

FORMAS ARQUEADAS EN LA PLAYA DE CARCHUNA (GRANADA)

Miguel Ortega^{1*}, Francisco J. de los Santos², Miguel A. Losada³ y Asunción Baquerizo⁴

Resumen:

La playa de Carchuna, en la provincia de Granada, tiene una serie de cúspides de playa de gran escala no periódicamente espaciadas, que se mantienen en la misma posición longitudinal aunque sus dimensiones pueden variar transversalmente. Este artículo estudia la formación de la morfología de la playa, continuando el trabajo de Ortega et al. (2003), y concluyendo que la principal causa de formación del sistema de cúspides son los patrones de propagación del oleaje sobre antiguos valles fluviales sumergidos. Otros mecanismos, como el sistema circulatorio asociado a la rotura, juegan un papel importante en el mantenimiento de la morfología. La instalación en Noviembre de 2002 de una estación de monitorización costera ha permitido obtener datos reales sobre el comportamiento de la playa y validar algunas de las hipótesis teóricas.

Palabras clave: Morfodinámica costera, cúspides de playa, sistema circulatorio, oleaje, video-imágenes

INTRODUCCIÓN

La playa de Carchuna se encuentra en la provincia de Granada, y está limitada al Oeste por el cabo Sacratif y al Este por la punta de Carchuna. Tiene una longitud aproximada de unos 4 kms y una alineación media Oeste-Este. Presenta una serie de cúspides de playa de origen natural con una escala espacial del orden de centenares de metros (Ortega et al., 2003), separadas por unas puntas de distintas dimensiones tanto transversales (perpendiculares a la línea de costa) como longitudinales (paralelas a la línea de costa), y que no están periódicamente espaciadas (figuras 1 y 2). A partir del análisis de los datos existentes (fotografías aéreas y cartas náuticas) se puede concluir que estas formas permanecen en su posición a lo largo del tiempo, aunque sus dimensiones pueden variar transversal o longitudinalmente de manera local.

Las formas litorales más parecidas a las existentes en esta playa son las asociadas a la topografía rítmica, que tienen dos características que las diferencian de las de Carchuna: (1) tienen una separación del orden de decenas de metros (generalmente sobre los 25 m); (2) presentan periodicidad espacial.

A menudo se ha relacionado su formación con la existencia de ondas de borde a lo largo de un tramo de costa (Bowen and Inman, 1971; Guza and Inman, 1975). Las formas existentes en la playa de Carchuna no tienen ninguna de estas características, y se engloban dentro de lo que se denominan cúspides de playa gigantes, cuyo proceso de formación no se encuentra adecuadamente descrito en la literatura. Los enfoques más recientes que intentan explicar la formación de esta morfología de gran escala se centran en analizar la relación entre el ángulo de incidencia del oleaje y la orientación de la línea de costa (Ashton et al., 2001). Se asume que el transporte longitudinal de sedimentos suaviza la forma de la línea de costa, aunque esto sólo es válido para pequeños ángulos de incidencia. Sin embargo, cuando estos ángulos son suficientemente grandes se pueden formar perturbaciones de la línea de costa, que pueden crecer y modificar la morfología, generando cúspides de playa de gran escala similares a las de Carchuna, en cuyo caso, como se verá, las características particulares tanto de su morfología como de los patrones de refracción del oleaje impiden que esta teoría se pueda aplicar.

Grupo de Puertos y Costas. Centro Andaluz de Medio Ambiente. Universidad de Granada. Avda. del Mediterráneo, s/n. 18006 Granada.

Teléfono: 958 815 999 ¹miguelos@ugr.es, ²fsantos@ugr.es, ³mlosada@ugr.es, ⁴abaqueri@ugr.es

* Dirección actual: E.T.S.I de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real. Universidad de Castilla la Mancha

Artículo recibido el 27 de mayo de 2004 y aceptado para su publicación el 11 de julio de 2004. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las "Instrucciones para autores". En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

En este artículo se presentan las conclusiones fundamentales de la teoría que mantienen los autores sobre la formación de la playa, se describe la estación de monitorización instalada en el Faro de Sacratif así como los primeros resultados obtenidos a partir del análisis de los datos de la estación.



Figura 1: Fotografía de la playa de Carchuna desde su extremo occidental (Abril de 2003).

DESCRIPCIÓN FÍSICA

La playa de Carchuna se encuentra situada en la vertiente sur de Sierra Nevada, en el mar de Alborán. Se ha definido el área de estudio limitada por la cuenca hidrográfica, el tramo litoral y la batimétrica -200 m, que se considera que son los límites que pueden influir en la morfología de la playa. Las cúspides de playa que forman la línea de costa tienen una separación longitudinal en planta de 840, 660, 800, 460 y 1720 m respectivamente (figura 2).

La geología del área de estudio está caracterizada por dos grupos de materiales claramente diferenciados: unos materiales preorogénicos con un alto grado de metamorfismo, que constituyen los mantos Alpujárrides (Aldaya, 1969, 1970, 1981), sobre los que se sitúan otros materiales más modernos (Holoceno), que constituyen los depósitos aluviales que forman la playa de Carchuna.

La playa se caracteriza por tener un sedimento muy heterogéneo, desde arena fina hasta bloques de tamaño métrico, y por una pendiente acusada y que cambia a lo largo de la playa. La carrera de marea media es baja (0.6 m), y los oleajes predominantes en la zona se pueden dividir en dos grupos: (1) los generados en el Golfo de Cádiz, que inciden sobre la playa con una marcada componente del oeste y periodos largos;

(2) los generados en el Mar de Alborán, que inciden oblicuamente del este con periodos cortos. Según el análisis de Ortega et al. (2003) ambas direcciones tienen probabilidades de presentación similares. Las precipitaciones en la costa granadina son escasas, aproximadamente 350-400 mm/año, con una distribución temporal muy irregular, sobre todo en verano, donde es frecuente la existencia de lluvias torrenciales, por lo que el aporte de sedimentos a la playa a lo largo del año es escaso.

Para caracterizar adecuadamente la playa de Carchuna y poder estudiar su formación y evolución es necesario analizar la batimetría de la zona de estudio. La figura 2 muestra la zona de estudio, de la que se deben destacar dos aspectos:

(1) la batimetría está surcada por una serie de cañones submarinos (ver figura 2), entre los que destaca el cañón de Jolúcar, que es el más incidido en las proximidades de la costa. Como se verá posteriormente, éstos tienen una gran influencia en los patrones de refracción del oleaje.

(2) se pueden distinguir tres zonas morfológicas: (i) la zona 1, que es el tramo de costa hasta una profundidad de unos 10 metros. Es una playa de tipo reflejante (pendiente 1/10) y convergente hacia la punta de Carchuna; (ii) la zona 2, formada por la plataforma continental hasta una profundidad de unos 70 metros aproximadamente. Se produce un giro progresivo en la alineación hasta situarse en prolongación de la playa de Torrenueva; (iii) finalmente, la zona 3, que es el talud continental hasta una profundidad de unos 200 metros aproximadamente, que se considera como profundidades indefinidas en la zona.

ANÁLISIS TEÓRICO

Propagaciones de oleaje

Para analizar la propagación del oleaje hacia la costa se ha utilizado un modelo numérico parabólico en diferencias finitas tipo REF/DIF (Kirby & Dalrymple, 1983), débilmente no lineal y que incluye los efectos de refracción, difracción, disipación de energía y asomeramiento.

FORMAS ARQUEADAS EN LA PLAYA DE CARCHUNA (GRANADA)

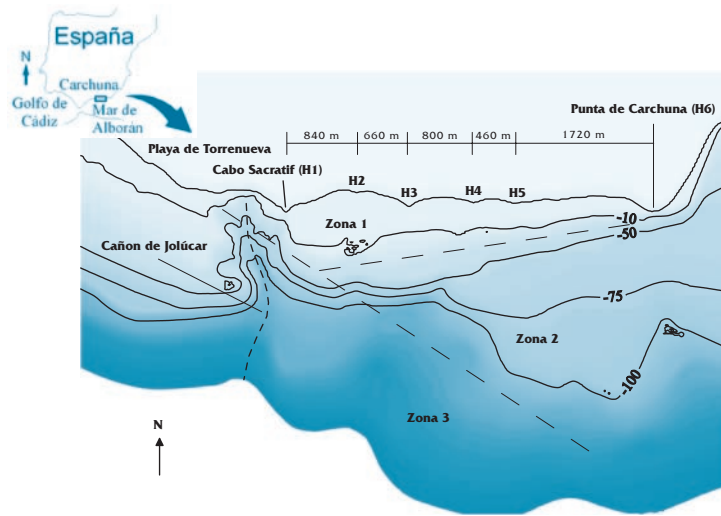


Figura 2: Esquema de la zona de estudio. Se destaca la presencia de los valles sumergidos y de tres zonas en la batimetría.

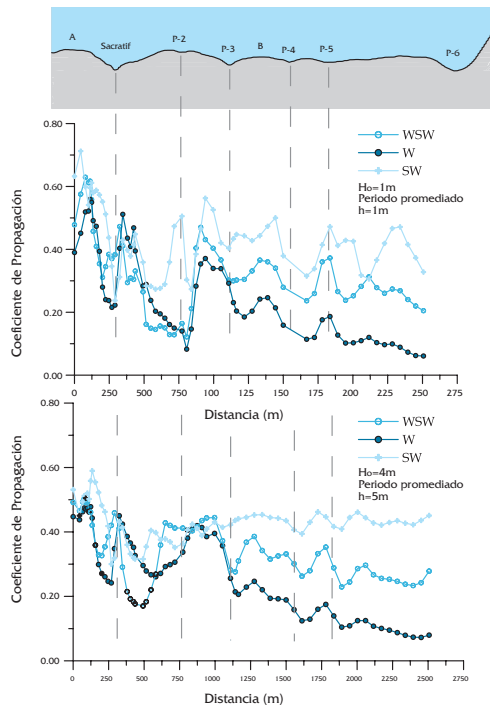


Figura 3: Coeficiente de altura de ola a lo largo de la playa para oleajes incidentes del sector S-W.

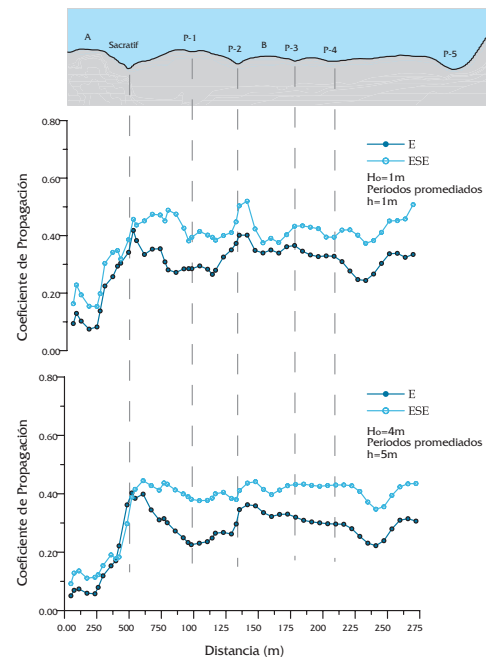


Figura 4: Coeficiente de altura de ola a lo largo de la playa para oleajes incidentes del sector S-E.

Analizando los resultados del modelo numérico bajo distintas condiciones de oleaje, se pone de manifiesto la importancia de los cañones submarinos, en especial el cañón de Jolícar, que producen la convergencia y la divergencia local del flujo de energía del oleaje en ciertos puntos de la costa; en concreto, el flujo de energía tiende a concentrarse entre las puntas. Para un adecuado análisis de los resultados se ha estimado el valor del coeficiente de propagación de altura de ola, que se define como el cociente entre la altura de ola en profundidades indefinidas y el valor de altura de

ola bajo condiciones de rotura. Se han considerado dos niveles de energía del oleaje: (1) condiciones extremas, representadas por una altura de ola en profundidades indefinidas de 4 m (90% de excedencia), y (2) condiciones medias, representadas por una altura de ola de 1 m (50% de excedencia). Las figuras 3 y 4 muestran la variación longitudinal del coeficiente de propagación a lo largo de la playa para oleajes procedentes del sector W-S y S-E, respectivamente, y se ha incluido la forma en planta de la playa para clarificar las zonas de concentración y divergencia del flujo de energía.

Se aprecia que la altura de ola es mayor en las zonas entre puntas, tanto para condiciones medias como extremas (bajo condiciones extremas los picos aparecen suavizados debido a que las olas rompen a mayor profundidad). Para oleajes del oeste la concentración se produce en el extremo más oriental de las bahías, mientras que para oleajes provenientes del este la concentración es en la zona más occidental. Asimismo, las figuras 3 y 4 muestran un decrecimiento progresivo de la altura de ola a lo largo de la playa, como consecuencia de la protección ejercida por el Cabo Sacratif y la punta de Carchuna, respectivamente.

Sistema circulatorio asociado a la rotura del oleaje

Para estudiar la evolución de las cúspides de playa es necesario analizar la circulación inducida por la rotura del oleaje bajo distintos niveles energéticos. Por ello, se analiza el esquema de circulación para niveles de energía bajos (habituales), intermedios (frecuentes) y altos (raros). Dicho análisis, en esta primera aproximación, es solamente teórico, empleando los datos de la batimetría y los registros de oleaje para diferenciar los estados de energía que intervienen en la zona.

Niveles energéticos altos ($H_s > 3.5$ m y $T \sim 7-9$ s)

Se corresponden con condiciones de temporal. Existe una mayor uniformidad longitudinal de la altura de ola en rotura debido a que la rotura del oleaje se produce en la zona exterior de las bahías entre las puntas tanto para los oleajes del E como para los del W. Por ello, existe una tendencia a erosionar las puntas depositando el material erosionado en las zonas de entrantes. Se supone que si la duración de la tormenta es lo suficientemente elevada se llegaría a una forma de equilibrio con la línea de costa uniforme longitudinalmente. Así pues, estas condiciones tienden a erosionar el sistema de cúspides de playa.



Figura 5: Cámaras de la estación de monitorización costera instalada en el Faro de Sacratif.

Niveles energéticos intermedios ($H_s > 1-2$ m y $T \sim 6-8$ s)

El oleaje se propaga en el interior de las bahías antes de romper en voluta. La altura de ola en rotura es mayor en la zona central que en las puntas, lo que genera una corriente longitudinal hacia las puntas, tendiendo a erosionar las bahías y depositando material en las puntas. Por tanto, este sistema circulatorio refuerza la morfología en cúspides de la playa.

Niveles energéticos bajos ($H_s < 1$ m y $T \sim 4-6$ s)

Bajo estas condiciones, la rotura del oleaje se produce en el interior de las bahías en colapso o voluta (número de Iribarren, $I_r > 2$), mientras que en las puntas la rotura se produce en decrecimiento o voluta. A ambos lados de las puntas se genera una corriente longitudinal hacia las bahías, suavizando la forma de las mismas. El sedimento depositado en las bahías provoca el adelanto de la rotura del oleaje, cambiando el tipo de rotura y generando una corriente hacia las puntas. Dependiendo de la distribución temporal del flujo de energía del oleaje incidente (H_s , T , θ) se generan distintos patrones de circulación produciendo movimiento neto de material en un sentido o en otro. Se trata, por tanto, de un proceso de auto-organización.

Así pues, llegado a este punto se puede concluir que la principal causa de formación de la morfología de la playa de Carchuna son los patrones de refracción del oleaje sobre la batimetría sumergida, marcada por la presencia de antiguos valles fluviales sumergidos. El sistema circulatorio juega un papel importante en el mantenimiento o refuerzo del sistema, aunque no es capaz de generar dicha morfología. Ortega et al. (2003) exponen como la interacción no lineal entre las componentes de un espectro de oleaje (en el caso de Carchuna, las componentes provenientes del Golfo de Cádiz y del mar de Alborán) puede generar ondas infragravitatorias secundarias,



Figura 6: Imagen instantánea de la cámara 3 de la estación de monitorización de Carchuna.

que tras la rotura del oleaje pueden quedar atrapadas a una determinada profundidad, en forma de ondas de borde. La propagación de estas ondas de borde a lo largo de la playa también pueden jugar un papel importante en la morfología de la playa (no en su formación, pero sí en su mantenimiento y desarrollo), demostrando la posible existencia de cúspides de playa entre puntas con espaciamentos del orden de 125 metros (Baquerizo et al., 2002).

Llegado a este punto del análisis, se necesitan datos de campo que permitan validar las hipótesis teóricas expuestas anteriormente. Para ello se ha instalado una estación de monitorización costera en el faro de Sacratif.

ESTACIÓN DE MONITORIZACIÓN COSTERA DE VIDEO IMÁGENES

Para obtener datos de campo de forma continua y bajo distintas condiciones meteorológicas sobre los procesos morfodinámicos que tienen lugar en Carchuna, se ha instalado en el Faro de Sacratif una estación ARGUS de monitorización de procesos costeros (Lippmann & Holman, 1989). Está operativa desde Noviembre 2002 y con ella se pretende mejorar el entendimiento de los procesos morfodinámicos, así como la validación de hipótesis y modelos numéricos con datos de campo tomados bajo distintas condiciones climatológicas.

La técnica ARGUS, desarrollada en la Universidad de Oregón (USA), consiste en la instalación de vídeo-cámaras digitales en la zona de estudio, en un punto alto del terreno con buena visibilidad, cubriendo el área de interés. La estación de Carchuna se instaló en el Faro de Sacratif a 96 m de altitud sobre el nivel medio del mar y está compuesta por 3 cámaras digitales con una resolución de 1024x768 pixels, orientadas hacia el E y cubriendo 4 km de playa. Las cámaras están conectadas a un ordenador que controla el funcionamiento del sistema y realiza un preanálisis de las imágenes captadas transmitiéndolas posteriormente vía internet a una estación de trabajo situada en la Universidad de Granada para su almacenamiento, tratamiento y posterior análisis. Tras el tratamiento de las imágenes inicialmente captadas por las cámaras, se obtienen tres tipos de imágenes estándar cada hora: una imagen instantánea, una imagen promediada temporalmente y una imagen varianza temporal en los 10 primeros minutos de cada hora (Aarninkhof & Holman, 1999).

La técnica ARGUS se basa en la identificación visual de características y procesos de interés en las imágenes captadas y la obtención de sus coordenadas reales (Aarninkhof and Holman, 1999). Para obtener la relación entre las imágenes y las coordenadas reales, se realiza un primer paso que consiste en la calibración de las lentes para disminuir la distorsión radial. El segundo paso reside en la restitución fotogramétrica de las imágenes, que se realiza conociendo las coordenadas de las cámaras y de una serie de puntos visibles en las imágenes captadas. De aquí se obtiene la relación existente entre las coordenadas en las imágenes y las coordenadas en el mundo real.

Un pilar fundamental de esta técnica es la automatización de tareas, que permite disponer de una base de datos compuesta por tres imágenes por cada hora, día y cámara. Con las imágenes almacenadas se puede realizar un análisis de la evolución espacio-temporal de los fenómenos de interés. La flexibilidad del sistema es máxima: se puede controlar completamente de forma remota, variar la frecuencia de toma imágenes, el envío de los datos, así como otros parámetros de control del sistema.

Las imágenes captadas por la estación ARGUS en Carchuna pueden ser utilizadas con distintos fines. Además de la información cualitativa sobre los procesos morfodinámicos que arrojan las imágenes instantáneas de forma continua con una resolución temporal de 1 hora, se puede identificar la posición de la línea de costa, formas rítmicas, posición de barras longitudinales (Van Enckevort & Ruessink, 2001), corrientes de retorno, características geométricas de la zona de rompientes, zona de swash y zona intermareal, etc., controlando sus dimensiones reales y realizando un seguimiento continuo de su evolución temporal a través del análisis digital de las imágenes.

Otra de las herramientas más potentes (actualmente en desarrollo) que ofrece la técnica ARGUS es la obtención de distintos parámetros hidrodinámicos a través del análisis temporal de la intensidad de pixels. Dada la elevada resolución de las imágenes, el sistema no tiene capacidad suficiente para almacenar y enviar datos con una elevada resolución temporal de todos los pixels de una imagen. Por este motivo, se definen una serie de puntos donde se almacenan los valores de la intensidad del píxel correspondiente a cada uno de los puntos definidos con una resolución temporal establecida y durante un intervalo de tiempo de unos 20 minutos.

Estos puntos actúan como sensores para determinar velocidades, dirección del frente de onda, período, longitud de onda, etc. Se está trabajando para aplicar esta herramienta a la Playa de Carchuna.

La playa de Carchuna es bastante estable desde el punto de vista morfológico y las series temporales de imágenes captadas no son lo suficientemente largas a día de hoy para constatar patrones claros de evolución a través de las imágenes. Sin embargo, a continuación se presentan algunos resultados preliminares derivados de la monitorización y digitalización de la línea de costa, y que confirman algunas de las hipótesis teóricas expuestas anteriormente.

Resultados preliminares

La figura 7(a) muestra la línea de costa entre P-5 y el punto medio (Mp) de la última ensenada obtenida a partir de las imágenes promediadas de la estación de monitorización correspondientes al día 20 de Enero de 2003. Se observan pequeñas cúspides de playa con espaciamientos del orden de 60, 120 y 200 m como se indica en la figura 7(b), que muestra la línea de costa rectificadas. Para analizar correctamente la presencia de estas longitudes de onda en la línea de costa se han aplicado técnicas de desarrollo en serie de Fourier.

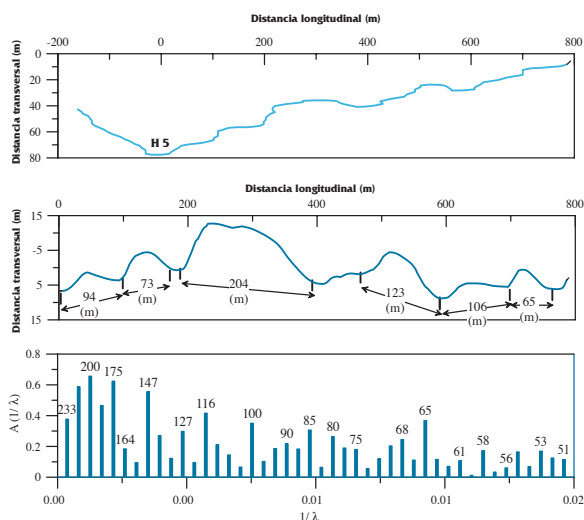


Figura 7: (a) Línea de costa entre P5 y el punto medio (Mp) de la última bahía. (b) Componentes espectrales del tramo de costa girado y rectificadas en planta que se muestra en (b).

La figura 7(c) muestra la amplitud de las componentes de las oscilaciones en términos de las longitudes de onda inversas. Se aprecia que las oscilaciones del orden de 200, 135, 115 y 65 m,

que son próximas a las que se observan en la línea de costa (figura 7(b)), están presentes con un contenido energético más alto que las otras componentes. La longitud de onda de 65 m es aproximadamente la mitad de la longitud de 125 m de la posible onda atrapada que se describió anteriormente, y que se expone en detalle por Ortega et al. (2003), que está cerca de la longitud de onda del primer modo de las ondas de borde, que son los más energéticos.

Desde el punto de vista teórico se ha descrito en detalle el sistema circulatorio que se produce según el contenido energético del oleaje y analizando las diferencias según el contenido energético del oleaje incidente. La figura 8 muestra dos imágenes de la cámara 3 de la estación bajo condiciones energéticas moderadas y altas. Se aprecia cómo el ancho de la zona de rompientes y el tipo de rotura alrededor de las puntas varía en el tiempo dependiendo de las condiciones de incidencia del oleaje (H , T , ϑ), esto es, del estado energético. Estos datos parecen confirmar la explicación dada en este artículo sobre los procesos litorales asociados a dos de los tres estados energéticos presentados. En la figura 8(a) la refracción del oleaje por presencia de las puntas genera dos frentes de onda que producen unos patrones de circulación que refuerzan dichas puntas. Por el contrario, en la figura 8(b) el oleaje se propaga y rompe sobre la punta, erosionándola y transportando sedimentos hacia el este. También se puede apreciar que la anchura de la zona de rompientes es claramente diferente, y que hay un importante gradiente longitudinal de la altura de ola y la oblicuidad en rotura, lo que pone de manifiesto las razones por las que el modelo de Ashton et al. (2001) no se puede aplicar en la playa de Carchuna para explicar la formación del sistema de cúspides de playa.

El día 3 de Mayo de 2004 se produjo un fuerte temporal en el Mar de Alborán, con altura de ola máxima de hasta 9 metros cerca de la costa (la boya REMRO (Cabo de Gata) del sistema de medida de Puertos del Estado (Ministerio de Fomento) registró una altura ola significante de 4.7 m). La figura 9(a) muestra una zona detallada de la cámara 3 antes de la tormenta, y la figura 9(b) después de la misma. Tal y como se ha estimado de manera teórica, bajo condiciones de tormenta el oleaje rompe fuera del sistema de bahías, produciendo un transporte de sedimentos desde las puntas hacia el interior, por lo que éstas se erosionan y disminuyen sus dimensiones. La figura 9 muestra un retroceso en la segunda punta de entre 5 y 10 metros (considerando como línea de referencia la berma de tormenta).

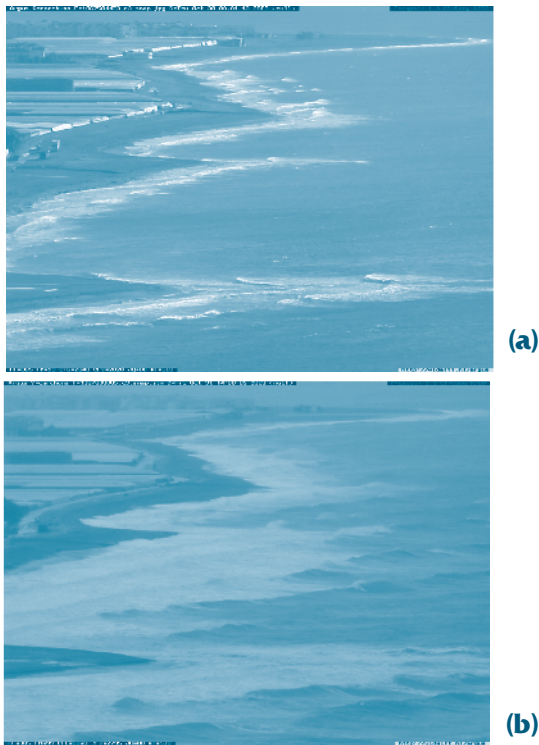


Figura 8: Imágenes de la cámara 3 de la estación de monitorización bajo (a) condiciones de oleaje intermedias y (b) condiciones de tormenta.



Figura 9: Detalle de la segunda punta del sistema de cúspides de la playa de Carchuna obtenido de imágenes instantáneas de la cámara 3. La figura (a) muestra la punta antes de la tormenta del día 3 de Mayo de 2004, y la figura (b) su estado posterior.

CONCLUSIONES

Los principales procesos morfodinámicos que tienen lugar en la playa de Carchuna han sido estudiados de forma teórica y están siendo completados con datos de campo desde la instalación de una estación de vídeo imágenes ARGUS en el Faro de Sacratif.

A continuación se exponen las principales conclusiones que se derivan de este estudio:

- 1.- La refracción inducida por los valles fluviales sumergidos parece ser la principal causa responsable de la formación de las cúspides de playa de gran escala en la playa de Carchuna.
- 2.- Las interacciones no lineales entre componentes de una onda gravitatoria pueden dar lugar a ondas de borde, propagándose en la dirección paralela a la costa. Este tipo de mecanismos pueden contribuir a explicar tanto la formación como el desarrollo y mantenimiento de estas cúspides de playa.
- 3.- Se han identificado tres tipos de comportamientos morfodinámicos asociados a tres niveles distintos de energía (altos, intermedios y bajos). Los sistemas circulatorios estudiados pueden influir en el mantenimiento y reforzamiento de la morfología.

- 4.- Se ha instalado una estación de monitorización de procesos costeros en el Faro de Sacratif para la obtención de datos de campo de forma continua y bajo distintas condiciones climatológicas, que está operativa desde Noviembre de 2002. A través del análisis de las imágenes captadas se ha realizado un seguimiento de la evolución temporal de la línea de costa en la zona de estudio. Se aprecia un modelado en la forma de las puntas, avanzando y retrocediendo, sin variación importante en su posición en planta. Los primeros análisis ponen de manifiesto las hipótesis teóricas realizadas: (1) las imágenes han mostrado cúspides de playa en las zonas entre puntas con espaciamentos que pueden ser debidos a la propagación de las ondas de borde a lo largo de la costa. (2) Bajo condiciones medias y de tormenta el esquema de rotura del oleaje es diferente, de tal manera que el sistema circulatorio es tal y como se obtuvo en el análisis teórico. (3) Las imágenes de Mayo de 2003 muestran que las condiciones de tormenta erosionan las puntas del sistema arqueado, confirmando lo expuesto desde un punto de vista teórico. El análisis actual de las imágenes se está enfocando a la obtención de datos de corrientes, transporte de sedimentos y procesos de erosión / sedimentación en las puntas y ensenadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación prestada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto CICYT REN2002-01038/MAR) y por la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente a través del convenio de colaboración firmado con el Grupo de Puertos y Costas de la Universidad de Granada para el estudio de la playa de Carchuna.

LISTA DE SÍMBOLOS

H – Altura de ola
Hs – Altura de ola significativa
Ir – Número de Iribarren
T – Periodo del oleaje
 ϑ - Dirección de propagación del oleaje

REFERENCIAS

- Aldaya, F., 1969. Los mantos Alpujarrides al sur de Sierra Nevada. *Acta Geol. Hisp.* 4, 126-130.
- Aldaya, F., 1970. La sucesión de etapas tectónicas en el dominio alpujarride. *Cuad. Geol.* 1, 159-181.
- Aldaya, F., 1981. Hoja 20-44, Albuñol, Escala 1:50.000. Mapa geológico de España. Instituto geológico y minero.
- Aarninkhof, S. G. J. & R. A. Holman, 1999. Monitoring the nearshore with video. *Backscatter* 10, 8-11.
- Ashton, A., Murray, A.B., Arnault, O., 2001. Formation of coastlines features by large-scale instabilities induced by high-angle waves. *Nature* 414, 296-300.
- Ortega-Sánchez, M., Losada, M.A. and Baquerizo, A. (2003). On the development of large-scale cusped features on a semi-reflective beach: Carchuna Beach, Southern Spain. *Marine Geology*, 198 (3-4), pp 209-223.
- Baquerizo, A., M. A. Losada and I. J. Losada (2002). Edge wave scattering by a coastal structure. *Fluid Dynamics Research*, 31, pp. 275-287.
- Bowen, A.J., Inman, D.L., 1971. Edge waves and crescentic bars. *J. Geophys. Res.* 76, 8662-8671.
- Guza, R.T., Inman D.L., 1975. Edge waves and beach cusps. *J. Geophys. Res.* 80, 2997-3012.
- Kirby, J.T., Dalrymple, R.A., 1983. A parabolic equation for the combined refraction-diffraction of stokes waves by mildly varying topography. *J. Fluid Mech.* 136, 543-566.
- Lippmann, T.C., Holman, R.A., 1989. Quantification of sand bar morphology: a video technique based on wave dissipation. *J. Geophys. Res.* 94 (C1), 995-1011.
- Van Enckevort, I. M. J. & Ruessink, B. G., 2001. Effect of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of nearshore sandbar position. *Journal of Geophysical Research*, 106, 16969-16980.