



**CUANTIFICACIÓN DE LAS VARIACIONES VOLUMÉTRICAS Y EVOLUCIÓN DEL LITORAL ENTRE CHIPIONA Y ROTA (CÁDIZ) DURANTE EL PERIODO 1996-1998**

*Volumetric variations and littoral evolution between Chipiona and Rota (Cádiz) during 1996-1998*

G. Anfuso y L. Del Río

*Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz. Polígono Río San Pedro s/n. 11510 Puerto Real (Cádiz)*

*E-mail: giorgio.anfuso@uca.es Fax: 956-016040*

**Resumen:** En este trabajo se presentan los resultados de un seguimiento morfológico y sedimentológico del litoral gaditano entre Chipiona y Rota, que ha permitido caracterizar, por un lado, la distribución espacial de estados morfodinámicos de playa y, por otro, la evolución del litoral durante el periodo de estudio (1996-1998) en cuanto a las variaciones mensuales en los volúmenes de sedimento de las distintas playas. Se observó cómo las playas intermedias-reflectivas registraron un crecimiento, funcionando como sumideros de sedimento, mientras que las playas disipativas presentaron un comportamiento variable, y las playas con una amplia plataforma rocosa en la zona intermareal sufrieron erosión o no presentaron cambios importantes, constituyendo probables zonas de tránsito de sedimentos. Este tipo de informaciones son de gran utilidad para la correcta gestión del espacio litoral, especialmente en lo que a erosión costera se refiere, ya que facilitan el adecuado diseño de las obras de regeneración de playas.

**Palabras clave:** Morfodinámica, playas, volúmenes, erosión, Golfo de Cádiz, España.

**Abstract:** A beach morphology and sediment monitoring program was carried out in the littoral between Chipiona and Rota (Cádiz, SW Spain). By this way, longshore distribution of morphodynamic beach types and littoral evolution during the studied period (1996-1998) were obtained, taking into account monthly volumetric changes in beach sediments. Intermediate-reflective beaches recorded a general growth, while dissipative ones showed a variable behaviour and beaches with a wide rocky-shore platform in the foreshore recorded erosion or no important changes, probably working as sediment by-pass zones. This kind of information is very useful in coastal zone management, especially concerning coastal erosion, since it facilitates adequate design of beach nourishment works.

**Keywords:** Morphodynamics, beaches, volumes, erosion, Gulf of Cádiz, Spain.



Anfuso, G. y Del Río, L. (2003) Cuantificación de las variaciones volumétricas y evolución del litoral gaditano entre Chipiona y Rota. *Rev. C. & G.*, 17 (3-4), 17-27.

## 1. Introducción

Se ha llevado a cabo un seguimiento morfológico y sedimentológico del litoral situado entre las localidades de Chipiona y Rota (Cádiz, SO de España) (Fig. 1), mediante el levantamiento de perfiles topográficos seriados y la toma de muestras.

La elaboración de los datos recogidos durante dos años (1996-1998) ha permitido caracterizar la morfología y las variaciones volumétricas de las playas estudiadas y reconstruir la evolución del litoral a lo largo del periodo de seguimiento.

La información adquirida mediante este tipo de estudios tiene una gran utilidad para la gestión del

espacio litoral, especialmente en lo que a erosión costera se refiere. Así, los datos obtenidos permiten cuantificar la distribución espacial y temporal de los procesos de acreción y erosión, cuyo conocimiento facilita el adecuado diseño y dimensionamiento de las obras de regeneración de playas, indicando los volúmenes de sedimento que es necesario verter y el periodo más adecuado para llevar a cabo las labores de regeneración.

Esta gran aplicabilidad práctica ha llevado a numerosos autores a estudiar la variabilidad volumétrica de las playas. Los modelos generales más aceptados son los de Shepard (1950), Bascom (1951) y Nordstrom y Jackson (1992). La mayor parte de las playas estudiadas por estos autores presentaron un perfil de tormenta de baja pendiente y pobre en arena, y un perfil de calma con pendiente más alta y mayor cantidad de arena, sobre todo en la zona supramareal (*backshore*). Otras playas sufrieron un retroceso paralelo de verano a invierno que no produjo variaciones estacionales de pendiente.

En playas del Cantábrico muy energéticas, Medina *et al.* (1995) observaron un trasvase estacional de sedimento de la berma a la barra de unos 100 m<sup>3</sup>/m. Otras playas que presentaban una plataforma de abrasión, donde el perfil de arena activo no alcanza la profundidad límite de activación por el oleaje, sufrieron cambios menores, ya que no hubo intercambios barra-berma y los trasvases se limitaron a la zona intermareal. Tras estudiar su variabilidad estacional, concluyeron que la situación de verano se alcanzó en septiembre y la de invierno en enero. Además, mientras que el paso de la situación acrecional de verano a la erosiva de invierno fue rápido (4 meses), la recuperación de verano fue más lenta (8 meses).

En cuanto a las variaciones estacionales, Carter (1988) coincidió con lo observado por Davis y Fox (1975) y Owens y Frobel (1977) en playas de latitudes medias: las variaciones estacionales en el volumen de sedimento dependen de la frecuencia de los temporales. Carr *et al.* (1982) observaron cómo los mayores cambios volumétricos tuvieron lugar en enero y febrero, mientras que junio y julio fueron los meses que menos cambios registraron. En lo que respecta a las modalidades de acreción o erosión, afirmaron que en un 50% de los casos las playas sufrieron una progradación o una erosión homogénea, mientras que en el otro 50% registraron erosión o acumula-

ción puntual, siendo los cambios netos estacionales del orden de 150-200 m<sup>3</sup>/m.

Nordstrom y Jackson (1992) registraron en playas resguardadas cambios mensuales mucho menores, del orden de 3 m<sup>3</sup>/m. Larson y Kraus (1994) observaron cómo los cambios volumétricos más importantes tuvieron lugar en playas de arena gruesa. Los cambios estacionales, normalizados con respecto a la longitud de la playa, fueron del orden de 1-1.5 m<sup>3</sup>/m, registrándose los valores máximos en invierno.

Alonso (1993) estudió la dinámica sedimentaria en la playa de Las Canteras (Gran Canaria), caracterizando el comportamiento estacional de la playa y evaluando la tendencia a la erosión o a la acumulación de diferentes perfiles. Las variaciones volumétricas mensuales máximas que registró fueron del orden de 10-20 m<sup>3</sup>/m.

En un ámbito más próximo, Benavente (1997, 2000) y Reyes (1997) describieron la dinámica morfosedimentaria de playas del entorno de la Bahía de Cádiz. Las playas de Vistahermosa, La Puntilla y Valdelagrana (El Puerto de Santa María) presentaron su máximo estadio constructivo en octubre y su máximo estadio erosivo en los meses de diciembre-enero, registrando trasvases medios de verano a invierno del orden de 20-40 m<sup>3</sup>/m (Benavente, 1997, 2000). También la playa de La Barrosa (Chiclana) alcanzó su máximo crecimiento volumétrico en octubre, presentando una berma bien desarrollada y una pendiente elevada (Reyes, 1997).

## 2. Área de estudio

El litoral estudiado incluye 14 km de playas arenosas situadas entre Chipiona y Rota (Cádiz), localidades ubicadas al Sur de la desembocadura del río Guadalquivir y al Norte de la Bahía de Cádiz, respectivamente (Fig. 1). Las playas, constituidas por sedimentos cuarzosos, están respaldadas por dunas y acantilados que sufren tasas de retroceso superiores a 1 m/año (Muñoz y Enríquez, 1998). La erosión de los acantilados, labrados sobre depósitos arcillosos plio-cuaternarios (Baena *et al.*, 1987), da lugar a una plataforma rocosa bastante extendida en la zona submareal del tramo en estudio.

Se trata de una costa mesomareal, con un rango medio de mareas en torno a 2 m. Debido a su orien-

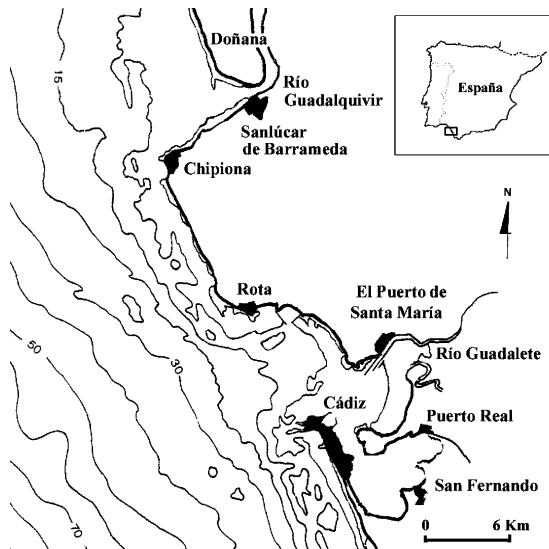


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio (modificado de Achab, 2000).

Figure 1. Location map of the study area (modified from Achab, 2000).

tación NNO-SSE, el litoral se ve afectado principalmente por los vientos y el oleaje del tercer y cuarto cuadrantes, si bien los del segundo cuadrante pueden predominar en condiciones de buen tiempo. La altura significativa media del oleaje incidente es inferior a 1 m, alcanzando una media de 3 m en los temporales (Reyes *et al.*, 1999), por lo que la costa se puede clasificar como un ambiente de baja energía (Benavente *et al.*, 2000).

En cuanto a las fuentes de aporte, hay que destacar cómo este tramo de litoral evoluciona sin un aporte marino o continental relevante (Muñoz y Enríquez, 1998), debido principalmente a que la erosión del acantilado aporta sedimentos muy finos inestables en la playa, y la plataforma rocosa submareal impide en gran medida que los escasos aportes de la deriva litoral procedentes de la costa de Huelva, así como los aportes de arena fina y limo del río Guadalquivir, lleguen a la zona estudiada.

### 3. Metodología

Para caracterizar las variaciones estacionales y anuales de los parámetros de oleaje registrados a lo largo del periodo de seguimiento (marzo 96 - mayo

98), se analizaron los datos de altura significativa y periodo de pico del oleaje proporcionados por la boya escalar "Sevilla 1", perteneciente al Servicio de Clima Marítimo del CEDEX (Ministerio de Medio Ambiente), ubicada a una profundidad de 10 m en las proximidades de la ciudad de Chipiona.

Durante el mismo periodo se llevó a cabo el seguimiento morfológico con periodicidad mensual, si bien ciertas campañas no se pudieron realizar debido a condiciones meteorológicas adversas o, en el verano de 1996, a la realización de labores de mantenimiento en algunas playas. El seguimiento se efectuó mediante la realización de perfiles topográficos perpendiculares a la costa, empleando un teodolito automático para medir 13 transectos en cada campaña, desde un punto fijo ubicado en la trasplaya hasta el nivel de bajamar viva. La ubicación de los perfiles fue seleccionada tras efectuar detalladas inspecciones de campo y realizar campañas adicionales sobre transporte litoral, de manera que cada transecto se consideró representativo de la morfología de un tramo de litoral.

En cada campaña se tomaron muestras de sedimento de las zonas supra e intermareal, que se analizaron en el laboratorio mediante tamizado en seco, para posteriormente obtener los parámetros granulométricos según la metodología de Folk y Ward (1957).

Finalmente, mediante programas informáticos se calcularon los volúmenes de arena del supramar-

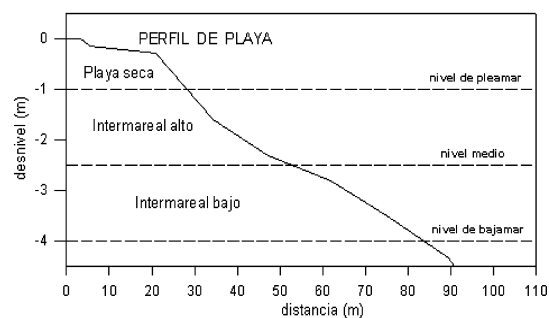


Figura 2. Terminología utilizada para definir las diferentes partes de la playa. Volumen de la playa seca (entre la cabecera del perfil y el nivel de pleamar viva), del intermareal alto (entre el nivel de pleamar viva y el nivel medio del mar) y del intermareal bajo (entre el nivel medio y el nivel de bajamar viva).

Figure 2. Terminology used to define different parts of the beach. Dry beach volume (between profile start point and spring high water level), upper foreshore volume (between spring high water level and mean sea level) and lower foreshore volume (between mean sea level and spring low water level).

real, intermareal alto, intermareal bajo y de toda la playa, desde la cabecera del perfil hasta el nivel de bajamar (Fig. 2). Los valores obtenidos corresponden a la superficie (m<sup>2</sup>) delimitada por el perfil topográfico de la playa. Con el fin de transformar estos datos en volúmenes, se considera que cada perfil tiene una continuidad lateral de 1 m, de forma que se obtienen tasas en m<sup>3</sup>/m. En la descripción de los cambios volumétricos se ha preferido utilizar las variaciones volumétricas entre perfiles y no los valores absolutos, ya que los cálculos hechos en general sobreestiman los volúmenes, por ejemplo en los casos en que existe una plataforma de abrasión que se continúa por debajo de la superficie topográfica de una playa.

#### 4. Resultados

##### 4.1. Clima marítimo

La altura de ola significativa presentó importantes variaciones estacionales (Fig. 3, a). Los valores más altos se registraron en los meses invernales

(noviembre-enero), seguidos del periodo primaveral (abril-mayo). Los valores más bajos se registraron en verano y en los meses de febrero-marzo.

El periodo de pico del oleaje permitió diferenciar, a grandes rasgos, cinco épocas del año (Fig. 3, b): enero-marzo (con valores de 10-12 s), noviembre-diciembre (8-12 s), abril-mayo y septiembre-octubre (6-8 s) y, finalmente, los meses de verano, que registraron olas con periodo bajo (5-6 s). Dichas variaciones estacionales, tan poco marcadas, no permitieron diferenciar entre mar de viento y mar de fondo.

Estos datos coinciden con las observaciones realizadas por Sánchez (1988) y Muñoz (1996), y se pueden considerar como representativos de la zona de estudio. No obstante, hay que destacar cómo los inviernos de 1996-97 y 1997-98 fueron mucho menos energéticos que los de los dos años anteriores, caracterizados por valores de altura significativa superiores a los 2 m (Benavente *et al.*, 2000). En este sentido, hay que señalar que, en general, a lo largo del periodo de estudio predominaron las condiciones de buen tiempo, asociadas a oleajes mayoritariamente procedentes del segundo y tercer cuadrantes.

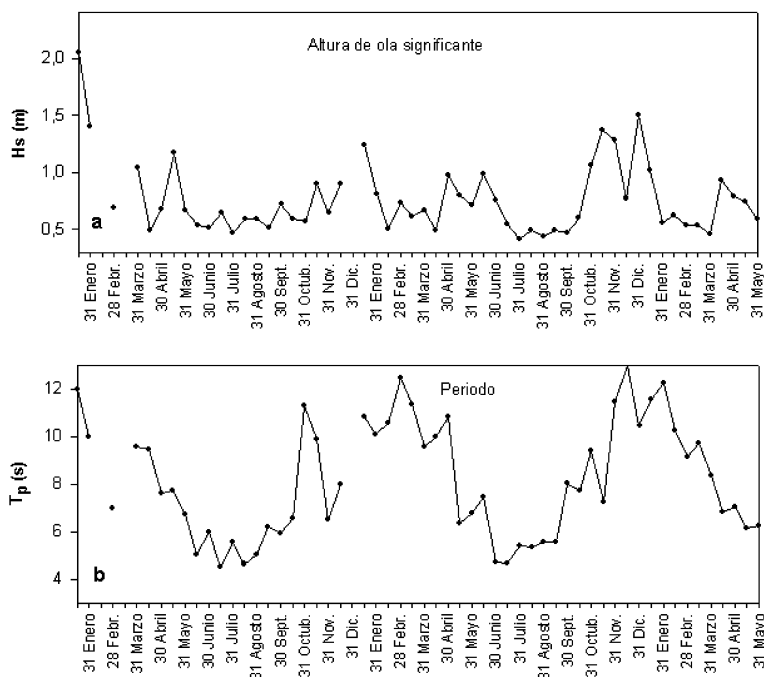


Figura 3. Variaciones de la altura significativa (a) y periodo (b) del oleaje durante la época de estudio.  
 Figure 3. Significant wave height (a) and wave period (b) variations during the studied period.

4.2. Variaciones morfosedimentarias

El seguimiento morfológico permitió individualizar diferentes tipos morfodinámicos de playa (Anfuso *et al.*, 2001). Algunas playas, denominadas “intermedias-reflectivas” (Fig. 4, a) y semejantes a las playas reflectivas de Wright y Short (1984) aunque con menor pendiente, sufrieron importantes variaciones estacionales. En correspondencia con condiciones de buen tiempo, presentaron un perfil constructivo con berma, mientras que durante periodos caracterizados por condiciones erosivas del oleaje mostraron un perfil más tendido (travase estacional berma – barra). Las playas “disipativas” (Fig. 4, b), de morfología equivalente a las playas disipativas de Wright y Short (1984) o a las ultradisipativas del modelo de Masselink y Short (1993), presentaron un perfil muy suave. Las playas “con plataforma rocosa” (Fig. 4, c), caracterizadas por la presencia de una plataforma extensa en la parte baja del intermareal, mostraron una pendiente variable. Estos dos últimos tipos de playa no sufrieron cambios estacionales de pendiente intermareal, presentando un retroceso paralelo durante periodos

caracterizados por oleaje erosivo. Finalmente, en Rota, se observó una playa con una amplia terraza de bajamar, de morfología similar a la descrita con el mismo nombre por Masselink y Short (1993), cuyo seguimiento no se llevó a cabo de forma sistemática debido a su escasa variabilidad (Fig. 4, d).

La distribución de tipos de playa a lo largo del litoral se presenta en la figura 5. En muchos casos, dicha distribución está determinada por la presencia de estructuras naturales o antrópicas en la playa emergida o en el intermareal que actúan como trampas sedimentarias: en el supramareal y el intermareal alto, dichas estructuras serían fundamentalmente los espigones que delimitan ambos extremos de la zona de estudio; en el intermareal medio-bajo, las plataformas rocosas dan lugar a salientes que pueden actuar como espigones sumergidos en las proximidades de los perfiles P. Camarón P. II, P. Candor P. IX, Piedras Gordas P. X y La Costilla P. XI (Anfuso, 2002). En concreto, las playas intermedias-reflectivas se observan donde las condiciones de contorno favorecen una mayor sedimentación, tanto por procesos marinos como eólicos, en condiciones de viento y oleaje del segundo y tercer cua-

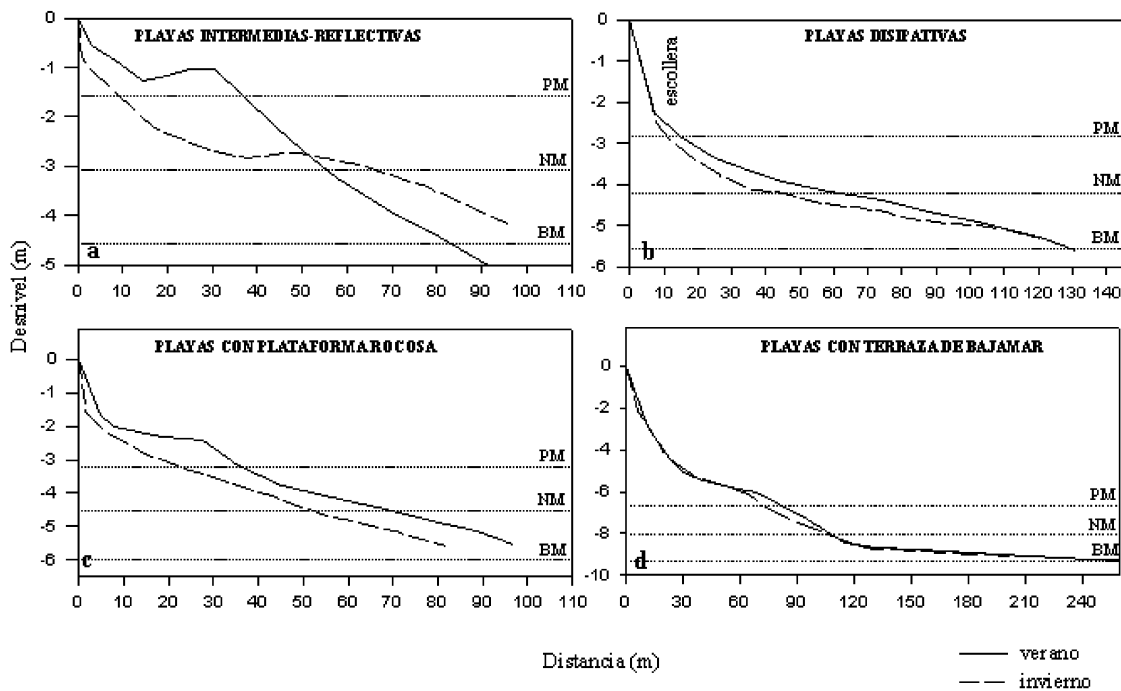


Figura 4. Esquema de los diferentes tipos morfodinámicos de playa observados a lo largo del litoral.  
 Figure 4. Sketch of observed morphodynamic beach types.

drantes (caso de Regla P. I), o donde la playa queda en parte protegida, durante condiciones de oleaje del cuarto cuadrante (caso de La Costilla P. XI). En estas playas, la acumulación de arena favorece un mayor desarrollo de la zona supramareal, con la formación de una berma y, consecuentemente, una mayor pendiente intermareal. Las demás playas se desarrollan en tramos abiertos del litoral, aguas abajo (según la deriva) de las mencionadas estructuras, o donde la plataforma rocosa es más extensa.

En cuanto a los sedimentos, moderadamente bien clasificados, presentaron granulometría media y fina. Los sedimentos más gruesos se observaron en invierno, siendo las variaciones estacionales del orden de 0,5 phi.

#### 4.3. Variaciones volumétricas

Como se ha indicado, el cálculo de los volúmenes de sedimento es fundamental a la hora de cuantificar los cambios sedimentarios longitudinales y transversales de las playas en los estudios de dinámica litoral. Por esta razón, se calcularon los volúmenes de las diferentes partes del perfil en cada una de las playas estudiadas.

En la Tabla I se muestran los valores medios de las variaciones volumétricas mensuales a lo largo del periodo de estudio y los volúmenes normalizados, para apreciar la magnitud de los cambios que sufre cada playa y su dependencia de la anchura de la misma. Los valores normalizados mostraron las mismas tendencias que los no normalizados, per-

mitiendo afirmar que la anchura de la playa no controla de forma importante los cambios volumétricos registrados.

En la figura 6 se presentan las variaciones volumétricas de las diferentes partes de las playas con respecto al tiempo. La línea de regresión en la playa de Punta Candor P. IX se refiere solamente al último año de seguimiento, debido al cambio en la localización de la cabecera del perfil. Es necesario señalar que las variaciones volumétricas relativas a la playa de Rota P. XIII no se presentan en la Tabla I ni en las figuras 6 y 7, ya que su seguimiento no se llevó a cabo de forma sistemática, si bien se pudo registrar una cierta acreción a lo largo del periodo de estudio.

En general, los resultados obtenidos (Tabla I y Fig. 6) reflejaron los cambios morfológicos observados. Las playas intermedias-reflectivas mostraron una gran variabilidad volumétrica en la zona supramareal, mientras que las demás playas presentaron cambios más uniformes a lo largo del intermareal.

La evolución del litoral durante los dos años de estudio, con las diferentes tasas de erosión y crecimiento obtenidas, se presenta en la figura 7, si bien es necesario señalar que se trata de una primera aproximación a la evolución de este tramo costero. Aunque algunas playas registraron una pequeña erosión, la tendencia general de todo este sector del litoral durante el período analizado fue de acreción. Las playas que presentaron mayor crecimiento fueron las de Aguadulce P. VI y La Costilla P. XI, mientras que la máxima erosión se registró en la parte sur de dicha playa en P. XII, tras las labores de regeneración llevadas a cabo en el verano de 1996.

Tabla I. Valores medios de las variaciones volumétricas mensuales de los perfiles estudiados. (1): Volumen total normalizado, que se obtiene dividiendo las variaciones volumétricas por la anchura de la playa activa. (2): Regenerada en verano de 1996.

Table I. Average monthly volumetric changes of studied beach profiles. (1): Total normalised volume, which is obtained by dividing volumetric variations by active beach width. (2): Nourished in summer 1996.

Playa	Playa seca (m <sup>3</sup> /m)	Intern. alto (m <sup>3</sup> /m)	Intern. bajo (m <sup>3</sup> /m)	Vol. total (m <sup>3</sup> /m)	Vol. tot. normal <sup>(1)</sup> (m <sup>3</sup> /m)
Regla, P. I	13,3	9,7	7,7	30,7	0,25
P. Camarón, P. II	4,14	4,6	6,5	15,2	0,14
Tres Piedras, P. III	4,6	13,7	-	18,3	0,22
Tres Piedras, P. IV	1,43	6,5	11,3	19,2	0,18
La Ballena, P. V	9,63	7	7,9	24,5	0,23
Aguadulce, P. VI	18,9	7,6	11,6	38,1	0,23
Peginas, P. VII	3,3	2,5	3,4	9,2	0,18
Peginas, P. VIII	6,9	5,5	-	12,4	0,26
P. Candor, P. IX	4,5	4,0	3,7	13,2	0,20
Piedras Gordas, P. X	3,6	2,8	9,6	16,0	0,23
La Costilla, P. XI	12,6	11,1	12,2	33,0	0,36
La Costilla, P. XIII <sup>(2)</sup>	10,4	13,6	16,1	40,1	0,53

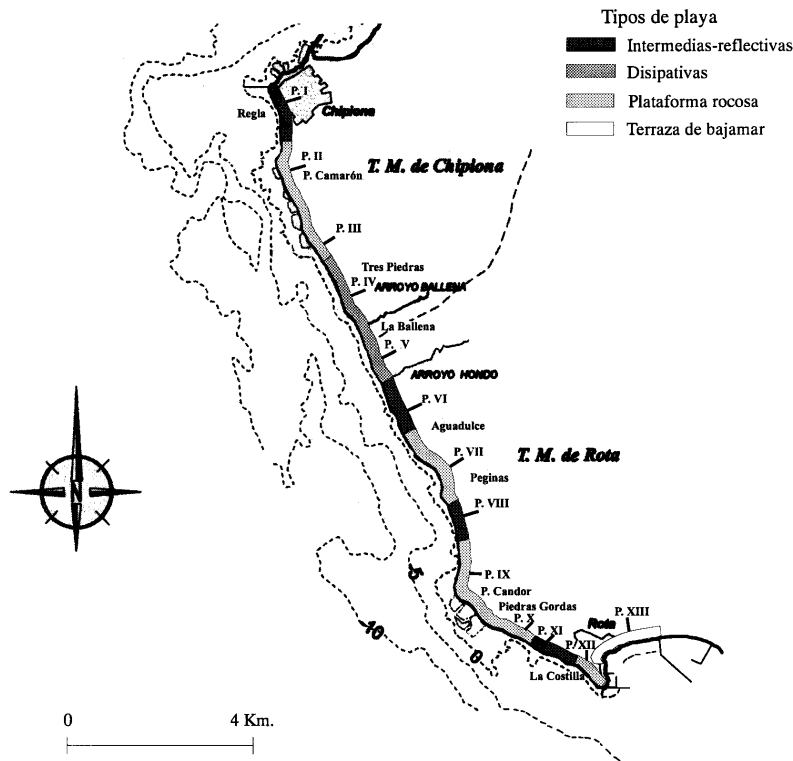


Figura 5. Mapa de distribución de tipos morfodinámicos de playa (modificado de Anfuso et al., 2001).  
 Figure 5. Morphodynamic beach type distribution along the studied littoral (modified from Anfuso et al., 2001).

## 5. Discusión

### 5.1. Comportamiento estacional

El análisis de la figura 6 evidencia cómo durante el periodo de estudio, la máxima erosión tuvo lugar en noviembre-diciembre, siendo el mes de diciembre de 1996 el que registró el valor más alto. La mayoría de las playas se recuperaron en febrero-marzo, aunque algunas llegaron a recuperarse sólo parcialmente. El estadio más constructivo o agradable se registró al final del verano (septiembre u octubre), y en menor medida en julio. En playas intermedias-reflectivas, siempre coincidió con la presencia de una berma bien desarrollada. En marzo de 1997 se registró un crecimiento inusitado en Aguadulce P. VI, Peginas P. VIII y La Costilla P. XI (Fig. 6, f, h y k), tras condiciones de mar del segundo cuadrante. En concreto, en La Costilla se

observó acumulación de arena, procedente del vertido artificial llevado a cabo unos días antes al Sureste, cerca del espigón que limita la playa en su parte meridional.

La distribución general de los periodos de acreción y erosión coincide con las obtenidas por Reyes (1997) y Benavente (2000), aunque estos autores observaron cómo el mayor evento erosivo suele tener lugar en diciembre y la máxima erosión en el mes de enero. Esta diferencia se debe a las variaciones en la distribución temporal de las tormentas, que durante el periodo de estudio llegaron en los meses de noviembre y diciembre, mientras que enero y febrero registraron (sobre todo el segundo) condiciones de buen tiempo. Finalmente, otros temporales, que generan un mar de viento con olas de pequeña altura, serían responsables de eventos erosivos menores que tienen lugar en el periodo primaveral.

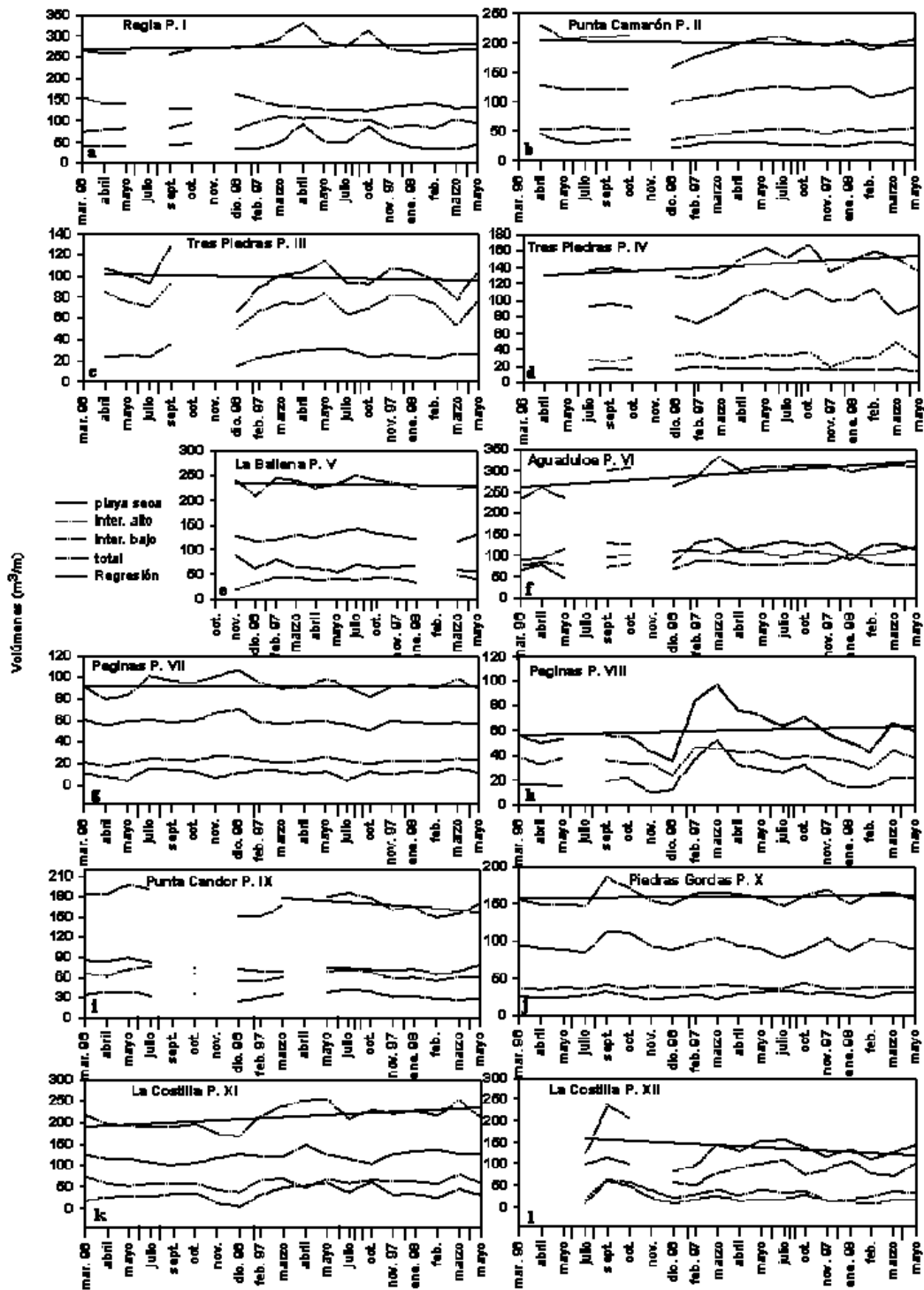


Figura 6. Variación de los volúmenes de arena en  $m^3/m$ , en las diferentes partes de las playas con el tiempo. Se incluye la recta de regresión para el volumen total de cada playa.

Figure 6. Temporal sand volume changes ( $m^3/m$ ) in different parts of the beaches. Regression line for each total beach volume is also shown.



5.2. Tasas de erosión y recuperación de las playas

La magnitud de los cambios volumétricos varió en gran medida de una playa a otra, siendo aquéllas con plataforma rocosa las que registraron menores cambios. Así, los volúmenes erosionados oscilaron entre 7 y 60 m<sup>3</sup>/m para el primer año de seguimiento, y entre 2 y 40 m<sup>3</sup>/m para el segundo año.

Teniendo en cuenta la totalidad de los datos de los dos años, en conjunto la erosión fue rápida, de un mes de duración o menos, y localizada en fechas precisas y comunes a todas las playas. Todos los autores coinciden en que la tasa de erosión es más rápida que la de recuperación aunque, en general, de duración superior a un mes. También la tasa de recuperación registrada durante los dos años de seguimiento fue más rápida que las observadas por otros autores, y en concreto por Reyes *et al.* (1999) que, en playas cercanas, evaluaron el tiempo de recuperación en varios meses. En el litoral estudiado, el periodo de recuperación varió de uno a tres

meses, oscilando notablemente de una playa a otra, y para la misma playa, de año en año, dependiendo claramente de las condiciones de contorno y del clima marítimo. La recuperación fue, por lo general, bastante uniforme en el tiempo, contrariamente a lo observado, entre otros, por Shih y Komar (1994) en el caso de una playa de Oregon (EE.UU.), con una recuperación de hasta el 50% del volumen erosionado en tan solo un mes, frente al otro 50% que tardó varios meses en recuperarse.

5.3. Evolución durante el periodo de seguimiento

Analizando conjuntamente las figuras 5 y 7, se observa cómo las playas intermedias-reflectivas registraron un crecimiento, mientras que las playas disipativas mostraron un comportamiento variable, y las playas con plataforma rocosa por lo general presentaron erosión o no sufrieron cambios importantes.

La tendencia general progradante del litoral registrada durante el periodo de seguimiento fue

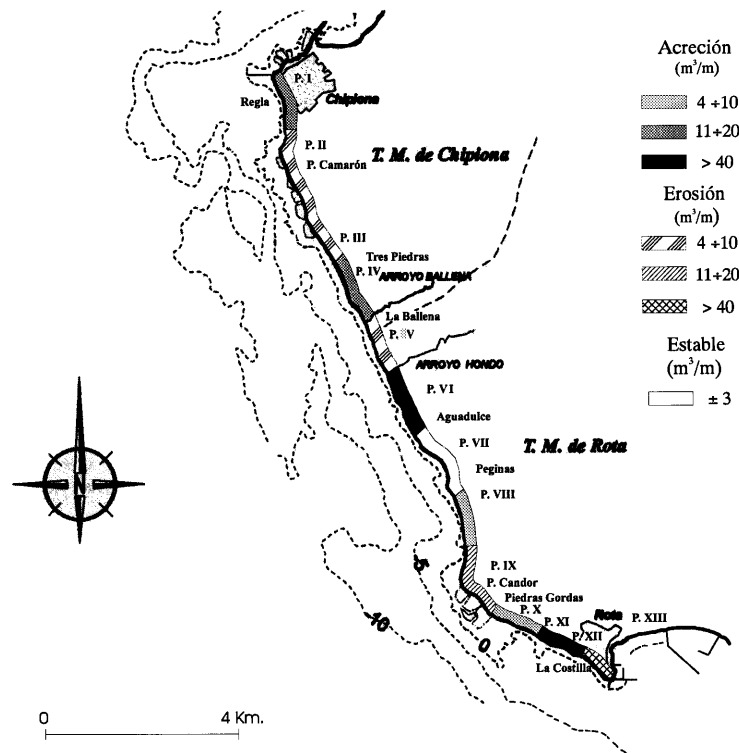


Figura 7. Evolución del litoral estudiado durante el periodo marzo 1996 – mayo 1998, en relación con los procesos de acreción y erosión.  
 Figure 7. Littoral evolution during the period March 1996 – May 1998, regarding erosion-accretion periods.

debida a las condiciones de buen tiempo imperantes, asociadas a la predominancia de oleajes procedentes del segundo y tercer cuadrantes, que generan preferentemente un transporte hacia el NO. Estas condiciones favorecieron el crecimiento sobre todo de las playas intermedias-reflectivas, ubicadas aguas arriba de estructuras naturales o antrópicas, y la erosión de aquellas ubicadas aguas abajo de dichas estructuras o en tramos más abiertos.

El crecimiento que se observó en la playa disipativa de Tres Piedras P. IV se debe a una sedimentación en la parte baja del intermareal, que se encuentra confinada por la amplia plataforma rocosa submarina existente al Norte de la playa.

En cuanto a las playas con plataforma rocosa, registraron un retroceso paralelo con cambios volumétricos menores, comportamiento muy parecido al observado en playas de New Jersey (EE.UU.) por Nordstrom y Jackson (1992). Dichos autores señalaron que este tipo de retroceso es más común en playas cercanas a límites de celda litoral, porque en estas zonas los sedimentos erosionados no son reemplazados. Así, estas playas constituyen probablemente zonas de tránsito de sedimentos (que no sufren variaciones, por ejemplo Peginas P. VII) o, de acuerdo con Muñoz y Enríquez (1998), zonas que sufren mayor erosión porque la laja rocosa impide la llegada de sedimentos situados a mayores profundidades, de forma que los volúmenes perdidos durante los temporales no pueden ser recuperados.

Finalmente, hay que destacar que las tendencias constructivas observadas en las diferentes playas comenzaron unos meses después de importantes eventos erosivos, en fechas localizadas y caracterizadas por una baja energía del oleaje. El crecimiento diferencial observado en las playas dependió probablemente de las condiciones de contorno de las mismas, que determinan en parte sus características morfológicas.

## 6. Conclusiones

Este estudio constituye una primera aproximación al conocimiento de la dinámica sedimentaria en el litoral entre Chipiona y Rota. Así, por un lado, el seguimiento topográfico permitió diferenciar cuatro tipos morfodinámicos de playa que presen-

taron diferente variabilidad estacional, tanto morfológica como volumétrica, y cuya distribución depende de las condiciones de contorno y del clima marítimo.

Por otro lado, se observó cómo, aunque el litoral sufra un proceso de retroceso a escala histórica, la ausencia de temporales importantes durante el periodo de seguimiento y la predominancia de oleaje del segundo y tercer cuadrantes, favorecieron un moderado crecimiento general de las playas, sobre todo de las clasificadas como intermedias-reflectivas. Dichas playas actúan como sumideros, mientras que otras constituyen zonas de tránsito de sedimentos o registran erosión.

Las informaciones obtenidas mediante este tipo de estudios constituyen unas indicaciones básicas que deben ser tenidas en cuenta para una correcta planificación de la zona costera. Cabe señalar que en el área de La Ballena se ha construido una urbanización sin estudiar previamente la morfología y la evolución del litoral inmediato. Dicha zona, además de presentar una escasa anchura de playa supramareal, hecho que la hace poco atractiva desde un punto de vista turístico, sufre un importante proceso erosivo y en breve tiempo será necesario llevar a cabo una regeneración para satisfacer el aumento en la demanda de playa seca y reducir la erosión del acantilado sobre que se asienta la urbanización.

## Agradecimientos

Se agradece al Servicio de Clima Marítimo de Puertos del Estado, Ministerio de Medio Ambiente, el suministro de los datos de oleaje. Igualmente, se agradecen a los Dres. G. Flor y T. Bardají sus sugerencias y comentarios constructivos. Este trabajo es una contribución al Proyecto nº PB98-0581 de la CICYT y al Grupo de Investigación RNM-803 del Plan Andaluz de Investigación.

## Referencias bibliográficas

- Achab, M. (2000). *Estudio de la transferencia sedimentaria entre la Bahía de Cádiz y la plataforma continental adyacente. Modelo de transporte mediante el uso de minerales de la arcilla como trazadores naturales*. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, 535 pp. (Inédita)

- Alonso, I. (1993). *Procesos sedimentarios en la playa de Las Canteras (Gran Canaria)*. Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 333 pp. (Inédita).
- Anfuso, G. (2002). *Morfología y dinámica sedimentaria del litoral gaditano entre Chipiona y Rota*. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz. Publicado en CD-Rom.
- Anfuso, G., Martínez, J.A. & Gracia, F.J. (2001). Longshore distribution of morphodynamic beach states in an apparently homogeneous coast (Chipiona-Rota, SW Spain). En: *Medcoast 01: Proceedings of the Fifth International Conference* (E. Ozhan, ed.), Vol. 3, 1381-1392.
- Baena, J., Zazo, C., Goy, J. y otros. (1987). *Mapa geológico de España escala 1:50.000*. Hoja de Cádiz (1061). IGME. Serv. Pub. M° Industria, Madrid.
- Bascom, W.N. (1951). The relationship between sand size and beach face slope. *Trans. Am. Geophys Un.*, 32, 866-874.
- Benavente, J. (1997). *Introducción al estudio de la dinámica sedimentaria de las playas del Norte de la Bahía de Cádiz: Vistahermosa, Santa Catalina y La Puntilla*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Cádiz, 192 pp. (Inédita).
- Benavente, J. (2000). *Morfodinámica litoral de la Bahía exterior de Cádiz*. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, 534 pp. (Inédita).
- Benavente, J., Gracia, F.J. & López-Aguayo, F. (2000). Empirical model of morphodynamic beachface behaviour for low-energy mesotidal environments. *Mar. Geol.*, 167, 375-390.
- Carr, A., Blackley, M. & King, H. (1982). Spatial and seasonal aspects of beach stability. *Earth Surf. Proc. Landforms*, 7, 267-282.
- Carter, R.W.G. (1988). *Coastal environments*. Academic Press, New York, 617 pp.
- Davis, R.A. Jr. & Fox, W.T. (1975). Process-response patterns in beach and nearshore sedimentation: I. Mustang Island, Texas. *J. Sedim. Petrol.*, 45, 852-865.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957). Brazos River Bar. A study in the significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.*, 27, 3-26.
- Larson, M. & Kraus, N. (1994). Temporal and spatial scale of beach profile change, Duck, North Carolina. *Mar. Geol.*, 117, 75-94.
- Masselink, G. & Short, A.D. (1993). The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *J. Coastal Res.*, 9, 785-800.
- Medina, R., Losada, I., Losada, M.A. & Vidal, C. (1995). Variabilidad de los perfiles de playa: forma y distribución granulométrica. *Ingeniería del Agua*, 2, 133-142.
- Muñoz, J.J. (1996). *Análisis de la morfología y variabilidad de playas apoyadas en lajas rocosas*. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, 150 pp. (Inédita).
- Muñoz, J.J. & Enríquez, J. (1998). Dinámica litoral de una unidad fisiográfica completa: Sanlúcar-Rota. *Revista de Obras Públicas*, 3375, 35-44.
- Nordstrom, K.F. & Jackson, N.L. (1992). Two-dimensional change on sandy beaches in meso-tidal estuaries. *Zeitsch. für Geomorph.*, 36 (4), 465-478.
- Owens E.H. & Frobels, D.H. (1977). Ridge and runnel systems in the Magdalen Island, Quebec. *Jour. Sedim. Petrol.*, 47 (1), 191-198.
- Reyes, J.L. (1997). *Aproximación metodológica al conocimiento del comportamiento morfosedimentario de playas mesomarciales expuestas. Aplicación a la playa de La Barrosa (Chiclana de La Frontera)*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Cádiz, 188 pp. (Inédita).
- Reyes, J.L., Martins, J.T., Benavente, J., Ferreira, O., Gracia, F.J., Alveirinho-Dias, J.M. & López-Aguayo, F. (1999). Gulf of Cadiz beaches: A comparative response to storm events. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 15 (1-4), 221-228.
- Sánchez, J.L. (1988). *Estudio climatológico de la Bahía de Cádiz*. Instituto Hidrográfico de la Marina, M° de Defensa, Cádiz. 150 pp.
- Shepard, F.P. (1950). Beach cycles in southern California. U.S. Army Corps of Engineers *Beach Erosion Board Tech. Memo.* 20.
- Shih, S. & Komar, P. (1994). Sediments, beach morphology and sea cliff erosion within an Oregon coast littoral cell. *Jour. Coastal Res.*, 10 (1), 144-157.
- Wright, L.D. & Short, A.D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Mar. Geol.*, 56, 93-118.

Recibido 12 de septiembre de 2002.

Aceptado 17 de marzo de 2003.