

# Caracterización morfo-estructural del borde occidental de Sierra de Gádor (Cordillera Bética)

## *Morphological and structural characterization of western Sierra de Gádor (Betic Cordillera)*

F. Fernández-Ibáñez, J.V. Pérez Peña, J.M. Azañón y F. González-Lodeiro

Departamento Geodinámica. Facultad de Ciencias, Fuentenueva s/n. Universidad de Granada. 18002. Granada (España). fferiba@ugr.es, vperez@ugr.es, jazonon@ugr.es.

### ABSTRACT

*An integrated geomorphic and structural study has been performed along the western border of Sierra de Gádor (Betic Cordillera, SE Spain). To do this, we have calculated some of the most reliable geomorphic indexes for tectonic activity (mountain-front sinuosity,  $S_{mf}$ ; asymmetry factor,  $AF$ ; and stream-length index,  $SL$ ) combined with a slope analysis. Field observations evidence that most of the topographic scarps that characterize the western termination of Sierra de Gádor match with a NW-SE trending normal fault system. These normal faults dip to the West and, in cases, affect Quaternary alluvial deposits. Values of  $SL$  and  $AF$  indexes applied to the Cástala stream catchment area suggest a westwards tilting of this side of Sierra de Gádor. Thus, structural and geomorphologic data coincide and suggest that western Sierra de Gádor orography is mainly influenced by NW-SE high-angle normal faults with very recent activity.*

**Key words:** *Geomorphic indexes, active tectonics, normal fault, tilting, Sierra de Gádor, Betic Cordillera.*

*Geogaceta, 40 (2006), 71-74  
ISSN: 0213683*

### Introducción

El Dominio Cortical de Alborán, está constituido fundamentalmente por un apilamiento de mantos de rocas metamórficas pre-miocenas, que se organizan en tres complejos (de muro a techo): Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide. Los datos estructurales sugieren que durante el Mioceno superior el Dominio Cortical de Alborán cabalgó sobre los márgenes continentales Magrebí e Ibérico y que el avance del frente de deformación hacia el oeste desde el Oligoceno hasta el Mioceno inferior, favoreció el desarrollo de un arco periférico (Arco de Gibraltar) (Platt *et al.*, 1989; García-Dueñas *et al.*, 1992).

El acortamiento y los cabalgamientos en el frente del arco externo son contemporáneos con extensión y adelgazamiento cortical en la parte interna del arco. Este acortamiento en el cinturón periférico y la extensión en el Dominio de Alborán parecen que finalizaron hacia el final del Mioceno. A partir del Tortoniano superior se instaló un régimen tectónico con compresión NO-SE a N-S que favorece el desarrollo de pliegues y fallas inversas y de desgarre (Weijermars *et al.*, 1985; Galindo-Zaldívar *et al.*, 1993; Martínez-Martínez *et al.*, 2002). Los datos regionales indi-

can que la compresión fue NW-SE durante el Tortoniano superior, rotando a N-S desde el Tortoniano superior al Plioceno medio y cambiando finalmente a NNO-SSE durante el resto del Plioceno y Pleistoceno (Ott D'Estevou y Montenat, 1985; de Larouzière *et al.*, 1988; Galindo-Zaldívar *et al.*, 1997).

El desarrollo de pliegues E-O de gran longitud de onda durante el Tortoniano superior y una tectónica de fallas de salto en dirección, durante el Mioceno superior al Holoceno, producen un acortamiento general en toda la región y un levantamiento y emersión progresiva de los márgenes marinos (Braga *et al.*, 2003; Sanz de Galdeano y Alfaro, 2004). Las crestas y senos de estos pliegues condicionan la orografía actual de buena parte de la Cordillera Bética.

La Sierra Gádor se ha descrito como una de estas antiformalas de orientación E-O, en cuyo núcleo afloran materiales Alpujárrides. Como ocurre en el caso de Sierra Nevada (Sanz de Galdeano y López-Garrido, 1999), la terminación occidental de esta gran antiformala está limitada por fallas normales de alto ángulo (Martínez Díaz, 1998; Martínez-Díaz y Hernández-Enrile, 2004; Marín-Lechado *et al.*, 2005). El objetivo de este estudio es la caracterización del borde occidental de la Sierra de Gádor a partir de la combi-

nación de técnicas de análisis cuantitativo del relieve y datos estructurales.

### Análisis geomorfológico

La caracterización morfológica realizada en este estudio está basada en la aplicación de índices geomorfológicos para evaluar la actividad tectónica en la cuenca de la rambla de Cástala, combinados con un análisis de pendientes. Este río, que discurre perpendicularmente al borde O de la Sierra de Gádor, tiene una longitud de 22 km y una diferencia de cotas entre la cabecera y el nivel de base de 1750 m. Por ello, lo hemos considerado representativo para abordar un análisis de los parámetros morfológicos ligados a su cuenca vertiente. Para la determinación de los distintos índices se ha utilizado la topografía a escala 1:25.000 existente en la zona.

El análisis de pendientes se ha hecho sobre la base de un Modelo Digital de Elevaciones con una luz de malla de 100 m para filtrar los rasgos de pequeña longitud de onda. El mapa resultante (Fig. 1) muestra bandas escalonadas con altos valores de pendiente y una dirección promedio N140E. Para ilustrar esta morfología, se han trazado una serie de perfiles topográficos y de pendientes, perpendiculares a los máximos gradientes. El per-

fil A-A' ilustra la topografía y las variaciones de pendiente a lo largo de una de estas secciones.

El índice SL (Hack, 1973, Keller y Pinter 2002) es definido para un tramo del río como:

$$SL = \frac{dh}{dl} L$$

Donde  $dh$  es la diferencia de elevación del tramo,  $dl$  su longitud y  $L$  la distancia desde la cabecera del río hasta el punto medio del tramo.

Este índice realiza las variaciones de pendiente local en cauces de ríos. A escala local, estas variaciones pueden ser debidas principalmente a cambios

litológicos o a actividad tectónica reciente. Se ha realizado un perfil de SL (Keller y Pinter, 2002) a lo largo de la rambla de Cástala (Fig. 2). Esta rambla presenta un encajamiento diferencial a lo largo de su curso, siendo mayor su incisión en sus tramos de cabecera. Los valores de SL muestran una distribución unimodal con máximos superiores a 800 en un tramo comprendido entre 3 km y 8 km medidos a partir de la cabecera y el máximo absoluto a 4 km. El posible control litológico de estas anomalías queda descartado ya que para este tramo el río discurre sobre una litología relativamente homogénea consistente en dolomías Alpujárrides.

El índice AF (Keller y Pinter, 2002) estima la asimetría de la cuenca de drenaje y es sensible a basculamientos perpendiculares al cauce. Para la cuenca de la rambla de Cástala se ha obtenido un valor de AF de 55% (Fig. 2), lo que indica una escasa asimetría. También se ha calculado este índice para dos subcuencas perpendiculares al cauce principal, habiéndose obtenido valores de 29% y 25% (Fig. 2), que indican cuencas asimétricas con basculamiento hacia el Oeste.

El índice de sinuosidad de frentes montañosos ( $S_{mf}$ ) es la razón entre la longitud del frente montañoso a lo largo del pie del mismo ( $L_{mf}$ ) y su longi-

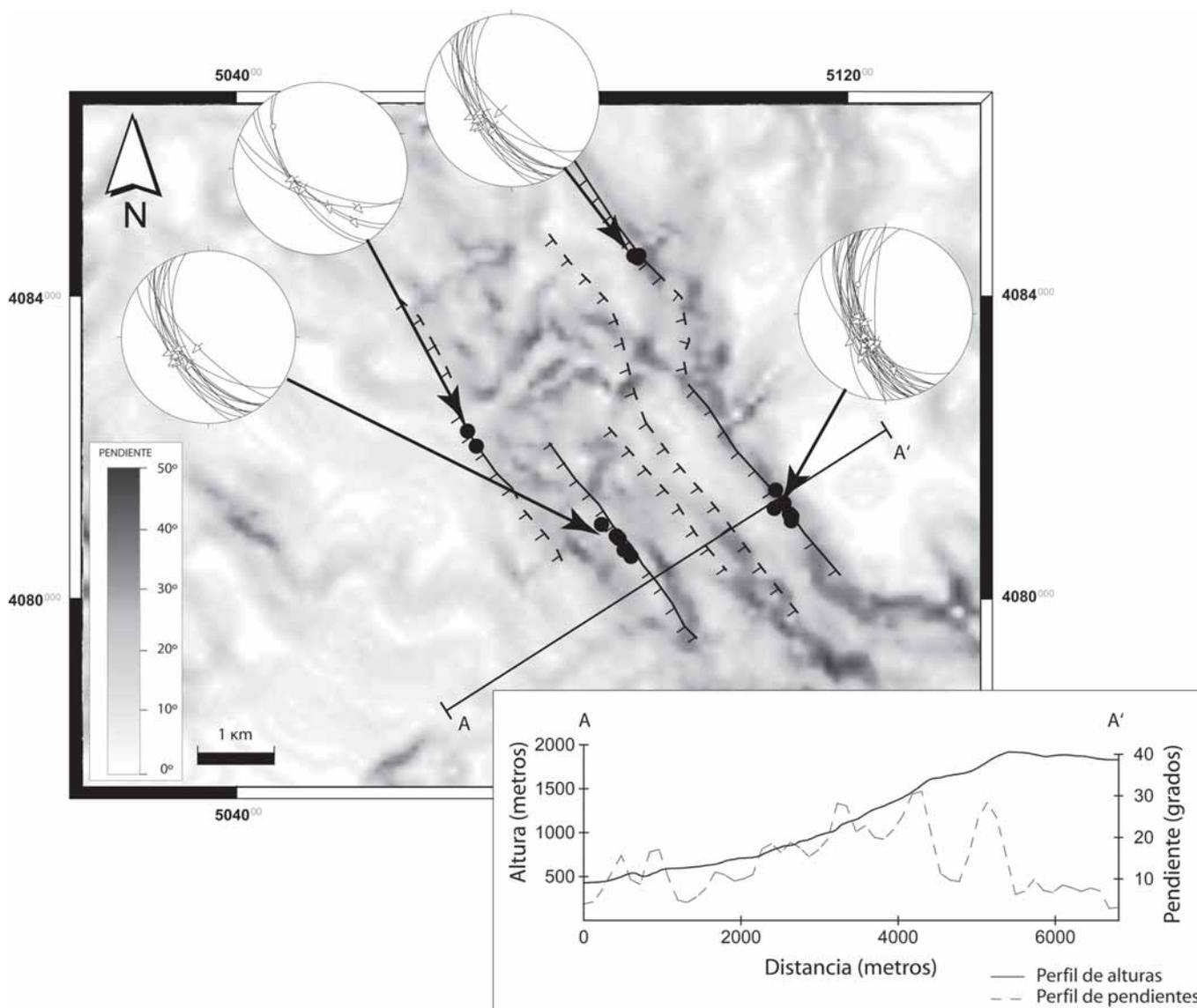


Fig. 1.- Mapa de pendientes del Oeste de Sierra de Gádor. Nótese la existencia de bandas con altos valores de pendiente, con una orientación NW-SE. Estas zonas de mayor pendiente coinciden con los escarpes de falla medidos en el campo de dirección N150E. Además, se muestra el perfil topográfico y de pendiente realizado a lo largo de la sección A-A'.

Fig. 1.- Slope map of the western Sierra de Gádor showing sharp bands with high values at roughly constant NW-SE strike. These zones of high slope match with measured N150E fault scarps. Inset shows topographic and slope profiles along the A-A' section.

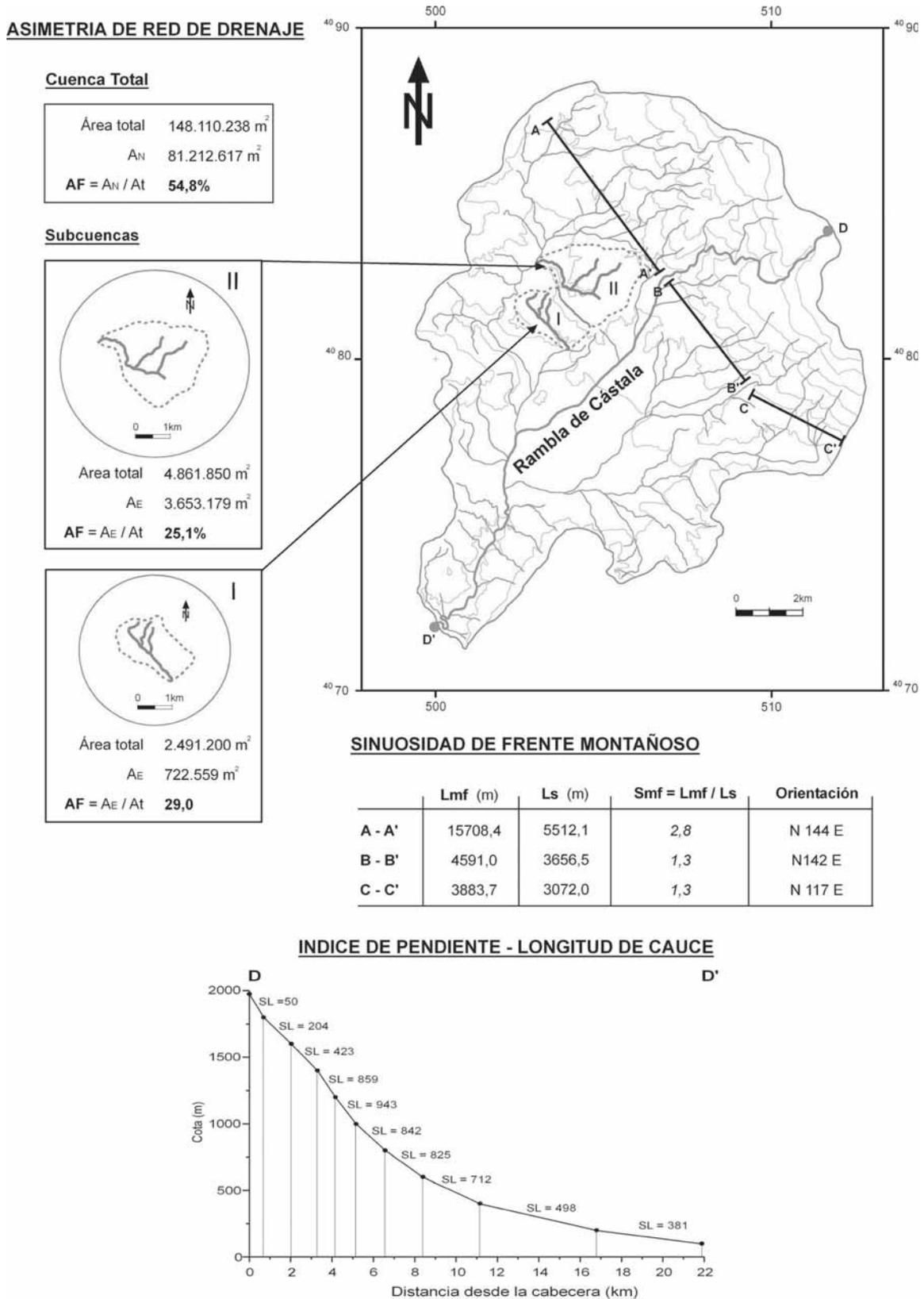


Fig. 2.- Cuenca vertiente de la rambla de Cástala. El factor de asimetría (AF) se ha calculado para toda la cuenca y también para dos subcuencas. El índice de sinuosidad de frentes montañosos (S<sub>mf</sub>) se ha estimado a lo largo de los perfiles A-A', B-B' y C-C'. El índice de pendiente-longitud (SL) de cauce se ha aplicado a la rambla de Cástala.

Fig. 2.- Catchment area of the Cástala stream. The Asymmetry Factor index (AF) was calculated for the entire catchment area and for two sub-catchment areas. The mountain-front sinuosity (S<sub>mf</sub>) was estimated along the A-A', B-B' and C-C' profiles. The stream length-gradient index (SL) was applied to the Cástala stream.

tud medida a lo largo de una línea recta (Ls) (Burbank y Anderson, 2001; Keller y Pinter, 2002). Este índice representa el balance entre la erosión fluvial y actividad de las estructuras tectónicas, que tienden a formar un frente rectilíneo. A medida que disminuye la actividad tectónica, la erosión tiende a hacer más sinuoso el frente montañoso. En la zona de trabajo se ha calculado este índice a lo largo de tres tramos donde el frente montañoso está mejor definido. Los valores obtenidos de Smf son 2.8 para el tramo más septentrional y 1.3 en los dos meridionales (Fig. 2).

### Análisis Estructural

Un reconocimiento de campo de los principales escarpes topográficos ha permitido constatar la presencia de superficies de falla que coinciden con dichos escarpes. Estas fallas afectan principalmente a dolomías Alpujarrides, aunque alguna de ellas afecta a depósitos coluviales cuaternarios (Marín-Lechado *et al.*, 2005). Los escarpes de falla con frecuencia aparecen bien conservados, con estrías, acanaladuras y cantos estriadores. En ocasiones, se observa una brecha de falla de espesor decimétrico.

Estas fallas se han caracterizado geoméricamente mediante medidas de orientación, buzamiento y estrías en cuatro estaciones repartidas entre los principales escarpes. Las medidas realizadas presentan una dispersión de 17°, con una dirección y buzamiento promedio de N150E / 72SW. La población de estrías muestra una distribución bimodal, con orientaciones promedio 63 / 248 y 60 / 210, que agrupa más del 95% de los datos. Los indicadores cinemáticos permiten constatar la componente normal de estas fallas.

### Conclusiones

El análisis de pendientes muestra la existencia de bandas de dirección N140E con altos valores que se disponen escalonadas en el borde occidental de la Sierra de Gádor. Estos escalones topográficos se corresponden con fallas normales. Los índices AF y SL indican basculamientos hacia el Oeste y anomalías en el gradiente de los ríos directamente relacionadas con estas fallas. Estos datos avalan la idea de que las fallas han tenido una actividad reciente (Pleistoceno-Holoceno).

Las fallas normales medidas en el campo tienen una orientación promedio N150E y poseen dos familias de estrías con fuerte componente de salto en buzamiento. La presencia de depósitos cuaternarios afectados por algunas de estas fallas pone de manifiesto una actividad tectónica pleistocena y/o holocena.

La combinación de datos morfológicos obtenidos a partir de un análisis del relieve y datos de carácter estructural confirma que la orografía del borde occidental de Sierra de Gádor está condicionada principalmente por fallas normales de dirección NO-SE y actividad reciente.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos CTM2005-08071-CO3-01/MAR (SAGAS) y BT2003-01699.

### Referencias

Braga, J. C., Martín, J. M. y Quesada, C. (2003). *Geomorphology*, 50, 3-26.  
 Burbank, D. W. y Anderson, R. S. (2001). *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, 247 p.  
 De Larouzière, F. D., Bolze, J., Bordet, P., Hernandez, J., Montenat, C. y

Ott D'Estevou, P. (1988). *Tectonophysics*, 152, 41-52.  
 Galindo-Zaldívar, J., González-Lodeiro, F. y Jabaloy Sánchez, A. (1993). *Tectonophysics*, 227, 105-126.  
 Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A., González-Lodeiro, F. y Aldaya, F. (1997). *Tectonics*, 16, 18-37.  
 García Dueñas, V, Balanyá, J. C. y Martínez Martínez, J. M. (1992). *Geo-Marine Letters*, 12, 88-95.  
 Hack, J. T. (1973). *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, 1, 421-429.  
 Keller, E. A. y Pinter, N. (2002). *Active Tectonics. Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall, 362 p.  
 Marín-Lechado, C., Galindo-Zaldívar, J., Rodríguez-Fernández, L. R., Serrano, I. y Pedrera, A. (2005). *Tectonophysics*, 396, 81-96.  
 Martínez Díaz, J. J. (1998). *Neotectónica y tectónica activa del Sector Centro-Occidental de la Región de Murcia y Sur de Almería (Cordillera Bética-España)*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 465 p.  
 Martínez-Díaz, J. J. y Hernández-Enrile, P. (2004). *International Journal of Earth Sciences*, 93, 189-206.  
 Martínez-Martínez, J. M., Soto, J. I. y Balanyá, J.C. (2002). *Tectonics*, 21, 1-22.  
 Ott D'Estevou, P. y Montenat, C. (1985). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 300, 363-368.  
 Platt, J. P., Lister, G. S., Cunningham, P., Wescon, P., Peel, F., Baudin, T. y Dondex, H. (1989). En: *Alpine Tectonics* (M. P. Coward, D. Dietrich y R. D. Park, Eds.). Geological Society Special Publication, 135-152.  
 Sanz de Galdeano, C. y Alfaro, P. (2004). *Geomorphology*, 63, 175-190.  
 Weijermars, R., Root, T. D., Van der Eekhout, B., Postma, R. y Kleverlaan, K. (1985). *Geologie en Mijnbouw*, 64, 397-411.