

# Superposición de estructuras corticales en la región de Archidona a partir de datos geofísicos (Zonas Externas de las Cordilleras Béticas)

*Superposed crustal structures in the Archidona region from geophysical data analysis (External Zones of the Betic Cordilleras)*

F. Bohoyo (\*), J. Galindo-Zaldivar (\*) e I. Serrano (\*\*)

(\*) Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, 18071-Granada.

(\*\*) Instituto Andaluz de Geofísica. Universidad de Granada. 18071-Granada.

## ABSTRACT

The region located at the NE of Archidona shows a maximum of aeromagnetic anomaly up to +70 nT. This region, however, has minimum values of Bouguer anomaly (-120 mGal). New magnetic and gravimetric data and a P-wave seismic tomography allow to study the main features of the bodies located at different depths. One of the most significant and large detected bodies, that do not crop-out, is probably composed by basic rocks and may reach up to 18 km in depth. In the shallowest part of the crust, we detect variations in thickness of the subbetic units and the presence of small basic rock bodies of ofites.

**Key words:** gravimetry, magnetometry, P-wave seismic tomography, crustal structure, Betic Cordilleras

Geogaceta, 27 (1999), 23-26  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El área estudiada (Fig. 1) se sitúa en el sector centro-occidental de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. En ella afloran materiales del Subbético medio e interno y en la zona meridional formaciones de tipo Flysch. El Macizo Ibérico se prolonga bajo la Depresión del Guadalquivir, tal y como indican los datos de sondeos y de perfiles sísmicos (Perconig y Martínez Díaz, 1977; Lanaja, 1987) y posiblemente también lo haga bajo las Zonas Externas de la Cordillera. Morales *et al.* (1999) interpretan una tomografía sísmica de ondas P y datos gravimétricos de una transversal de la Cordillera Bética que pasa al Oeste del área estudiada y sugieren la existencia de una subducción continental.

Las unidades del Flysch contienen rocas detríticas de edades comprendidas entre el Eoceno y el Aquitaniense. Las unidades del Subbético están formadas por una serie mesozoica que incluye: calizas, dolomías, margas, margocalizas, areniscas y arcillas. La base de algunas de estas unidades está compuesta por materiales triásicos en facies Muschelkalk, Bundsandstein y Keuper. Mientras que el Jurásico inferior está representado por abundantes calizas y dolomías, en el resto

de la serie abundan más las margas (Cano Medina y Ruiz Reig, 1983; Pineda Velasco y Ruiz Reig, 1983). Además, en la región existe un conjunto de materiales con bloques de tamaño variable que pueden alcanzar dimensiones kilométricas denominado 'Trías de Antequera' (Pineda Velasco y Ruiz Reig, 1983) y formado por arcillas, carniolas, calizas, dolomías, yesos, anhidritas y bloques de rocas básicas (ofitas), rocas metamórficas y peridotitas (Morata, 1993). Cano Medina y Ruiz Reig interpretan que estos materiales son en parte equivalentes a la Formación de Arcillas con Bloques de Bourgois (1978) y habrían sido resedimentados en el Mioceno inferior. Sobre ellos afloran discordantes rocas fundamentalmente detríticas de edad Tortoniense a la actualidad.

La tomografía de ondas P del sector central de las Cordilleras Béticas (Serrano *et al.*, 1998) indica una perturbación positiva de las velocidades de propagación en la región estudiada. El mapa aeromagnético de España (I.G.N., 1989) también muestra una de las anomalías positivas más intensas que se pueden reconocer en esta región, mientras que el mapa de anomalía de Bouguer (I.G.N., 1976) indica valores de anomalía regional negativa.

Los datos geológicos de superficie no permiten justificar las anomalías observadas. El objetivo de este trabajo es determinar algunas características de la estructura de la parte superior de la corteza a partir del análisis de datos geofísicos. Para ello se han adquirido nuevos datos gravimétricos y magnéticos que se interpretan junto con una nueva tomografía sísmica y los datos geofísicos previos existentes de la región.

## Adquisición y tratamiento de datos

Se han realizado 241 estaciones de gravimetría y magnetometría (Fig. 2), con un espaciado medio de 0.8 km a 1 km. Además, se han realizado 45 estaciones adicionales de magnetometría.

Se ha utilizado un gravímetro Worden, modelo Master. Las medidas del campo magnético total se han realizado mediante un magnetómetro de precesión de protones, GSM-9. La posición de cada estación se ha establecido mediante GPS y un altímetro barométrico con una precisión de 0.5 m. Además se han obtenido medidas de la susceptibilidad magnética de las rocas básicas mediante un instrumento Exploranium modelo KT9.

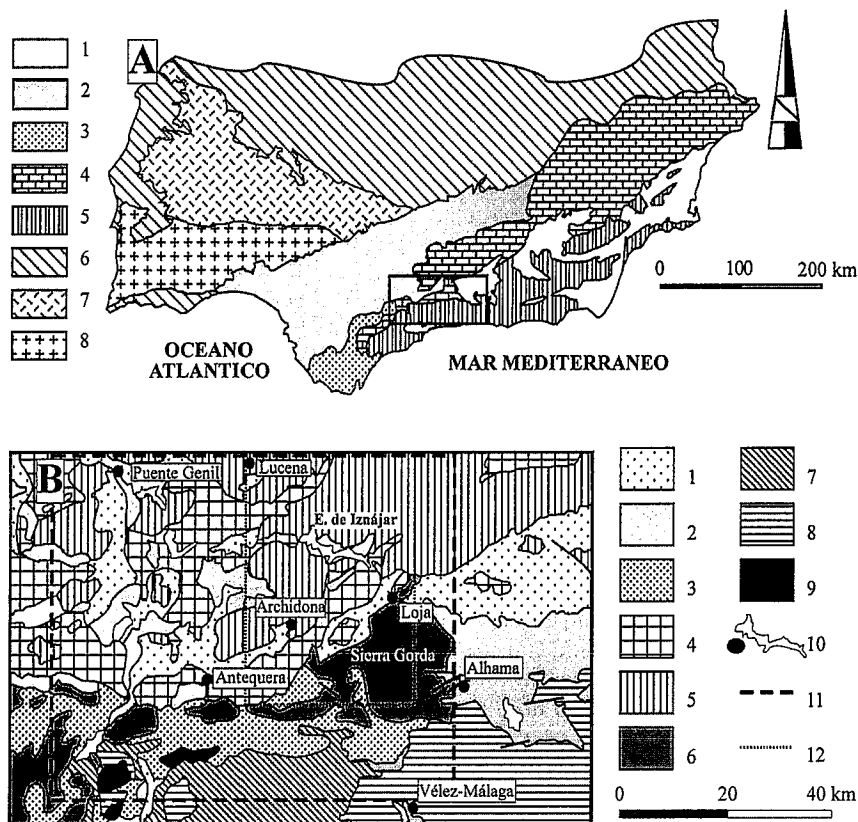


Figura 1. Situación geológica. (A) Principales características geológicas de las Cordilleras Béticas y de la zona meridional del Macizo Ibérico. 1, Cuencas Neógenas; 2, Cuenca neógena del Guadalquivir y olistostromas; 3, Flysch del Campo de Gibraltar; 4, Zonas Externas de las Cordilleras Béticas; 5, Zonas Internas de las Cordilleras Béticas;(Macizo Ibérico); 6, Cobertura sedimentaria y Zona Centro-Ibérica; 7, Zona de Ossa-Morena; 8, Zona Sudportuguesa. (B) Mapa geológico de la zona estudiada. 1, Sedimentos cuaternarios; 2, Rocas sedimentarias del Terciario; 3, Flysch; 4, Unidades triásicas indiferenciadas; 5, Subbético medio y externo; 6, Subbético interno; 7, Complejo Maláguide; 8, Complejo Alpujárride; 9, Rocas ultrabásicas (peridotitas); 10, Poblaciones y pantanos; 11, Localización de la tomografía de ondas P (Fig. 3); 12, Área estudiada mediante magnetometría y gravimetría (Fig. 2).

Figure 1. Geological setting. (A) This figure shows the main geological features of the Betic Cordillera and the southern zone of the Iberian Massif. 1, Neogene basins; 2, Guadalquivir Neogene Basin and olistostromes; 3, Flysch; 4, External Zones of Betic Cordilleras; 5, Internal Zones of Betic Cordilleras; Iberian Massif; 6, Sedimentary cover and Central Iberian Zone; 7, Ossa-Morena Zone; 8, South-Portuguese Zone. (B) Figure shows the geological map of the studied area. 1, Quaternary sediments; 2, Tertiary sedimentary rocks; 3, Flysch; 4, Undifferentiated Triassic units; 5, Middle and External Subbetic; 6, Internal Subbetic; 7, Maláguide complex; 8, Alpujárride complex; 9, Ultrabasic rocks (peridotites); 10, Towns and reservoirs; 11, location of P-wave tomography (Fig. 3); 12, magnetic and gravimetric study area (Fig.2).

Los datos gravimétricos han permitido obtener la anomalía de Bouguer en cada estación (considerando para las correcciones una densidad  $d = 2670 \text{ Kg/m}^3$ ). No se ha aplicado la corrección topográfica ya que tiene valores máximos en torno a 1 mGal, notablemente inferiores a las anomalías observadas. La anomalía magnética se ha calculado considerando el IGRF99 (IAGA, 1996). Los mapas de anomalía de Bouguer y de anomalía magnética se han interpolado mediante krigéaje.

La tomografía sísmica de ondas P se ha realizado a partir de sismos registra-

dos, principalmente en la Red Sísmica de Andalucía, en el periodo comprendido entre 1983-1995. Se ha aplicado el método de Zhao *et al.* (1992) con una red de 11 y 9 km de espaciado en latitud y longitud respectivamente y capas a 5, 10 y 18 km de profundidad.

### Tomografía Sísmica de ondas P

La abundante sismicidad de la zona estudiada ha permitido realizar un estudio tomográfico detallado. La tomografía sísmica de ondas P (Fig. 3) muestra una perturbación positiva

que se detecta en las tres capas analizadas. La perturbación se hunde progresivamente hacia el O, lo que indica la existencia de un cuerpo anómalo inclinado en esa misma dirección. En la capa de 18 km y en parte, en la de 10 km, la anomalía tiende a ser equidimensional.

### Magnetometría

Las anomalías aeromagnéticas (I.G.N., 1989) muestran un máximo único, casi equidimensional, que alcanza los 70 nT y cuya longitud supera los 45 km. Sin embargo, el máximo en el mapa de anomalía magnética de superficie tiene una forma más irregular, está fragmentado y alcanza 120 nT (Fig. 2B). En los sectores septentrional y meridional del área estudiada disminuye el valor de la anomalía y coinciden prácticamente los valores de superficie y aeromagnéticos. Además se observan dipolos locales con extensión máxima de 6 km, orientación preferente NNE-SSO y máximos situados al Sur.

Las únicas rocas que afloran en superficie y tienen elevadas susceptibilidades magnéticas (entre 0.005 y 0.065 S.I.) son las rocas básicas (ofitas), que se encuentran en el Triás. Algunos afloramientos se sitúan en el centro de los pequeños dipolos, lo que sugiere que son las responsables de los mismos. Se ha realizado un modelo bidimensional de dos de los dipolos (Fig. 4, perfil B-B') que indica la existencia de dos cuerpos diferenciados, formados por arcillas con abundantes bloques de ofitas. Los cuerpos detectados alcanzarían profundidades de pocos centenares de metros. La magnetización inducida debe tener una importante contribución en el origen de estas anomalías, ya que los máximos siempre se sitúan al Sur de los mínimos, o bien existe un magnetismo remanente subparalelo al inducido. La diferente susceptibilidad magnética entre ambos cuerpos puede deberse a variaciones en la proporción de bloques de ofita en la arcilla o al grado de alteración.

El máximo de gran extensión, que afecta a toda la región estudiada, no se puede justificar mediante las rocas que afloran en superficie. Los valores elevados de la anomalía y la escasa diferencia entre los valores de tierra y aeromagnéticos indica que se trata de un cuerpo profundo, con alto contraste de susceptibilidad magnética. El modelo bidimensional de la Fig. 4, perfil A-A', justifica la anomalía observada, con un máximo intenso y un mínimo poco marcado. El modelo considera un cuerpo con una susceptibilidad magnética de 0.0803 (S.I.) y la anomalía producida por magnetización

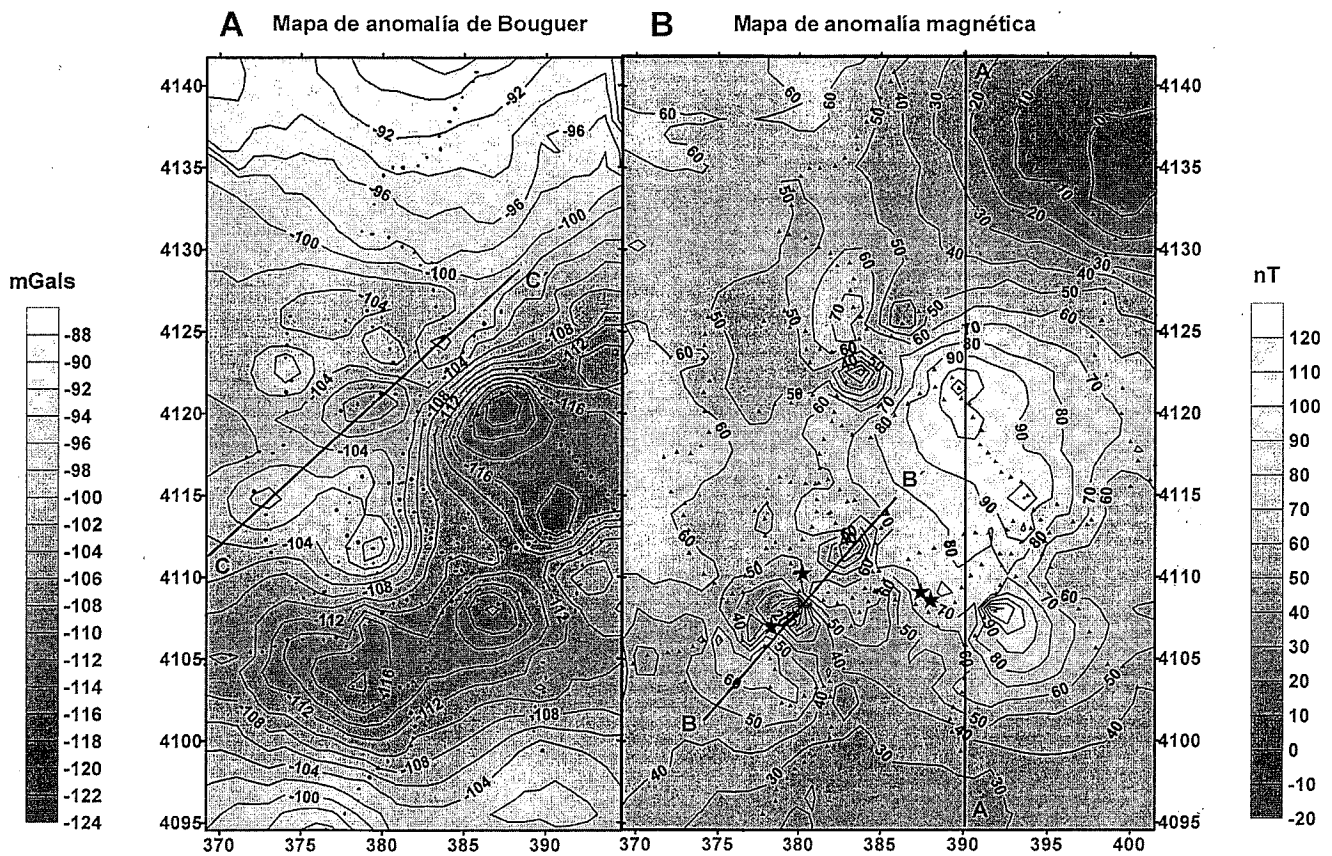


Figura 2. Mapas de anomalías de Bouguer (A) y magnética (B). Coordenadas UTM. Los puntos pequeños indican la posición de las estaciones de medida. Las estrellas indican la localización de los afloramientos de ofitas en los que se ha determinado la susceptibilidad magnética.

Figure 2. Bouguer (A) and magnetic (B) anomaly maps. UTM coordinates. Measurement stations are indicated with small points. Stars show the location of ofite rock outcrops where the magnetic susceptibility was measured.

inducida. Su posición coincide con la perturbación positiva de velocidad de ondas P detectada en tomografía sísmica (Fig. 3) que se hundiría hacia el O y por ello la anomalía magnética más intensa se situaría en la zona oriental del área estudiada.

### Gravimetría

Los mapas de anomalía de Bouguer (Fig. 2A) y el mapa de escala 1:1.000.000 del I.G.N. (1976) indican valores negativos en la región. Los valores mínimos, que superan  $-120$  mGal, se localizan en dos zonas, con una tendencia a la elongación E-O, separadas entre sí y que se prolongan fuera de la región estudiada (I.G.N., 1976). Hacia el N y hacia el S aumenta el valor de la anomalía de Bouguer. La anomalía regional observada se justifica en modelos corticales generales (Morales *et al.*, 1999), por lo que en este trabajo sólo se ha tratado de identificar el origen de las anomalías de tamaño kilométrico. Las zonas con los valores

más bajos de anomalía de Bouguer coincide con los afloramientos del 'Trias de Antequera', que en esta región contiene abundantes arcillas y masas de yeso karstificadas (Pineda Velasco y Ruiz Reig, 1983). Sin embargo, los sectores ocupados por las series carbonatadas subbéticas suelen asociarse a máximos relativos. Se ha realizado un modelo bidimensional (Fig. 4, perfil C-C') para tratar de establecer el origen de los máximos y mínimos de longitud próxima a los 5 km en un perfil ocupado por materiales carbonatados jurásicos y cretácicos. El modelo indica grandes variaciones de potencia en estos materiales carbonatados que en la sección estudiada no deben de superar 1.5 km, y se sitúan sobre materiales triásicos.

### Discusión y conclusiones

Los datos gravimétricos, magnéticos y de tomografía sísmica indican la superposición de diferentes cuerpos a distintas

profundidades en una zona de estructura compleja. La superposición de estos cuerpos origina anomalías gravimétricas negativas que coinciden con anomalías magnéticas positivas. Los datos regionales de anomalía de Bouguer negativa sugieren un engrosamiento de la corteza que ha sido interpretado como el resultado de la superposición de rocas de las Cordilleras Béticas sobre el Macizo Ibérico (Morales *et al.*, 1999).

Las valores positivos de anomalía magnética y de velocidad de propagación de ondas P indican la existencia de un cuerpo formado probablemente por rocas básicas o anfibolitas, situado entre 5 y 18 km de profundidad. Su tamaño, inclinación y profundidad indican que probablemente encaja en materiales situados bajo las Zonas Externas. Este cuerpo podría ser similar a los cuerpos de rocas básicas que afloran en las Zonas de Ossa-Morena o en el contacto de ésta con la Sudportuguesa, en su prolongación bajo las Cordilleras Béticas. No obstante también pue-

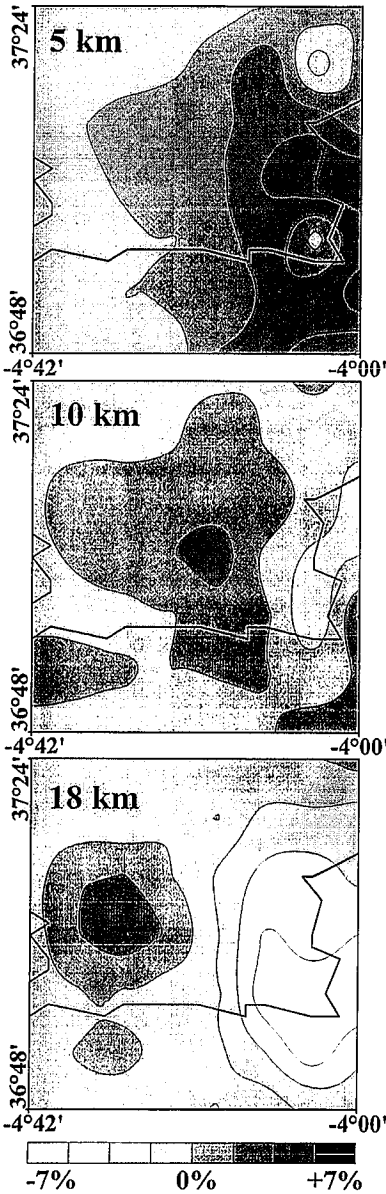


Figura 3. Tomografía de ondas P. Capas a 5, 10 y 15 km.

Figure 3. P-wave tomography. Layers at 5, 10 and 15-km.

de interpretarse como un cuerpo de peridotitas de los Alpujarrides de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. Su extensión notable hacia el Norte como sugiere el modelo magnético, su hundimiento hacia el Oeste como indica la tomografía sísmica, y su profundidad sugieren una atribución más probable al Macizo Ibérico, aunque no se puede descartar la segunda interpretación. En los modelos corticales de la región que se

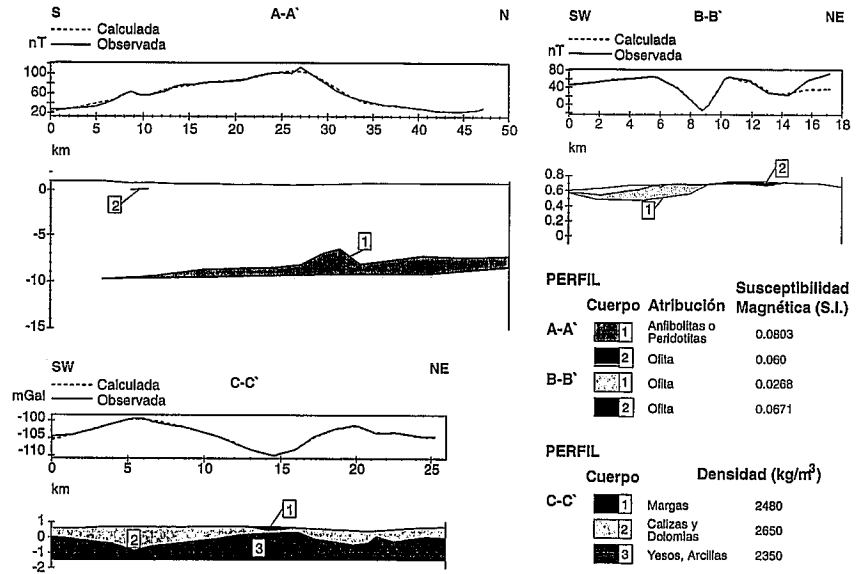


Figura 4. Modelos magnéticos y gravimétrico. Localización en Fig. 3. A-A' y B-B' modelos magnéticos y C-C' modelo gravimétrico. Los modelos han sido realizados con el programa de Pedley et al. (1993).

Figure 4. Magnetic and gravimetric models. Location in Fig. 3. A-A' and B-B', magnetic models and C-C' gravimetric model. Models have been built-up using the Pedley et al. (1993) program.

realicen en el futuro será necesario tener en cuenta la presencia de este cuerpo de grandes dimensiones. No se ha detectado la anomalía de Bouguer positiva asociada a este cuerpo, debido a su profundidad elevada y a la presencia en la región de materiales superficiales poco densos tales como los del 'Trias de Antequera'.

La distribución y variaciones en el espesor del 'Trias de Antequera' y de las series carbonatadas jurásicas y cretácicas subbéticas en la parte más superficial de la corteza es la responsable de los máximos y mínimos secundarios de anomalía de Bouguer.

Finalmente, en la zona más somera se sitúan los cuerpos de rocas básicas (ofitas) que producen los dipolos magnéticos de tamaño kilométrico, algunos de los cuales llegan a aflorar en superficie.

**Agradecimientos**

Agradecemos a A. Jabaloy la revisión crítica de este artículo. Este trabajo ha sido realizado gracias a una beca de colaboración del M.E.C. concedida a F. Bohoyo y financiado por los proyectos PB-96-1452-C03-01 y AMB97-0795-C02-01 de la C.I.C.Y.T.

**Referencias**

Bourgeois, J. (1978): *Tesis*, Univ. Besançon, 445 p.  
 Cano Medina, F. y Ruiz Reig, P. (1983): *Mapa geológico Nacional de la Hoja 1007 (Rute) a escala 1:50000*, IGME.  
 IAGA (1996): *Geophys. Jour. Inter.*, 125, 318.  
 I. G. N. (1976): *Mapa de España de Anomalía de Bouguer*, escala 1: 1000000.  
 I. G. N. (1989): *Mapa de España de Anomalía Magnética*, escala 1: 1000000.  
 Lanaja, M., (1987): *Mem. Inst. Geol. Min. España*.  
 Morales, J., Serrano, I., Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J., Zhao, D., Torcal, F., Vidal, F. y González-Lodeiro, F. (1999): *Geology*, 27, 735-738.  
 Morata, D. (1993): *Tesis*, Univ. Granada, 342 p.  
 Perconig, E. y Martínez Díaz, C. (1977): *Bol. Geol. y Min.*, 88, 417-433.  
 Pineda Velasco, A. y Ruiz Reig, P. (1983): *Mapa geológico Nacional de la Hoja 1024 (Archidona) a escala 1:50000*, IGME.  
 Serrano, I., Morales, J., Zhao, D., Torcal, F., y Vidal, F. (1998): *Geophys. Res. Letters*, 20, 4031-4034.  
 Zhao, D., Hasegawa, A. y Horiuchi, S. (1992): *Jour. Geophys. Res.*, 97, 19909-19928.