

# Modelo gravimétrico tridimensional del "stock" de Aguablanca (Badajoz)

## A 3D gravity model of the Aguablanca stock (Badajoz)

I. Romeo <sup>(1)</sup>, R. Tejero <sup>(1)</sup>, R. Capote <sup>(1)</sup>, R. Lunar <sup>(2)</sup> y Q. Martínez <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, c/ José Antonio Novais, s/n. 28040 Madrid.

<sup>(2)</sup> Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de CC. Geológicas, Universidad Complutense, c/ José Antonio Novais, s/n. 28040 Madrid.

<sup>(3)</sup> Río Narcea Gold Mines, Departamento de Geología, Mina "Aguablanca", ES-06260 Monesterio (Badajoz), Spain

### ABSTRACT

The Aguablanca stock is located in the NE zone of the Santa Olalla Igneous Complex, in the Ossa-Morena Zone. Paleozoic rocks of the Bodonal-Cala Complex and Santa Olalla tonalites bound this gabbro-norite stock. This rock hosts a Ni-Cu-EGP ore deposit. A gravity survey, Bouguer anomaly map production and 3D gravity modelling have been carried out in the area in order to investigate de Aguablanca stock geometry. The residual gravity map exhibits a gravity high related to the gabbro-norite of Aguablanca, a denser rock than the surroundings, as well as to the semi-massive sulphides outcrops. As featured in the 3D density model, the Aguablanca stock has a tabular geometry subparallel to its northern limit, deeping to 1850 m. In its upper part the igneous body spreads and adopts a circular shape. The Aguablanca stock emplacement is related to a variscan ductile shear zone.

**Key words:** Aguablanca stock, gabbro-norite, gravity study, 3D density model

*Geogaceta*, 40 (2006), 135-138  
ISSN: 0213683X

### Introducción

El stock de Aguablanca es un cuerpo subcircular de carácter gabroide que aflora en un área de aproximadamente 3 km<sup>2</sup> en el borde septentrional del Complejo Ígneo de Santa Olalla (Fig. 1). En el stock se encuentra una mineralización de sulfuros de Ni-Cu-EGP que está en explotación en la actualidad. Con el objetivo de conocer la geometría del stock se ha realizado un estudio gravimétrico que incluye la modelización del mismo en 3 dimensiones. La integración de los resultados con datos estructurales y regionales permitirá situar el plutón de Aguablanca en el contexto magmático varisco.

### Estructura del stock de Aguablanca

El Complejo Ígneo de Santa Olalla está situado en el flanco meridional del antiforme de Olivenza-Monesterio, en la Zona de Ossa-Morena del Macizo Ibérico. La figura 1 presenta el mapa geológico del stock de Aguablanca y las rocas encajantes. El stock está formado por gabronoritas, noritas y dioritas encajadas en su límite septentrional en el Complejo metavulcanosedimentario de Bodonal-Cala. Este consiste en una sucesión de metatufitas y pizarras en las que se intercalan los mármoles que están en contacto

con la roca ígnea y en los que se ha desarrollado una zona de skarn. El borde meridional y occidental del stock está en con-

tacto con las tonalitas del Complejo Ígneo de Santa Olalla. Esta facies ígnea es la mejor representada y extensa del Complejo.

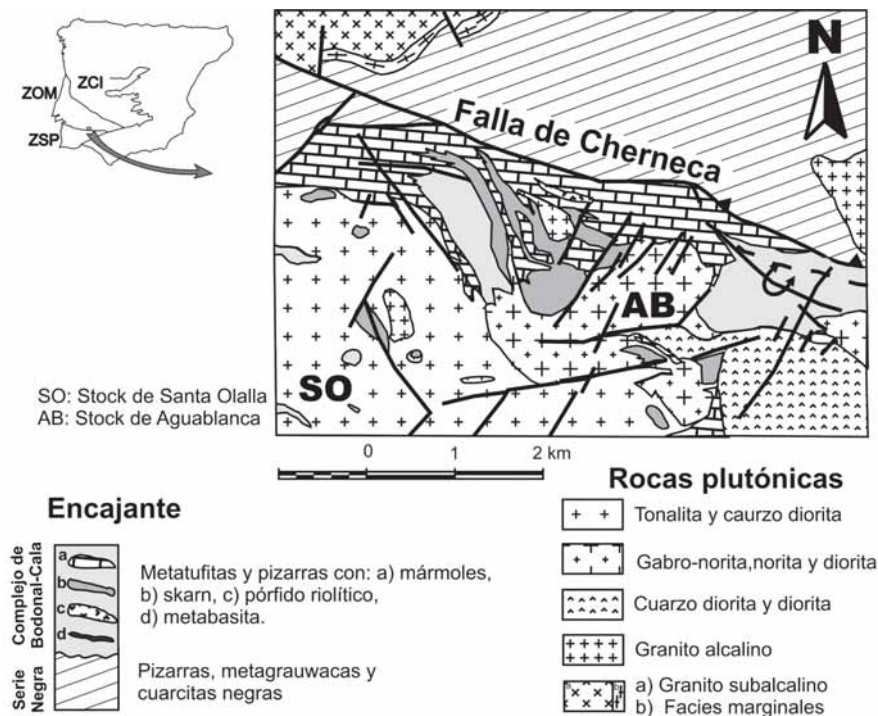
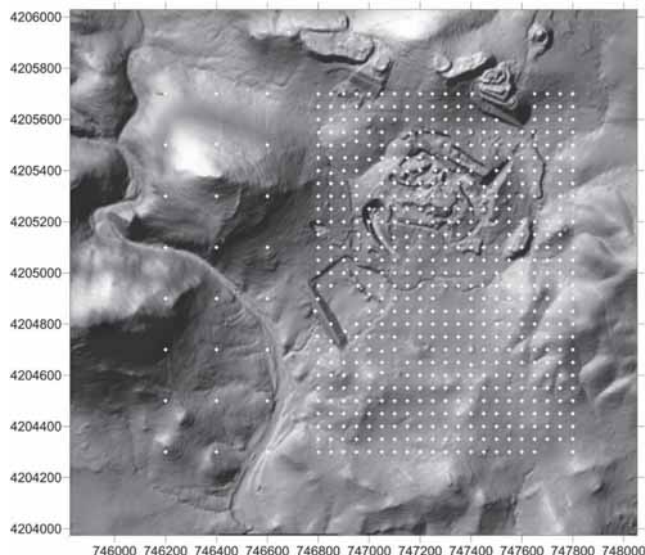


Fig. 1.- Mapa geológico del plutón de Aguablanca (AB) y sus rocas encajantes. También se muestra parte del stock de Santa Olalla (SO)

Fig. 1.- Geological map of the Aguablanca stock (AB) and its host rocks. Part of the Santa Olalla stock (SO) is shown.



**Fig. 2.- Mapa de situación de las estaciones, sobre el modelo de terreno digital empleado para la corrección topográfica cercana. Coordenadas UTM, 29 en metros.**

*Fig. 2.- Map of the gravity stations located on the Digital Elevation Model used to estimate the terrain correction. UTM, 29 coordinates, meters.*

La estructura de las rocas del Complejo de Bodonal-Cala está caracterizada por pliegues de orientación NO-SE acompañados de una esquistosidad que, en general, tiene buzamientos altos.

El stock de Aguablanca muestra una estructura compleja dominada por foliaciones verticales paralelas a los bordes y un pequeño dominio subhorizontal en el área central. Las foliaciones ígneas están principalmente originadas por la orientación preferente de forma de las plagioclasas. En las zonas de foliación vertical próximas al contacto norte, aparecen lineaciones verticales definidas por la orientación de piroxenos y plagioclasas, especialmente desarrolladas en las zonas de torno a los cuerpos mineralizados (Lunar *et al.*, 1997; Ortega *et al.*, 2004). Esta zona ha sido considerada una zona de alimentación del magmatismo (Tornos *et al.*, 2001). Mientras que los bordes NE, N y NO de Aguablanca dominan las foliaciones verticales con direcciones paralelas al borde, en el borde SO (con composiciones

dioríticas) dominan foliaciones con direcciones N150 y buzamientos altos hacia el NE, una estructura que es paralela a la que presentan las tonalitas de Santa Olalla que rodean a estas dioritas por el SO.

La datación de las rocas del stock muestra una edad de emplazamiento de  $341 \pm 1.5$  Ma por lo que pertenece al magmatismo varisco (Romeo *et al.*, 2004; 2006)

**Mapas de anomalías de Bouguer.**

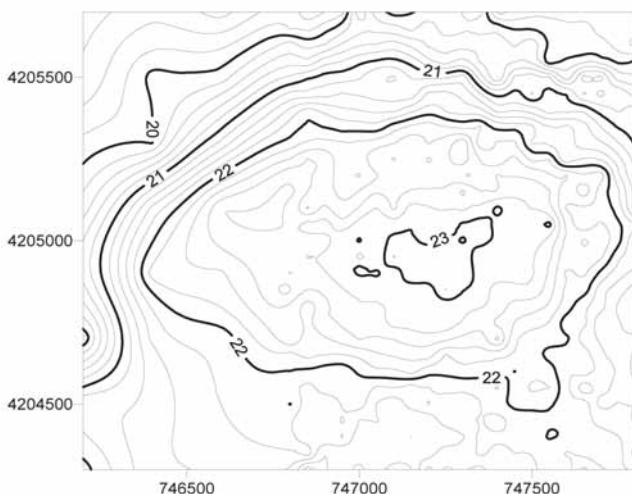
Se han medido 605 estaciones sobre un área de 2,56 km<sup>2</sup> sobre un estaquillado que inicialmente fue de 200 m y luego se intensificó a una malla de 50 m en la zona próxima a la mineralización (Fig. 2). La posición y la cota de cada estación fue determinada mediante GPS diferencial. Las medidas gravimétricas se han realizado con el gravímetro LaCoste y Romberg, modelo G n° 953 (Dpto de Geodinámica, UCM).

En los recorridos diarios se ha tomado como base la iglesia de Monesterio, enlazada con la base de la red fundamental del

I.G.N. Fuente de Cantos (Sevilla), y cuyo valor de gravedad observada es 979862.77 mGal. El error total del levantamiento calculado mediante la duplicación del 5% de las medidas gravimétricas y considerando un error en posición y cota de  $\pm 0,20$  m es de  $\pm 0,145$  mGal.

En cada medida se han realizado las corrección lunisolar y de deriva. La gravedad normal se ha calculado mediante el Geodetic System de 1984 (WGS-84). En el cálculo de la anomalía de Bouguer se ha utilizado una densidad de reducción de 2750 kg/m<sup>3</sup>, densidad que se había calculado aplicando el método de Plata Torres (1983) para un levantamiento regional que incluye el área de estudio de este trabajo y que coincide con el valor medio de la densidad medida en rocas del encajante. La corrección topográfica desde cada estación a un radio de 22 km se ha realizado mediante el módulo de "Terrain Correction" del software Oasis MontajTM.

Los datos se han interpolado mediante kriging a una malla de 25 m. El mapa de anomalías de Bouguer (Fig. 3) presenta un rango de valores positivos de anomalía entre 19 y 23,4 mGal distribuidos en un máximo de orientación media E-O. Este máximo se superpone a un gradiente de dirección ENE-OSO con pendiente hacia el norte. Para separar la tendencia regional y residual se ha considerado como mapa regional un mapa de anomalías de Bouguer que cubre parte de las Zonas Surportuguesa y de Ossa-Morena (Sanchez-Jimenez, 2003). En nuestra zona de estudio, este mapa está caracterizado por un gradiente ENE-OSO coincidente con el gradiente observable en el mapa de anomalías de Bouguer del stock de Aguablanca (Fig.4a). Su sustracción del mapa de anomalías de Bouguer observado de la zona de estudio ha permitido obtener el mapa de anomalías residuales (Fig.4b). Sobre este mapa se han representado los contactos de la gabronorita con las rocas encajantes y los afloramientos de los cuerpos mineralizados. El máximo está relacionado con el afloramiento del plutón de Aguablanca y el gradiente que le delimita marca el borde del plutón salvo en la zona suroccidental, donde la roca ígnea parece que se prolonga más allá del gradiente que limita el máximo. No obstante, dado el descenso de la anomalía es de prever que el volumen de gabros disminuya hacia el SO. La mineralización cartografiada coincide con máximos de pequeña amplitud y longitud de onda. Los sondeos realizados en la región central de la anomalía



**Fig. 3.- Mapa de anomalías de Bouguer. Intervalo entre isoanómalas de 0.2 mGal. Coordenadas UTM, 29 en metros.**

*Fig. 3.- Gravity anomaly Map. Isoanomaly interval 0,2 mGal. UTM, 29 coordinates, meters.*

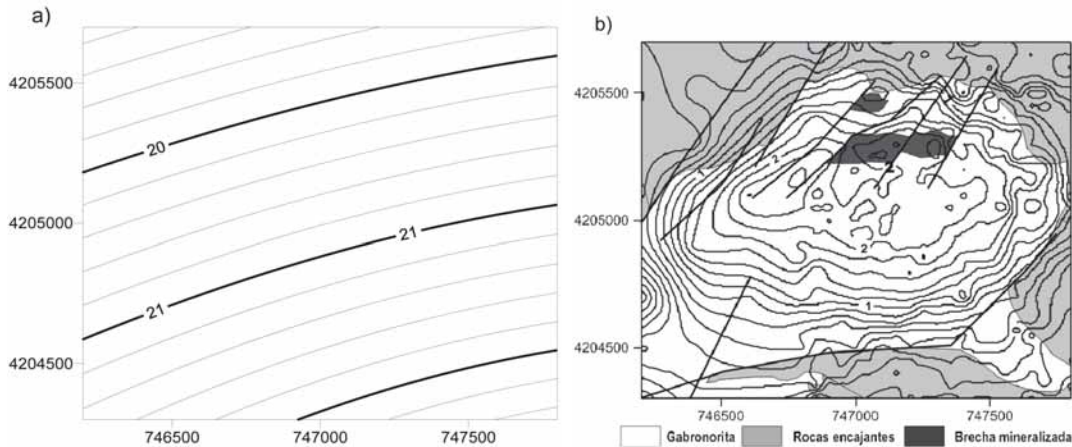


Fig. 4.- a) Mapa de anomalías regionales. b) Mapa de anomalías residuales sobre el que se ha superpuesto el esquema geológico. La gabronorita de Aguablanca está asociada al máximo gravimétrico. En ambos mapas el intervalo entre isoanómalas de 0.2 mGal. Coordenadas UTM, 29 en metros.

Fig. 4.- a) Regional anomaly map and b) Residual anomaly map. The gravity high is related to the Aguablanca gabbronorite. Both maps have an isoanomaly interval of 0,2 mGal. UTM, 29 coordinates, meters.

no han confirmado que los máximos allí existentes estén también relacionados con nuevas zonas de sulfuros masivos. Los máximos están delimitados por fallas de dirección NE-SO cartografiadas dentro del plutón.

**Modelización gravimétrica 3D**

La modelización se ha llevado a cabo con el módulo GMSYS-3DTM (3D Gravity and Magnetic Modeling for Oasis montajTM version 1.2; Northwest Geophysical Associates, Inc. 2005). El modelo se define mediante superficies que separan volúmenes con distintas densidades. Los cálculos de la anomalía se realizan en el espacio temporal según una implementación de los algoritmos de Parker (1972). Tanto las superficies que describen el modelo como la anomalía gravimétrica deben tener el mismo tamaño de malla, el mismo número de filas y columnas, el mismo origen, ser periódicas y, además, no deben cortarse. Asimismo deben prolongarse para evitar los efectos de borde. La anomalía debe ser lo más simétrica posible, de forma que se hayan eliminado gradientes regionales.

El cálculo requiere que la anomalía esté referida a una superficie plana por lo que los datos sobre la topografía deben ser proyectados sobre una superficie plana de cota al menos similar a la mayor altitud del área estudiada. En este caso se ha realizado una prolongación de la anomalía residual a un plano de cota 650 m. En la figura 5 se ha representado esta anomalía que aparece suavizada con respecto al mapa de anomalías residuales calculado.

El modelo de densidades consta de un cuerpo correspondiente a la gabronorita de Aguablanca, en cuyo encajante se han distinguido diferentes cuerpos representativos de los mármoles, zonas de skarn y

pizarras del Complejo Bodonal-Cala y las dioritas y tonalitas del Complejo Ígneo de Santa Olalla. Las densidades y superficies que forman el modelo se encuentran

en la tabla I. Los datos de densidades han sido estimados mediante su medida en sondeos y muestras de mano. Los datos de sondeos y cartográficos han sido utili-

Fig. 5.- Mapa de la prolongación a 650 m de la gravedad observada utilizado en la modelización 3D. Intervalo entre isoanómalas 0.1 mGal. Coordenadas UTM, 29 en metros.

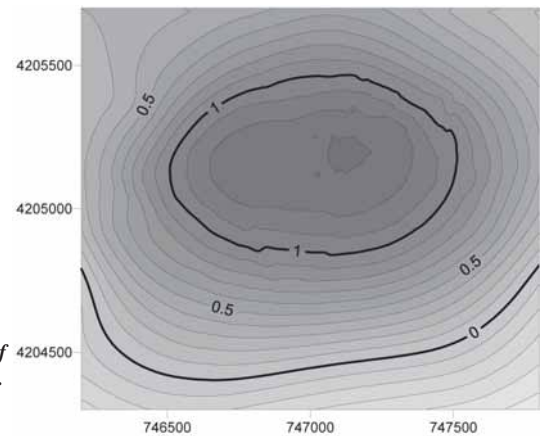
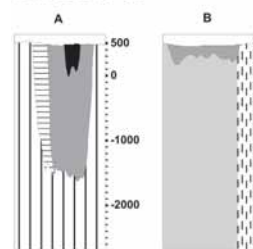


Fig. 5.- Upward continuation of the observed gravity map to a flat plane of 650 m. Isoanomaly interval 0,2 mGal. UTM, 29 coordinates, meters.

**Cortes E-W**



**LEYENDA**

- Dioritas y tonalitas
- Gabronoritas
- Cuerpos mineralizados
- Skarn
- Mármoles
- Pizarras

**Cortes N-S**

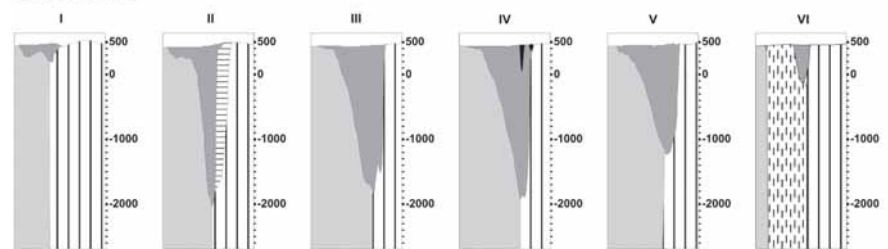


Fig. 6.- Cortes seriados del modelo gravimétrico 3D. Las trazas de los cortes están dibujadas sobre la anomalía calculada en la modelización.

Fig. 6.- E-W and N-S cross sections of 3D density model 3D. Cross sections location are shown on the calculated anomaly map used for modelling.

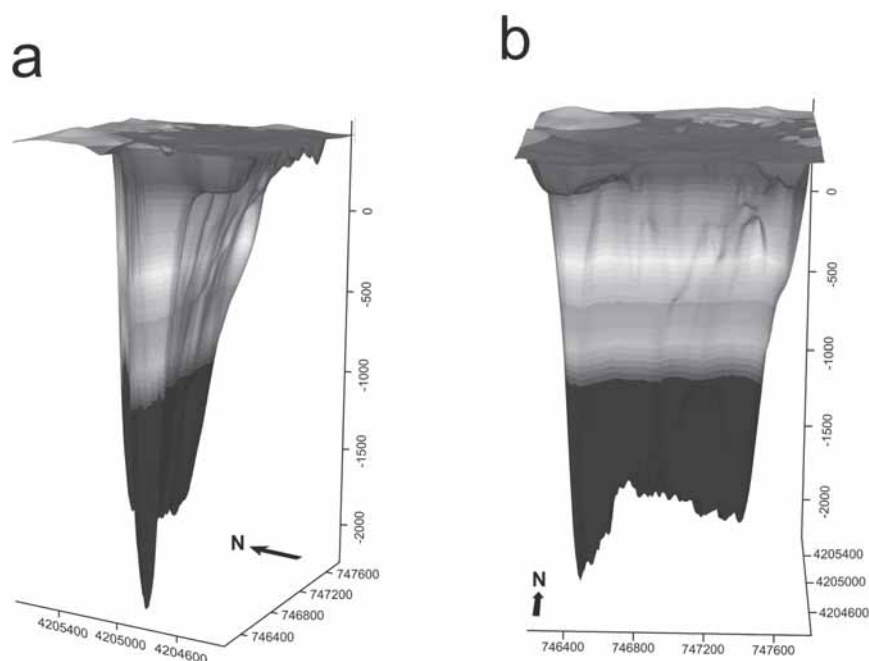


Fig. 7.- Dos vistas tridimensionales de la superficie basal de las gabronoritas de Aguablanca. a) Vista desde el SO, b) vista desde el ENE.

Fig. 7.- Two tridimensional views of the basal surface of the Aguablanca gabbro-norites. a) View from SW, b) view from ENE.

Superficie de contacto	Densidad por encima de la superficie
Topografía	
Base de los cuerpos mineralizados	3200 kg/m <sup>3</sup>
Base de las gabronoritas	2976 kg/m <sup>3</sup>
Base del skarn	3200 kg/m <sup>3</sup>
Base de los mármoles	2700 kg/m <sup>3</sup>
Base de las pizarras	2800 kg/m <sup>3</sup>
Base de las dioritas y tonalitas	2850 kg/m <sup>3</sup>

Tabla I.- Superficies y densidades del modelo tridimensional.

Table I.- Surfaces and densities of 3D gravity model.

zados para establecer la geometría de las superficies. La figura 6 presenta la anomalía calculada y diversos cortes N-S y E-O del modelo ajustado. El error del modelo es 0.18417 mGal.

### Resultado de la modelización y conclusiones

El máximo gravimétrico está asociado con el cuerpo de gabronoritas, material más denso que las rocas encajantes. También contribuyen de una forma secundaria a la anomalía la presencia de los cuerpos mineralizados de Ni-Cu-(EGP), que están asociados a máximos secundarios y las rocas del skarn (Fig. 4b). El cuerpo de gabronoritas se estrecha en profundidad llegando a los 1850 m bajo la cota 0 m. En los cortes N-S el borde septentrional aparece muy verticalizado mientras que el extremo

meridional se extiende sobre las tonalitas en una delgada lámina. Los contactos entre las rocas encajantes se disponen según planos subverticales. La mineralización está asociada a brechas magmáticas con geometría de pipa, dispuestas verticalmente. Tanto en los perfiles como en las imágenes tridimensionales de la figura 7 se aprecia que el stock se enraiza en su borde norte, adoptando en esta área una forma planar paralela al mismo. Los estudios estructurales muestran que existe una zona de cizalla dúctil sinistral que afecta a los mármoles del Complejo de Bodonal-Cala. Su foliación milonítica tiene una orientación media N120° y parece controlar el emplazamiento del stock de Aguablanca. Considerando que, según la modelización gravimétrica, la zona de ascenso de las gabronoritas tiene una orientación media E-O, orienta-

ción que coincide con la de la foliación magmática del stock en su borde norte, el emplazamiento de las rocas ígneas de Aguablanca se pudo producir a favor de una grieta de tensión generada bajo una extensión N-S, coherente con el campo de deformación de una cizalla sinistral N120°.

De todo lo anteriormente expuesto se puede concluir que el stock de Aguablanca está asociado a una anomalía gravimétrica positiva de 3,5 mGal de amplitud. La modelización muestra que tiene una geometría alargada según una orientación E-O, alcanzando una profundidad de 1850 m. Su emplazamiento está controlado por el campo de deformación de una zona de cizalla dúctil sinistral N120°, de edad varisca.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Río Narcea Gold Mines los medios puestos a su disposición para la realización de este trabajo. Este trabajo ha sido financiado por la Acción Especial BTE 2002-10433 y el proyecto DGESIC BTE 2003-03599.

### Referencias

- Lunar, R., Ortega, L., Sierra, J., García Palomero, F., Moreno, T., y Prichard, H., (1997). En: *Mineral Deposits*. (H. Papunen, Ed.). Balkema, Róterdam, 463-466.
- Ortega, L., Lunar, R., García-Palomero, F., Moreno, T., Martín Estevez, J. R., Prichard, H. M., y Fisher, P. C. (2004). *The Canadian Mineralogist*, 42, 325-335.
- Parker, R.L. (1972). *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 42, 315-334.
- Plata Torres, J.L. (1983). *Boletín Geológico y Minero*, XCIV-VI, 510-520.
- Romeo, I., Lunar, R., Capote, R., Quesada, C., Dunning, G. R., Piña, R., y Ortega, L. (2004). *Macla*, 2, 29-30.
- Romeo, I., Lunar, R., Capote, R., Quesada, C., Dunning, G. R., Piña, R., y Ortega L. (2006). *Journal of the Geological Society of London*, (en prensa).
- Sánchez Jiménez, N. (2003). *Estructura gravimétrica y magnética de la corteza del suroeste peninsular (Zona Surportuguesa y Zona de Ossa-Morena)*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 243 p.
- Tornos, F., Casquet, C., Galindo, C., Velasco, F., y Canales, A. (2001). *Mineralium Deposita*, 36, 700-706.