

# Anomalías gravimétricas y estructura del abanico aluvial de La Zubia (Sierra Nevada occidental, Cordilleras Béticas)

*Gravity anomalies and structure of the La Zubia alluvial fan (western Sierra Nevada, Betic Cordilleras)*

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

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

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

## ABSTRACT

*The La Zubia alluvial fan is located at the boundary between the western slopes of Sierra Nevada and the Granada depression. The Alpujarride rocks of the northwestern flank of Sierra Nevada antiform constitute its metamorphic basement. New gravity data allow to estimate the distribution of the Neogene-Quaternary sedimentary fill thickness. Gravity models indicate that the N-S normal faults of Sierra Nevada border have not large related depocenters and the basement is deeper towards the Granada depression. Faults are more active in the northern sector of the alluvial fan, where is located the NW-SE oriented Granada Fault that northwestwards progressively increases its vertical slip.*

**Key words:** Alluvial fan, gravity models, recent faults, Granada depression.

*Geogaceta, 38 (2005), 67-70  
ISSN: 0213683X*

## Introducción

Sierra Nevada constituye la principal alineación montañosa de las Cordilleras Béticas y corresponde a una gran antiforma desarrollada desde el Mioceno superior a la actualidad (Fig. 1). El pliegue tiene dirección media E-O y su terminación occidental se curva hasta NE-SO. En su núcleo aflora el Complejo Nevado-Filábride, sobre el que se sitúa el Complejo Alpujarride. En el sector occidental de Sierra Nevada se desarrolla un juego principal de fallas normales con orientación preferente NO-SE. Además se identifica otro juego, menos abundante, con orientaciones N-S a NNE-SSO. En el contacto entre el Alpujarride y las rocas neógenas y cuaternarias que rellenan la depresión de Granada se reconocen ambos tipos de fallas.

En el sector occidental de Sierra Nevada afloran extensamente mármoles triásicos alpujarrides, situados sobre metapelitas, que forman una orla de picos en torno a Sierra Nevada. Estos materiales están intensamente fracturados por el desarrollo de diaclasas de espaciado centimétrico, que facilitan su erosión. En el límite occidental de Sierra Nevada se han formado abanicos aluviales alimentados mayoritariamente por clastos de mármoles. Los abanicos mejor estudiados se localizan en la par-

te sudoriental de esta Sierra y están asociados a la zona de falla de Padul. Destacan los trabajos sobre tectónica reciente (Alfaro *et al.*, 2001), sedimentología y geomorfología (Viseras *et al.*, 2003) y estructura profunda (Delgado *et al.*, 2002). Estos trabajos muestran el desarrollo de un depocentro asimétrico asociado a la Falla de Padul con una acumulación de hasta 300 m de sedimentos neógenos y cuaternarios.

El abanico aluvial de La Zubia tiene el mayor tamaño entre los que se sitúan en el borde oriental de la depresión de Granada, con un radio de más de 5 km (Fig. 2). Hasta el momento no se ha estudiado su geometría profunda debido a la ausencia de datos geofísicos de detalle en este sector. El objetivo de este trabajo es establecer las principales características de la geometría del basamento bajo el abanico de La Zubia mediante medidas gravimétricas, con el fin de determinar la variación del espesor de los sedimentos neógenos y cuaternarios. Este estudio contribuirá a caracterizar la actividad de las estructuras tectónicas recientes en esta zona de contacto entre Sierra Nevada y la depresión de Granada.

## El abanico aluvial de La Zubia

Esta estructura corresponde a la acumulación de materiales detríticos

cuaternarios con una geometría en abanico localizada al SE de La Zubia (Fig. 2). Sobre el Alpujarride se disponen niveles discordantes de calcarenitas de edad tortoniense, seguidas de limos, yesos, arenas y conglomerados de edad mesiniense. A continuación se sitúan conglomerados, arenas y margas del Mesiniense-Plioceno (Formación Pinos Genil) y conglomerados de edad cuaternaria (Formación Alhambra). A techo se acumulan gravas y arenas del Pleistoceno. Actualmente no se los sedimentos procedentes de las zonas elevadas de Sierra Nevada, transportados hacia la Depresión de Granada por el arroyo de Huenes que erosiona y se encaja en el ápice del abanico aluvial.

Mientras que el límite meridional del abanico es una discordancia sobre el Alpujarride, el borde oriental corresponde a una falla normal de orientación N-S y buzamiento al oeste, que bordea los afloramientos alpujarrides del cerro de Huenes (Fig. 2). El abanico está afectado en este mismo borde por la falla normal de Granada, de orientación NO-SE, que se extiende hacia la Ciudad de Granada (Sanz de Galdeano *et al.*, 2003) donde corta materiales cuaternarios recientes. Finalmente, el borde noroccidental está constituido por los depósitos cuaternarios fluviales de la depresión de Granada. Los buzamientos anormalmente elevados en

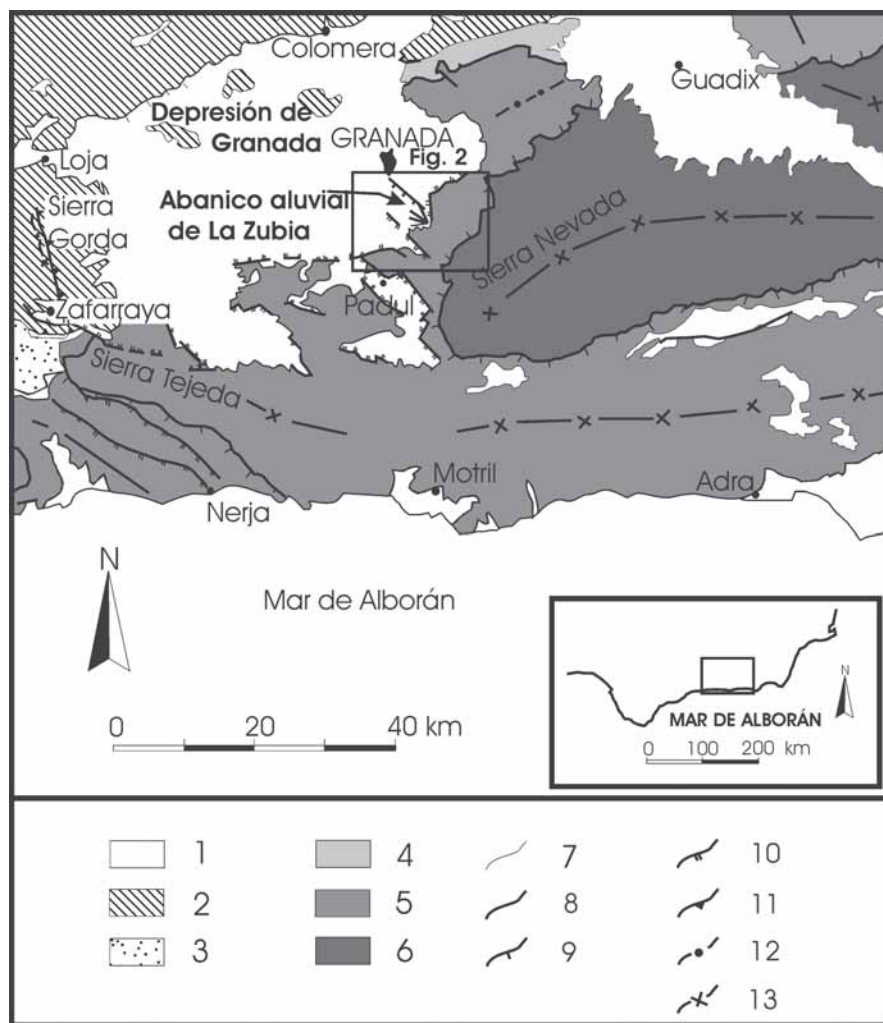


Fig. 1.- Localización geológica del abanico aluvial de La Zubia en el sector central de las Cordilleras Béticas. 1, sedimentos neógenos y cuaternarios. 2, Zonas Externas. 3, Flysch. 4, complejos Málagaide y de la Dorsal. 5, Complejo Alpujárride. 6, Complejo Nevado-Filábride. 7, contacto discordante. 8, falla. 9, falla normal de bajo buzamiento. 10, falla normal de alto buzamiento. 11, cabalgamiento. 12, sinforma. 13, antifirma.

Fig. 1.-Geological setting of the La Zubia alluvial fan in the central sector of the Betic Cordilleras. 1, Neogene and Quaternary sediments. 2, External Zones. 3, Flysch. 4, Málagaide and Dorsal complexes. 5, Alpujárride Complex. 6, Nevado-Filábride Complex. 7, unconformity. 8, fault, 9, low angle normal fault. 10, high angle normal fault. 11, thrust. 12, synform. 13, antiform.

el abanico sugieren la presencia de fallas cubiertas (Keller *et al.*, 1996).

**Anomalías gravimétricas y estructura del abanico aluvial**

En el abanico aluvial se han realizado varios perfiles radiales desde su ápice y algunas medidas complementarias para determinar la anomalía de Bouguer (Fig. 3). El espaciado medio de las estaciones de medida en cada perfil es de 200 m. La posición de las estaciones ha sido determinada mediante GPS y altímetro barométrico, con una precisión de 5 m en planta y 0,5 m en cota. Las medidas de gravedad han sido realizadas con un gravímetro Worden, modelo master, con

precisión de 0,01 mGal y referidas a la base gravimétrica de Granada. Se ha calculado la anomalía de Bouguer con una densidad de reducción de 2,67 g/cm<sup>3</sup> e incluye la corrección topográfica hasta 10 km determinada mediante un modelo digital de terreno con una malla de 100 m.

Los valores de anomalía de Bouguer obtenidos a partir de la interpolación de perfiles y datos complementarios (Fig. 3) muestran una disminución progresiva hacia el NO, desde -80 mGal a -105 mGal. Estos valores están en el rango de los indicados en el Mapa Gravimétrico de España de escala 1:1.000.000 (IGN, 1976). Sugieren un aumento progresivo de la potencia del relleno sedimentario hacia la depresión de Granada, con varios

depocentros diferenciados, en el marco de la corteza continental engrosada de las Cordilleras Béticas centrales.

Los modelos gravimétricos bidimensionales han sido realizados con el programa GRAVMAG v. 1.7 (Pedley *et al.*, 1993) a partir de la anomalía residual determinada mediante el Mapa Gravimétrico de España de escala 1:1.000.000 (IGN, 1976) y los valores obtenidos en las estaciones situadas sobre el basamento Alpujárride. Las densidades medias de los distintos cuerpos se han establecido a partir de los valores medios correspondientes a las litologías predominantes indicados por Telford *et al.* (1990), que han sido modificadas ligeramente para mejorar el ajuste de los modelos. Sobre el basamento metamórfico alpujárride, formado esencialmente por mármoles (2,7 g/cm<sup>3</sup>), se sitúan rocas sedimentarias con varias litologías, entre las que predominan las margas mesinienses y sedimentos detríticos finos cuaternarios (2,2 g/cm<sup>3</sup>). Se han distinguido los niveles de arenas y gravas del Pleistoceno que afloran en el abanico aluvial (2,4 g/cm<sup>3</sup>). Los modelos bidimensionales (Fig. 4) confirman el hundimiento progresivo del basamento alpujárride hacia el NO, donde los depocentros alcanzan un espesor de sedimentos que puede superar 1 km. Las variaciones bruscas en la profundidad del basamento, que pueden ser asociadas a fallas, se identifican esencialmente en la parte septentrional del abanico. Entre ellas hay que destacar la falla de Granada (perfiles 4 y 5, Fig. 4), con un escalón en el basamento de varios centenares de metros que hunde su bloque suroccidental.

**Discusión**

El abanico aluvial de La Zubia es una estructura reciente ya que su morfología está determinada por los depósitos detríticos del Pleistoceno. Sin embargo, el abanico es inactivo actualmente puesto que ha sufrido erosión cerca de su ápice, posiblemente como consecuencia de la elevación de Sierra Nevada y el encajamiento lateral de la red fluvial en el arroyo de Huenes. Los sedimentos más antiguos de edad tortoniense y mesiniense se depositaron en un entorno en el que dicha estructura probablemente aún no había comenzado a individualizarse.

Los modelos gravimétricos indican que los materiales alpujárrides se hunden progresivamente hacia el NO. Los mayores espesores en el relleno sedimentario

**Fig. 2.** - Esquema geológico del borde sudoriental de la depresión de Granada. 1, Sedimentos cuaternarios aluviales de la depresión de Granada. 2, conglomerados y arenas de abanicos aluviales (Pleistoceno). 3, conglomerados de la Alhambra (Cuaternario) 4, conglomerados, arenas y margas (Mesiniense- Plioceno). 5, limos, yesos, arenas y conglomerados (Mesiniense). 6, calcarenitas (Tortonense). 7, Alpujárride. 8, contacto discordante. 9, falla normal. 10, falla de bajo buzamiento.

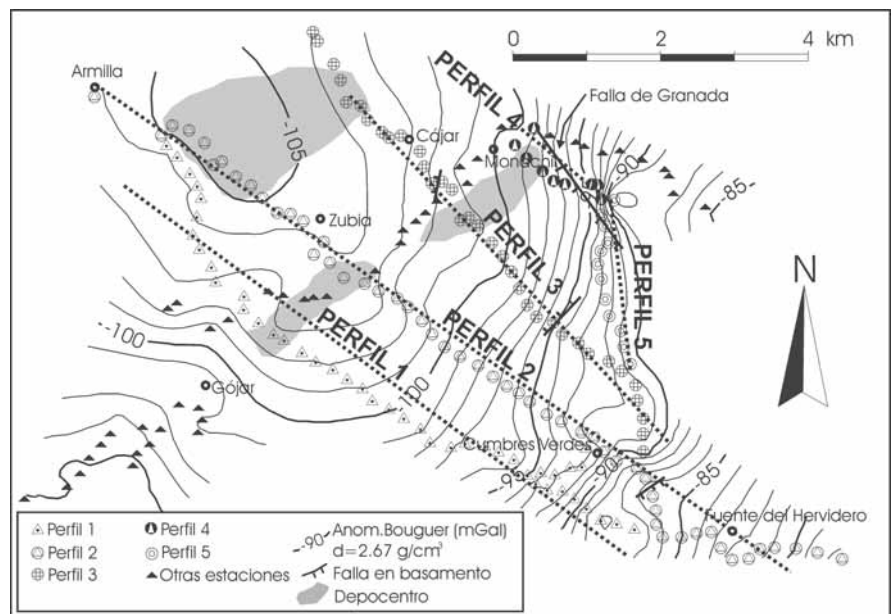
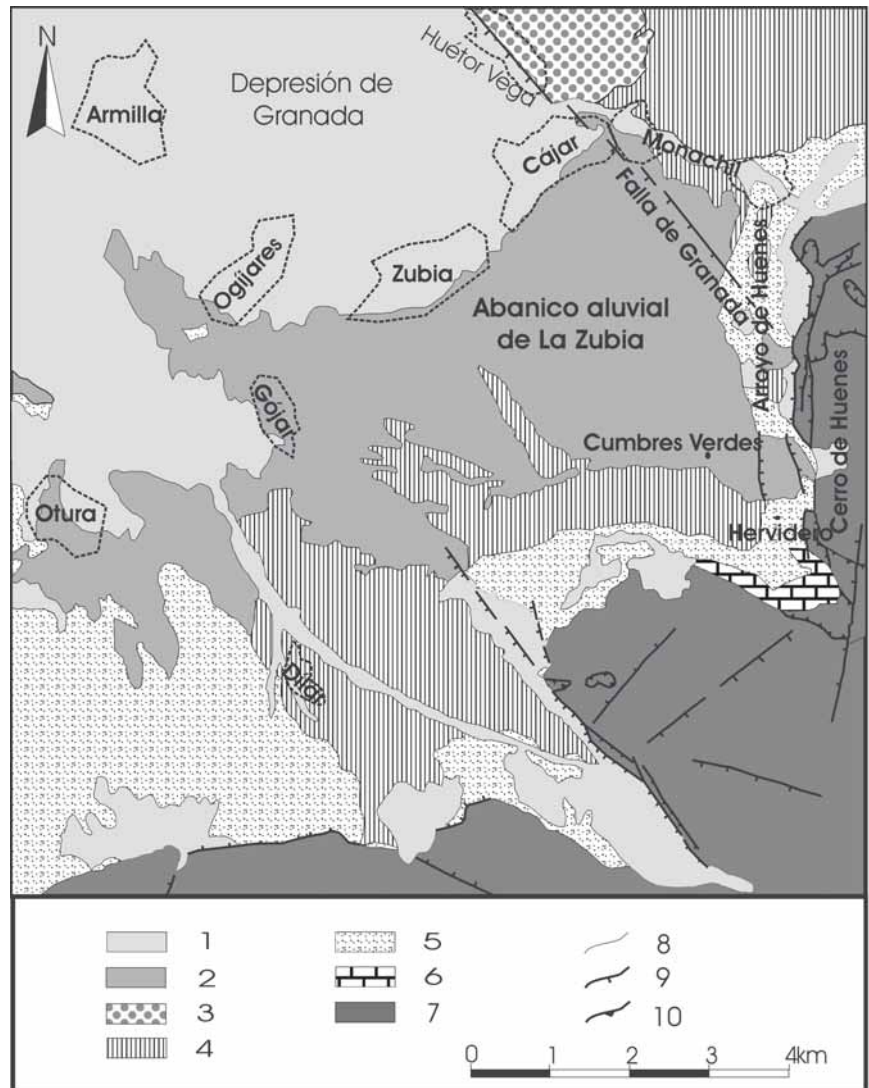
*Fig. 2.- Geological sketch of the southeastern border of the Granada depression. 1, Quaternary alluvial sediments of the Granada depression. 2, conglomerates and sands of alluvial fan (Pleistocene). 3, Alhambra conglomerates (Quaternary). 4, conglomerates, sands and marls (Messinian-Pliocene). 5, silts, gypsum, sands and conglomerates (Messinian). 6, calcarenites (Tortonian). 7, Alpujarride. 8, unconformity. 9, normal fault. 10, low angle fault.*

se alcanzan hacia la base del abanico y al NO de su terminación, entre La Zubia y Armilla, con un depocentro que puede acumular más de 1 km de espesor de sedimentos. Sin embargo, los datos obtenidos no demuestran la presencia en la parte baja del abanico de fallas cubiertas NE-SO de gran salto. Además, la falla situada en el borde del cerro de Huenes, que limita el abanico y el Alpujárride, no tiene asociado un depocentro importante. Esta estructura es por lo tanto netamente diferente de la observada en el sector de Padul, donde los depocentros están relacionados con cuencas asimétricas formadas por la actividad de las fallas de borde de Sierra Nevada (Galindo-Zaldívar *et al.*, 1996; Alfaro *et al.*, 2001; Delgado *et al.*, 2002).

La estructura del abanico aluvial es heterogénea en el sector septentrional. La falla normal de Granada, de dirección NO-SE y buzamiento hacia el SO, ha sido detectada mediante gravimetría (perfiles 4 y 5, Fig. 4). Su salto aumenta hacia el NO, donde se sitúa la ciudad de Granada, y delimita los afloramientos del cuaternario reciente. Además, existen otros pequeños altos de basamento, sobre todo hacia el ápice y hacia la zona septentrional, que indican la posible presencia de fallas normales.

**Conclusiones**

Los nuevos datos gravimétricos y las observaciones de campo del abanico de La Zubia indican el hundimiento progresivo del basamento alpujárride hacia el ONO, compatible con el basculamiento reciente en el flanco noroccidental de la antifirma de Sierra Nevada. El desarrollo



**Fig. 3.-** Mapa de anomalía de Bouguer del abanico aluvial de La Zubia. Se indica la posición de las estaciones de medida y los perfiles estudiados.

*Fig. 3.- Bouguer anomaly map of the La Zubia alluvial fan. The location of the measurement stations and the studied profiles are indicated.*

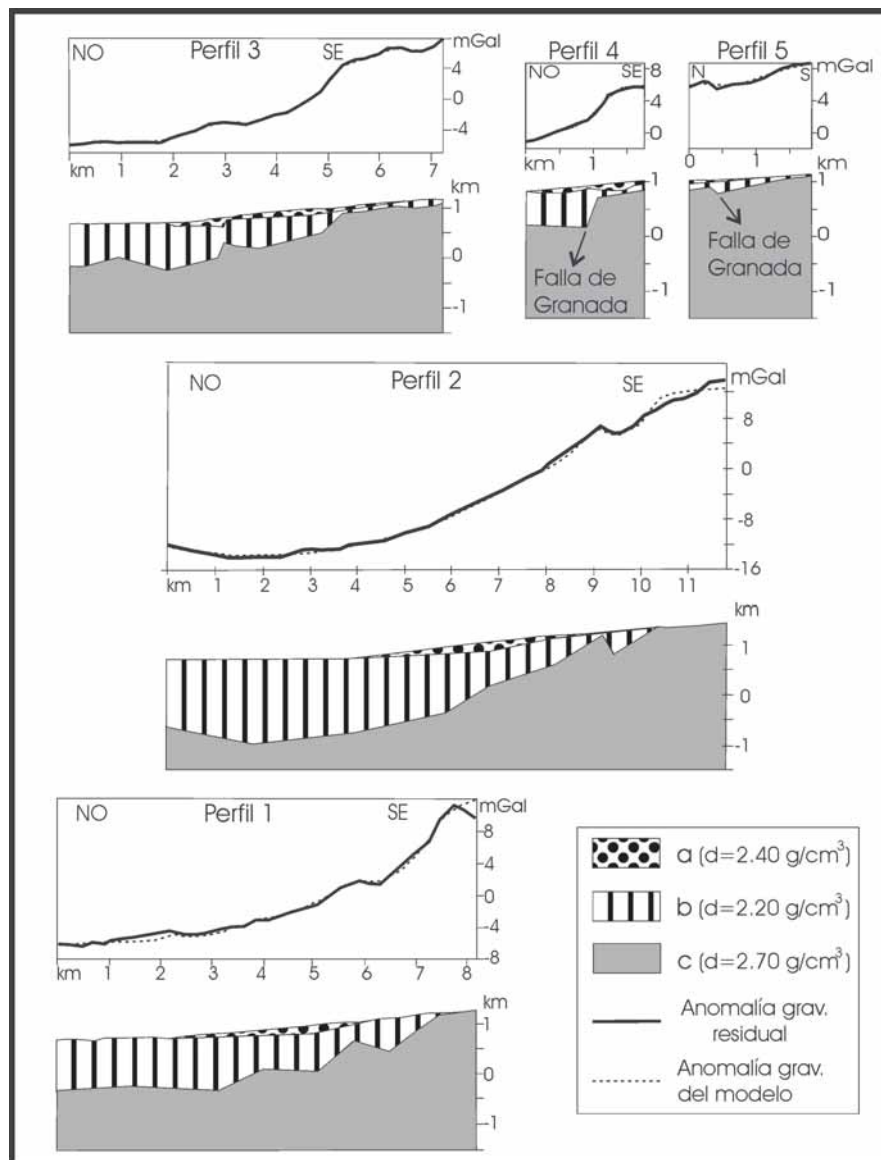


Fig. 4.- Modelos bidimensionales de perfiles de anomalía gravimétrica residual. Localización en Fig. 3. Los materiales se han agrupado en tres cuerpos con densidad uniforme: a, gravas y arenas de la parte superior del abanico (Pleistoceno) ( $d= 2,40 \text{ g/cm}^3$ ); b, rocas sedimentarias de varias litologías (Tortonense a Cuaternario) ( $d= 2,20 \text{ g/cm}^3$ ). c, basamento metamórfico alpujárride ( $d= 2,70 \text{ g/cm}^3$ ).

Fig. 4.- Two dimensional gravity models of the residual gravity anomaly. Location in Fig. 3. The rocks have been grouped in three main bodies that are considered of constant density: a, conglomerates and sandstones of the upper part of the alluvial fan (Pleistocene) ( $d= 2.40 \text{ g/cm}^3$ ); b, sedimentary rocks of different lithologies (Tortonian to Quaternary) ( $d= 2.20 \text{ g/cm}^3$ ). c, Alpujarride metamorphic basement ( $d= 2.70 \text{ g/cm}^3$ ).

de fallas normales en la parte septentrional del abanico, entre las que destaca la falla de Granada con dirección NO-SE y buzamiento al SO, modifica localmente la geometría de los depocentros neógenos y cuaternarios.

#### Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco de una Beca de Iniciación a la Investigación y de Colaboración en la Universidad de Granada. Trabajo financiado por el proyecto BTE 2003-01699 (CICYT).

#### Referencias

Alfaro, P., Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A., López-Garrido, A.C. y Sanz de Galdeano, C. (2001). *Acta Geológica Hispánica*, 36, 283-295.

Delgado, J., Alfaro, P., Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A., Lopez-Garrido, A.C. y Sanz de Galdeano, C. (2002). *Pure and Applied Geophysics*, 159, 2733-2749.

Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A. y González-Lodeiro, F. (1996). *Comptes Rendus de la Académie des Sciences de Paris*, 323, 615-622.

IGN (1976). *Mapa gravimétrico de anomalías de Bouguer 1:1.000.000*. I.G.N.

Keller, E.A., Sanz de Galdeano, C. y Chacón, J. (1996). En: *1ª Conferencia Internacional Sierra Nevada*. Comunicaciones, 201-218.

Pedley, R. C., Busby, J. P. y Dabek, Z. K. (1993). *GRAVMAG*. British Geological Survey, Technical Report WK/93/26/R.

Sanz de Galdeano, C., Peláez Montilla, J.A. y Casado, C. (2003). *Pure and Applied Geophysics*, 160, 1537-1556.

Telford, W.M., Geldart, L.P. y Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, 770 p.

Viseras, C., Calvache, M.L., Soria, J. y Fernández, J. (2003). *Geomorphology*, 50, 181-202.