

Nota de Investigación/Research Note

Características morfológicas y variabilidad volumétrica de las playas del litoral entre Ceuta y Cabo Negro (Marruecos)

Morphological characteristics and volumetric variability of the beaches between Ceuta and Cabo Negro (Morocco)

G Anfuso^{1*}, E Bello², J Benavente¹, D Nachite³, A Macias²

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, Polígono Río San Pedro s/n, 11510 Puerto Real (Cádiz), España. * E-mail: giorgio.anfuso@uca.es

² 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.

³ UFR "Sciences de la Mer", Laboratoire d'Océanographie Appliquée, Fac. Sciences, 93000 - Tétouan, Marruecos.

Resumen

Se llevó a cabo el seguimiento morfológico del litoral entre Ceuta y Cabo Negro (NO de Marruecos). Las playas estudiadas presentaron perfiles reflectivos que mostraron escasa variabilidad estacional, estando los cambios más importantes (del orden de $20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$) relacionados con la acción de los temporales. Los parámetros geomorfológicos utilizados evidenciaron la presencia de playas intermedias y reflectivas caracterizadas por roturas en voluta. Sólo a veces, tras los temporales, se observaron playas más disipativas. Finalmente, las playas que presentaron mayor variabilidad fueron aquellas que se encuentran próximas a estructuras antrópicas.

Palabras clave: erosión litoral, volumen de playa, Marruecos.

Abstract

A beach monitoring program was carried out along the littoral between Ceuta and Cabo Negro (NW Morocco). The beaches studied showed reflective profiles that recorded little seasonality and the most notable morphological changes (about $20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$) were related to storm waves. Morphological parameters highlighted the existence of intermediate and reflective beach states, which are characterized by plunging breakers. Dissipative conditions were observed only in a few cases, after severe storms. The beaches that showed the most variability were usually those located close to human structures.

Key words: littoral erosion, beach volume, Morocco.

Introducción

En las últimas décadas el incremento en la demanda del uso de las playas con fines recreativos ha fomentado la realización de estudios sobre los procesos morfodinámicos que actúan sobre éstas, siendo su conocimiento fundamental para una correcta gestión de la erosión costera, el adecuado uso turístico de las playas y el diseño y dimensionamiento de cualquier obra de protección (Fucella y Dolan 1996, Komar 1998).

El tramo de litoral mediterráneo estudiado en el presente trabajo se localiza entre Ceuta y Cabo Negro (NO de Marruecos) y, durante los últimos años, ha sido objeto de una creciente ocupación turística, consistente esencialmente en la construcción de dos puertos turísticos (Marina Smir y Kabila), urbanizaciones, hoteles y una autovía que se desarrolla paralela a la costa, afectando al cordón dunar y a dos zonas húmedas de gran interés ecológico (Nachite *et al.* 2004, Anfuso *et al.* 2004).

Introduction

In recent decades the increased demand for the recreational use of beaches has resulted in the uptake of studies on the morphodynamic processes that are acting on beaches. This knowledge is fundamental for appropriate coastal erosion management, suitable tourist use of the beaches and for the design and shape of any human construction that may be built (Fucella and Dolan 1996, Komar 1998).

The Mediterranean sector of the Moroccan littoral surveyed in this study is located between Ceuta and Cabo Negro and over recent years has been subject to increasing tourist activity. This has consisted mainly of the construction of two tourist ports (Marina Smir and Kabila), residential developments, hotels and a motorway that runs parallel to the coast, affecting the dune ridges and two lagoons that are of great ecological interest (Nachite *et al.* 2004, Anfuso *et al.* 2004).

Con el fin de conocer el comportamiento morfodinámico de las playas estudiadas durante el periodo de julio de 2003 a junio de 2005, se llevó a cabo un seguimiento morfológico, volumétrico y sedimentológico de la zona de estudio (Anfuso *et al.* 2004). El análisis de los datos recogidos mediante el seguimiento topográfico permitió caracterizar la morfología y la granulometría de las playas estudiadas y calcular sus volúmenes y las variaciones que presentaron a lo largo del periodo reseñado.

Zona de estudio

La zona de estudio está constituida por el tramo costero comprendido entre las ciudades marroquíes de Fnideq y Mdiq (fig. 1), abarcando una longitud de unos 24 km (Nachite *et al.* 2004, Anfuso *et al.* 2004). La costa, orientada N-S, es abierta hacia el este y limita al norte con el promontorio de Ceuta y al sur con Cabo Negro. Las playas presentan sedimentos arenosos, de composición fundamentalmente cuarzosa (Nachite *et al.* 2005). Además de las playas se observan también cordones dunares, acantilados activos y fósiles y pequeños salientes rocosos como el que aparece en la zona denominada Restinga.

La marea tiene un carácter semidiurno y rango micro-mareal, y varía de pocos centímetros en mareas muertas, hasta 80–100 cm en mareas vivas. La onda de marea, procedente del Atlántico, penetra en el Mediterráneo y se propaga hacia el este disminuyendo progresivamente su intensidad. En determinados casos, las variaciones del nivel del mar producidas por las mareas barométricas pueden alcanzar valores equiparables a las variaciones debidas a las mareas astronómicas. Los vientos predominantes son, de mayo a octubre el “Chergui”, que sopla del este, mientras que de octubre a febrero predomina el “Gharbi”, que sopla del oeste. En los meses de abril y mayo se puede observar un cierto equilibrio entre los vientos del ENE y OSO (LPEE 1987, El Moutchou 1995).

Debido a la orientación del litoral, el oleaje se aproxima a la costa del primer y segundo cuadrante. Las olas asociadas a los temporales provienen del E y ENE, siendo su altura máxima registrada de 5.5 m con un periodo de 5 s en Mdiq (LPEE 1987). Las corrientes principales fluyen de S a N y, durante el periodo estival, hacia el SSE, con una velocidad máxima de 0.68 m s^{-1} (Lakhdar *et al.* 2001).

Metodología

Se llevó a cabo un seguimiento del litoral estudiado mediante un teodolito Nestle BC-8. Se realizaron 84 perfiles topográficos a lo largo de cinco campañas (julio de 2003, enero y febrero de 2004, y abril y junio de 2005). La campaña de febrero de 2004 se llevó a cabo para estudiar los cambios morfológicos debidos a una tormenta asociada con vientos y oleaje procedentes del segundo cuadrante. En cada campaña se realizaron 17 perfiles topográficos normales a la línea de costa (fig. 1), medidos a partir de puntos fijos ubicados en la trasplaya y prolongados hasta una profundidad aproximada de 1 m respecto al nivel medio del mar. El tratamiento de los datos

In order to characterize the behavior of the beaches under study, a beach monitoring program was carried out over the period from July 2003 to June 2005, taking into account morphology, volume and sedimentation processes of the area in question (Anfuso *et al.* 2004). On analyzing the information obtained, it was possible to characterize the morphology and sedimentology of the beaches, and to calculate beach volumetric variations during the period of study.

Study area

The study area consists of the coastal sector between the Moroccan cities of Fnideq and Mdiq (fig. 1), and covers a length of around 24 km (Nachite *et al.* 2004, Anfuso *et al.* 2004). The coastline has a N-S orientation and is open on the east side but restricted to the north and south because of the Ceuta and Cabo Negro headlands. The beaches consist of sand sediments, mainly composed of quartz (Nachite *et al.* 2005). Dune ridges, active and fossilized cliffs, and small rocky platforms, like the one outcropping in the Restinga zone, are also observed.

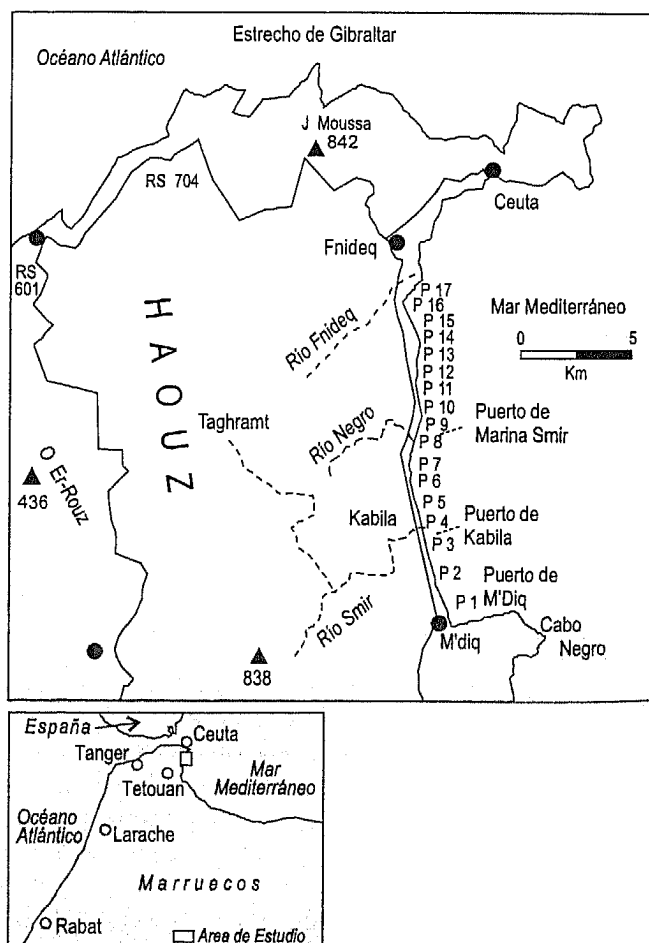


Figura 1. Localización de la zona de estudio con ubicación de los perfiles y las principales estructuras antrópicas.

Figure 1. Location of the study area. The position of beach profiles and human structures are also indicated.

topográficos permitió reconstruir la morfología de las playas, la pendiente del estrán y calcular los volúmenes.

En cuanto a las características de los sedimentos, se tomaron muestras superficiales en la zona intermareal. Tras realizar el análisis de los carbonatos contenidos en las muestras, éstas se tamizaron en laboratorio mediante una batería de 18 tamices, con intervalos de 0.5 phi, y se obtuvieron los parámetros estadísticos (Folk y Ward 1957).

Para caracterizar el estado morfodinámico de la playa, se emplearon varios parámetros e índices muy utilizados en geomorfología litoral. El tipo de rompiente se calculó con el índice de Similaridad de Surf (*Surf Similarity*, Battjes 1974). Este índice fue inicialmente definido por Iribarren y Nogales (1949) para calcular el punto de rotura de las olas. Su expresión es la siguiente:

$$\xi = \tan\beta(H_b/L_0)^{0.5} \quad (1)$$

donde $\tan\beta$ es la pendiente media de la playa en la zona intermareal, H_b es la altura de ola en rompiente y L_0 la longitud de onda del oleaje en aguas profundas. Este índice predice el tipo de rompiente: ondulado y colapso ($\xi > 2$), voluta ($0.4 < \xi < 2$) y rompientes en derrame ($\xi < 0.4$) (Fredsoe y Deigaard 1992).

Para determinar el estado morfodinámico de la playa, Guza e Inman (1975) propusieron el parámetro de Escala de Rompiente (*Surf Scaling*):

$$\varepsilon = \sigma^2 H_b / 2g \tan^2\beta \quad (2)$$

donde σ es la frecuencia del oleaje en radianes, g la aceleración de gravedad y β la pendiente de la playa. El parámetro permite diferenciar entre condiciones de zona de surf reflectivas ($\varepsilon < 2.5$), intermedias ($2.5 < \varepsilon < 30$) y disipativas ($\varepsilon > 30$) (Guza e Inman 1975).

En cuanto a las características del oleaje, se utilizaron los datos de la boya oceanográfica escalar de Ceuta perteneciente a la red española de medidas REMRO (Puertos del Estado, Ministerio de Medio Ambiente) y las mediciones directas del oleaje realizadas durante las campañas.

Finalmente se calcularon los volúmenes de las playas con un programa del entorno Windows. Para que no se comparasen entre sí perfiles de dimensiones diferentes, su longitud fue previamente normalizada en correspondencia de un determinado valor de desnivel común a todos (el nivel medio del mar o cota 0). De esta forma, para cada uno de ellos se determinó el volumen de la parte de playa comprendida entre la cabecera del mismo y el nivel medio del mar. Los volúmenes se utilizaron para calcular el Índice de Vulnerabilidad Morfológica (Iv) propuesto por Ferreira (1998):

$$Iv = (V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}})(V_{\text{med}}) \quad (3)$$

donde $V_{\text{máx}}$, V_{med} y $V_{\text{mín}}$ representan respectivamente los volúmenes máximo, medio y mínimo.

The area is a semidiurnal, microtidal environment, the tidal range varying from a few centimeters during neap tides to 80–100 cm during spring tides. The tidal wave, coming from the Atlantic, penetrates into the Mediterranean and spreads out towards the east, progressively decreasing in intensity. In certain cases, the sea level variation produced by barometric tides reaches a magnitude comparable to that related to the astronomical tides. From May to October there is a predominant easterly “Chergui” wind, whereas from October to February, westerly “Gharbi” winds prevail. During the months of April and May a certain equilibrium can be observed between the winds from the ENE and WSW (LPEE 1987, El Moutchou 1995).

As a result of the orientation of the littoral, waves approach the coast from the first and second quadrants. Waves associated with storm conditions come from the E and ENE. The highest registered height for a wave from this approaching direction is 5.5 m with a period of 5 s in Mdiq (LPEE 1987). The main currents flow from S to N and during the summer season, towards the SSE, with a maximum speed of 0.68 m s⁻¹ (Lakhdar *et al.* 2001).

Methodology

The monitoring program of the littoral under study was carried out using a Nestle BC-8 theodolite. Eighty-four topographic profiles were taken during five surveys: in July 2003, January and February 2004, and April and June 2005. The February 2004 survey was undertaken to study morphological changes due to a storm in which the winds and waves came from the second quadrant. In each survey, 17 normal topographic profiles were taken along the coastline (fig. 1), measured from fixed points located on the backshore and extended to a depth of approximately 1 m below the mean sea level. The processing of the topographic data allowed for the reconstruction of the morphology of the beaches, the slope of the foreshore and the calculation of their volumes.

Surface samples were taken from the foreshore to determine the sediment characteristics. After analyzing the carbonates present in the samples, the samples were sieved in the laboratory through 18 sieves at 0.5-phi intervals, and the statistical parameters were obtained (Folk and Ward 1957).

Various parameters and formulae commonly used in coastal geomorphology studies were employed to characterize the morphodynamic state of the beaches. The type of breaker was calculated by the surf similarity index (Battjes 1974). This index was initially defined by Iribarren and Nogales (1949) to calculate the wave-breaking point and is expressed as follows:

$$\xi = \tan\beta(H_b/L_0)^{0.5} \quad (1)$$

where $\tan\beta$ is the average slope of the foreshore zone, H_b is the breaking wave height and L_0 is the wave length in deep waters. This index predicts the breaking wave type: collapsing and

Resultados

En cuanto a las características granulométricas, los valores de los principales parámetros estadísticos calculados para las muestras tomadas en julio de 2003 se presentan en la tabla 1.

Las playas están constituidas por arena gruesa y muy gruesa, moderadamente y mal clasificada, con evolución del índice de asimetría hacia tamaños gruesos (tabla 1), características ligadas a procesos energéticos bastante fuertes (Nachite *et al.* 2004).

Para reconstruir las características morfológicas de las playas, todos los levantamientos topográficos llevados a cabo se representaron en la figura 2: julio de 2003 y enero de 2004, correspondiendo teóricamente y, respectivamente, a condiciones de verano e invierno, y los levantamientos de febrero de 2004 y abril de 2005, correspondiendo a condiciones erosivas porque fueron realizados después de importantes temporales de levante.

La anchura de la playa varía entre 30 y 80 m aproximadamente, registrándose los valores mínimos en la parte sur del litoral y los máximos en la parte norte (fig. 2: P1, P2, P16 y P17). En cuanto a su morfología, las playas reflejaron claras condiciones reflectivas (Wright y Short 1984, Carter 1988), con valores de pendiente elevados (0.09) en la zona activa de la playa, bastante homogéneos a lo largo del litoral (tabla 2).

Las variaciones volumétricas de la parte de playa comprendida entre la cabecera del perfil y el nivel medio del mar se presentan en la tabla 3. Como cabe esperar, dichas variaciones reflejaron los cambios morfológicos observados, ayudando a comprender el comportamiento de las distintas playas.

En cuanto a la comparación entre las primeras dos campañas (fig. 2, tabla 4), cabe destacar cómo la gran mayoría de las playas estudiadas registraron un crecimiento más o menos acentuado en enero de 2004. Los crecimientos mayores se observaron en P2, P4, P5 y P6 (fig. 2). Cambios más pequeños, es decir acreción del orden de 3–4 m³ m⁻¹, se registraron en otras playas. Sólo dos perfiles sufrieron erosión, registrando cambios muy pequeños, del orden de 4 m³ m⁻¹.

Tras el temporal que afectó el litoral estudiado justo unos días antes de la campaña de febrero (cuyas condiciones se relacionan en la tabla 4), se observaron variaciones morfológicas y volumétricas relativamente importantes.

Casi todas las playas registraron erosión en la parte seca y un pequeño crecimiento al nivel medio del mar (fig. 2: P5 y P9). Los valores más elevados de erosión, 13–16 m³ m⁻¹, se registraron en los perfiles P2, P5 y P6 (fig. 2, tabla 3), otros valores de erosión fueron del orden de 5–8 m³ m⁻¹. Finalmente, hay que destacar como siete perfiles registraron acreción con valores en general pequeños, con máximos de 6 m³ m⁻¹.

Comparando las campañas de febrero de 2004 y abril de 2005 (fig. 2, tabla 3), hay que destacar la erosión sufrida por la mayoría de las playas, cuyos valores máximos registrados fueron del orden de 13–20 m³ m⁻¹ (fig. 2: P2, P4, P6, P10, P15 y P16). Sin embargo, en algunas playas se produjeron ligeros aumentos del volumen, con valores máximos en P5 y P7.

surging ($\xi > 2$), plunging ($0.4 < \xi < 2$) and spilling ($\xi < 0.4$) (Fredsoe and Deigaard 1992).

In order to determine the morphodynamic state of the beach, Guza and Inman (1975) proposed the following surf scaling parameter:

$$\varepsilon = \sigma^2 H_b / 2g \tan^2 \beta \quad (2)$$

where σ is the wave frequency in radians, g is the acceleration of gravity and $\tan \beta$ is the beach slope. The formula allows to distinguish between reflective ($\varepsilon < 2.5$), intermediate ($2.5 < \varepsilon < 30$) and dissipative ($\varepsilon > 30$) surf zones (Guza and Inman 1975).

For the wave characteristics, data was taken from the scalar buoy off Ceuta, which belongs to the Spanish measurement network REMRO (Ministry of Environment). Additional, direct measurements of wave characteristics were taken during the field surveys.

Finally, the beach volumes were calculated using a Windows program. So that the program would not compare profiles of different dimensions, their lengths were normalized beforehand in correspondence with a common determined value (the mean sea level, defined as level zero). The volume of the part of the beach between the backshore and the average sea level was thus determined for each profile. These volumes were used to calculate the index of morphological vulnerability (Iv) proposed by Ferreira (1998):

$$Iv = (V_{\max} - V_{\min})(V_{av}) \quad (3)$$

where V_{\max} , V_{av} and V_{\min} represent the maximum, average and minimum volumes, respectively.

Results

Regarding the granulometric characteristics, the values of the main statistical parameters calculated for the samples taken in June 2003 are given in table 1.

The beaches consisted of coarse and very coarse sand, moderately and poorly sorted, most of the samples being very negatively skewed (table 1), which are characteristics associated with fairly strong energetic processes (Nachite *et al.* 2004).

To reconstruct the morphological characteristics of the beaches, all the surveys carried out during the study period are represented in figure 2: the surveys of July 2003 and January 2004, corresponding theoretically to summer and winter conditions, respectively, and those of February 2004 and April 2005, corresponding to erosive conditions because they were carried out after significant easterly wind storms.

Beach width varied between approximately 30 and 80 m. The minimum values were recorded on the southern side of the littoral and the maximum values on the northern side (fig. 2: P1, P2, P16 and P17). The morphology of the beaches showed clear reflective conditions (Wright and Short 1984, Carter

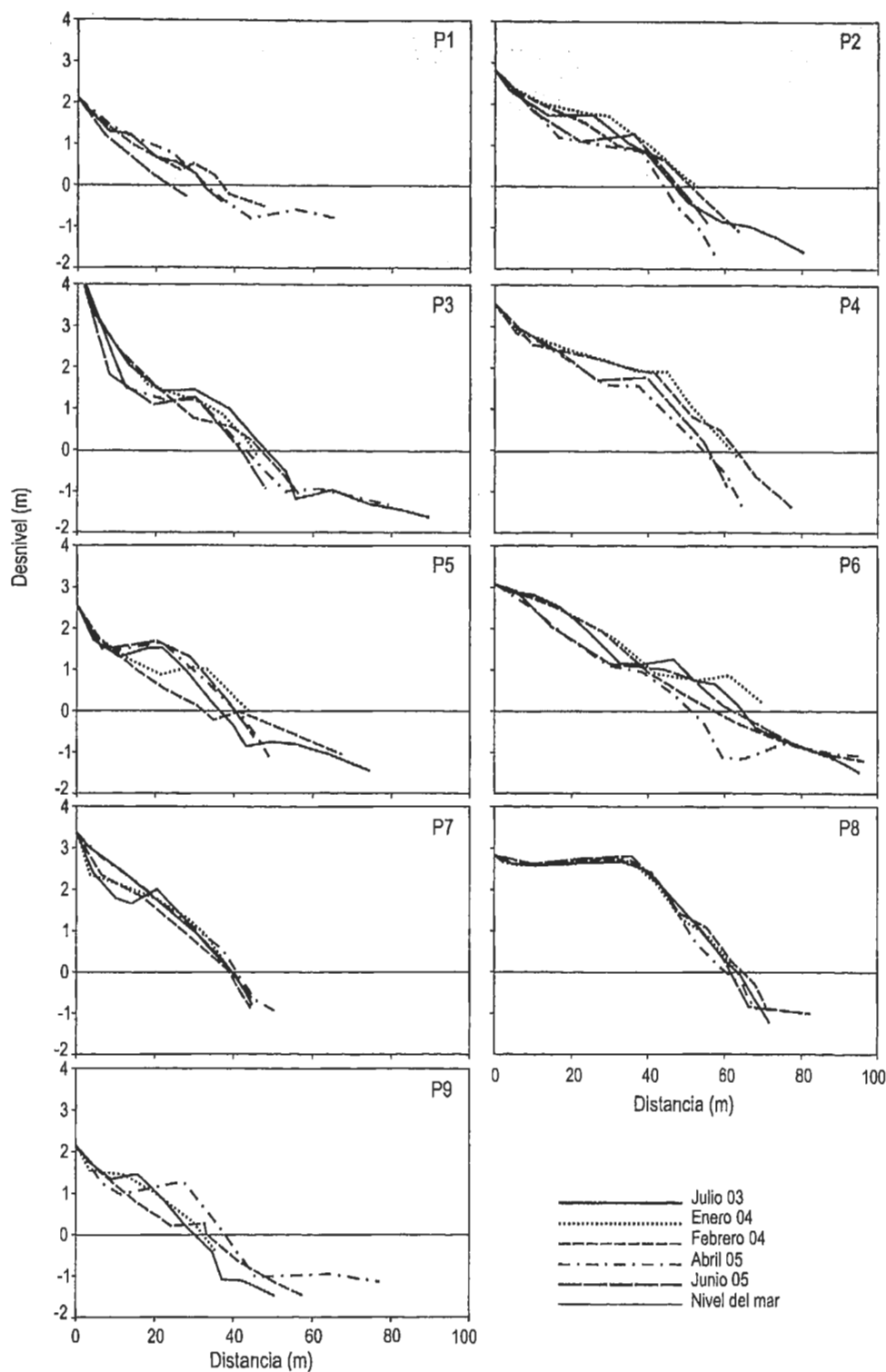
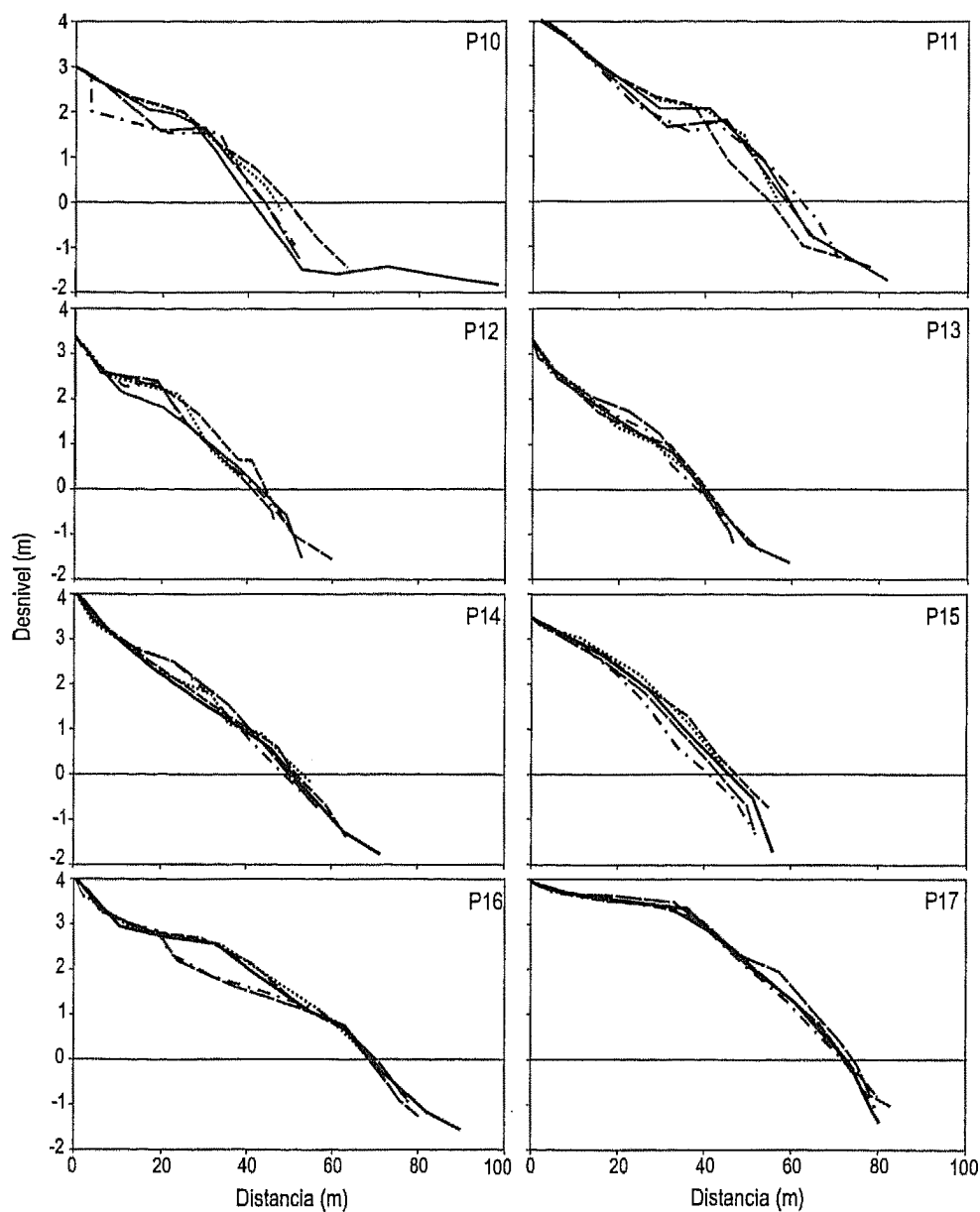


Figura 2. Perfiles topográficos de las playas estudiadas. Campañas de julio de 2003, enero y febrero de 2004 y abril y junio de 2005. (Cont.)
 Figure 2. Topographic profiles of the beaches surveyed in July 2003, January and February 2004, and April and June 2005. (Cont.)

general los cambios morfológicos fueron uniformes a lo largo de la playa (fig. 2), dando lugar a valores de pendiente muy pequeños. A veces las variaciones morfológicas fueron más importantes al nivel medio del mar (P1, P10 y P11). Este fenómeno, que está relacionado

con el viento (Lal, 1988), with elevated slope values in the active zone of the beach (0.09) and fairly homogeneous values along the littoral (table 2).

The volumetric variations of the beach volumes, calculated from the backshore to the mean sea level, are shown in table 3.



(Cont).

Figura 2. Perfiles topográficos de las playas estudiadas. Campañas de julio de 2003, enero y febrero de 2004 y abril y junio de 2005.

Figure 2. Topographic profiles of the beaches surveyed in July 2003, January and February 2004, and April and June 2005

Tabla 1. Características granulométricas de las playas.
Table 1. Granulometric characteristics of the beaches.

Parámetros estadísticos (phi)	Perfiles																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Diámetro medio	0.68	-0.22	0.78	0.43	0.04	0.26	-0.38	-0.17	0.25	-0.01	1.30	-1.10	0.41	0.91	-0.80	-0.61	0.20
Desviación típica	1.39	1.97	3.19	3.84	0.67	0.65	1.26	1.00	1.11	1.69	0.80	1.90	1.81	1.39	1.40	1.66	1.30
Simetría	-0.3	-0.11	-0.40	-0.59	-0.78	-0.55	-0.41	0.39	-0.29	-0.36	0.10	0.60	0.41	-0.57	-0.06	0.10	-0.80

Tabla 2. Pendiente de las playas estudiadas.
Table 2. Slopes of the beaches surveyed.

Perfil	Pendiente				
	2003	2004		2005	
	Julio	Enero	Febrero	Abril	Junio
1	0.095	0.100	0.082	0.080	0.061
2	0.066	0.063	0.081	0.132	0.108
3	0.085	0.062	0.095	0.100	0.109
4	0.103	0.113	0.074	0.093	0.105
5	0.104	0.073	0.065	0.102	0.120
6	0.047	0.077	0.053	0.100	0.059
7	0.062	0.113	0.081	0.094	0.150
8	0.104	0.090	0.092	0.108	0.136
9	0.099	0.064	0.054	–	0.126
10	0.110	0.093	0.090	0.140	0.160
11	0.120	0.119	0.122	0.091	0.129
12	0.082	0.094	0.116	0.094	0.105
13	0.114	0.081	0.112	0.107	0.131
14	0.094	0.067	0.126	0.095	0.111
15	0.099	0.110	0.109	0.095	0.105
16	0.077	0.075	0.084	0.096	0.113
17	0.092	0.094	0.096	0.092	0.116

con movimientos de arena de la parte alta de la playa a la cota del nivel medio del mar (principalmente durante condiciones erosivas y especialmente en febrero de 2004; fig. 2: P5 y P9), da lugar a valores más bajos de pendiente. Finalmente, en abril de 2005 (fig. 2: P2, P4 y P10) se observaron escarpes en la parte alta de la playa, formados por el temporal que afectó el litoral en los días anteriores al levantamiento.

Los valores calculados para junio de 2005 muestran crecimiento en la mayoría de las playas estudiadas, lo que demuestra su capacidad para recuperarse después de un temporal, aunque en algunos casos (P4, P6 y P15) la playa no alcanza los valores iniciales de julio de 2003. Sin embargo, se puede observar que en los perfiles 5, 7, 13, 14 y 17 se ha ido produciendo un aumento paulatino del volumen de arena, mientras que en P3 y P11, se ha producido el fenómeno inverso.

Para caracterizar la vulnerabilidad de los diferentes perfiles, es decir la mayor o menor capacidad de cada perfil para responder a condiciones energéticas erosivas, se utilizó el Iv (Ferreira 1998). Según dicho índice, una playa que presenta grandes cambios morfológicos, es decir erosión de la berma y de la parte alta del intermareal, se clasifica como playa de vulnerabilidad alta, ya que al erosionarse deja desprotegido el cordón dunar y/o las construcciones antrópicas ubicadas en la zona supralitoral. En la figura 3 se observa como los perfiles 3, 4, 5, 6 y 10 fueron aquellos que presentaron una mayor vulnerabilidad.

As expected, these variations reflected the morphological changes observed, helping to understand the behavior of the different beaches.

On comparing the first two surveys (fig. 2, table 3), it is important to indicate how most of the beaches demonstrated an accentuated accretion in January 2004. The biggest increases were observed in profiles 2, 4, 5 and 6 (fig. 2). Smaller accretions (of around 3–4 m³ m⁻¹) were recorded at other beaches. Only two profiles experienced erosion, recording very small changes of around 4 m³ m⁻¹.

After the storm that affected the littoral just a few days before the February survey (whose conditions are shown in table 4), relatively important morphological and volumetric variations were observed.

Almost all the beaches underwent erosion in the dry area and a small increase at mean sea level (fig. 2: P5 and P9). The highest erosion values, 13–16 m³ m⁻¹, were recorded in profiles 2, 5 and 6 (fig. 2, table 3); other erosion values were around 5–8 m³ m⁻¹. Finally, it should be pointed out that seven profiles showed generally small accretion values, with a maximum of 6 m³ m⁻¹.

On comparing the surveys of February 2004 and April 2005 (fig. 2, table 3), it is necessary to highlight the erosion experienced by the majority of the beaches. The maximum values recorded were between 13 and 20 m³ m⁻¹ (fig. 2: P2, P4,

Tabla 3. Volúmenes (m³ m⁻¹).

Table 3. Volumes (m³ m⁻¹).

Perfil	Pendiente				
	2003	2004		2005	
	Julio	Enero	Febrero	Abril	Junio
1	29.5	31.5	32.2	34.7	20.5
2	69.8	84.1	70.9	57.3	71.4
3	82.7	77.2	72.9	68.0	60.7
4	113.1	123.8	119.4	98.6	106.2
5	36.2	48.9	32.4	51.6	54.3
6	92.9	96.5	81.3	66.7	80.8
7	61.1	64.2	59.3	68.7	72.7
8	136.2	137.7	138.6	131.7	136.1
9	34.4	34.8	28.7	–	39.8
10	81.9	90.5	94.0	73.3	73.1
11	135.8	135.8	127.0	127.5	118.6
12	63.4	69.2	75.7	69.4	74.8
13	62.8	59.2	63.4	64.7	67.8
14	96.8	100.0	101.1	101.5	105.5
15	90.0	94.7	94.5	77.9	84.5
16	146.2	148.9	152.8	135.2	131.2
17	197.1	197.6	194.3	195.1	202.0

Finalmente, para definir desde un punto de vista cualitativo los estados morfológicos observados, se calcularon para las campañas de julio de 2003 y febrero de 2004, el Índice de Similitud de Surf y el Parámetro de Escala de Rompiente (fig. 4a, b). El primero, para la campaña de julio presentó valores más o menos constantes en el tiempo y en el espacio que corresponden con una rotura en voluta, de acuerdo con las observaciones de campo; valores más próximos a roturas en derrame se observaron correspondiendo a P6, en condiciones de verano, debido a la baja pendiente de esta zona condicionada por la presencia de un pequeño dique; la curva correspondiente a la campaña de febrero reflejó roturas en el límite entre voluta y derrame (fig. 4a). En cuanto al Parámetro de Escala de Rompiente (fig. 4b), éste presentó condiciones reflectivas en el mes de julio, de acuerdo con los valores elevados de pendiente medidos en el campo; en febrero, sus valores reflejaron un estado intermedio localizándose en algunos perfiles valores claramente disipativos (fig. 4b).

Discusión

Las playas del litoral estudiado no siguieron las pautas estacionales descritas en los modelos clásicos de Shephard (1950), Bascom (1951) y Shih y Komar (1994): las playas estudiadas por esos autores presentaron un perfil de invierno de baja pendiente y pobre en arena, y un perfil de verano con pendiente más alta y con bastante más arena, sobre todo en la playa seca. Medina *et al.* (1994) observaron también un comportamiento parecido en playas muy energéticas, que registraron un trasvase estacional de la berma a la barra de unos 100 m³ m⁻¹. Larson y Kraus (1994) observaron también trasvases volumétricos importantes en playas de arena gruesa.

En el litoral estudiado los cambios morfológicos y volumétricos más importantes parecen estar relacionados con la frecuencia e intensidad de las tormentas tal y como Davis y Fox (1972), Owens y Frobel (1977), Carr *et al.* (1982), Martínez (1986) y Carter (1988) han observado en otros litorales.

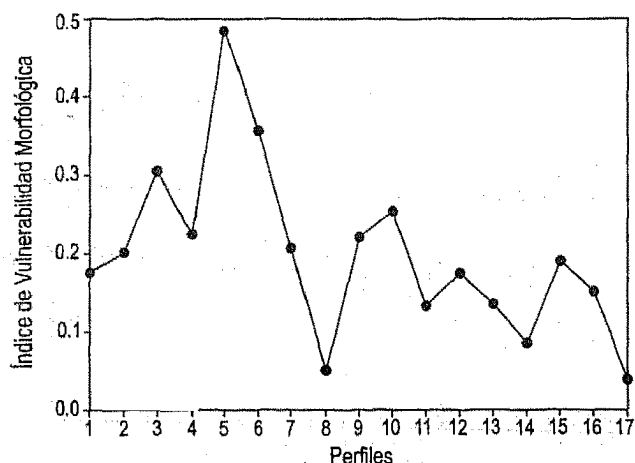


Figura 3. Índice de Vulnerabilidad Morfológica (Ferreira 1998).
Figure 3. Morphological vulnerability index (Ferreira 1998).

Tabla 4. Condiciones meteorológicas durante el temporal de febrero de 2004.

Table 4. Meteorological conditions during the storm recorded in February 2004.

Variación de presión atmosférica (ΔP)	1026–1020 milibares
Velocidad del viento (V máxima)	21.9 m s ⁻¹
Altura de ola (H_0 máxima)	2.6 m
Periodo del oleaje (T)	9.1 s
Marea astronómica	0.84 m

P6, P10, P15 and P16). However, increases in volume were produced at some small beaches, profiles 5 and 7 showing the maximum values.

In general, the morphological changes were uniform along the foreshore or the entire beach (fig. 2) and only very small slope changes occurred. Sometimes the morphological variations were more significant at mean sea level (fig. 2: P1, P10 and P11). This phenomenon produces lower slope values and is related to the movement of sand from the upper part of the beach to the mean sea level (mainly during erosive conditions and especially in February 2004; fig. 2: P5 and P9). Lastly, in April 2005 (fig. 2: P2, P4 and P10) beach scarps were observed in the upper part of the beach. These were formed by the storm that affected the littoral a few days before the field survey.

The values calculated for June 2005 showed an increase in the majority of the beaches, which demonstrates the capacity that these beaches have to recover after a storm, although in some cases (P4, P6 and P15) the beach did not even reach the initial volume of July 2003. A gradual increase in sand volume can be observed in profiles 5, 7, 13, 14 and 17, whereas the opposite occurred in profiles 3 and 11.

To characterize the vulnerability of different profiles, that is, how well or how badly each profile responds to erosive energetic conditions, the index of morphological vulnerability (Ferreira 1998) was used. According to this index, a beach that presents large morphological changes (i.e., erosion of the berm and of the upper intertidal area) is classified as a high vulnerability beach, since erosion leaves the dune ridges and/or human constructions located in the backshore zone unprotected. Figure 3 shows that profiles 3, 4, 5, 6 and 10 were those that presented the most vulnerability.

Finally, to define the observed morphological states from a qualitative point of view, the surf similarity index and the surf scaling parameter were calculated for the July 2003 and February 2004 surveys (fig. 4a, b). During the July survey, the values obtained from the surf similarity index were more or less constant in time and space; these values correspond to plunging breakers, in accordance with the field observations. Values that are closer to a spilling breaker were observed corresponding to profile 6, in summer conditions, due to this area's low slope associated with the presence of a groin. The curve corresponding to the February survey showed breakers

De acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente, las playas registraron importantes crecimientos o pequeñas variaciones en enero de 2004, fecha teóricamente representativa de condiciones de invierno, supuestamente erosivas. Por otro lado, los temporales que afectaron el litoral estudiado en febrero de 2004 y abril de 2005 produjeron importantes cambios en pocos días, siendo los perfiles de la parte norte (perfiles 13, 14, 16 y 17) los que registraron menores variaciones.

En cuanto a las modalidades de cambio, éstas tuvieron lugar según el modelo del retroceso paralelo y/o del basculamiento (descritos por Hardisty 1986, Hughes y Cowell 1987, Thom y Hall 1991, Nordstrom y Jackson 1992, Shih y Komar 1994, Benavente y Reyes 1999). En concreto, el temporal de febrero de 2004, en la mayoría de los casos favoreció un transporte de sedimentos mar adentro (fig. 2: perfiles 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10 y 15), en general de la parte alta de la playa al nivel medio (según el modelo del CERC 1984), el cual es un comportamiento típico de playas con pendiente elevada (Wright y Short 1984). En otros casos, dicho temporal, favoreció un crecimiento relacionado con la predominancia de un transporte longitudinal que erosionó determinadas playas y depositó en otras (fig. 2: perfiles 2, 6, 7, 11 y 12) dependiendo probablemente de las condiciones de contorno de las mismas, difíciles de determinar en un litoral aparentemente homogéneo.

Con respecto al temporal que tuvo lugar antes del levantamiento de abril de 2005, éste dio lugar a una erosión bastante homogénea a lo largo de las playas estudiadas, dando lugar a veces a escarpes en la parte alta. En cuanto a la magnitud de los cambios observados, éstos fueron relativamente pequeños si los comparamos con los obtenidos por otros autores, y en parte comparables con los registrados por Jackson y Nordstrom (1993).

Resumiendo, las playas que registraron mayor variabilidad fueron las ubicadas en la parte meridional y central del litoral, que parecen estar más expuestas al oleaje del Levante que las del norte, en parte probablemente protegidas por el promontorio de Ceuta y por una plataforma rocosa localizada en la zona sumergida. Finalmente, hay que destacar que la mayoría de los perfiles que presentaron importantes variaciones se encuentran próximos a estructuras antrópicas: P3 y P4 están al sur y al norte del puerto de Kabila (fig. 1), P5 y P6 están al sur y al norte de un pequeño dique, y P9 está al norte del puerto de Marina-Smir.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto de la Junta de Andalucía No. AM/3-2004 y al proyecto marroquí PROTARS III D16/07 y una aportación a los grupos PAI RNM-328 y HUM-117.

Referencias

Anfuso G, Benavente J, Nachite D, Bello E, Guiati R, Ghetti A, Meklach Y, Macías A. 2004. Características morfodinámicas y

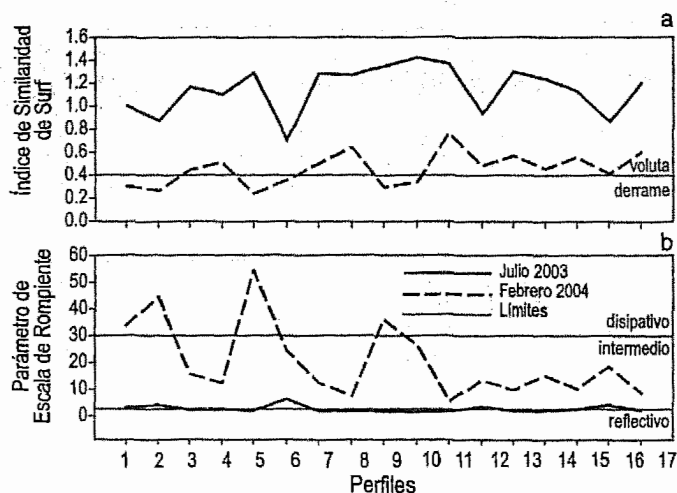


Figura 4. Variaciones del Índice de Similitud de Surf (a) y del Parámetro de Escala de Rompiente (b).

Figure 4. Variations of the surf similarity index (a) and the surf scaling parameter (b).

on the limit between plunging and spilling (fig. 4a). Regarding the surf scaling parameter, reflective conditions were observed in July, in accordance with the higher slope values measured during the field surveys. In February, the values reflected an intermediate state, some profiles showing clearly dissipative values (fig. 4b).

Discussion

The beaches surveyed did not follow the seasonal behavior described in the classic models of Shephard (1950), Bascom (1951) and Shih and Komar (1994): the beaches studied by these authors presented a winter profile with low, erosive slope and a summer profile with a higher slope, rich in sand, especially along the dry beach. A similar behavior was also observed by Medina *et al.* (1994) for very energetic beaches that registered a seasonal transfer from the berm to the bar of around $100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$. Significant volumetric transfers of sand were also observed by Larson and Kraus (1994) on coarse-sediment beaches.

The most important morphological and volumetric changes of the littoral under study seem to be related to the frequency and intensity of storms, as Davis and Fox (1972), Owens and Frobel (1977), Car *et al.* (1982), Martínez (1986) and Carter (1988) have reported for other littorals.

According to the results obtained, the beaches recorded significant increases or small variations in January 2004, a date theoretically representative of erosive winter conditions. On the other hand, the storms that affected the littoral in February 2004 and April 2005 produced notable changes in only a few days, the profiles from the northern side (P13, P14, P16 and P17) showing the least variation.

The methods of change occurred according to the parallel retreat and/or beach pivoting models (described by Hardisty

- variaciones estacionales de las playas del tramo costero marroquí entre Ceuta y Cabo Negro. *Actas VIII Reunión Nacional de Geomorfología*, pp. 283–289.
- Bascom WN. 1951. The relationship between sand size and beach face slope. *Trans. Am. Geophys. Un.* 32: 866–874.
- Battjes JA. 1974. Surf Similarity. *Proc. 14th Int. Conf. Coast. Eng. ASCE*, pp. 466–480.
- Benavente J, Reyes JL. 1999. The application of morphodynamic indices to exposed beaches of Cadiz Bay. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 15: 213–222.
- Carr A, Blackley M, King H. 1982. Spatial and seasonal aspects of beach stability. *Earth Surf. Process. Landforms* 7: 267–282.
- Carter RWG. 1988. *Coastal Environments*. Academic Press, 617 pp.
- CERC (Coastal Engineering Research Centre) 1984. *Shore Protection Manual*. US Army Corps of Engineers. Res. Center. Printing Office, Washington.
- Davis RA Jr, Fox WT. 1972. Coastal processes and nearshore sand bars. *J. Sediment. Petrol.* 42: 403–412.
- EL Moutchou B. 1995. Dynamique côtière actuelle et évolution morphosédimentaire de la frange littorale Méditerranéenne entre Mdiq et Oued Laou. Tesis doctoral, Univ. Mohammed V, Rabat, 165 pp.
- Ferreira Ó. 1998. Morfodinámica de Praias expostas: Aplicação ao sector costeiro Aveiro-Cabo Mondego. Tesis doctoral, Universidade do Algarve, 337 pp.
- Folk RL, Ward WC. 1957. Brazos River Bar. A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.* 27: 3–26.
- Fredsoe J, Deigaard R. 1992. *Mechanics of coastal sediment transport*. Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 3, World Scientific, 366 pp.
- Fucella JE, Dolan RE. 1996. Magnitude of subaerial beach disturbance during Northeast storms. *J. Coast. Res.* 12: 420–429.
- Guza RT, Inman DL. 1975. Edge waves and beach cusps. *J. Geophys. Res.* 80: 2997–3012.
- Hardisty J. 1986. A morphodynamic model for beach gradients. *Earth Surf. Process. Landforms* 11: 327–333.
- Hughes MG, Cowell PJ. 1987. Adjustments of reflective beaches to waves. *J. Coast. Res.* 3: 153–167.
- Iribarren CR, Nogales C. 1949. Protection des ports. Section II. Comm. 4, XVII Int. Nav. Congress. Lisboa, pp. 31–80.
- Jackson NL, Nordstrom KF. 1993. Depth of activation of sediment by plunging breakers on a steep sand beach. *Mar. Geol.* 115: 143–151.
- Komar PD. 1998. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, 544 pp.
- LPEE. 1987. Rapport technique et expertise sédimentologique sur le port de Restinga Smir (Tétouan, Maroc). *Mém. CEA de Géologie*, Univ. Mohamed V, Fac. Sci. Rabat, 72 pp.
- Lakhdar Idrissi J, Zidane F, Orbi A, Hilmi K, Sarf F, Rhrbi N. 2001. Etude d'impact des apports terrigènes sur l'activité aquacole dans la baie de M'diq. *Art. Rev. L'eau, L'industrie, les Nuisances*, No. 243, pp. 61–67.
- Larson M, Kraus N. 1994. Temporal and spatial scale of beach profile change, Duck, North Carolina. *Mar. Geol.* 117: 75–94.
- Martínez J. 1986. Diagramas de corrientes en playas. *Rev. Obras Públicas*, Octubre, pp. 767–781.
- Medina R, Losada MA, Losada I, Vidal C. 1994. Temporal and spatial relationship between sediment grain size and beach profile. *Mar. Geol.* 118: 195–206.
- Nachite D, El Moutchou B, Anfuso G, Benavente J, Bello E, Macías A. 2004. Morfología y evolución reciente del litoral entre Fnideq y Mdiq (Tetuán, NE de Marruecos). *Geogaceta* 35: 43–46.
- Nachite D, Amri I, Anfuso G, Bello E, Marocchino E, Benavente J, Vaccaro C. 2005. Geoquímica de los sedimentos de playas entre 1986, Hughes and Cowell 1987, Thom and Hall 1991, Nordstrom and Jackson 1992, Shih and Komar 1994, Benavente and Reyes 1999). In particular, the February 2004 storm caused, in most cases, an offshore transport of sediments (fig. 2: P2, P3, P4, P5, P8, P9, P10 and P15), in general from the upper part of the beach to mean sea level (according to the CERC model, 1984), which is a typical behavior of beaches with a high slope (Wright and Short 1984). In other cases, this storm caused beach accretion related to the predominance of longitudinal transport that eroded certain beaches and deposited at others (fig. 2: P2, P6, P7, P11 and P12), probably depending on the contouring conditions of the beaches, which are difficult to determine from a littoral that is apparently homogeneous.
- The storm prior to the April 2005 survey caused fairly homogeneous erosion along the beaches, sometimes causing beach scarps in the upper area. The magnitude of the changes observed was relatively small when compared to the results obtained by other authors and are comparable in part to those recorded by Jackson and Nordstrom (1993).
- In summary, the beaches that recorded the greatest variability were those located in the southern and central parts of the littoral, which seem to be more exposed to the easterly waves than those in the northern part. These northerly beaches are likely protected by the Ceuta headland and by a rocky platform located in the submerged zone. Finally, it is necessary to highlight that most of the profiles that presented significant variation were found close to human structures: profiles 3 and 4 are to the south and north, respectively, of the port of Kabila (fig. 1); profiles 5 and 6 are to the south and north of a small groin; and profile 9 is to the north of Marina Smir.

Acknowledgements

This work is a contribution of the Andalusia AM/3-2004 and Morocco PROTARS III D16/07 research projects, and of the Andalusia RNM-328 and HUM-117 research groups.

Fnideq y Mdiq (Tetuán, NE de Marruecos). *Geogaceta* 38: 159–162.

- Nordstrom KF, Jackson NL. 1992. Two-dimensional change on sandy beaches in meso-tidal estuaries. *Z. Geomorph.* 36: 465–478.
- Owens EH, Frobel DH. 1977. Ridge and runnel systems in the Magdalen Island, Quebec. *J. Sediment. Petrol.* 47: 191–198.
- Thom B, Hall W. 1991. Behaviour of beach profiles during accretion and erosion dominated periods. *Earth Surf. Process. Landforms* 16: 113–127.
- Shepard FP. 1950. Beach Erosion Board Technical Memorandum. US Army Corps of Engineers 20.
- Shih S, Komar P. 1994. Sediments, beach morphology and sea cliff erosion within an Oregon coast littoral cell. *J. Coast. Res.* 10: 144–157.
- Wright LD, Short AD. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Mar. Geol.* 56: 93–118.

Recibido en julio de 2005;
aceptado en agosto de 2006.