

# Geocronología Ar-Ar de flogopitas del *stock* de Aguablanca (Badajoz). Implicaciones sobre la edad del plutón y de la mineralización de Ni-(Cu) asociada

F. Tornos<sup>1</sup>, A. Iriondo<sup>2</sup>, C. Casquet<sup>3</sup>, y C. Galindo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico y Minero de España, Azafranal 48, 37002 Salamanca. f.tornos@igme.es

<sup>2</sup> U.S. Geological Survey, Argon Thermochronology Lab., Denver, CO 802250046, EEUU. iriondo@usgs.gov

<sup>3</sup> Dpto. Petrología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. casquet@geo.ucm.es, cgalindo@geo.ucm.es

## ABSTRACT

*Ar-Ar dating of intercumulus phlogopite for both a websterite fragment within the mineralized breccia pipe of the Ni-(Cu) Aguablanca magmatic deposit, and the host gabbronorite has yielded ages of 335±2 to 338±3 Ma, i.e., Visean (Mississippian). These values are within error and suggest that the mineralization and the host rock are Variscan in age. Moreover this age is compatible with a previous model which interprets the sulfide mineralization as intrusive (vertical pipe) into the Aguablanca gabbronorites.*

**Keywords:** Ar-Ar dating, nickel, copper, magmatic-hosted mineralization.

## INTRODUCCIÓN

La mineralización de Ni-(Cu) de Aguablanca se encuentra asociada a las facies más básicas del *stock* del mismo nombre, situado en el extremo SE de la antiforma Olivenza – Monesterio (Zona Ossa Morena) (Fig. 1). La edad de la intrusión y el significado del *stock* ha sido objeto de diversos estudios, fundamentalmente orientados a la interpretación genética de la mineralización. El yacimiento de Aguablanca es, por el momento, único a escala peninsular y su génesis es controvertida. Actualmente hay dos modelos geológicos muy diferentes. El primero propone que el depósito corresponde a un yacimiento magmático estratiforme, que ha sido plegado y verticalizado durante la orogenia variscica (Lunar *et al.*, 1997; Ortega *et al.*, 2002). El segundo modelo propone que la intrusión de Aguablanca es de edad Variscica y que la mineralización se encuentra en una chimenea (*pipe*) magmática (Casquet *et al.*, 2001; Tornos *et al.*, 2001). La adopción de un modelo u otro es fundamental para establecer modelos de exploración, orientando la búsqueda a los plutones pre-Variscicos o Variscicos de la zona.

En este marco, una datación precisa del *stock* de Aguablanca y la mineralización es un argumento de primera importancia para apoyar uno u otro modelo.

## GEOLOGÍA

El *stock* de Aguablanca es una pequeña intrusión zonada localizada junto al plutón de Santa Olalla del que se ha considerado tradicionalmente parte (Casquet, 1980). El plu-

tón de Santa Olalla presenta un zonado inverso continuo, con granitos y monzogranitos en la parte central y facies algo más básicas, granodioritas, tonalitas y cuarzdioritas, en la zona externa. El *stock* de Aguablanca está formado por rocas máficas, fundamentalmente cuarzdioritas y dioritas, aunque en su zona NE y cerca del contacto con el encajante, hay un área rica en gabros, gabronoritas y noritas que es donde se localiza la mineralización (Fig. 2). Las rocas encajantes son esquistos, rocas volcanoclásticas félsicas, mármoles y rocas de silicatos cálcicos afectados por un metamorfismo de contacto de alto grado. Los mármoles y rocas de silicatos cálcicos están afectados por complejos procesos de skarnificación (Casquet, 1980). El *stock* probablemente intruyó a favor de una zona de *pull apart* dentro de un importante desgarre sinistral.

En detalle, la mineralización tiene la estructura de una chimenea subvertical, de sección elipsoidal que se adelgaza en profundidad. Está constituida por sulfuros masivos y brechas en las que los sulfuros soportan fragmentos de rocas ultramáficas y ultrabásicas (orto- y clinopiroxenita, websterita, en menor proporción peridotita y cantidades subordinadas de gabro-gabronorita-norita, y rocas encajantes). Esta chimenea está rodeada por gabronorita y norita con mineralización diseminada. En ambos casos la mineralización está formada por pirrotita, con cantidades algo más accesorias de calcopirita y pentlandita, y trazas de magnetita, cubanita, mackinawita, grafito y cobaltita. Las rocas mineralizadas muestran una alteración hidrotermal de desarrollo muy irregular y a la que se asocia la formación de Mg-hornblenda-actinolita, biotita, epidota *ss*, talco, clorita, calcita e illita. La mineralización está también remobilizada localmente, con

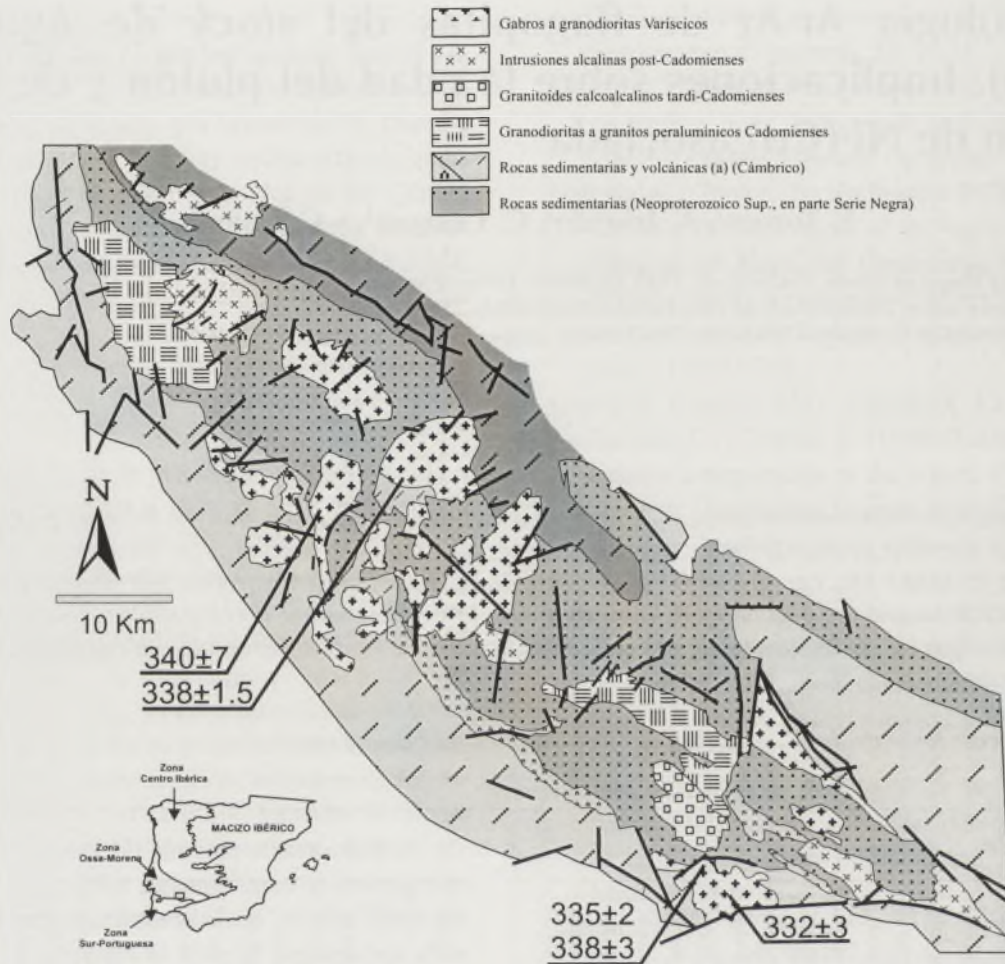


FIGURA 1. Mapa geológico del sector central de la Zona de Ossa Morena mostrando dataciones de plutones metalumínicos Variscos y de la mineralización de Aguablanca.

neoformación de granos gruesos de los mismos minerales, así como de pirita, violarita, marcasita y minerales del grupo del platino (Ortega *et al.*, 2002).

#### DATACIÓN AR-AR

La datación  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  se ha realizado en los laboratorios del USGS, a partir de concentrados de flogopita de dos rocas máficas de grano medio a grueso, que no muestran procesos secundarios superpuestos. Una de las muestras (AG-38), tomada en la galería de exploración, corresponde a un fragmento de gabronorita de la brecha mineralizada.; la otra (AG-68) es un gabro de la zona externa y procede del sondeo S-6758 (679,3 m). Ambas rocas contienen flogopita ( $X_{\text{flog}}$  0,49-0,70) y clinioanfíbol (edenita) intercumulares (Fig. 3), que forman agregados de entre 0,2 y 1 mm intersticiales entre plagioclasa, también intercumular, y el piroxeno. Las edades *plateau* y las isocronas Ar-Ar coinciden en ambas muestras. Los resultados son:  $335\pm 2$  Ma (AG-38) y  $338\pm 3$  Ma (AG-68), que corresponden al Viseense (Missipiense). La similitud de ambos resultados dentro de los límites de error (335-337 Ma), y la coincidencia entre eda-

des *plateau* e isocrona de cada muestra, indica que los dos concentrados analizados son semejantes e isotópicamente homogéneos. Ello es compatible con una interpretación de las edades en términos de edades de cristalización magmática en un contexto de enfriamiento rápido (Edad de cierre (Ar) » Edad cristalización), como el que hay que esperar en el caso de plutones epizonales. La ausencia de alteración hidrotermal apreciable y el valor relativamente alto de la temperatura de cierre para la difusión del Ar de la flogopita (en torno a 400-450°C) refuerzan esta interpretación. De acuerdo con el modelo de Tornos *et al.* (2001), la brecha intruiría a unos 1000-1400°C siendo los fragmentos de acumulado transportados desde la cámara magmática en una matriz todavía fundida de sulfuros. Las edades obtenidas serían las de enfriamiento *in situ* de la brecha y por lo tanto las del stock de Aguablanca y de la mineralización.

#### DISCUSIÓN

Uno de los problemas básicos para la datación del stock y la mineralización de Aguablanca es la existencia de

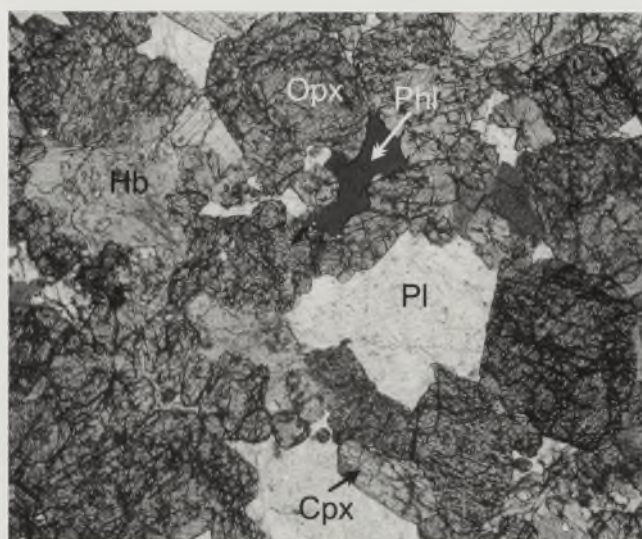
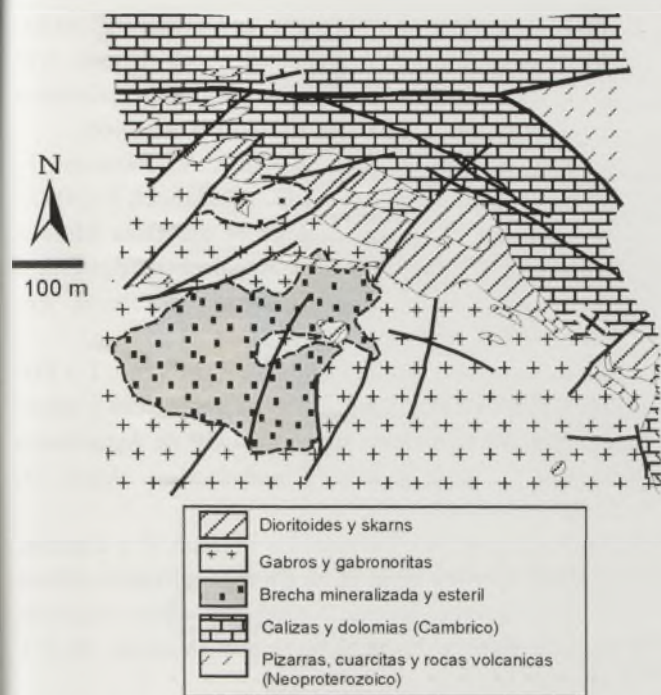


FIGURA 3. Flogopita y edenita intercumulares entre ortopiropiroxeno y plagioclasa de norita encajante de la mineralización. La escala gráfica es 0,25 mm.

FIGURA 2. Esquema geológico del plutón de Aguablanca. Modificado de Tornos *et al.* (2001).

importantes procesos de mezcla de magma básico y corteza continental en una cámara magmática probablemente ubicada en la corteza superior (Casquet *et al.*, 2001). Estos procesos son fundamentales para la génesis de la mineralización ya que la adición de sílice y azufre al magma promueve la inmiscibilidad del magma sulfurado. En el caso de Aguablanca hay múltiples evidencias de asimilación cortical. Los resultados isotópicos de Sm-Nd, Rb-Sr, Pb-Pb, Re-Os (datos inéditos) y del azufre, son todos ellos interpretables en términos de mezcla de un magma juvenil de composición basáltica y una corteza continental probablemente siliciclástica (Casquet *et al.*, 2001, Tornos *et al.*, 2001). Los elevados valores de oro, la presencia de grafito, de microenclaves peraluminicos con espinela, corindón y sillimanita y de fragmentos parcialmente asimilados de roca de caja en la brecha, son también consistentes con este modelo.

La asimilación ha motivado que las composiciones isotópicas Sm-Nd y Rb-Sr den líneas de mezcla y no isocronas y que, por lo tanto, las edades de regresión obtenidas sean valores máximos. Este es probablemente el caso de la edad Rb-Sr del plutón de Santa Olalla ( $359 \pm 18$  Ma; MSWD = 17,1) (Casquet *et al.*, 2001). Este valor es algo más alto que el obtenido a partir de circones ( $332 \pm 3$  Ma; edad  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ; Montero *et al.*, 2000) (Fig. 1). Por otro lado, las relaciones  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  de la pirrotita de Aguablanca también indican edades modelo aproximadamente Variscas (382-353 Ma; Tornos y Chiaradia, 2004).

Las edades Ar-Ar obtenidas son consistentes con los

resultados de Rb-Sr y de Pb, y con las edades de otros plutones similares de la Zona de Ossa Morena. Así, el cercano plutón de Brovales tiene una edad  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (circón) de  $340 \pm 7$  Ma (Montero *et al.*, 2000) y la mineralización de allanita de la Mina Monchi, junto al plutón de Burguillos,  $338 \pm 1,5$  Ma (U-Pb; Casquet *et al.*, 1998). Este último valor coincide con la edad Ar-Ar obtenida a partir de anfíboles de rocas ígneas de Burguillos del Cerro (entre 342 y 329 Ma; Dallmeyer *et al.*, 1995). Todo ello sugiere que, en su conjunto, el plutonismo variscico tuvo lugar entre los 350 y 330 Ma (Carbonifero Inferior / Missisipiense).

**CONCLUSIONES**

La datación Ar-Ar de flogopitas magmáticas intercumulares del stock y brecha mineralizada de Aguablanca indican que la intrusión del gabro y de la mineralización son de edad Visense (335 - 337 Ma) y por lo tanto variscicos. Esta edad es consistente con las de otros plutones geoquímicamente equivalentes de la zona.

**AGRADECIMIENTOS**

Este estudio ha sido financiado por el proyecto Proyecto BTE2003 00290 de la DGI. Agradecemos a C. Maldonado, C. Martínez y L. Rodríguez Pevida su ayuda en la toma de muestras, acceso a las labores de Aguablanca y por la discusión crítica de los resultados.

**REFERENCIAS**

Casquet, C. (1980): *Fenómenos de endomorfismo, metamorfismo y metasomatismo en los mármoles de la*

- Rivera de Cala (Sierra Morena)*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 295 p.
- Casquet, C., Galindo, C., Darbyshire, D.P.F., Noble, S.R. y Tornos, F. (1998): Fe U REE mineralization at Mina Monchi, Burguillos del Cerro, Spain: age and isotope (U Pb, Rb Sr and Sm Nd) constraints on the evolution of the ores. En: *Proceedings GAC MAC APGGQ Quebec 98 Conference*, 23: A28.
- Casquet, C., Galindo, C., Tornos, F. y Velasco, F. (2001): The Aguablanca Cu Ni ore deposit (Extremadura, Spain), a case of synorogenic orthomagmatic mineralization: Isotope composition of magmas (Sr, Nd) and ore (S). *Ore Geology Reviews*, 18: 237-250.
- Dallmeyer, R.D., Garcia Casquero, J.L. y Quesada, C. (1995):  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  mineral age constraints on the emplacement of the Burguillos del Cerro Igneous Complex (Ossa Morena Zone, SW Spain). *Boletín Geológico Minero*, 106: 203-214.
- Lunar, R., García Palomero, F., Ortega, L., Sierra, J., Moreno, T. y Prichard, H. (1997): Ni Cu (PGM) mineralization associated with mafic and ultramafic rocks: the recently discovered Aguablanca ore deposit, SW Spain. En: *Mineral deposits: research and exploration* (Ed. Papunen, H.). Balkema, Rotterdam, 463-466.
- Montero, P., Salman, K., Bea, F., Azor, A., Exposito, I., Lodeiro, F., Martínez Poyatos, D. y Simancas, F. (2000): New data on the geochronology of the Ossa Morena Zone, Iberian Massif Variscan Appalachian dynamics: The building of the Upper Paleozoic basement. En: *Galicia 2000*. Abstracts: 136-138.
- Ortega, L., Lunar, R., García Palomero, F., Moreno, T. y Prichard, H.M. (2002): Características geológicas y mineralógicas del yacimiento de Ni Cu EGP de Aguablanca (Badajoz). *Boletín Sociedad Española Mineralogía*, 25: 57-78.
- Tornos, F., Casquet, C., Galindo, C., Velasco, F. y Canales, A. (2001): A new style of Ni Cu mineralization related to magmatic breccia pipes in a transpressional magmatic arc, Aguablanca, Spain. *Mineralium Deposita*, 36 (7): 700-706.