zonas protegidas, al sur de los espigones y puertos, muestran una granulometría más bien mediana y están mejor seleccionadas. Estas zonas tienden en general hacia un crecimiento, en el Club Méditerranée (muestra 11), Marina Smir (muestra 5), y Ksar Rimal (muestra 6).

Análisis geoquímico.

Elementos mayores: (Tabla II).

Los sedimentos de la playa están constituidos sobre todo por sedimentos cuarzosos (el SiO_2 sobrepasa el 80 % del total), que con los carbonatos llegan a más del 96 %. El porcentaje de carbonatos (traducido aquí por óxido de calcio CaO) está entre el 10 % y el 23.66 %, encontrándose en la mayoría de las muestras valores menores al 20 %. Sólo las muestras de la 5 a la 8 (zona entre Kabila y Marina Smir) llegan a sobrepasar el 20 % y se pueden considerar como arenas calcáreas (Tabla I). La fracción carbonatada está compuesta principalmente por fragmentos de conchas, sobre todo lamelibranquios (Nachite *et al.*, 2004).

Los elementos más abundantes de los sedimentos (SiO_2 y CaO) (Tabla III, Fig. 2) están inversamente relacionados entre sí, evidenciando de esta forma las dos fuentes principales de alimentación: una fuente siliciclástica, de origen principalmente continental y una fuente carbonatada biogénica marina. Esto determina dos tipos de playas, el primero formado por playas de arena calcárea (entre Kabila y Marina Smir) y el segundo formado por playas de arena cuarzosa.

Los otros elementos son minoritarios (sin llegar al 4 %) y sólo el Al_2O_3 y MgO sobrepasan el 1 %. La poca representatividad de estos compuestos minoritarios indica que los sedimentos son relativamente maduros y que existe poca incidencia de contaminación en estas zonas,

VARIABLES	Medias	desviación estándar
SiO_2	80.504	6.5260
TiO_2	0.050	0.0263
Al_2O_3	1.298	0.7139
Fe_2O_3	0.398	0.2164
MnO	0.009	0.0042
MgO	1.233	0.2707
CaO	15.820	6.0545
Na_2O	0.477	0.0868
K_2O	0.251	0.2893

Tabla III.- Estadísticas elementales de la distribución de los elementos mayores en los sedimentos.

Table III.- Statistic distribution of the most common elements in the sediments.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO_2	74.74	73.61	78.71	75.16	60.21	65.64	58.04	59.54	78.12	81.17	71.07	81.97	80.53	82.74	77.59	79.74	76.98
TiO_2	0.13	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.08
Al_2O_3	3.53	1.88	1.06	1.12	1.05	1.20	1.08	1.28	1.01	0.79	0.69	0.66	0.77	0.71	0.91	0.89	1.58
Fe_2O_3	0.89	0.42	0.22	0.30	0.42	0.48	0.47	0.58	0.23	0.17	0.17	0.16	0.20	0.18	0.32	0.30	0.62
MnO	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	nd	nd	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	1.29	1.32	1.04	1.29	1.48	1.65	1.21	1.22	1.05	0.86	0.89	0.80	0.87	0.95	1.19	0.91	1.09
CaO	11.15	13.49	11.37	13.25	21.88	23.66	23.57	22.38	11.74	10.12	16.55	9.95	10.64	9.24	12.10	10.99	11.51
Na_2O	0.60	0.52	0.44	0.47	0.51	0.47	0.44	0.52	0.42	0.37	0.42	0.34	0.34	0.35	0.38	0.39	0.40
K_2O	0.57	0.28	0.16	0.20	0.14	0.17	0.12	0.17	0.14	0.12	0.07	0.09	0.08	0.10	0.12	0.09	0.19
P_2O_5	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
LOI	7.04	8.38	6.94	8.13	14.23	6.65	14.99	14.21	7.22	6.33	10.08	5.98	6.50	5.66	7.31	6.61	7.51
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla II.- Distribución de los elementos mayores en los sedimentos.

Table II.- Distribution of the main elements in the sediments.

como evidencia la relación SiO_2/K_2O . La muestra uno (playa de M'diq) es la zona más rica en silicio y potasio (Fig. 3), al contrario de lo observado en las otras muestras. La individualización de esta playa se evidencia también en la relación Al_2O_3/TiO_2 (Fig. 4) y Fe_2O_3/TiO_2 . Estas relaciones indican que el material de la playa de M'diq es el menos maduro de toda la zona, debido a su proximidad con el complejo metamórfico

de Cabo Negro, fuente probable de este material (Fig. 3). La correlación positiva entre los óxidos de Fe, Al y Ti (Tabla III) confirma su origen común.

Elementos traza.

El S y Sr son los elementos más representados con valores que sobrepasan una media de 500 ppm. El Ba y Zr muestran una media de 20 ppm, mientras que los otros elementos muestran valores de bajos a muy bajos (Tabla. V).

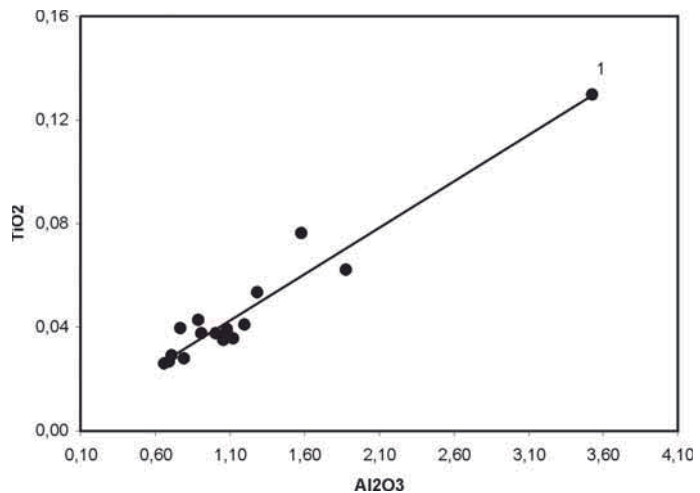


Fig. 4.- Relación Al_2O_3 / TiO_2 en las diferentes muestras (4: número de la muestra).

Fig. 4.- Relation Al_2O_3 / TiO_2 in different samples (4: number of the sample).

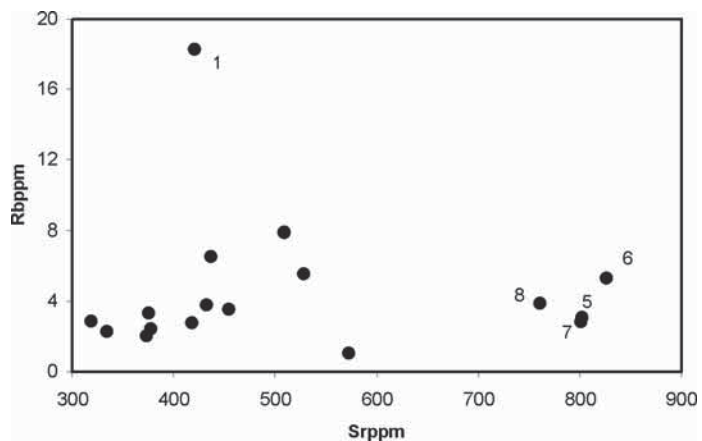


Fig. 5.- Relación Sr / Rb en las diferentes muestras (5: número de la muestra).

Fig. 5.- Relation Sr / Rb in different samples (5: number of the sample).

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
SiO ₂	1.000									
TiO ₂	-0.133	1.000								
Al ₂ O ₃	-0.216	0.969	1.000							
Fe ₂ O ₃	-0.557	0.864	0.855	1.000						
MnO	-0.104	0.698	0.687	0.645	1.000					
MgO	-0.812	0.285	0.420	0.627	0.372	1.000				
CaO	-0.982	-0.048	0.030	0.404	-0.033	0.707	1.000			
Na ₂ O	-0.707	0.615	0.726	0.767	0.435	0.765	0.583	1.000		
K ₂ O	0.166	0.212	0.268	0.092	-0.249	-0.107	-0.218	0.087	1.000	
P ₂ O ₅	-0.368	0.737	0.797	0.822	0.591	0.686	0.212	0.713	0.131	1.000

Tabla IV.- Matriz de Correlaciones múltiples de los elementos mayores.

Table IV.- Multiple correlations between the most common elements.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ba	96,9	-48,3	15,9	25,6	20,3	18,8	11,2	21,6	13,4	12,1	1,6	7,6	5,7	15,2	7,8	10,8	28,0
Cc	0,1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,1
Co	nd	2,0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,7	nd	nd	nd	nd	2,7
Cr	15,3	5,3	3,5	1,9	1,8	2,3	0,2	2,0	6,0	0,4	0,4	0,8	11,5	0,3	1,1	4,5	2,5
La	12,2	4,0	7,3	3,6	6,9	4,9	6,9	5,1	nd	7,4	3,6	1,0	8,4	2,9	2,1	1,8	6,0
Nb	2,5	2,5	1,6	1,1	1,9	2,6	1,4	2,3	1,4	0,9	0,8	1,2	1,3	1,1	1,8	1,0	2,5
Ni	5,3	2,0	1,5	nd	0,1	nd	nd	nd	3,1	0,6	nd	1,9	0,3	1,9	1,7	2,5	4,6
Pb	6,0	0,3	0,6	3,1	0,7	0,3	0,7	0,5	3,5	0,6	nd	1,2	1,9	0,9	3,5	0,5	3,8
Rb	18,3	7,9	3,8	5,6	3,1	5,3	2,8	3,9	3,5	3,3	1,0	2,3	2,0	2,9	2,8	2,4	6,5
Sr	420,5	509,1	432,4	528,1	802,4	826,5	801,1	760,7	454,2	375,3	572,7	334,5	373,1	319,0	418,2	377,2	436,9
Th	1,5	1,6	0,7	1,1	0,5	nd	0,6	0,9	1,1	2,0	1,0	1,4	0,2	1,3	0,7	1,3	1,4
V	20,3	11,3	7,5	8,5	9,8	11,6	10,8	10,5	8,7	4,5	6,1	5,9	6,4	6,1	6,9	7,7	12,8
Y	5,8	3,7	2,6	3,8	3,2	5,1	2,1	2,9	3,1	2,7	2,3	2,2	3,5	2,4	3,4	2,4	3,0
Zn	9,3	2,9	0,4	0,1	0,4	0,2	0,8	1,6	1,6	nd	nd	nd	1,8	nd	0,8	1,4	6,5
Zr	42,1	25,2	19,0	15,9	15,3	22,7	14,9	18,8	20,2	18,2	17,5	17,0	20,0	17,5	19,0	19,6	30,8
Cu	8,5	5,0	4,8	4,3	3,7	3,2	3,3	3,5	5,5	5,4	3,1	5,9	5,3	5,5	7,2	5,3	6,7
Ga	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
S	828,2	859,9	751,9	779,0	978,0	1488,7	810,5	853,5	702,0	530,7	657,2	537,4	544,4	778,5	909,3	763,6	553,6
Sc	4,2	4,8	3,0	2,6	5,7	6,4	3,0	7,9	4,5	4,2	4,1	0,9	3,5	3,4	4,6	4,6	3,7

Tabla V.- Distribución en ppm de los elementos traza en los sedimentos.

Table V.- Distribution in ppm of the minor elements in the sediments.

	Ba	Ce	Co	Cr	La	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	V	Y	Zn	Zr	Cu	S	Sc
Ba	1.000																	
Ce	0.158	1.000																
Co	0.150	0.596	1.000															
Cr	0.666	0.003	-0.110	1.000														
La	0.562	0.144	-0.118	0.526	1.000													
Nb	0.607	0.384	0.488	0.319	0.348	1.000												
Ni	0.607	0.538	0.285	0.513	0.101	0.341	1.000											
Pb	0.583	0.386	0.001	0.578	0.237	0.289	0.704	1.000										
Rb	0.985	0.209	-0.115	0.678	0.572	0.608	0.639	0.657	1.000									
Sr	-0.031	-0.127	-0.012	-0.263	0.160	0.389	-0.538	-0.336	-0.059	1.000								
Th	0.332	0.211	0.334	-0.010	-0.085	-0.168	0.506	0.185	0.300	-0.564	1.000							
V	0.678	0.324	0.204	0.582	0.543	0.765	0.544	0.560	0.888	0.290	0.023	1.000						
Y	0.736	0.013	-0.116	0.644	0.459	0.648	0.288	0.540	0.784	0.155	-0.162	0.719	1.000					
Zn	0.827	0.564	0.336	0.706	0.531	0.600	0.807	0.724	0.849	-0.174	0.301	0.843	0.560	1.000				
Zr	0.860	0.458	0.251	0.718	0.512	0.635	0.795	0.671	0.900	-0.208	0.292	0.827	0.700	0.948	1.000			
Cu	0.513	0.339	0.113	0.524	0.162	0.188	0.839	0.780	0.561	-0.716	0.467	0.325	0.326	0.663	0.669	1.000		
S	0.160	-0.258	-0.221	-0.070	0.015	0.532	-0.249	-0.160	0.170	0.660	-0.553	0.347	0.541	-0.110	0.045	-0.336	1.000	
Sc	0.125	-0.079	0.076	0.036	0.101	0.518	-0.186	-0.177	0.085	0.577	-0.263	0.275	0.321	0.070	0.107	-0.297	0.579	1.000

Tabla VI.- Matriz de correlaciones múltiples de los elementos traza.

Table VI.- Multiple correlations of minor elements.

La matriz de correlación múltiple (Tabla IV) da una correlación positiva entre Ba, Rb, V, Zn y Zr. Además, estos elementos muestran los valores más altos en la playa de M' diq (muestra 1), probablemente debido a su origen común, el complejo metamórfico de Cabo Negro.

La abundancia del Sr parece estar ligada a los carbonatos de calcio, más que a la polución. En efecto, la relación Rb/Sr (Fig.5) separa las muestras de 5 a 8 (playa entre Kabila y Marina Smir) ricas en carbonatos de calcio de origen biogénico. En este gráfico la playa de M' diq (muestra 1) queda aislada con valores muy altos de Rb. Estos resultados confirman tanto las deducciones del párrafo anterior, como la particularidad de la playa de M' diq y el origen de sus depósitos; así como la riqueza en carbonatos

biogénicos de las playas existentes entre Kabila y Marina Smir.

Conclusiones

Un primer análisis de las características geoquímicas de los sedimentos de las playas entre Fnideq y M' diq muestra la posibilidad de que algunos elementos mayores y traza sean susceptibles de ofrecer índices sobre la composición, la procedencia del material y el grado de madurez de los sedimentos.

Del conjunto de los resultados obtenidos, se han seleccionado algunos elementos considerados como trazadores geoquímicos. En una segunda fase, las concentraciones de los elementos elegidos han sido relacionadas entre sí: se han obtenido correlaciones entre SiO₂-CaO, Fe,-Al-Ti,

Rb-Ba-V-Zn-Zr, y las relaciones SiO₂/K₂O, TiO₂/Al₂O₃ - TiO₂-Fe₂O₃ y Sr/Rb.

Estos resultados preliminares separan tres conjuntos de playas:

- La playa de M' diq, ubicada al sur, que se caracteriza por presentar depósitos poco maduros, en su mayoría procedentes del complejo metamórfico de Cabo Negro, muy rico en metales y en potasio.

- Las playas entre Kabila y Marina Smir, que presentan sedimentos muy carbonatados de origen biogénico y ricos en Sr.

- Las otras playas muestran valores intermedios de carbonatos, más cercanos a las playas carbonatadas del sector Kabila - Marina Smir.

Así pues, con estudios futuros que consistirán en el estudio de los sedimentos de las desembocaduras y los lechos de los ríos, se podrá definir el origen de las partículas sedimentarias procedentes del continente. Además estos trazadores naturales geoquímicos pueden aportar informaciones muy útiles sobre los mecanismos que controlan el transporte.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto de la Junta de Andalucía AM3/04 y al proyecto marroquí PROTARS III D16/07 y una contribución a los Grupos PAI RNM-328 y HUM 117.

Referencias

Anfuso G., Nachite D., Benavente J., Meklach Y., Bello E. y Macias A. (2004). *Geogaceta*, 35, 47-50.

Anfuso, G., Achab, M., Cultrone, G. y López-Aguayo F. (1999). *Boletín Instituto Español Oceanografía* 15, 243-250.

Bekkali R. (1987). *Les ostracodes du Lac Smir*. Tesis Doctoral, Univ. Abdelmalek Esaâdi, Tétouan, 184 p. (inédita).

Frihy, O. E. (1994). *Sedimentology*, 41, 905-912.

Frihy, O. E., y Komar, P.D. (1993). *Marine Geology*, 115, 253-261.

Komar, P.D., Clemens, K.E., Li, Z. y Shih, S.M. (1989). *Journal Sedimentary Petrology*, 59, 590-596.

Kornprobst J. (1974). *Notes et mémoires Service Géologique Maroc*, 251, 260 p

Nachite D., El Moutchou B., Anfuso G., Benavente J., Bello E., y Macias A. (2004). *Geogaceta*, 35, 43-46.

Nold M., Uttinger J. y Wildi W. (1981). *Notes et mémoires Service Géologique Maroc*, 300, 233 p.