

# Superposición de fallas y paleoesfuerzos en el Corredor del Almanzora desde el Tortoniano a la actualidad (Cordilleras Béticas)

Fault overprinting and paleostresses in the Almanzora Corridor from the Tortonian to the Present (Betic Cordilleras)

A. Pedrera <sup>(1)</sup>, J. Galindo-Zaldívar <sup>(1)</sup>, C. Sanz de Galdeano <sup>(2)</sup> y A.C. López-Garrido <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071 Granada. pedrera@ugr.es, jgalindo@ugr.es

<sup>(2)</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Univ. Granada. 18071-Granada. csanz@ugr.es, aclopez@ugr.es

## ABSTRACT

The Almanzora Corridor in the Betic Cordilleras is affected by brittle deformations since the Tortonian. The analysis of fault overprinting shows a first group formed by a set of E-W dextral strike-slip faults, N-S left-lateral strike-slip faults and NW-SE normal faults compatible with a NW-SE shortening and an associated NE-SW extension. A second group corresponds to younger NW-SE normal faults, formed during NE-SW oblique extension to the Corridor, with an oblate stress ellipsoid that also reactivates, in some cases, previous faults. A more recent stress ellipsoid indicates extension, that is locally pluridirectional and reactivates previous fault surfaces, although horizontal striations have been overprinted in the Somontín fault, associated to a NW-SE recent shortening that is only locally registered.

Key words: Recent and active tectonics, faulting, eastern Betic Cordilleras.

Geogaceta, 39 (2006), 59-62  
ISSN: 0213683X

## Introducción

La formación e individualización de las cuencas sedimentarias intramontañosas en las Cordilleras Béticas (Fig. 1) está determinada por las estructuras tectónicas asociadas al límite entre las placas Euroasiática y Africana. Los principales rasgos del relieve se han desarrollado desde el Tortoniano hasta la actualidad.

El Corredor del Almanzora es una cuenca alargada según una dirección E-O que está situada en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. La cuenca limita al norte con la sierra de Las Estancias, formada por materiales alpujárrides y al sur con la sierra de Los Filabres, que está compuesta por materiales de naturaleza alpujárride y nevado-filábride. La subdivisión y datación del registro sedimentario del Corredor del Almanzora ha sido estudiada desde los años setenta (Martín-García, 1972; Guerra-Merchán, 1988, 1992). A pesar de que son abundantes los cambios de facies laterales y verticales, se puede diferenciar un conjunto marino basal de carácter predominantemente detrítico y posible edad Tortoniano inferior (Guerra Merchán, 1992) que está pobremente representado. Sobre estos sedimentos o

directamente sobre el basamento se dispone un conjunto continental dominado por conglomerados rojos de edad Tortoniano inferior que aflora en ambos bordes del Corredor. A continuación se identifican conglomerados grises con calizas arrecifales intercaladas de edad Tortoniano superior que generalmente

afloran en el borde sur del Corredor. Hacia las partes centrales del Corredor se sitúa un conjunto marino de edad Tortoniano superior formado por conglomerados y areniscas bioclásticas, arenas y margas. Sobre toda la serie miocena y claramente discordantes se localizan sedimentos plio-cuaternarios

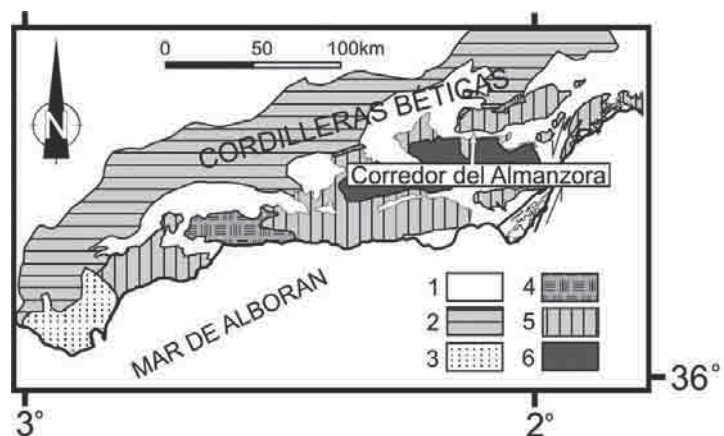


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado de las Cordilleras Béticas donde se muestra la posición del Corredor del Almanzora. 1: Cuencas neógenas. 2: Zonas Externas. 3: Flyschs Units. 4: Complejo Maláguide. 5: Complejo Alpujárride. 6: Complejo Nevado-Filábride.

Fig. 1.- Geological sketch of the Betic Cordillera showing the position of the Almanzora Corridor. 1: Neogene basins. 2: External Zones. 3: Flyschs Units. 4: Maláguide Complex. 5: Alpujárride Complex. 6: Nevado-Filábride Complex.

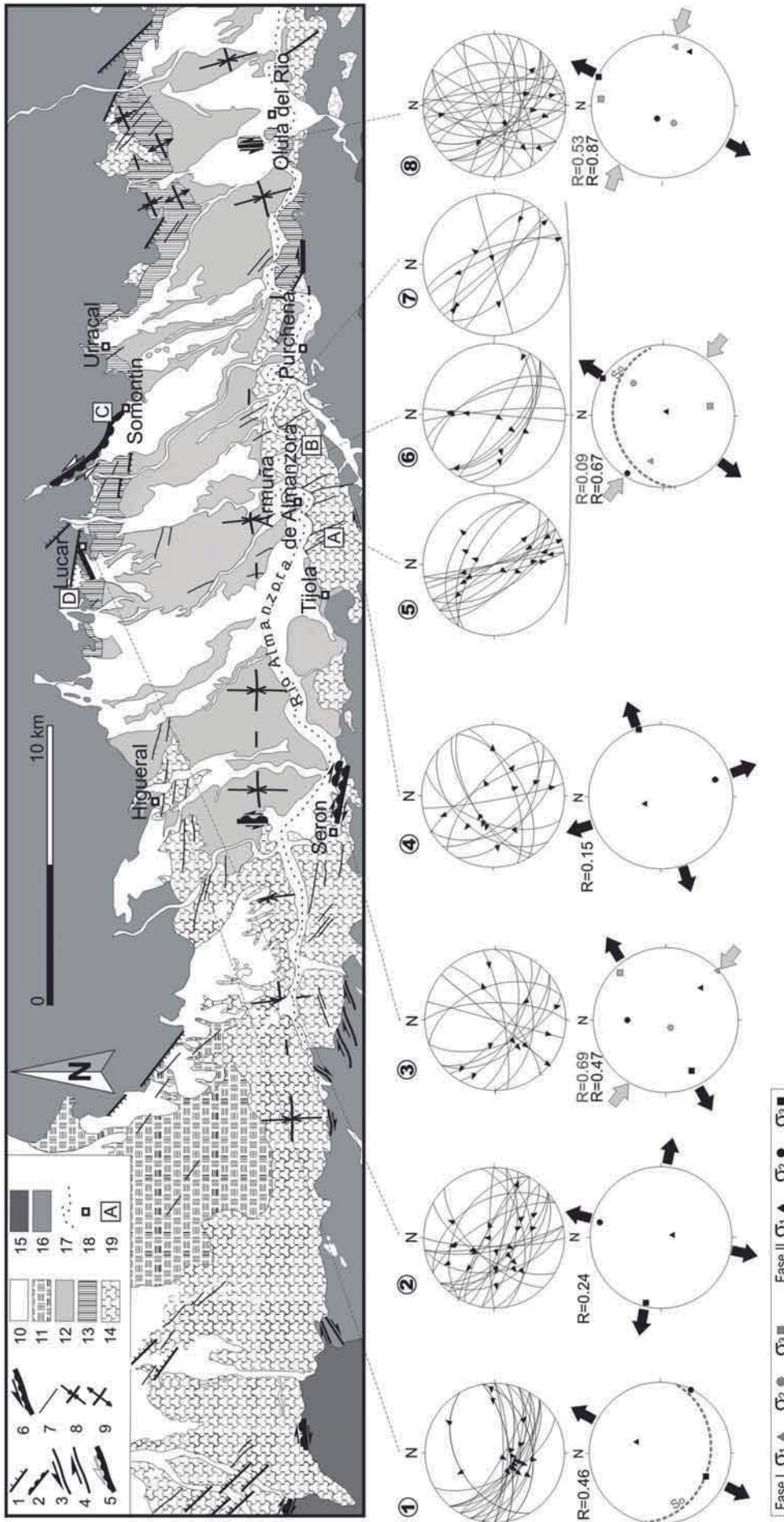
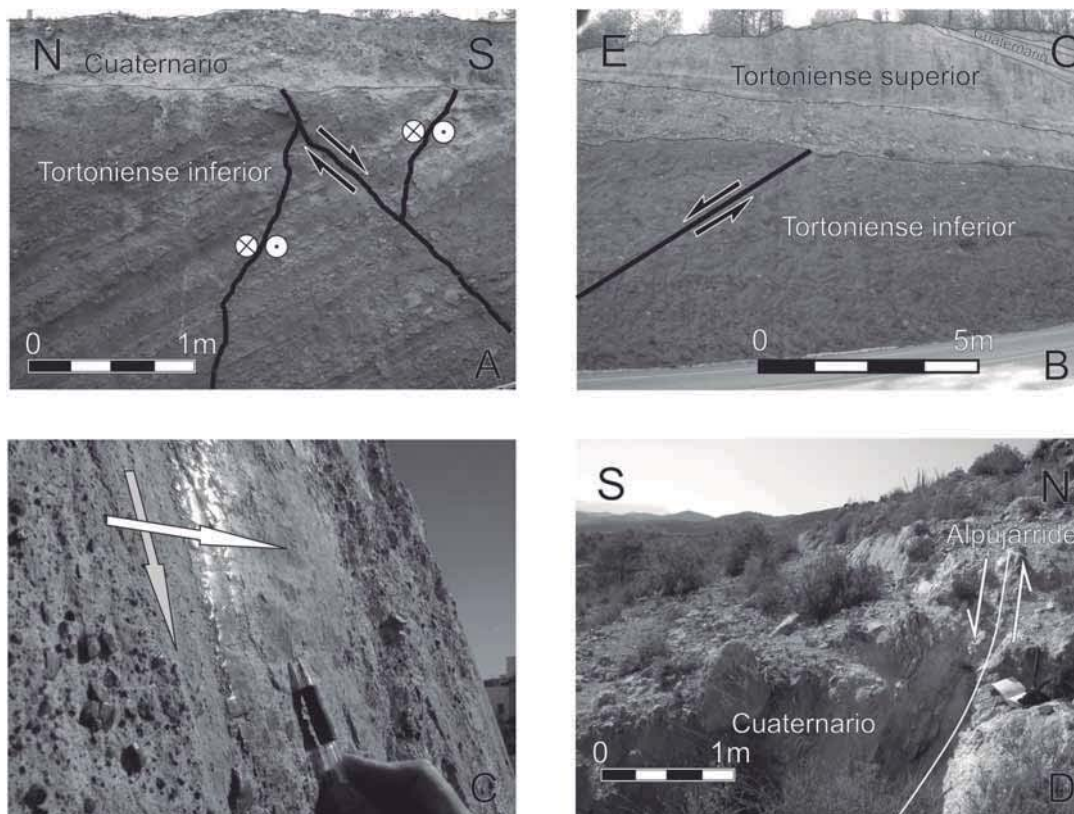


Fig. 2.- Mapa geológico del Corredor del Almanzora donde están representadas las principales fallas del sector y sus características. En la parte inferior se muestra la proyección estereográfica (sobre el hemisferio inferior) de algunas fallas medidas en el campo, la posición de los ejes principales de esfuerzos y la razón axial para cada una de las estaciones. 1: Falla normal. 2: Falla vertical (los semicírculos indican el bloque hundido). 3: Falla de salto en dirección izquierda. 4: Falla de salto en dirección derecha. 5: Falla normal con funcionamiento de salto en dirección superpuesta. 6: Falla de salto en dirección con funcionamiento normal superpuesta. 7: Otras fallas. 8: Sinclinal. 9: Anticlinal. 10: Sedimentos cuaternarios. 11: Sedimentos pliocenos. 12: Arenas y margas del Tortonense superior. 13: Areniscas bioclásticas del Tortonense superior. 14: Conglomerados del Tortonense. 15: Complejo Nevado-Filábride. 16: Complejo Alpujárride. 17: Río Almanzora. 18: Núcleo de población. 19: Posición de los afloramientos de la figura 3.

Fig. 2.- Geological map of the Almanzora Corridor, the location of the main faults is indicated. The lower part shows stereoplots (lower hemisphere) of measured fault, the stress axes and axial ration obtained for each one. 1: Normal fault. 2: Vertical fault (semicircles indicated the downthrown block). 3: Sinistral strike-slip fault. 4: Dextral strike-slip fault. 5: Normal fault with overprinted strike-slip movements. 6: Strike-slip fault with overprinted normal movements. 7: Other faults. 8: Synclinal. 9: Anticlinal. 10: Quaternary sediments. 11: Pliocene sediments. 12: Upper Tortonian sands and marls. 13: Upper Tortonian calcarenites. 14: Tortonian conglomerates. 15: Nevado-Filábride Complex. 16: Alpujárride Complex. 17: Almanzora River. 18: Villages. 19: Location of the outcrops of figure 3.



**Fig. 3.- Ejemplos de campo de varias fallas desarrolladas en el Corredor del Almanzora. Posición marcada en la figura 2. A: Falla de salto en dirección dextra cortada por una falla normal de dirección NO-SE. B: Falla normal de dirección N162°E intratortoniense. C: Plano de la falla de Somontín. Se observan estriaciones sinistras superpuestas a las estrias normales antiguas. D: Falla de Lúcar que en este sector deforma los sedimentos cuaternarios.**

**Fig. 3.- Field examples of different faults developed in the Alanzora Corridor. A: Dextral strike-slip fault deformed by a NW-SE oriented normal fault. B: Intratortonian normal fault oriented N162°E. C: Somontin fault plane with striae indicating an oldest normal regime overprinted by left-lateral strike-slip regime. D: The Lúcar fault that deformed the Quaternary sediments in this sector.**

que corresponden a los glaciares, además del relleno de cauces de ríos.

En esta región se han desarrollado recientemente trabajos sobre tectónica activa y paleosismología (García-Meléndez *et al.*, 2004; Masana *et al.*, 2005). En el Corredor del Almanzora, Guerra-Merchán (1992) y García-García (2003) analizan el control que ejerce la tectónica en la sedimentación de la cuenca mediante el estudio secuencial de los depósitos deltaicos. Sin embargo, existe una carencia de trabajos concretos que describan la evolución tectónica reciente. Este trabajo pretende caracterizar la superposición de estructuras frágiles del Corredor del Almanzora y su cinemática, con el objetivo de conocer la orientación de los paleoesfuerzos y su evolución desde el Tortoniense hasta la actualidad en esta región de tránsito entre las Cordilleras Béticas centrales y orientales.

### El sistema de fallas del Almanzora

La morfología de la cuenca se debe principalmente a una sinforma de gran radio que deforma los materiales y determi-

na buzamientos hacia el norte cuando afloran en el borde meridional del Corredor y hacia el sur cuando lo hacen en el borde septentrional. Este pliegue está muy modificado por fallas de direcciones variables, normales y de salto en dirección. Además, la distribución de los materiales sugiere una asimetría de la sinforma, con una parte septentrional del Corredor ocupada por grandes abanicos aluviales, mientras que el río Almanzora discurre adosado al borde sur.

En el borde meridional del Corredor, al oeste de Serón, estribaciones septentrionales de Sierra de Los Filabres, los materiales alpujárrides están deformados por fracturas de dirección media E-O. Ocasionalmente estas fallas muestran superficies alabeadas que hacen variar su dirección entre N70°E y N100°E. Son fallas subverticales que sistemáticamente tienen indicadores cinemáticos de desgarre dextro y determinan el contacto rectilíneo entre los materiales neógenos y el basamento. En algunos afloramientos estas fallas deforman la base de los sedimentos pertenecientes al Tortoniense inferior. Al

este de Serón, los sedimentos del Tortoniense inferior y superior que afloran en el borde meridional del Corredor están deformados tanto por fallas normales de dirección NO-SE, como por fallas de salto en dirección. Hay dos juegos de fallas de salto en dirección, N-S y ESE-ONO, con buzamientos próximos a la vertical. El análisis de su cinemática muestra movimientos dextros en las fallas con dirección ESE-ONO, y sinistros en las fallas con dirección N-S (Fig. 2). Muchos de estos planos verticales tienen estriaciones en buzamiento superpuestas a las estrias horizontales. Aunque el borde de la cuenca es rectilíneo, no se han identificado deformaciones en los sedimentos cuaternarios.

En el borde septentrional del Corredor las fallas deforman de manera generalizada los sedimentos de edad Tortoniense inferior y algunas de ellas afectan a materiales más recientes. La geometría del borde es mucho más irregular que el meridional, ya que existen dos grupos de fallas. El primer grupo está compuesto por fallas que tienen una orientación media ESE-ONO y buzamientos de 50° a 70° hacia el sur (Fig.

2). El desplazamiento de las fallas es normal con pequeños saltos. Algunas de estas fallas deforman los materiales cuaternarios y generan escarpes topográficos, tales como los que se observan en la Falla de Lúcar, que en su parte más occidental pone en contacto los materiales del basamento Alpujárride con sedimentos cuaternarios (Fig. 3). Por el contrario, en este borde, las fallas con componente de salto en dirección son menos numerosas. Sus direcciones son próximas a E-O y tienen estrías verticales superpuestas que indican un movimiento normal posterior.

El segundo grupo de fallas de este borde, que afectan también al borde meridional y al extremo más occidental del Almanzora, son normales de dirección NO-SE, con buzamientos cercanos a los 60° tanto hacia el SO como hacia el NE. Algunas de estas fallas deforman los conglomerados del Tortoniense inferior y son fosilizadas por los materiales del Tortoniense superior. Sin embargo, la mayoría de estas fallas afectan a todos los materiales miocenos, ocasionalmente deforman sedimentos cuaternarios y cortan a las fallas de salto en dirección (Fig. 3). La Falla de Somontín pertenece a este juego, tiene una orientación comprendida entre N150°E y N180°E, un buzamiento de 60° a 75° hacia el SO y desplaza el glacis cuaternario. En su plano de falla se puede observar que las acanaladuras y estrías en buzamiento están afectadas por una estriación horizontal posterior muy penetrativa (Fig. 3).

Además de caracterizar las fallas mayores, se han medido ocho estaciones de microfallas en las que se ha determinado tanto la orientación de los planos como de las estrías. El sentido de movimiento se ha establecido, cuando ha sido posible, esencialmente mediante escalones y colas de trituración. Tanto los datos de las microfallas como algunas de las medidas de fallas mayores, se han tratado con el método redes de búsqueda (Galindo-Zaldívar y González-Lodeiro, 1988). Este método permite obtener la orientación de los ejes principales del elipsoide de esfuerzos y la relación de magnitud entre ellos o razón axial ( $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ ). De las ocho estaciones medidas en el área (Fig. 2), una se sitúa en rocas carbonatadas del Complejo Alpujárride (diagrama 2, Fig. 2), y el resto en sedimentos del Tortoniense inferior y el Tortoniense superior. Tres de las estaciones de medida (5, 6 y 7, Fig. 2) se han agrupado para el cálculo de paleoesfuerzos por su proximidad geográfica, homogeneidad en los materiales y escasez de datos. Los resultados obtenidos muestran algunos tipos de elipsoides bien

diferenciados (Fig. 2) que indican la superposición de esfuerzos en la región. Además, mediante la superposición de estrías se pueden ordenar de forma relativa las distintas fases de deformación.

Hay varios tipos de elipsoides de esfuerzo. El primer grupo corresponde a elipsoides que indican un régimen de salto en dirección caracterizado por un eje de esfuerzos intermedio ( $\sigma_2$ ) subvertical, compresión NO-SE ( $\sigma_1$ ), extensión NE-SO ( $\sigma_3$ ) y razones axiales variables (fase 1 de estaciones 3, 5 a 7 y 8, Fig. 2). El segundo grupo está caracterizado por un eje de extensión NE-SO ( $\sigma_3$ ) subhorizontal y razones axiales intermedias o altas que indican formas generalmente oblatas (estación 1 y fase 2 de estaciones 3, 5 a 7 y 8, Fig. 2). Finalmente, el tercer grupo corresponde a elipsoides con razones axiales bajas y esfuerzo compresivo ( $\sigma_1$ ) subvertical, que indica extensión radial (estaciones 2 y 4, Fig. 2). La inclinación de los ejes de esfuerzo sugiere que los elipsoides del grupo 1 y 2 han podido ser parcialmente rotados durante el plegamiento.

### Discusión y conclusiones

La formación del Corredor del Almanzora es el resultado de la interacción de pliegues y fallas que han deformado la región desde el Tortoniense a la actualidad. Los materiales neógenos registran la evolución reciente de las deformaciones en esta región. La diferencia en los sistemas de fallas de los bordes septentrional y meridional ha contribuido a la asimetría del Corredor.

Las evidencias más antiguas de deformación en materiales del Tortoniense corresponden a fallas de dirección E-O y régimen dextro en el borde meridional del Corredor, fallas de dirección N-S y régimen sinistro y fallas normales NO-SE compatibles con un régimen de esfuerzos de desgarramiento con compresión NO-SE y extensión NE-SO. La formación de estas fallas E-O y régimen dextro, estaría condicionada por la presencia de las fallas de dirección N70°-100°E pretortonienses que deforman los materiales del basamento.

Posteriormente se produce una extensión oblicua al Corredor, con elipsoides de esfuerzo oblatos que indican una extensión ( $\sigma_3$ ) NE-SO y que contribuiría al desarrollo de fallas normales de orientación NO-SE, algunas previamente formadas, y al reajuego de falla normal de superficies preexistentes. Esta etapa es responsable de la formación del borde septentrional irregular del Corredor.

Finalmente el estado de esfuerzos parece corresponder a una extensión que lo-

calmente es pluridireccional y que reactiva superficies de falla previas. Las fallas en las que se ha detectado deformación actual son generalmente normales. La orientación preferente NO-SE puede estar determinada por las etapas de fallamiento previas. No obstante las estrías horizontales más recientes, en la Falla de Somontín, indican que localmente podría registrarse una compresión reciente NO-SE. La fuerte incisión de los afluentes del margen izquierdo en los materiales de Sierra de las Estancias y la posición del río Almanzora adosado al margen meridional del Corredor, hace pensar en un levantamiento de las Estancias durante el Cuaternario que está asociado a la reactivación de las fracturas previas.

A pesar de que los esfuerzos son oblicuos en la mayor parte de la evolución a los límites del Corredor del Almanzora, la orientación preferente E-O podría haber estado determinada por la orientación de las fallas de salto en dirección más antiguas, que interactuarían con el sistema de pliegues y de fallas más recientes.

### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias a la beca para la formación de doctores concedida al primer firmante por la Junta de Andalucía y a los proyectos BTE2003-01699, CGL2004-01636, CGL2004-03333/BTE del MEC

### Referencias

- Galindo Zaldívar, J. y González Lodeiro, F. (1988). *Annales Tectonicae*, 2, 90-97.
- García García, F. (2003). *Modelos de sedimentación deltaica en las cuencas neógenas de la Cordillera Bética (sectores central y oriental)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 333 p.
- García-Meléndez, E., Goy, J.L. y Zazo, C. (2004). *Geogaceta*, 36, 63-66.
- Guerra-Merchán, A., Martín Pérez, J.A. y Serrano, F. (1988). *Mediterránea*, 7, 5-16.
- Guerra Merchán, A., (1992). *Origen y relleno sedimentario de la cuenca neógena del Corredor del Almanzora y áreas limítrofes (Cordillera Bética)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, (Publ. Dpto. Geología. Univ. Málaga). 237 p.
- Martín-García, L., (1972). *Cuadernos Geológicos*, Univ. de Granada, 3, 121-132
- Masana, E., Pallàs, R., Perea, H., Ortuño, M., Martínez-Díaz, J.J., García-Meléndez, E. y Santanach, P. (2005). *Journal of Geodynamics*, 40, 119-133