



## ESTUDIO MORFOMÉTRICO COMPARATIVO ENTRE LAS ONDULACIONES DE LOS PRODELTA DE LOS RÍOS DE ANDALUCÍA ORIENTAL

P. Bárcenas<sup>1</sup>, L.M. Fernández-Salas<sup>2</sup>, J. Macías<sup>1</sup>, F.J. Lobo<sup>3</sup> y V. Díaz del Río<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Análisis Matemático, Facultad de Ciencias. Campus de Teatinos s/n, 29080, Málaga.(patricia.barcenas@ma.ieo.es)

<sup>2</sup> Instituto Español de Oceanografía. Puerto Pesquero s/n, 29640, Fuengirola. Málaga.

<sup>3</sup> CSIC-Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias. Avda de Fuentenueva s/n, 18002, Granada.

**Resumen:** A partir de un estudio detallado de datos de batimetría multihaz se ha realizado el análisis morfométrico de 8 campos de ondulaciones desarrollados sobre prodeltas ubicados en la plataforma continental del margen norte del Mar de Alborán. Los parámetros morfológicos obtenidos se han relacionado con el régimen hídrico asociado a los sistemas fluviales estudiados, caracterizado por un patrón estacional influenciado por el clima regional. Los resultados indican que existe una clara relación entre las ondulaciones y la localización de los cauces fluviales, lo cual indicaría una influencia directa de las descargas fluviales en la generación de las ondas. Por otro lado, se ha comprobado que las ondulaciones asociadas a los ríos con mayor longitud y cuenca de drenaje alcanzan un mayor desarrollo que aquellas identificadas sobre cuerpos prodeltaicos asociados a ríos pequeños y ramblas, posiblemente indicando la existencia de diferentes tasas de aporte sedimentario en la plataforma continental.

**Palabras claves:** Sistemas prodeltaicos, Ondulaciones del fondo marino, Geomorfología, Plataforma Continental, Mar de Alborán.

**Abstract:** The aim of the present study is to analyse a number of morphometric parameters extracted from multibeam echosounder data. In particular, we focus on the morphometric analysis of 8 prodeltaic undulations fields found on the continental shelf of the northern margin of the Alboran Sea. Those morphometric parameters have been related to the marked seasonal behaviour of the hydrological regime of the studied rivers. The results show a clear connection between the undulation fields and the inland water courses, as the origin of the undulations is influenced by the fluvial sediment load. In addition, the undulations associated to the longer rivers (and with the larger catchment areas) are further developed than those located on prodeltaic bodies associated to minor rivers and streams. This fact could be possibly explained by considering different sedimentation rates on the shelf.

**Key words:** Pro-deltaic systems, sea-floor undulations, geomorphology, continental shelf, Alboran Sea.

Bárcenas, P., Fernández-Salas, L.M., Macías, J., Lobo, F.J. y Díaz del Río, V. (2009): Estudio morfométrico comparativo entre las ondulaciones de los prodeltas de los ríos de Andalucía Oriental. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 22 (1-2): 43-56

Edita: Sociedad Geológica de España  
ISSN: 0214-2708

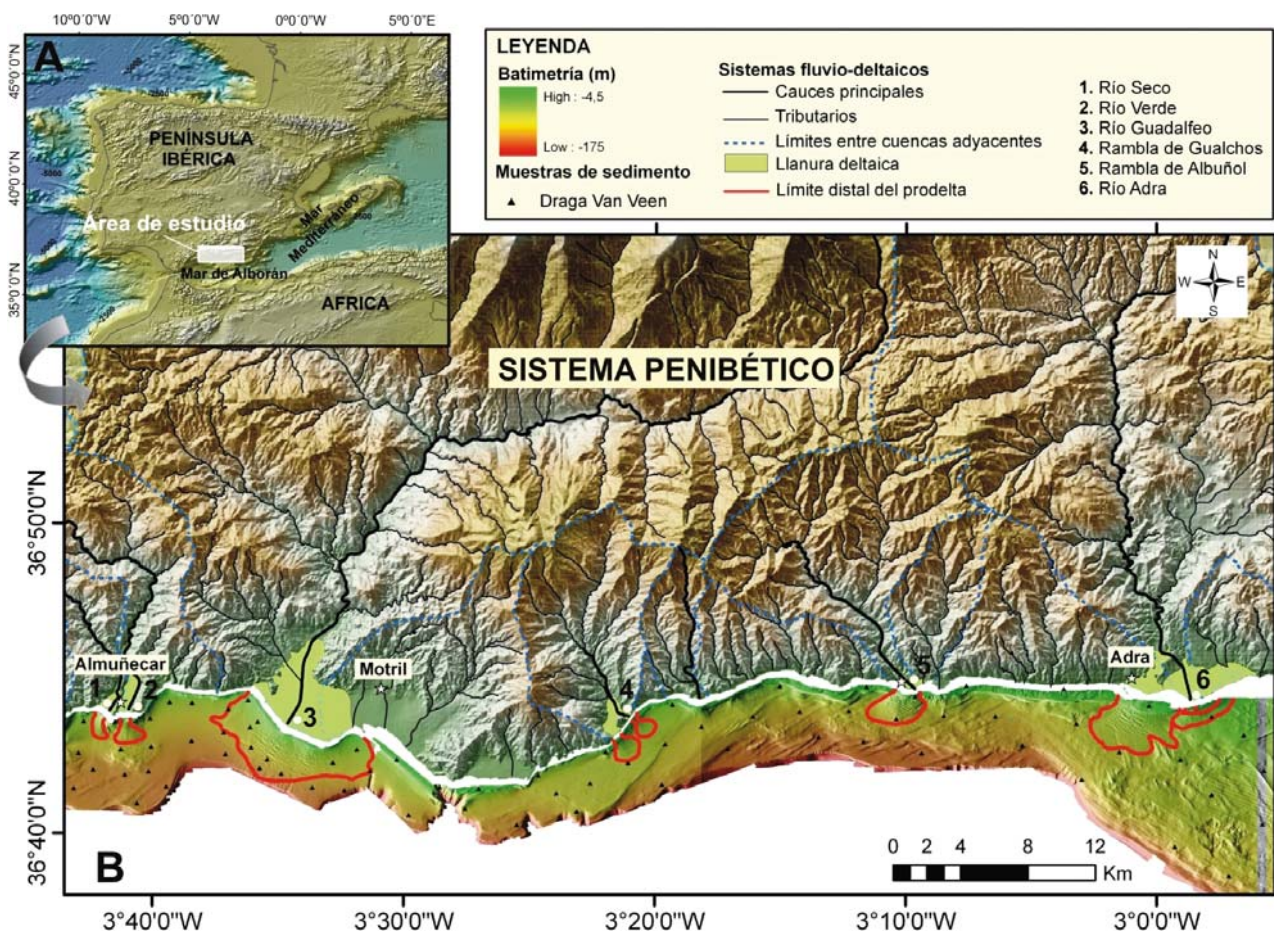


Se han descrito ondulaciones del fondo marino en diferentes ambientes sedimentarios (Correggiari *et al.*, 2001; Nakajima y Satoh, 2001; Yoo *et al.*, 2002; Cattaneo *et al.*, 2004; Urgeles *et al.*, 2007). En aguas someras se han relacionado con depósitos prodeltaicos caracterizados por una alta tasa de sedimentación, como por ejemplo en el Río Tiber (Trincardi y Normark, 1988; Chiocci *et al.*, 1996), en el Río Noeick (Bornhold y Prior, 1990), en el Río Po y otros pequeños ríos de los Apeninos (Correggiari *et al.*, 2001; Cattaneo *et al.*, 2004), y en el Río Llobregat (Urgeles *et al.*, 2007).

Para explicar el origen de las ondulaciones someras del fondo del mar se han invocado una amplia variedad de causas: a) Inestabilidades gravitacionales (Bellotti *et al.*, 1986; Díaz y Ercilla, 1993; Christian *et al.*, 1997; Duchesne *et al.*, 2003; Lykousis *et al.*, 2003), b) Transporte de corrientes de fondo y sedimentación (Trincardi y Normark, 1988) y c) Corrientes de fondo relacionadas con la actividad turbidítica, principalmente representado por flujos hiperpicnales (Mulder y Syvitski, 1995; Yoo *et al.*, 2002; Urgeles *et al.*, 2007). Sin embargo, las explicaciones más recientes sugieren una influencia combinada de muchos de los factores indicados (Cattaneo *et al.*, 2004; Marsset *et al.*, 2004).

Recientemente se han descrito una serie de ondulaciones sedimentarias situadas en el *foreset* y el *bottomset* de las cuñas prodeltaicas holocenas de los ríos Guadalfeo, Verde y Seco en el margen norte del Mar de Alborán (Lobo *et al.*, 2006; Fernández-Salas *et al.*, 2007). Estas morfologías fueron descritas como formas de fondo deposicionales generadas por la influencia de intensos flujos de sedimentos fluviales normales a los contornos batimétricos y originados por un mayor incremento de las descargas de los ríos y procesos gravitacionales. Se observó una clara relación entre el desarrollo de las ondulaciones y la capacidad de transporte de sedimentos de los ríos al mar.

Los objetivos de este trabajo comprenden la descripción de las ondulaciones situadas en los prodeltas de los ríos y ramblas de Andalucía Oriental, basada en la medida de los parámetros morfométricos y la comparación entre los diferentes campos de ondas, de forma que dicho análisis pueda contribuir a mejorar el conocimiento de la génesis de dichas morfologías. Por otro lado, se relacionan las características morfológicas de estos campos con el régimen hidrológico de las cuencas fluviales. Estas relaciones tienen implicaciones significativas para el cambio



**Figura 1.** - A) Localización geográfica del área de estudio (Modelo Digital del Terreno ETOPO). B) Localización en la zona terrestre de los sistemas fluviales estudiados en este trabajo (Modelo Digital del Terreno, Junta de Andalucía, 2005) y de las llanuras deltaicas. En la zona marítima se muestra el mapa de sombras de la batimetría multihaz donde se cartografiaban los límites distales de los prodeltas, la localización de los perfiles sísmicos de alta y muy alta resolución y la posición de las muestras de sedimento superficiales.

climático global debido a la influencia directa que ejerce el clima sobre los aportes de los ríos, y por tanto, en la formación de los depósitos prodeltaicos.

### Encuadre regional

La zona de estudio se encuentra en la plataforma continental septentrional del Mar de Alborán entre las localidades de Almuñécar (Granada) y Adra (Almería) (Fig. 1). El Mar de Alborán está localizado al SO del Mar Mediterráneo, en el sector más occidental del cinturón orogénico Alpino, dentro del arco formado por las Cordilleras Béticas en el sur de la Península Ibérica y las Cordilleras Rifeñas en el norte de África. Por tanto, la cuenca de Alborán se encuentra en una situación transarco originada por procesos extensionales durante la colisión del Dominio de Alborán contra los márgenes suribérico y norafricano en el Neógeno (Watts *et al.*, 1993; Comas *et al.*, 1999). En las zonas adyacentes emergidas, las principales unidades geológicas corresponden a materiales del Complejo Alpujárride, compuestos por rocas metamórficas de distinto tipo (gneises, migmatitas, esquistos y filitas) de edad Paleozoico a Permo-Triásico y una formación de rocas carbonatadas a techo de la secuencia atribuida al Triásico Medio y Superior (Azañón *et al.*, 1998). La fisiografía de la zona emergida es abrupta, ya que está condicionada por el Sistema Penibético, el cual constituye la porción más meridional de la Cordillera Bética. La existencia del Sistema Bético y su cercanía a la costa mediterránea determinan las características geomorfológicas de las subcuencas fluviales, generalmente presentando ríos cortos y de alta pendiente. La climatología de esta zona está caracterizada por una acusada variabilidad

estacional, con importantes máximos invernales en relación con la llegada de frentes atlánticos que condicionan un régimen torrencial, y a mínimos o caudales nulos durante una parte significativa del año, debido a la influencia del Anticiclón de las Azores (Senciales y Málvarez, 2003). Asimismo, la descarga fluvial es muy irregular a escala interanual, determinándose la alternancia de años muy secos y otros muy húmedos.

En función de los parámetros morfométricos del sistema fluvio-deltaico, los cauces estudiados se pueden clasificar en 3 grupos (Tabla I): (a) los ríos Guadalfeo y Adra, (b) los ríos Verde y Seco, y (c) las Ramblas de Gualchos y Albuñol. El primer grupo destaca por presentar los mayores valores en alturas máximas (>2200m), longitudes del río (72,5km para el Río Guadalfeo y 51,4km para el Río Adra), áreas de la cuenca (entre 750,7 km<sup>2</sup> y 1312,2 km<sup>2</sup> para el Río Adra y el Río Guadalfeo, respectivamente) y áreas del delta (media de 14 km<sup>2</sup>). Presentan, por otro lado, las menores pendientes de los cauces (<2,5°). El segundo grupo presenta valores intermedios y el tercero, al cual pertenecen las ramblas, presentan valores de menor desarrollo y mayor pendiente (>3,6°). Para los ríos que drenan las cadenas montañosas jóvenes de Andalucía Oriental se ha establecido una relación lineal negativa entre la carga de sedimentos y el área de la cuenca (Liquete *et al.*, 2005). Esta relación fue interpretada como el resultado de la capacidad de estos ríos para responder a inundaciones repentinas, y a la ausencia de áreas en las cuencas de los ríos para almacenar los sedimentos transportados en situaciones de tormenta. Así, la intensidad de las inundaciones repentinas generalmente conduce a un transporte sedimentario a través de la llanura deltaica y el frente deltaico, de

|                                                            | Río Seco | Río Verde | Río Guadalfeo | Rambla de Gualchos | Rambla de Albuñol | Río Adra |
|------------------------------------------------------------|----------|-----------|---------------|--------------------|-------------------|----------|
| Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )                       | 21,4     | 100,6     | 1312,2        | 74,7               | 118,1             | 750,7    |
| Altitud máxima de la cuenca (m)                            | 1069     | 1624      | 3243          | 1755               | 1335              | 2682     |
| Altitud principal de la cuenca (m)                         | 376      | 701       | 1253          | 645                | 821               | 1075     |
| Altitud máxima del río (m)                                 | 533      | 1502      | 2793          | 1080               | 1267              | 2277     |
| Longitud del río (km)                                      | 10,5     | 23,4      | 72,5          | 13,4               | 20                | 51,4     |
| Pendiente del río (°)                                      | 2,91     | 3,56      | 2,38          | 4,57               | 3,6               | 2,51     |
| Área del delta (km <sup>2</sup> )                          | 0,9      | 2,2       | 18,5          | 1,8*               | 0,8               | 9,9*     |
| Perímetro del delta (km)                                   | 5,7      | 8,9       | 23,8          | 7,7*               | 5,4               | 26,8*    |
| Precipitación máxima de la cuenca (mm yr <sup>-1</sup> )   | 900      | 1250      | 1250          | 500                | 500               | 900      |
| Precipitación media en la cabecera (mm yr <sup>-1</sup> )  | 900      | 900       | 500           | 500                | 500               | 500      |
| Descarga histórica media (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | -        | 5,3       | 6,9           | -                  | -                 | 16,3     |
| Descarga media de sedimentos (Kg s <sup>-1</sup> )         | -        | 0,4       | 2,7           | -                  | -                 | 4,8      |

**Tabla I.-** Parámetros morfológicos y ambientales de los sistemas fluvio-deltaicos de las diferentes áreas estudiadas (Modificado de Liquete *et al.*, 2005) siguiendo la numeración utilizada en la figura 1. \* Datos obtenidos de la suma de los dos sistemas deltaicos.



forma que la mayor parte de la carga sedimentaria es depositada en el ambiente prodeltaico (Soh *et al.*, 1995; Postma, 2001).

La plataforma continental donde se desarrollan los prodeltas de la zona de estudio se caracteriza por ser estrecha, con valores entre 2,5 y 11 km, incrementando su anchura de Oeste a Este. El borde de plataforma está localizado alrededor de los 115 m de profundidad (Ercilla *et al.*, 1994).

El área de estudio está caracterizada por la alternancia de vientos de levante con velocidades máximas de 50 km/h, y vientos de poniente, menos constantes y con velocidades de hasta 30 km/h. Los vientos del Norte también son significativos en esta zona, con velocidades que varían entre 15 y 25 km/h (Parrilla y Kinder, 1987).

El margen de Alborán está dominado por olas de baja energía con corrientes de marea débiles (Flos, 1985). La marea está controlada por la influencia periódica del Océano Atlántico a través del Estrecho de Gibraltar y por un periodo de oscilación propio del Mar Mediterráneo, de alrededor de seis horas. En él se establecen dos direcciones principales de oleaje: (a) Oleaje del Suroeste, con una altura entre 0,5 y 1m, siendo la componente menos energética y de menor frecuencia y, (b) Oleaje de Levante, con alturas de 1,5 a 2,5m, siendo este el oleaje predominante en el Mar de Alborán. La dinámica litoral muestra una gran variabilidad, como consecuencia de la influencia de los diferentes trenes de ondas y la modificación por los patrones de corrientes en la plataforma. Este patrón de corrientes es muy complejo en la plataforma del Mar de Alborán, y se encuentra controlado por la interacción entre el régimen de vientos y el Agua atlántica entrante por el Estrecho de Gibraltar (*Modified Atlantic Water*, MAW) la cual fluye hacia el este entre profundidades no superiores a los 100-200 m. La MAW entrante genera un frente termohalino que nutre dos giros anticiclónicos principales: el giro anticiclónico occidental (WAG) y el giro anticiclónico oriental (EAG) (Cano and García, 1991; Vargas-Yáñez *et al.*, 2002).

Los prodeltas asociados a los ríos del área de estudio presentan longitudes medias de 2,2 km y anchuras de 3,2 km (Tabla II), siendo el de mayor dimensión el prodelta del Río Guadalfeo, el cual alcanza el borde de la plataforma continental (Lobo *et al.*, 2006; Bárcenas *et al.*, 2009). Las pendientes del *foreset* varían entre los 4,5° y los 2,48°, siendo los más abruptos los prodeltas asociados a las ramblas y el más suave el del Río Guadalfeo. El *offlap break* o punto de ruptura del prodelta del Río Adra es el que se presenta a mayor profundidad (18 m). Debido a una serie de intervenciones antrópicas el cauce natural del Río Adra sufrió dos desvíos, hacia el este en 1872 y hacia el oeste en 1910, cuando se fijó en la posición actual (Jabaloy *et al.*, 2008) favoreciendo el desarrollo de dos sistemas deltaicos asociados a las diferentes posiciones del cauce (Fig.1.). En la Rambla de Gualchos se observan también dos lóbulos prodeltaicos (Fig. 1), uno al este asociado a esta Rambla y otro al oeste asociado a la Rambla Ancha (Calvache, 2002) que en la actualidad se encuentra inactiva. En este trabajo a la Rambla Ancha se le nombrará como sector occidental de la Rambla de Gualchos.

## Metodología

Los resultados de este estudio están basados en la interpretación de 386,4 km<sup>2</sup> de datos batimétricos obtenidos con ecosonda multihaz y 71 muestras de sedimentos superficiales. Esta información se adquirió usando un sistema de navegación GPSD referido al elipsoide WGS-84.

## Ecosonda Multihaz

El modelo de ecosonda multihaz utilizado fue Konsberg-Simrad EM3000 dual emitiendo con una frecuencia de 300 kHz. Esta ecosonda emite un abanico de 254 haces de 1,5°x1,5°. Su cobertura horizontal en aguas someras es de hasta 10 veces la profundidad (Konsberg Simrad, 1998) con una tasa máxima de

|                                           | Río Seco | Río Verde | Río Guadalfeo | Rambla de Gualchos |         | Rambla de Albuñol | Río Adra |         |
|-------------------------------------------|----------|-----------|---------------|--------------------|---------|-------------------|----------|---------|
|                                           |          |           |               | Occid.             | Orient. |                   | Occid.   | Orient. |
| Longitud (km)                             | 1,3      | 1,8       | 3,5           | 1,8                | 1,7     | 2,4               | 3,9      | 1,4     |
| Anchura (km)                              | 0,7      | 1,7       | 9,2           | 1,6                | 1,2     | 3,3               | 4,3      | 3,9     |
| Área (km <sup>2</sup> )                   | 1,4      | 2         | 25,7          | 2                  | 1,3     | 5,5               | 14,8     | 5,5     |
| Pendiente del foreset (°)                 | 4        | 5         | 2,48          | 4,5                | 3,16    | 4,5               | 3,2      | 3       |
| Distancia <i>offlap break</i> -costa (km) | 0,1      | 0,31      | 0,35          | 0,37               | -       | 0,28              | 0,88     | 0,86    |
| Profundidad del <i>offlap break</i> (m)   | 3        | 9         | 10            | 13                 | -       | 9                 | 18       | 18      |
| Profundidad del límite distal (m)         | 65       | 65        | 108           | 56                 | 50      | 71                | 60       | 28      |

**Tabla II.-** Resumen de las características morfológicas de las distintas cuñas sedimentarias desarrolladas en el área de estudio (Modificado de Bárcenas *et al.*, 2009).

disparo de 25 Hz. Los datos batimétricos se obtuvieron barriendo la plataforma continental y el talud superior del área de estudio, con derrotas paralelas o casi paralelas a la costa o a la pendiente, con un solape de cobertura de alrededor del 10% de la anchura del barrido, desde aproximadamente los 5 m de profundidad hasta más de 170 m durante las campañas ESPACE01 y ESPACE 02 (Fig. 1). Los datos brutos fueron procesados usando el software Neptune®, generando una malla con una resolución de 5x5 m. Con esta misma resolución fueron realizados los mosaicos de reflectividad obtenidos con los datos de la ecosonda. Las correcciones de balanceo, cabeceo y altitud fueron realizadas con Seatex Seapath 200.

### Sedimentos superficiales

Se han analizado un total de 71 muestras de sedimentos superficiales obtenidas con una draga Van Veen en las campañas ESPACE01 y ESPACE02 (Fig. 1). El espaciado entre las muestras es bastante irregular variando entre 0,65 y 8,2 km. Se ha realizado un análisis granulométrico de las muestras mediante las cuales se diferencian los porcentajes de fango, arena y grava.

### Integración de datos y análisis morfométrico

La integración de todos los datos en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 9.2) ha permitido la relación de las medidas cuantitativas y su posterior análisis morfométrico. La metodología utilizada para las medidas de los distintos parámetros morfométricos (profundidad, longitud, pendiente, longitud de onda, altura, índice de asimetría y de forma) (2) en las ondulaciones de los prodeltas de los ríos estudiados es análoga a la descrita por Fernández-Salas *et al.* (2007). En primer lugar, a partir del grid de batimetría multihaz

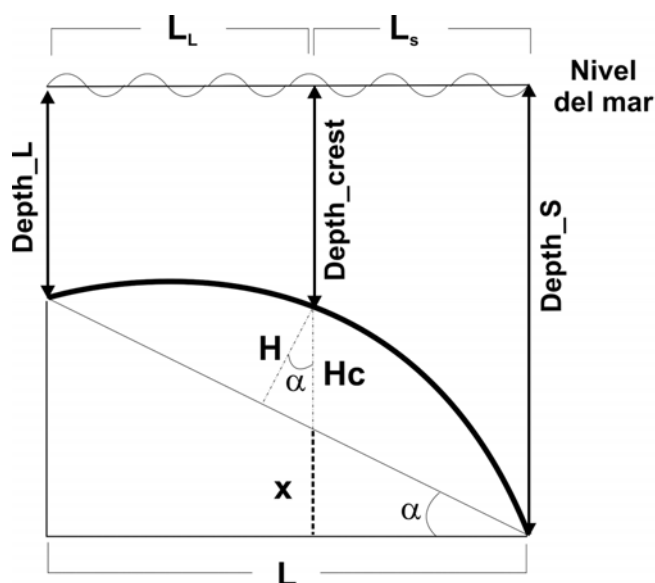
y con diferentes mapas realizados con software ArcGis (mapa de sombras, mapa de contornos, mapa de pendientes y mapa de orientación del fondo) se han cartografiado los ejes y las áreas de 832 ondulaciones. Posteriormente, se ha llevado a cabo una medida sobre las ondulaciones cartografiadas de los parámetros que se muestran en la figura 2 (parámetros medidos), que han permitido obtener mediante fórmulas matemáticas otra serie de parámetros morfométricos (parámetros calculados) (Fig. 2).

## Resultados

Del análisis morfométrico de 8 campos de ondas observadas en el área de estudio (Fig.3) se ha podido apreciar que habitualmente se desarrollan en la parte cóncava de los perfiles fisiográficos de las cuñas prodeltaicas. Los ejes de las ondulaciones son rectos o sinuosos y se disponen normalmente paralelos o subparalelos a las isóbatas (Fig. 3), distribuyéndose habitualmente entre los 16 y 70 m de profundidad, excepto en el caso del prodelta del Río Guadalfeo donde las ondulaciones alcanzan los 100 m de profundidad (Tabla III) llegando al borde de la plataforma continental (Fig. 3.A2).

### Parámetros morfométricos

**Longitud lateral:** Las ondas de mayor longitud lateral media se observan en el campo del Río Guadalfeo y en el campo occidental del Río Adra, con valores por encima de los 200 m (Tabla III). El resto de los campos presentan valores medios entre los 113,6 m (para el campo oriental de la Rambla de Gualchos) y 171,04 m (para el campo oriental del Río Adra). El máximo valor de longitud lateral se encuentra en el campo del Río Guadalfeo rondando los 1900m.



### PARÁMETROS MEDIDOS

- ✓ Profundidad parte proximal onda (Depth\_L)
- ✓ Profundidad eje onda (Depth\_crest)
- ✓ Profundidad parte distal onda (Depth\_S)
- ✓ Longitud de onda (L)
- ✓ Longitud de onda hacia mar (L\_S)

### PARÁMETROS CALCULADOS

- ✓ Altura de onda sin corrección pendiente (H\_c)
- ✓ Longitud de la onda hacia tierra (L\_L)
- ✓ Altura de onda con corrección pendiente (H)
- ✓ Pendiente ( $\alpha$ )
- ✓ Índice de asimetría ( $L_S/L_L$ )
- ✓ Índice de forma ( $L/H$ )

**Figura 2.-** Esquema de los parámetros morfométricos medidos en las ondulaciones (modificado de Fernández-Salas *et al.*, 2007). Se diferencian los parámetros medidos directamente sobre las ondulaciones y los parámetros calculados a partir de estas medidas mediante fórmulas matemáticas.

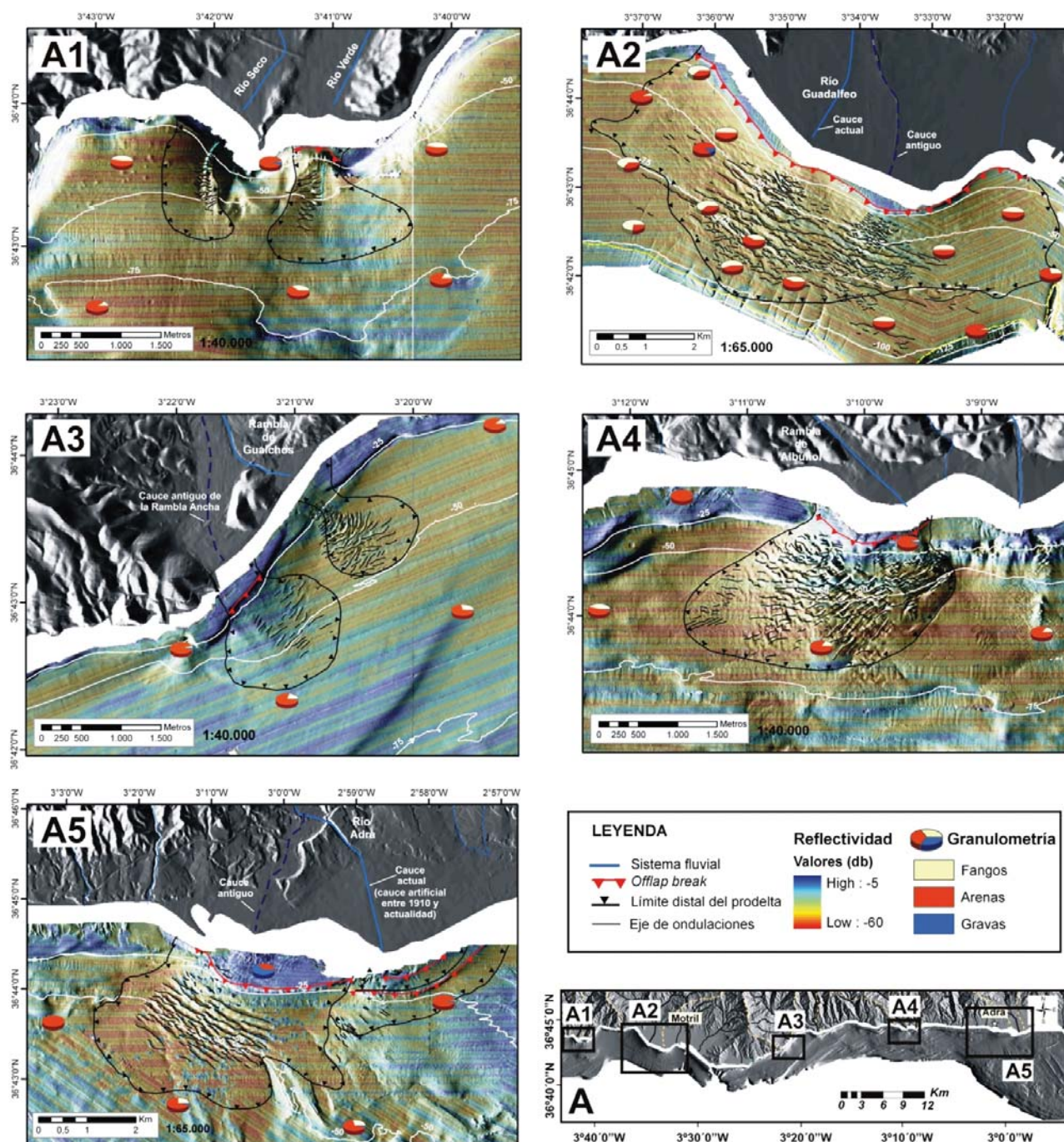
|                                     |                             | Prof.<br>(m) | Long.<br>Later.<br>(m) | Pte (°) | L (m)  | H (m)  | Simetría | L/H     |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------|------------------------|---------|--------|--------|----------|---------|
| Campo<br>Río Seco<br>n=19           | Mín.                        | 24,17        | 64,52                  | 0,07    | 25,30  | 0,06   | 0,59     | 33,82   |
|                                     | Media                       | 42,03        | 138,82                 | 2,12    | 46,63  | 0,70   | 0,94     | 148,02  |
|                                     | Máx.                        | 54,44        | 252,73                 | 3,80    | 74,25  | 2,19   | 1,64     | 705,54  |
| Campo<br>Río Verde<br>n=18          | Mín.                        | 37,20        | 49,97                  | -0,23   | 38,25  | 0,13   | 0,41     | 74,38   |
|                                     | Media                       | 48,92        | 148,04                 | 1,38    | 72,81  | 0,59   | 1,05     | 183,01  |
|                                     | Máx.                        | 57,83        | 253,10                 | 2,72    | 103,18 | 1,28   | 2,85     | 827,09  |
| Campo Río<br>Guadafeo*<br>n=372     | Mín.                        | 27,73        | 30,38                  | -2,9    | 18,89  | 0,07   | 0,34     | 14,88   |
|                                     | Media                       | 64,11        | 210,86                 | 1,1     | 80,62  | 0,85   | 1,58     | 129,96  |
|                                     | Máx.                        | 99,17        | 1989,1                 | 6,07    | 252,3  | 5      | 4,95     | 493,15  |
| Campo Rambla de Gualchos            | Campo<br>occidental<br>n=30 | Mín.         | 34,47                  | 29,86   | 0,15   | 27,88  | 0,07     | 0,68    |
|                                     |                             | Media        | 43,81                  | 133,97  | 1,24   | 60,76  | 0,36     | 1,33    |
|                                     |                             | Máx.         | 53,41                  | 307,87  | 2,84   | 97,27  | 1,12     | 2,43    |
|                                     | Campo<br>oriental<br>n=82   | Mín.         | 19,00                  | 27,10   | -0,64  | 19,46  | 0,02     | 0,32    |
|                                     |                             | Media        | 39,17                  | 113,60  | 1,41   | 47,38  | 0,28     | 1,13    |
|                                     |                             | Máx.         | 59,25                  | 472,32  | 4,62   | 140,13 | 2,21     | 2,91    |
| Campo Rambla<br>de Albuñol<br>n=209 | Mín.                        | 20,30        | 24,05                  | -2,35   | 23,38  | 0,02   | 0,45     | 27,87   |
|                                     | Media                       | 49,09        | 149,73                 | 1,32    | 60,53  | 0,53   | 1,58     | 296,93  |
|                                     | Máx.                        | 70,82        | 565,66                 | 4,7     | 163,11 | 4,22   | 5,25     | 1933,13 |
| Campo Río Adra**                    | Campo<br>occidental<br>n=80 | Mín.         | 16,41                  | 39,68   | -0,35  | 22,46  | 0,04     | 0,35    |
|                                     |                             | Media        | 43,94                  | 349,58  | 0,63   | 95,05  | 0,58     | 1,80    |
|                                     |                             | Máx.         | 55,85                  | 1353,70 | 1,75   | 244,15 | 2,34     | 4,70    |
|                                     | Campo<br>oriental<br>n=22   | Mín.         | 25,40                  | 52,99   | -0,20  | 20,88  | 0,04     | 0,46    |
|                                     |                             | Media        | 35,20                  | 171,04  | 0,70   | 55,89  | 0,28     | 1,57    |
|                                     |                             | Máx.         | 44,01                  | 310,96  | 1,78   | 129,43 | 0,60     | 7,21    |

**Tabla III.**- Valores mínimos, medios y máximos de los parámetros geométricos de las ondulaciones. L: Longitud de onda, H: Altura y L/H: Índice de forma. \* Datos de Fernández-Salas et al (2007) y \*\*Datos de Bárcenas et al. (2008).

*Pendiente:* Los valores medios de las pendientes de los cuerpos prodeltaicos, sobre los que se sitúan las ondulaciones, son mayores en los campos de los Ríos Seco y Verde (2,12° y 1,38° respectivamente) y en los campos de las Ramblas de Gualchos y Albuñol, cuyos

valores están por encima de 1,2°. La menor pendiente media la presentan las ondulaciones frente al Río Adra con valores en torno a 0,65°. Por otro lado, se han obtenido pendientes negativas de las ondulaciones en la mayoría de los campos, excepto en el campo





**Figura 3.-** A) Mapa de localización de los campos de ondulaciones. A1-A5) Caracterización morfo-sedimentaria de cada uno de los campos de ondulaciones. Se muestra el cauce al que se asocia cada campo, la reflectividad, la distribución granulométrica, el *offlap break*, el límite distal de la cuña sedimentaria, el borde de plataforma y el eje de las ondulaciones.

desarrollado frente al Río Seco y el campo occidental de la Rambla de Gualchos representando entre el 5,5 y el 10% del total de los datos medidos en función de cada campo de ondas. Las mayores pendientes negativas las presentan los campos del Río Guadalfeo ( $-2,9^\circ$ ) y de la Rambla de Albuñol ( $-2,35^\circ$ ). Estas pendientes, orientadas hacia costa, identifican ondas sobreimpuestas en los flancos proximales de ondas de dimensiones mayores.

**Longitud de onda:** Las longitudes de onda medias alcanzan sus mayores valores frente al Río Guadalfeo y en el campo occidental del Río Adra, con medias de

80,62 y 95,05 m respectivamente, mientras que en los demás campos los valores medios se mantienen entre los 46,63m (para el campo del Río Seco) y los 72,81 m (para el campo del Río Verde). Destaca que en el campo del Río Guadalfeo se encuentran los valores máximos y mínimos de la longitud de onda (252,3m y 18,89m), por lo tanto, es el que presenta mayor variabilidad.

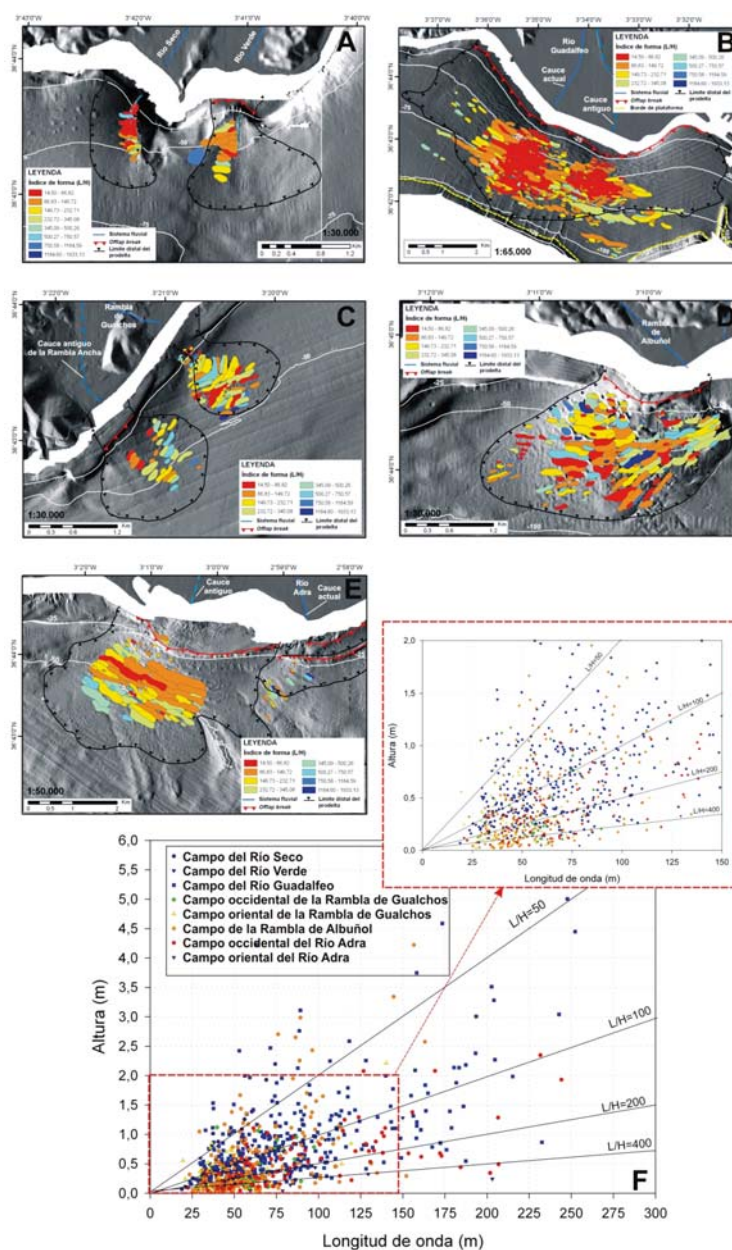
**Altura de onda:** Las ondas de mayor altura media se localizan en los campos más occidentales, en concreto la zona frente al Río Guadalfeo y al Río Seco, con valores medios de 0,85 m y 0,70 m. Las ondulaciones

que presentan menores alturas medias son las desarrolladas en los campos orientales de la Rambla de Gualchos y del Río Adra (campo oriental), no superando los 0,28 m.

**Índice de simetría:** El valor medio de este parámetro es mayor de 1 en la mayoría de las áreas estudiadas, por lo tanto, teniendo en cuenta que valores de este índice cercanos o próximos a 1 indican ondas simétricas, se puede deducir que la mayoría de las ondulaciones estudiadas son asimétricas. Las ondulaciones más simétricas se localizan, en los campos del Río Seco y Río Verde (con medias de 0,94 y 1,05 respectivamente) y las menos simétricas en el campo occidental del Río Adra, el cual muestra el mayor valor medio de todo el estudio

(1,80). A medida que los valores del índice de simetría se van haciendo menores que 1, el flanco proximal de la ondulación ( $L_L$ , orientado a costa) se va haciendo más alargado que el flanco distal ( $L_S$ , orientado hacia mar adentro), mientras que el caso opuesto se presentaría con valores mayores que 1,0. Teniendo en cuenta esto, y conociendo que los mínimos absolutos de este índice ocurren en el campo oriental de la Rambla de Gualchos (0,32) y máximos en el campo oriental del Río Adra (7,21), se puede deducir que los flancos proximales de las ondulaciones de aquel campo son mayores que las de éste otro.

**Índice L/H:** En cuanto a la relación L/H o índice de forma, se puede apreciar que la mayoría de las



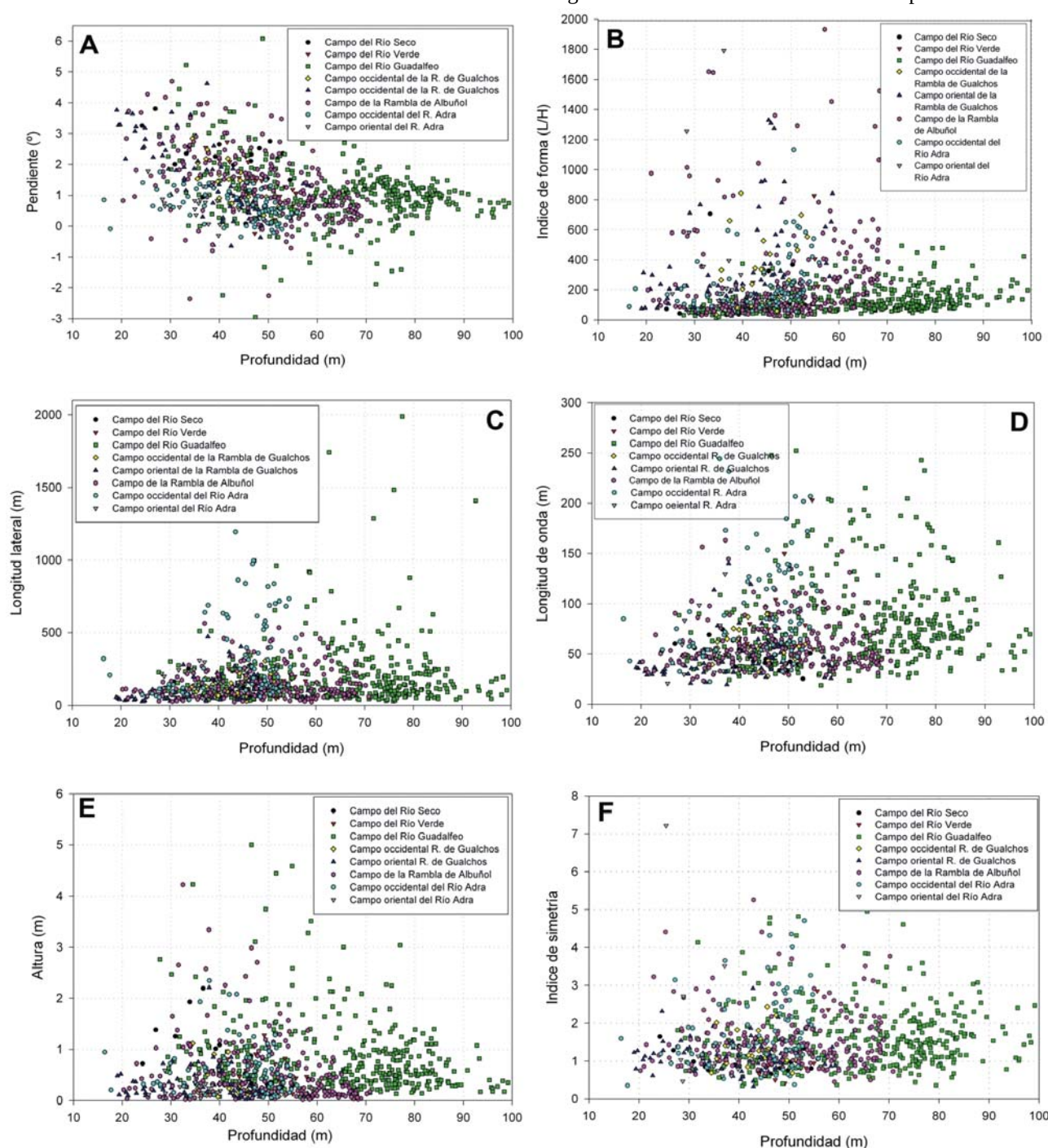
**Figura 4.-** A-E) Distribución espacial del índice de forma (L/H) en cada uno de los campos de ondulaciones. F) Distribución de la altura frente a la longitud de onda.



ondulaciones se encuentran entre valores de 50-400 (Fig. 4). Los mayores valores medios de L/H los presentan las ondulaciones de los campos orientales de la Rambla de Gualchos y del Río Adra con valores por encima de los 300 (Tabla III). Hay que destacar también los valores medios de este índice entre 250-300, de los campos de las Ramblas de Albuñol y Gualchos (campo occidental) y del campo occidental del Río Adra. Los menores valores medios de L/H se observan en los campos de los ríos Seco, Verde y Guadalfeo con índices no superiores a 200.

### Variación de los parámetros morfométricos en función de la profundidad

Con carácter general se observa que no existe una tendencia clara de los parámetros morfométricos de las ondulaciones con respecto a la profundidad, a excepción de la pendiente y del índice de forma. La pendiente presenta una tendencia negativa con respecto a la profundidad (Fig.5A) observando las mayores pendientes en zonas más someras con valores que superan los 3-4°. Las pendientes negativas observadas en 6 de los campos estudiados



**Figura 5.-** Distribución de los parámetros geométricos de las ondulaciones frente a la profundidad. (A) Pendiente, (B) Índice de forma, (C) Longitud lateral, (D) Longitud de onda, (E) Altura y, (F) Índice de simetría.



se sitúan generalmente entre los 30-80m de profundidad. Por otro lado, el índice L/H muestra una leve tendencia positiva hacia zonas más profundas (Fig. 5B), es decir, encontramos ondulaciones más achatadas generalmente en zonas más profundas, aunque existen valores dispersos en todos los rangos de profundidad. De manera general, el índice de forma aumenta hacia los límites del prodelta y lateralmente alejándose del eje de influencia del cauce (Fig.4).

La longitud lateral se distribuye de forma heterogénea en todos los campos con respecto a la profundidad (Fig. 5C). Se puede destacar que las mayores longitudes laterales las presentan los campos del Río Guadalfeo y del Río Adra (campo occidental) a partir de los 40-50 m de profundidad, mostrando valores superiores a los 500 m. Algunas ondulaciones frente al Río Guadalfeo pueden alcanzar casi los 2000 m de longitud lateral a profundidades mayores de 60m.

Los valores de longitud de onda se distribuyen de forma heterogénea en la mayoría de los campos con respecto a la profundidad, destacándose a partir de los 40-50 m de profundidad una dispersión de los mismos en los campos de la Rambla de Albuñol y de los ríos Guadalfeo y Adra (Fig.5D).

En zonas someras (< 30m) la altura de las ondas no supera los 1,5 m (Fig.5E). En profundidades entre 30-100 m se distribuyen todos los valores de altura de forma diversa.

Los valores del índice de simetría se distribuyen de forma irregular en todos los rangos de profundidad (Fig.5F). Podemos destacar que los valores en zonas más someras (cerca de los 20m) están próximos a 1, con lo cual se observan ondas más simétricas. Los valores del índice mayores de 4,5 aparecen a partir de los 40 m de profundidad para los campos del Río Guadalfeo, Rambla de Albuñol y campo occidental del Río Adra.

#### *Distribución sedimentaria: correlación entre la reflectividad y las muestras de sedimento*

En el área de estudio se observan unos patrones de distribución de la reflectividad bien definidos a lo largo de las cuñas sedimentarias donde se desarrollan las ondulaciones. Los valores de reflectividad elevados se encuentran en los *topset* de los prodeltas (> -12 dB) hasta sobrepasar el *offlap-break* (Fig.3), donde comienzan a disminuir presentando valores medios de -29 dB a lo largo de toda la cuña sedimentaria hasta su límite distal. No se observa ninguna diferencia significativa de valores de reflectividad en la zona de los campos de ondas con respecto al resto de las cuñas sedimentarias. Existen algunas excepciones a este patrón general, como por ejemplo, en la cuña sedimentaria asociada al Río Verde donde se observan variaciones laterales de la reflectividad en los *bottomsets*, ya que a partir de la isóbata de los 50 m los sedimentos son más reflectivos en la zona este, en la

cual no se desarrollan ondulaciones (Fig.3.A1). En la cuña sedimentaria occidental asociada a la Rambla de Gualchos también se aprecian variaciones laterales, ya que la parte este donde se desarrollan las ondulaciones está cubierta por sedimentos menos reflectivos que la parte oeste. Los valores de menor reflectividad que se observan a partir del *offlap-break* de las cuñas sedimentarias se correlacionan con arenas y arenas fangosas en su mayoría, con proporciones variables de fangos. Las zonas del *topset*, de mayor reflectividad, se correlacionan con materiales más groseros, como gravas arenosas.

#### **Discusión**

La similitud de las características de las ondulaciones descritas en las diferentes áreas estudiadas sugiere un origen general común modulado por factores locales que expliquen las variaciones de los parámetros morfométricos medidos. Existe una clara evidencia entre la conexión de los campos de ondulaciones y las localizaciones de las desembocaduras de los ríos, lo cual indica la influencia genética de los aportes fluviales (Fernández-Salas *et al.*, 2007). Su disposición paralela o subparalela a las líneas batimétricas reflejan la importancia del transporte transversal propio de los sistemas prodeltaicos. Por lo tanto, las ondulaciones se interpretan como formas de fondo deposicionales generadas por fuertes flujos de sedimentos transversales a la plataforma continental que se desarrollan durante los eventos de inundación de gran intensidad en la cuenca fluvial unidos a la orografía abrupta de la zona emergida.

#### *Comparación general de los parámetros morfométricos*

En función de los parámetros morfométricos de cada uno de los campos de ondas, se pueden establecer tres grupos de campos de ondulaciones, aunque dentro de ellos se observan excepciones de algunos de los parámetros:

**Grupo 1:** Formado por los campos de ondulaciones situados frente a las ramblas de Gualchos y Albuñol, los cuales presentan un menor desarrollo de las ondulaciones (Fig. 6) con valores medios de longitud lateral menores de 150 m (Tabla III), longitudes de onda medias por debajo de los 61 m, alturas de onda media menores de 0,53 m e índices de forma (L/H) muy altos, con valores por encima de 280 y pendientes altas (>1,2°).

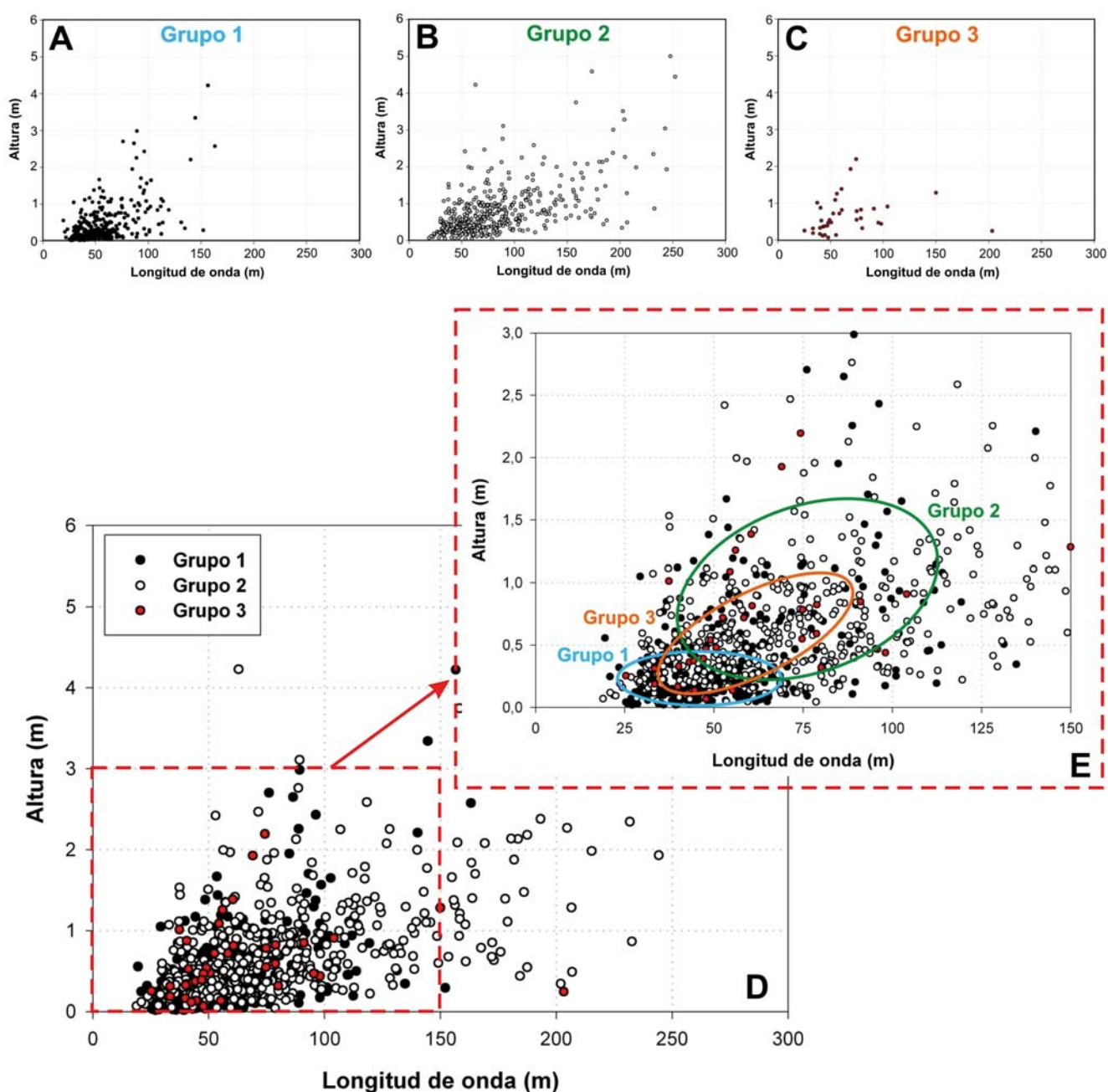
**Grupo 2:** Formado por las ondulaciones desarrolladas en los prodeltas de los ríos Adra y Guadalfeo. En estos prodeltas se advierte un mayor desarrollo de las ondulaciones (Fig. 6), con valores más altos de longitud lateral (>170m), longitud de onda valores mayores de 80 m, a excepción del campo oriental del Río Adra cuyo valor se asemeja más a los del grupo 1 y altura de onda,

observándose el mayor valor medio en el campo frente al Río Guadalfeo superando los 0,80 m (Tabla III). Por otro lado, presentan los valores más reducidos de pendiente ( $< 1^\circ$ ) e índice de forma (L/H). Hay que indicar la excepción de los campos desarrollados frente al Río Adra que presentan valores altos de índice de forma.

**Grupo 3:** situado frente a la desembocadura de los ríos Verde y Seco y que presenta características mixtas (Fig. 6) de los dos grupos anteriores.

Estas diferencias nos indican que las ondulaciones asociadas a los ríos generalmente son más anchas, largas, altas y puntiagudas, es decir, ondas más desarrolladas que las correspondientes a las ramblas (Fig. 6). El grupo 1 reúne a las ondulaciones asociadas a

las ramblas, definidas como corrientes efímeras que transportan un volumen relativamente grande de agua exclusivamente durante las épocas torrenciales mientras que permanecen secos durante el resto del año (Liquete *et al*, 2005). Los cauces de las ramblas analizadas tienen pequeña longitud ( $< 20\text{km}$ ), gran pendiente ( $> 3,6^\circ$ ) y cuencas pequeñas ( $< 120\text{ km}^2$ ) (Tabla I). Por otro lado, el grupo 2 considera las ondulaciones desarrolladas frente a los ríos con grandes cuencas ( $> 750\text{ km}^2$ ), cauces más largos ( $> 50\text{km}$ ) y menor pendiente ( $< 2,58^\circ$ ). El grupo 3 contempla las ondulaciones asociadas a los ríos pequeños ( $< 23\text{km}$  de longitud), pendientes intermedias (entre  $2,9^\circ$ - $3,6^\circ$ ) y pequeñas cuencas hidrológicas ( $< 100\text{ km}^2$ ). Todas estas diferencias estarían también en relación con las



**Figura 6.-** Distribución de la altura frente a la longitud de onda de cada uno de los grupos propuestos para clasificar los campos de ondulaciones. A, B y C) detalle de cada uno de los grupos; D y E) Gráfico conjunto de los tres grupos.



características del aporte sedimentario de los sistemas fluviales, siendo mayor en los ríos grandes que en los ríos pequeños y ramblas (Tabla I).

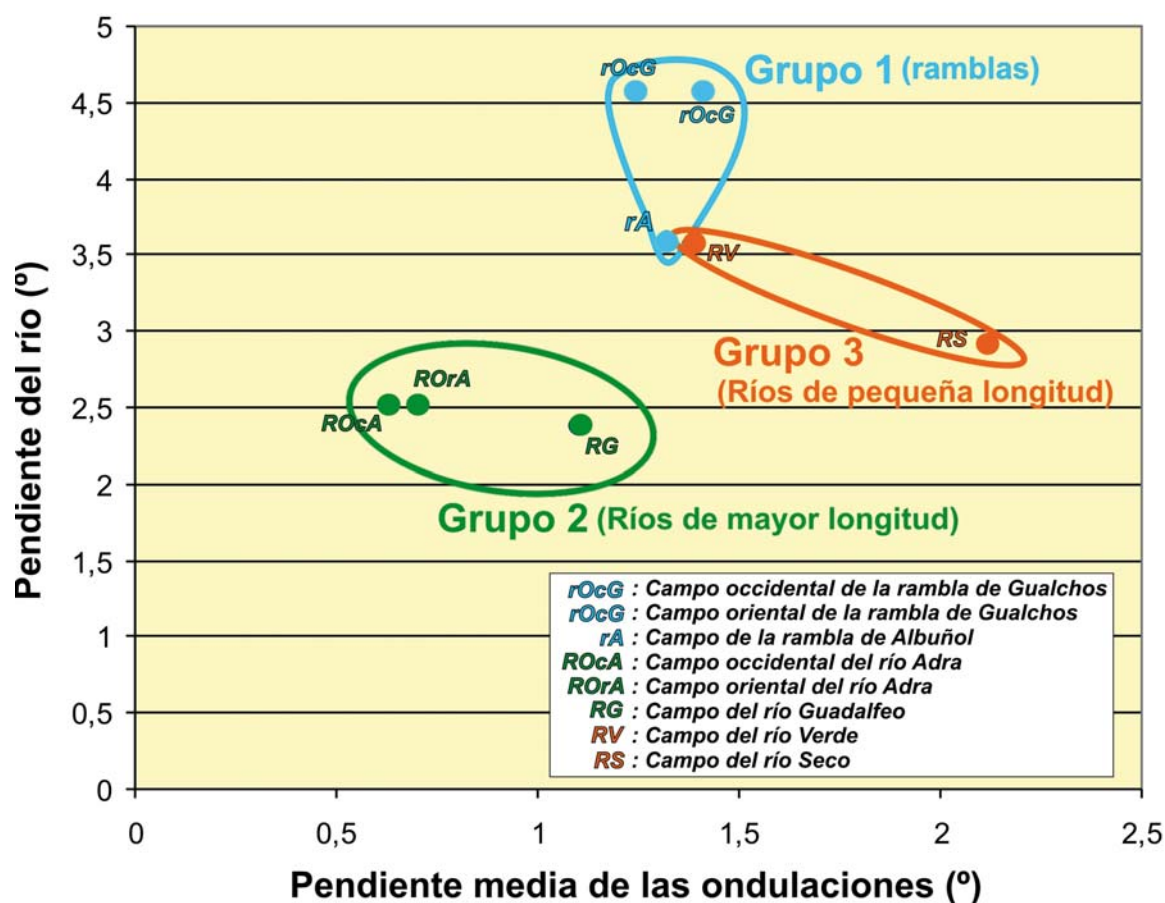
*Correlación de los parámetros morfométricos de las ondulaciones con las características de los sistemas fluviodeltaicos y de la cuenca receptora*

A partir de la correlación de los parámetros morfométricos medidos en las ondulaciones con las características de los sistemas fluviales y del ambiente marino donde se desarrollan podemos concluir que:

- Las zonas de ondas de mayor ángulo coinciden con los cauces de mayor pendiente (Fig. 7), en este caso correspondiente a las ramblas (grupo 1) y a los ríos de pequeña longitud (grupo 3), como el Río Verde y el Río Seco. Esto podría indicar que este parámetro está controlado por la orografía regional.
- Las mayores alturas de onda ocurren en los ríos Guadalfeo, Verde y Seco, cuyas cuencas están situadas en zonas con valores de precipitación máxima (900-1250 mm yr<sup>-1</sup>), de más del doble que el resto, lo que podría indicar que un mayor aporte de sedimentos produciría ondas de mayor altura, y por lo tanto, de menor índice L/H.

Se han observado algunas excepciones, atendiendo a las diferencias de alguno de los campos, que no

concuerdan con los 3 grupos que de manera general se han propuesto. Se aprecia que en el caso del Río Adra los dos campos muestran un L/H similar a los sistemas de rambla, y por otro lado, el campo oriental presenta valores de altura mucho menores que los correspondientes al grupo 1. Ambas cuestiones pueden ser explicadas por la modificación artificial del lugar de la desembocadura realizada a finales del siglo XIX hacia el Este (Jabaloy *et al.*, 2008), de forma que desde los 6800 años BP hasta 1872 existía un alto aporte de sedimento que desarrolló el campo occidental. Entre 1872, año en la que se realizó la primera desviación del cauce y 1910 se produjo una disminución del aporte transversal hacia el campo occidental incrementándose el efecto erosivo de la deriva litoral y del oleaje. Como consecuencia del segundo desvío del cauce en 1910 a la posición actual, aumenta el aporte de sedimentos y se produce el desarrollo del campo oriental frente al cauce actual. Estas modificaciones artificiales junto con la disminución del aporte fluvial y el incremento del efecto erosivo de la deriva litoral y del oleaje en el campo occidental han podido producir un achatamiento (L/H mayor) de las ondulaciones de este campo (Bárcenas *et al.*, 2008). El corto periodo de tiempo en el que se lleva desarrollando el campo oriental (1910-actualidad) implica que se trata de un sistema de desarrollo incipiente con ondulaciones de menor altura y más



**Figura 7.-** Distribución de la pendiente de cada uno de los sistemas fluviales estudiados con la pendiente media de las ondulaciones asociadas a los mismos. Se agrupan en función de los grupos propuestos para clasificar los campos de ondulaciones.



achatas que las correspondientes a un río de sus características.

Fernández-Salas *et al.* (2007) observaron un comportamiento similar en el Río Guadalfeo donde se llevó a cabo también el desvío artificial del cauce. El campo de ondulaciones asociado al cauce antiguo presentaba morfologías menos desarrolladas que las presentes en el campo asociado al cauce natural. Ellos sugieren también que estas diferencias se deben a un menor aporte de sedimentos al realizarse el desvío y/o una mayor erosión por deriva litoral y corrientes.

Esta interpretación se podría aplicar también al caso de los campos de ondulaciones desarrollados en la Rambla de Gualchos. La situación de los campos de ondulaciones y la diferencia entre sus parámetros revelan claramente la existencia de dos campos, el campo oriental asociado la Rambla de Gualchos (cauce activo) y el campo occidental asociado a un cauce inactivo (Rambla Ancha). Al igual que en el caso del Río Adra, las ondulaciones asociadas al cauce actual parecen ser morfologías de desarrollo incipiente ya que presentan un menor desarrollo que las del otro campo. Este caso difiere del Río Adra en que el campo desarrollado frente al cauce inactivo presenta mayor número de ondulaciones que el desarrollado frente al cauce activo. Esto podría explicarse como consecuencia de que el cauce de la Rambla Ancha (cauce inactivo) ha sido unido al cauce de la Rambla de Gualchos en uno de sus tramos, con lo cual, el campo oriental presenta descargas de ambos cauces.

Por otro lado, se observa que el campo asociado al cauce inactivo presenta valores de reflectividad más bajos que en el campo asociado al cauce actual (Fig. 3). Estos valores se asocian a sedimentos más groseros con lo que posiblemente se haya llevado a cabo una erosión de materiales más finos, aportados por los ríos, dejando en superficie materiales de granulometría más gruesa. Esto ocurre en el caso del Río Adra pero de una manera más atenuada, donde se observa que casi hasta la isóbata de los 50 m, la reflectividad de la zona es menor que en el resto del área del prodelta.

## Conclusiones

Con los resultados obtenidos, podemos concluir que el desarrollo de las ondulaciones está fuertemente ligado a la posición de la desembocadura de los sistemas fluviales y a la climatología de la zona. Además, los parámetros morfológicos de las ondulaciones parecen estar relacionados con las características de los sistemas fluviales, es decir, ríos de longitud elevada con cuencas de gran extensión están correlacionados con campos de ondulaciones más desarrolladas. Por último, se destaca la importancia en el desarrollo de las ondulaciones del aporte sedimentario del sistema fluvial y del dominio del flujo transversal (aporte de sedimentos desde el río hacia el mar) frente al flujo horizontal (erosión debido a la deriva litoral y al oleaje) sobre las mismas.

## Agradecimientos

Los datos batimétricos de ecosonda multihaz fueron obtenidos dentro del proyecto SPACE llevado a cabo por el Instituto Español de Oceanografía (IEO) y la Secretaría General de Pesca Marítima (SGPM). Este estudio se encuentra enmarcado dentro del proyecto "Modelado, Simulación Numérica y Análisis del Transporte de Sedimentos en los Abanicos Submarinos de los Ríos de Andalucía Oriental-MOSAICO" (P06-RNM-01594), (<http://anamat.cie.uma.es/mosaico/>) financiado por la Junta de Andalucía y ejecutado por el IEO, la Universidad de Málaga, el CSIC y la Universidad de Sevilla.

## Referencias

- Azañón, J.M., García-Dueñas, V. y Goffé, B. (1998): Exhumation of high-pressure metapelites and coeval crustal extension in the Alpujarride complex (Betic Cordillera). *Tectonophysics*, 285: 231-252.
- Bárcenas, P., Fernández-Salas, L.M., Lobo, F.J., Díaz del Río, V. y Macías, J. (2008): Análisis morfométrico de las ondulaciones del prodelta del Río Adra (Almería, España). En: *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008* (J. Benavente y F. J. Gracia, eds.). SEG, Cádiz, 351 - 354.
- Bárcenas, P., Fernández-Salas, L.M., Lobo, F.J., Díaz del Río, V. y Macías, J. (2009): Morfología de los depósitos fluviales sobre la plataforma continental del sureste de la península ibérica. En: *II Simposio Internacional de Ciencias del Mar*. Libro de Abstracts: 249-250.
- Bellotti, P., Tortora, P. y Valeri, P. (1986): Le facies deposizionali e l'evoluzione olocenica del delta del Tevere. *Congresso Societa' Geologica Italiana*: 319-322.
- Bornhold, B.D. y Prior, D.B. (1990): Morphology and sedimentary processes on the subaqueous Noeick River delta, British Columbia, Canada. En: *Coarse-grained deltas* (A. Colella y D.B. Prior, eds.). *Special Publications of the International Association of Sedimentologists*, 10: 169-184.
- Calvache, M.L. (2002): Acuíferos detríticos de la Costa de Granada. En: *Aportaciones al conocimiento de los acuíferos andaluces. Libro homenaje a Manuel del Valle Cardenete* (Rubí Campos, J.C. y López Geta, J.A., eds.). Instituto Geológico y Minero de España, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Instituto Andaluz del Agua y Diputación Provincial de Granada, Madrid, 425-444.
- Cano, N. y García, J.M. (1991): Corrientes en el litoral malagueño. Baja frecuencia. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 7: 59-77.
- Cattaneo, A., Correggiari, A., Marsset, T., Thomas, Y., Marsset, B. y Tricardi, F. (2004): Seafloor undulation pattern on the Adriatic shelf and comparison to deep-water sediment waves. *Marine Geology*: 213, 121-148.
- Chiocci, F.L., Esu, F., Tommasi, P. y Chiappa, V. (1996): Stability of the submarine slope of the Tiber River delta. En: *Landslides: 7<sup>th</sup> International Symposium on Landslides* (Senneset, K., ed.). Trondheim, 521-526.
- Christian, H.A., Mosher, D.C., Mulder, T., Barrie, J.V. y Courtney, R.C. (1997): Geomorphology and potential slope instability on the Fraser River delta foreslope, Vancouver, British Columbia. *Canadian Geotechnical Journal*, 34: 432-446.
- Comas, M.C., Platt, J.P., Soto, J.I. y Watts, A.B., (1999): The origin and tectonic history of the Alboran Basin: insights from Leg 161 results. En: *Proceedings of the Ocean Drilling*

- Program Scientific Results, 161: College Station, TX (Ocean Drilling Program)*, 555-579.
- Correggiari, A., Trincardi, F., Langone, L. y Roveri, M. (2001): Styles of failure in Late Holocene highstand prodelta wedges on the Adriatic Shelf. *Journal of Sedimentary Research*, 71(2): 218-236.
- Díaz, J.I. y Ercilla, G. (1993): Holocene depositional history of the Fluvial-Muga prodelta, northwestern Mediterranean Sea. *Marine Geology*, 111: 83-92.
- Duchesne, M.J., Long, B.F., Urgeles, R. y Locat, J., (2003): New evidence of slope instability in the Outardes Bay delta area Quebec, Canada. *Geo-Marine Letters*, 22: 233-242.
- Ercilla, G., Alonso, B. y Baraza, J. (1994): Post-Calabrian sequence stratigraphy of the northwestern Alboran Sea (southwestern Mediterranean). *Marine Geology*, 120: 249-265.
- Fernández-Salas, L.M., Lobo, F.J., Sanz, J.L., Díaz-del-Río, V., García, M.C. y Moreno, I. (2007): Morphometric analysis and genetic implications of pro-deltaic sea-floor undulations in the northern Alboran Sea margin, western Mediterranean Basin. *Marine Geology*, 243: 31-56.
- Flos, J. (1985): The driving machine. En: *Key Environments. Western Mediterranean* (Margalef, R., ed.). Pergamon, Oxford, 60-69.
- Jabaloy, A., Lobo, F.J., Bárcenas, P., Azor, A., Fernández-Salas, L.M. y Díaz del Río, V. (2008): Evolución reciente del delta del Río Adra (SE España). *Geo-Temas*, 10: 743-746.
- Junta de Andalucía (2005): *Modelo Digital del terreno de Andalucía. Relieve y orografía*. I.S.B.N.: 84-96329-34-8.
- Konsberg Simrad, A. (1998): *Simrad EM 3000. Product description*. 160055/C, Horten, Norway, 30 p.
- Liquete, C., Arnau, P., Canals, M. y Colas, S. (2005): Mediterranean river systems of Andalusia, southern Spain, and associated deltas: a source to sink approach. *Marine Geology*, 222-223: 471-495.
- Lobo, F. J., Fernandez-Salas, L. M., Moreno, I, Sanz, J.L. y Maldonado, A. (2006): The sea-floor morphology of a Mediterranean shelf fed by small rivers, northern Alboran Sea margin. *Continental Shelf Research*, 26 (20): 2607-2628.
- Lykousis, V., Sakellariou, D. y Roussakis, G. (2003): Prodelta slope stability and associated coastal hazards in tectonically active margins: Gulf of Corinth (NE Mediterranean). En: *Submarine mass movements and their consequences* (J. Locat y J. Mienert, Eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 433-440.
- Marsset, T., Marsset, B., Thomas, Y., Cattaneo, A., Thereau, E., Trincardi, F. y Cochonat, P. (2004): Analysis of Holocene sedimentary features on the Adriatic shelf from 3D very high resolution seismic data (Triad survey). *Marine Geology*, 213: 73-89.
- Mulder, T. y Syvitski, J.P.M. (1995): Turbidity Currents Generated at River Mouths during Exceptional Discharges to the World Oceans. *The Journal of Geology*, 103: 285-299.
- Nakajima, T. y Satoh, M. (2001): The formation of large mudwaves by turbidity currents on the levees of the Toyama deep-sea channel, Japan Sea. *Sedimentology*, 48, 435-463.
- Parrilla, G. y Kinder, T.H. (1987): The physical oceanography of the Alboran Sea. *Naval Ocean Research Administration*, 184: 1-26.
- Postma, G. (2001): Physical climate signatures in shallow and deep-water deltas. *Global and Planetary Change*, 28: 93-106.
- Senciales, J.M. y Málvarez, G. (2003): La desembocadura del río Vélez (provincia de Málaga, España). Evolución reciente de un delta de comportamiento mediterráneo. *Cuaternario y Geomorfología*, 17: 47-61.
- Soh, W., Tanaka, T. y Taira, A. (1995): Geomorphology and sedimentary processes of a modern slope-type fan delta (Fijiwaka fan delta), Suruga Trough, Japan. *Sedimentary Geology*, 98: 79-95.
- Trincardi, F. y Normark, W.R. (1988): Sediment waves on the Tiber prodelta slope: Interaction of deltaic sedimentation and currents along the shelf. *Geo-Marine Letters*, 8: 149-157.
- Urgeles, R., De Mol, B., Liquete, C., Canals, M., De Batist, M., Hughes-Clarke, J.E., Amblàs, D., Arnau, P.A., Calafat, A.M., Casamor, J.L., Centella, V., De Rycker, K., Fabrès, J., Frigola, J., Lafuerza, S., Lastras, G., Sánchez, A., Zuñiga, D., Versteeg, W. y Willmott, V. (2007): Sediments undulations on the Llobregat prodelta: Signs of early slope instability or sedimentary bedforms?. *Journal of Geophysical Research*, 112 (B05102), doi: 10.1029/2005JB003929.
- Vargas-Yáñez, M., Plaz, F., García-Lafuente, J., Sarhan, T., Vargas, J.M. y Vélez-Belchi, P. (2002): About the seasonal variability of the Alboran Sea circulation. *Journal of Marine Systems*, 35: 229-248.
- Watts, A.B., Platt, J.P. y Buhl, P. (1993): Tectonic evolution of the Alboran Sea Basin. *Basin Research*, 5: 153-177.
- Yoo, D.G., Lee, C.W., Kim, S.P., Jin, J.H., Kim, J.K. y Han, H.C. (2002): Late Quaternary transgressive and highstand systems tracts in the northern East China Sea mid-shelf. *Marine Geology*, 187: 313-328.

Manuscrito recibido el 30 de junio de 2009

Aceptado el manuscrito revisado el 7 de diciembre de 2009

