

Caracterización morfológica de los canales submarinos en el talud superior del Golfo de Cádiz (SO de la Península Ibérica)

Morphological characterization of submarine channels in the upper slope of the Gulf of Cadiz (SW Iberian Peninsula)

N. Sánchez-Rubio (1), L.M. Fernández-Salas (2), J.T. Vázquez (3), V. Díaz del Río (3), N. López-González (3), R. Sánchez-Leal (2), G. Bruque (4), F.J. López-Rodríguez (3), D. Palomino (3) & M.C. Fernández-Puga (1)

- (1) Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz. Avda República Saharaui S/N, 11510, Puerto Real, Cádiz. nazaret.sanchezrubio@alum.uca.es
- (2) Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz. Muelle Pesquero S/N, 11006 Cádiz.
- (3) Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga, C/Puerto Pesquero S/N, 29640 Fuengirola.
- (4) Instituto Español de Oceanografía, Sede Central. C/Corazón de María, 8, 28002 Madrid.

Abstract: New high-quality high-resolution bathymetric data along the northeastern slope of the Gulf of Cadiz continental margin reveals three gullies fields. The morphological and morphometric features of these gullies have been studied. The following morphometric variables have been measured in every gully in order to make a quantitative morphological analysis: width, depth, thalweg length, straight line length, area, sinuosity index, width/depth ratio, and stream order. The morphological characterization of the gullies suggests that these morphologies vary with the local physiography (concavity/convexity of the slope), the sediment transport efficiency, tectonic control and oceanographic regime.

Key words: *gullies, morphometry, bathymetry upper slope, Gulf of Cadiz,*

1. INTRODUCCIÓN

Los canales submarinos son tipos morfológicos comunes en los taludes de los márgenes continentales que tienen una pendiente media o alta. Son formas de carácter erosivo que sirven de conductos para la transferencia de sedimentos desde la plataforma hacia la cuenca. Durante la última década, son muchos los estudios centrados en el estudio de las características morfológicas y morfométricas de dichas formas en taludes continentales de diferentes latitudes (Gales *et al.*, 2013a, 2013b; García *et al.*, 2006, Micallef & Mountjoy, 2011; Vachtman *et al.*, 2012). El estudio de sus variables morfológicas puede aportar información sobre el sustrato subyacente y sobre los procesos que condicionan su formación y evolución (Gales *et al.*, 2013a).

Recientemente, se han obtenido datos batimétricos de muy alta resolución del talud superior y medio del Golfo de Cádiz (GdC), lo que ha permitido caracterizar esta zona con un detalle hasta ahora inexistente. En este trabajo se presenta por primera vez la caracterización morfológica y morfométrica de los canales submarinos o *gullies* del talud superior del

golfo de Cádiz, con el objetivo de entender mejor la interacción entre los factores fisiográficos, de transporte de sedimentos, tectónicos e hidrodinámicos que afectan a esta zona del talud continental.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está localizada en el margen continental oriental del GdC, encuadrado entre las coordenadas 36°50' y 35°51' de latitud N y entre 6°18' y 7°0' de longitud O, concretamente incluye el talud superior y medio, comprendido en un rango batimétrico entre 97 y 876 m de profundidad (Fig. 1). Desde el punto de vista fisiográfico, Baraza & Nelson, (1992) definieron que el talud superior del GdC se encuentra situado entre los 130 y los 400 m de profundidad, presentando una pendiente que oscila entre 1° y 3° y una anchura media de unos 10 km que puede llegar a alcanzar valores máximos de 20 km en zonas locales. En este segmento del talud son significativos los procesos de depósito que originan cuerpos sedimentarios progradantes en situaciones de bajo nivel del mar, especialmente en zonas cercanas a la desembocadura de los grandes ríos como el Guadalquivir y el Guadiana, y que produce el

crecimiento de la plataforma hacia zonas más profundas (Lobo, 1995). Sin embargo, en la plataforma al sur de Cádiz, donde predominan los procesos tectónicos, se producen bruscas rupturas de pendiente que favorecen procesos gravitacionales de movimientos en masa (Lobo, 1995). En esta zona existe una gran tasa de sedimentación detrítica debida a la desembocadura de varios ríos cuyas cuencas drenan grandes áreas de la Península Ibérica y arrastran un gran volumen de material.

Debido a su localización geográfica, próxima al Estrecho de Gibraltar, el GdC está fuertemente influenciado por la dinámica marina característica de la zona, quedando ésta dominada por los intercambios, a través del Estrecho de Gibraltar (Ochoa & Bray, 1991), donde el agua atlántica y el agua mediterránea circulan en direcciones opuestas, existiendo una entrada de agua atlántica superficial en el Mar Mediterráneo, y un flujo de agua subsuperficial mediterránea de salida hacia el Atlántico. El área de estudio se encuentra bajo la influencia del Agua Central del Atlántico Norte (NACW) y por el Agua de Salida Mediterránea (MOW) (Fig. 1), cuya interfase se fija entre 400-500 m (Fernández-Salas *et al.*, 2012). Las corrientes de fondo en la zona alcanzan velocidades de hasta 0,45 m/s.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se basa en el análisis morfológico y morfométrico de un mosaico batimétrico con datos de ecosonda multihaz adquiridos en tres campañas oceanográficas diferentes: CHICA1011, CHICA0412 y ARSA0313 y la compilación batimétrica realizada por el proyecto EuroMargins SWIM (Zitellini *et al.*, 2009).

Para la adquisición de los datos de batimetría se han utilizado varias ecosondas multihaz (EM710, EM300 y EM302) instaladas en los buques oceanográficos Vizconde de Eza, Ramón Margalef y Miguel Oliver. Estos datos han permitido obtener una batimetría detallada del talud superior y medio del Golfo de Cádiz con una resolución de 15 m. Los datos se han procesado con el software Caris Hips and Sips para crear un mosaico batimétrico, del que a través del análisis de sus valores mediante el programa ArcGIS for desktop, han permitido realizar un análisis morfológico de los canales del talud superior del GdC.

Para llevar a cabo el objetivo principal de este estudio, se ha realizado una serie de mediciones a dichas formas en un sistema de información geográfica. Las medidas de las variables transversales se han calculado mediante la extracción de los perfiles batimétricos paralelos a las isóbatas, en la cabecera, en el punto central y en la desembocadura, a las que posteriormente se les ha calculado el valor medio. Las variables medidas han sido las siguientes:

a) *Longitud*, se define como la distancia a lo largo del eje principal del canal; b) *Longitud en línea recta*, es la longitud entre la cabecera y la desembocadura medida en línea recta; c) *Anchura*, se define como la distancia entre los flancos del canal; y d) *Profundidad*, es la distancia vertical desde el eje del canal a la línea horizontal que une los flancos del canal. A partir de ellas se han derivado una serie de índices, tales como e) *Índice profundidad/anchura (H/W)*, que indica una relación adimensional de la forma del canal; f) *Índice de sinuosidad (S)*, es una medida adimensional de la relación de la longitud del canal y la longitud en línea recta, donde por definición un canal en línea recta tendría $S=1$; g) *Pendiente longitudinal*, es la inclinación del eje del canal; h) *Orden de los canales*, que fueron asignados por la metodología *Hydrology* y proporcionados por ArcGis según el método de Strahler.

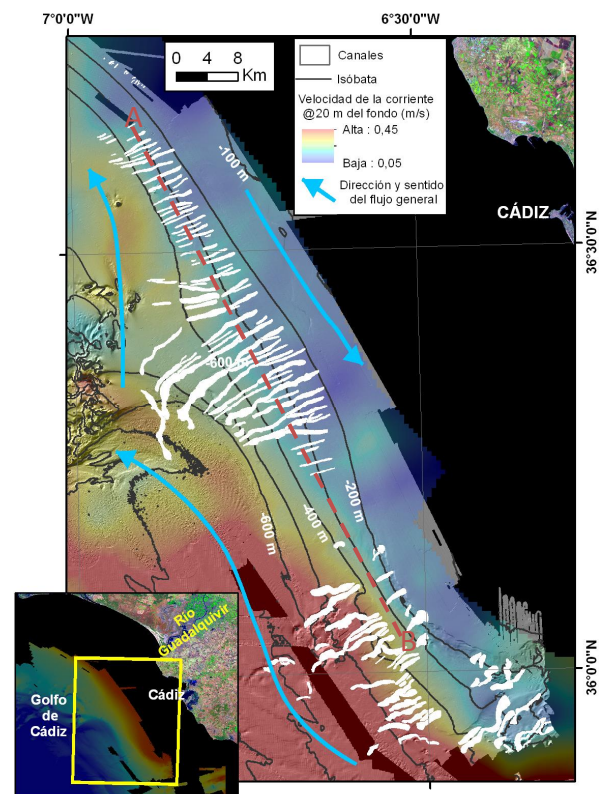


Fig. 1. Localización del área de estudio, y distribución espacial de los canales y de la velocidad de la corriente en el talud superior y medio del Golfo de Cádiz. Se marca en línea discontinua roja el perfil de la Figura 2 y en azul la dirección principal de la corriente.

4. RESULTADOS

4.1 Descripción general del talud superior del Golfo de Cádiz

El talud superior en el área de estudio está comprendido en un rango batimétrico entre los 120-130 y 450-500 m, presentando una pendiente media de 1,25°. Hay dos zonas con mayor pendiente, al norte, con un máximo de 4° y una media de 1,5°, y al sur, donde se alcanzan los 12° y la pendiente media

aumenta hasta los 2°. La anchura del talud varía entre los 10 y 17 km, siendo su parte central donde es más ancho. El borde de la plataforma continental es suave prácticamente en todo el área, aunque en la parte sur y en algunos puntos concretos de la parte central es abrupto, donde existen escarpes de 10-25 m de altura. En el talud continental se localizan tipos morfológicos como domos generados por diapiros, volcanes de fango, escarpes y canales.

Realizando un perfil longitudinal y paralelo a las líneas batimétricas (Fig. 1 y 2), se puede observar como la curvatura del talud superior cambia de convexo a cóncavo con diferentes grados de curvatura. Siendo en la parte sur donde la convexidad es mayor. Se puede establecer una relación directa entre la concavidad y la existencia de canales.

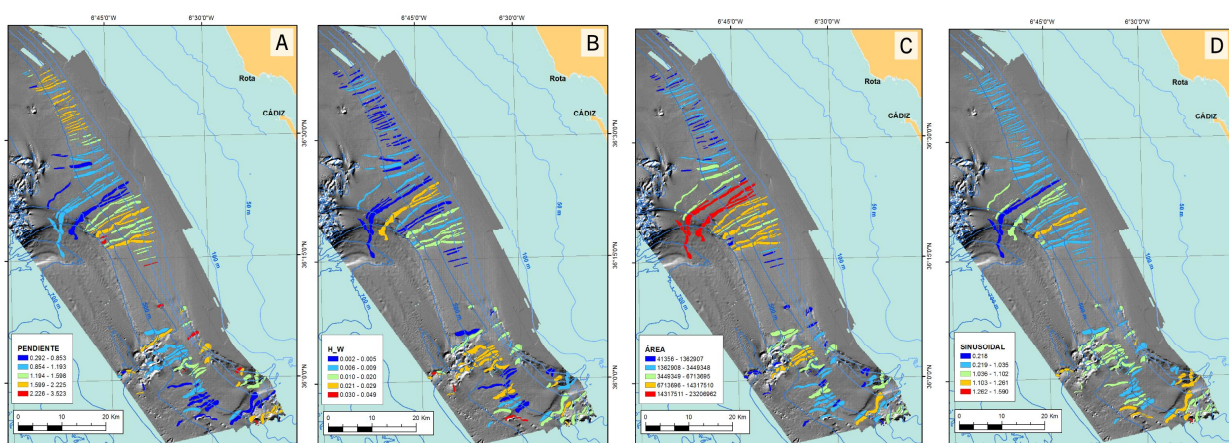


Fig. 3. Distribución espacial de A) la pendiente; B) la relación entre la altura y la anchura (H/W); C) el área; y D) el índice de sinuosidad de los canales identificados en el talud superior del Golfo de Cádiz.

4.2.a Zona A

Se localiza en la parte norte del área de estudio, frente a la desembocadura del Río Guadalquivir, desde los 135 a los 171 m de profundidad y cubre un área de unos 6,70 km². En esta área la superficie del talud presenta una pendiente suave y los canales presentes en ellas son cortos, de longitudes entre 202 y 805 m, anchuras comprendidas entre 103 y 228 m, con índices de encajamiento relativamente bajos, siendo su máximo de 1,17m. Estos canales se caracterizan por un mayor grado de sinuosidad, con un valor medio de 1,02 y por ser canales simples, sin presencia de tributarios.

4.2.b Zona B

Es el campo con mayor número de canales, 66 en total, y es el de mayor extensión. Se localiza en la zona central, cubriendo un área de unos 1.103 km², mostrando un rango batimétrico que abarca desde los 152 hasta los 730 m. Los canales tienen longitudes desde 477 m hasta 32 km, anchuras de 131 a 1.080 m, el valor medio de sinuosidad es de 1,002, el índice de encajamiento varía desde 0,46 hasta 7,1 m. En la

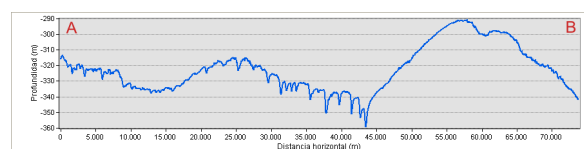


Fig.2. Perfil longitudinal del talud superior. Su posición se indica en la Figura 1.

4.2 Sistemas de canales submarinos

De Norte a Sur, tres sistemas de canales submarinos (A, B y C) separados por zonas donde no existen canales, se pueden identificar en el talud superior del GdC. La característica común de estos sistemas es la tendencia perfectamente perpendicular a la pendiente regional del talud continental.

parte sur de esta zona existen canales con bifurcaciones en tributarios menores, de orden 1.

4.2.c Zona C

Este campo se encuentra en la zona más meridional del área de estudio, cubriendo un área de 1.015 km² que abarca un rango batimétrico desde los 135 a los 672 m de profundidad. En esta zona los canales presentan una longitud comprendida entre 740 m y 13 km, muestran una compleja distribución espacial con canales discontinuos. Se caracterizan por un valor alto de sinuosidad en torno a 1,07, cuyo máximo corresponde a la zona donde los canales cruzan la pendiente más escarpada. Normalmente son canales de orden 1.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio del talud superior del Golfo de Cádiz refleja que los procesos que influyen en la morfología, tanto a escala de talud, como de las formas menores en el caso de los canales, son de carácter tectónico, de aporte de sedimentario, climático y oceanográfico.

Los canales de la zona C o sur, están claramente influidos por la tectónica, con un talud de mayor

pendiente, con canales que parten desde el borde de la plataforma, donde se producen deslizamientos en masas que pueden ser el mecanismo de disparo de corrientes de turbidez generadoras de estos canales.

Las zonas A y B están dominadas por los aportes, sobre todo del Río Guadalquivir, que junto con la mayor concavidad del perfil longitudinal general del talud superior, hace que se concentren los flujos transversalmente al talud. Gales *et al.* (2013a) justifica que canales sin ramificaciones, y de baja sinuosidad se formen por flujos de sedimentos en suspensión, como corrientes de turbidez. Se pueden generar pequeños flujos turbidíticos fangosos por el transporte de sedimentos desde plumas formadas por los ríos en épocas de lluvias. Mediante la observación de imágenes de satélites de las plumas de turbidez en el Golfo de Cádiz, se ha comprobado que en épocas de lluvias abundantes, las plumas generadas pueden alcanzar el borde de la plataforma y la parte proximal del talud superior.

Los cambios del nivel del mar durante el Cuaternario terminal también pueden explicar la existencia de estos canales en el talud superior, ya que en épocas de bajo nivel del mar se favoreció la sedimentación sobre el borde de la plataforma actual (Lobo, 1995) y la generación de flujos de gravedad que sobrepasaron la plataforma.

Otro factor que controla el desarrollo de estos canales puede ser hidrodinámico, de forma que parece existir un control de la extensión distal de estos canales por la MOW. El efecto de esta corriente, que se mueve principalmente en dirección SE-NO, impide el desarrollo pendiente abajo de estos canales en zonas donde supera los 0,28-0,30 m/s.

El conocimiento de los mecanismos de formación y mantenimiento de estos canales en el talud superior del GdC requiere de una mayor profundización tanto en aspectos estratigráficos como oceanográficos.

Agradecimientos

Este estudio se encuadra en el proyecto LIFE+ INDEMARES. Agradecemos la ayuda prestada por los científicos participantes en las campañas

INDEMARES-CHICA 1011 y 0412, a los capitanes y tripulación del B/O Vizconde de Eza, Ramón Margalef y Miguel Oliver, así como, al Instituto Hidrográfico de la Marina por el procesado de los datos batimétricos.

REFERENCIAS

- Baraza, J. & Nelson, C.H. (1992). Clasificación y dinámica de formas de fondo en el Golfo de Cádiz: Implicaciones de la corriente profunda mediterránea en los procesos sedimentarios durante el Plio-Cuaternario. *III Congreso Geológico de España*, 2, 477-486.
- Fernández Salas, L.M., Sánchez Leal, R., Rueda J.L. *et al.* (2012). Interacción entre las masas de agua, los relieves submarinos y la distribución de especies bentónicas en el talud continental del Golfo de Cádiz. *Geo-Temas* 13, 198.
- Gales, J.A., Larter, R.D., Mitchell, N.C. & Dowdeswell J.A. (2013a). Geomorphic signature of Antarctic submarine gullies: Implications for continental slope processes. *Marine Geology*, 337, 112-124
- Gales, J.A., Forwick, M., Laberg, J.S. *et al.* (2013b). Antarctic submarine gullies-A comparison of high latitude continental. *Geomorphology*, 201, 449-461
- García, M. (2006). The tributary valley systems of the Almería Canyon (Alboran Sea, SW Mediterranean): Sedimentary architecture. *Marine Geology*, 226, 207-223
- Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Somoza, L. *et al.* (2003). Looking for clues to paleoceanographic imprints: A diagnosis of the Gulf of Cadiz contourite depositional systems. *Geology*, 31, 19-22.
- Lobo, F.J. (1995). Estructuración y evolución morfosedimentaria de un sector del margen continental septentrional del Golfo de Cádiz durante el Cuaternario Terminal. *Tesis de licenciatura*, Univ. Cádiz, 200 pp
- Micallef, A. & Mountjoy, J.J. (2011). A topographic signature of a hydrodynamic origin for submarine gullies. *Geology*, 39, 115-118.
- Ochoa, J. & Bray, N.A. (1991). Water Masses Exchange in the Gulf of Cadiz. *Deep-Sea Research*, 38, S465-S503.
- Vachtman, D., Mitchell, N.C., Gawthorpe, R., (2012). Morphologic signature in submarine canyons and gullies, central USA Atlantic continental margins. *Marine and Petroleum Geology*. 41, 250-263.
- Zitellini, N., Gràcia, E., Matias, L. *et al.* (2009). The quest for the Africa-Eurasia plate boundary west of the Strait of Gibraltar, *Earth and Planetary Science Letters*, 280, 13-50.