

# Datación $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ de mineralizaciones de mercurio de Sinclinal de Almadén

*$^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  dating of mercury mineralizations in the Almadén Syncline*

Chris M. Hall (\*), Pablo Higuera (\*\*), Stephen E. Kesler (\*), Rosario Lunar (\*\*\*), Hailing Dong (\*) y Alex N. Halliday (\*)

(\*) Department of Geological Sciences, Universidad de Michigan, Ann Harbor, Michigan, USA 48109-1036.

(\*\*) Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, Universidad de Castilla - La Mancha, 13400 Almadén, Ciudad Real.

(\*\*\*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid.

## ABSTRACT

Mercury mineralizations in the Almadén district can be grouped in two main categories: i) strata-bound mineralizations hosted in Criadero quartzite (Lower Silurian) and ii) veins and stockworks in Silurian and Devonian hosting rocks. The  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  dating of illite, probably related with the hydrothermal activity responsible of the second type of mineralizations, yields  $361 \pm 2$  Ma. This age is some 25-50 Ma older than the age of granitic intrusions in the area, and could be the age of the epigenetic mercury mineralizations.

**Key Words:** Geochronology.  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ . Mineral deposits. Mercury. Hercynian.

Geogaceta, 20 (2) (1996), 483-486

ISSN: 0213683X

## Introducción

Las mineralizaciones de mercurio del sinclinal de Almadén constituyen la mayor concentración monoelemental existente en la corteza terrestre, al representar un tercio del mercurio total producido por la humanidad. Ningún otro yacimiento ni distrito del mundo representa un porcentaje tan alto del metal o metales explotados en el mismo. Otro carácter a resaltar es el hecho de que se trate de mineralizaciones monominerálicas, constituidas casi exclusivamente por cinabrio, con piritita muy subordinada.

El origen de las mineralizaciones sigue siendo objeto de controversia: desde las ideas iniciales, epigenéticas, defendidas aún en tiempos recientes por autores como Almela *et al.*, (1962), Quintero (1965-70), o Puche (1989), a las ideas que relacionan la formación de los yacimientos de mercurio con el depósito de la cuarcita de Criadero (Saupé, 1973 y 1990; Hernández, 1984; Borrero e Higuera, 1990).

En la actualidad, y de acuerdo con los estudios realizados recientemente por Jébrak y Hernández (1993 y 1995) y por Higuera y colaboradores (Borrero e Higuera 1990 y 1991; Higuera *et al.*, 1995a y b; Higuera, 1995), la idea

más aceptada es que las mineralizaciones de mercurio existentes en el sinclinal de Almadén se pueden agrupar en dos grandes conjuntos: mineralizaciones estratoligadas, encajadas en cuarcita de Criadero (Tipo "Almadén"), y mineralizaciones epigenéticas, encajadas en materiales diversos, de edades también diversas (Tipos "Las Cuevas" y "Pilar de la Legua").

## Las Mineralizaciones

Las mineralizaciones de mercurio del Distrito de Almadén se restringen a una estructura geológica característica: el sinclinal de Almadén, que corresponde a una estructura hercínica del sector meridional de la Zona Centro Ibérica (Figura 1). Esta estructura comprende materiales Paleozoicos, de edades comprendidas entre el Ordovícico inferior (Tremadociense) y el Devónico superior (Frasniense), de naturaleza fundamentalmente detrítica, con intercalaciones de rocas magmáticas, que ha sido estudiadas en detalle por Higuera y Munhá (1993), Higuera (1995), e Higuera y Morata (1996). Datos en detalle sobre la geología regional se pueden encontrar en Almela *et al.*, (1962), o en García Sansegundo *et al.*, (1987).

Las mineralizaciones aparecen ex-

clusivamente en el sector oriental del sinclinal, concretamente desde la transversal de Almadén hasta el cierre periclinal del pliegue en materiales silúricos y devónicos por el SE (zona de El Entredicho). Como ya hemos referido, estas mineralizaciones se pueden agrupar en dos grandes conjuntos:

**Mineralizaciones estratoligadas en cuarcita de Criadero:** (Tipo "Almadén"). Constituyen diseminaciones de cinabrio en estos materiales cuarcíticos. El hecho de que el cinabrio aparezca como inclusiones en granos de cuarzo, en zonas de crecimiento diagenético, indicaría que el cinabrio entró en la roca con anterioridad a la diagénesis (Saupé, 1967, 1990). La interpretación de estas mineralizaciones como exhalativo-sedimentarias tropieza con el hecho de que serían las únicas mineralizaciones de este tipo existentes en materiales arenosos, en los que el medio detrítico favorece la dispersión de los metales aportados a la cuenca. Sin embargo, su relación evidente con rocas volcánicas sinsedimentarias (Hernández, 1983) y con procesos de alteración de las rocas magmáticas (Higuera, 1993 y 1994) permiten suponer que la génesis de estas mineralizaciones es solo ligeramente posterior a la de la cuarcita de Criadero.

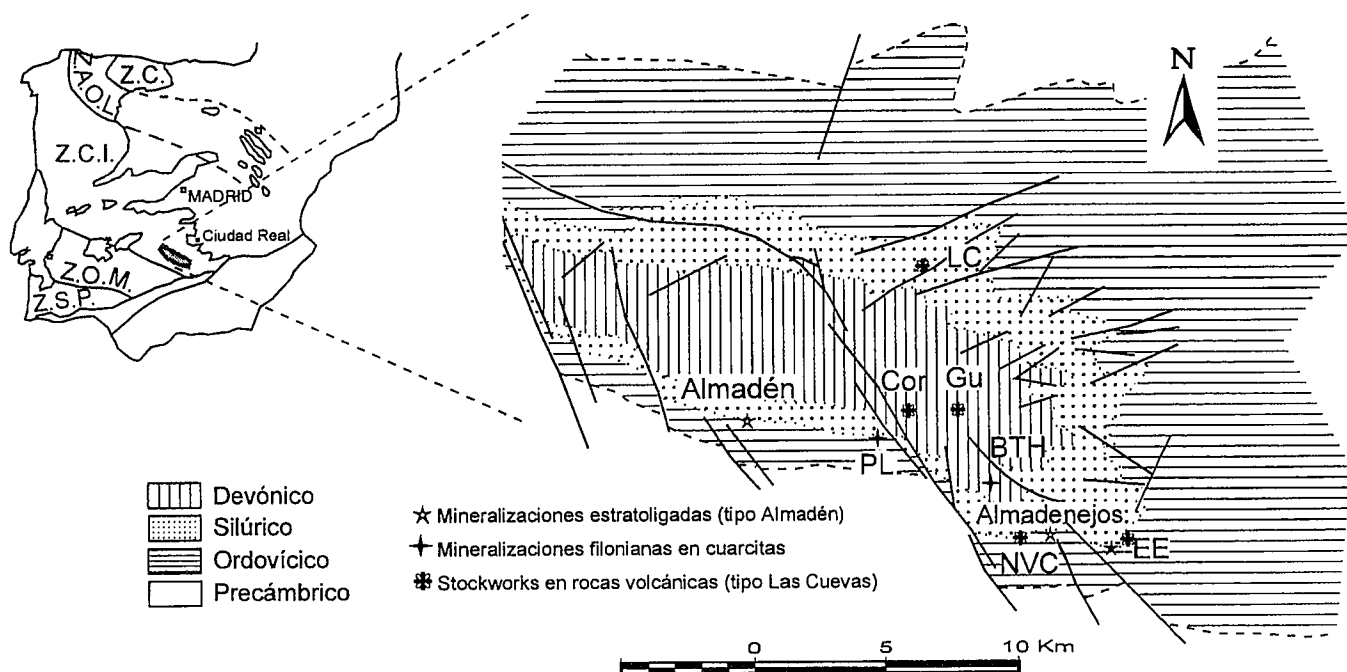


Fig. 1.- Localización geográfica y geológica del sinclinal de Almadén, y de los yacimientos de mercurio del mismo. Z.C.: Zona Cantábrica; Z.A.O.L.: Zona Asturoccidental-Leonesa; Z.C.I.: Zona Centro Ibérica; Z.O.M.: Zona de Ossa-Morena; Z.S.P.: Zona Surportuguesa. LC: Las Cuevas; PL: Pilar de la Legua; Cor: Corchuelo; Gu: Guadalperar; NVC: Nueva y Vieja Concepción; EE: El Entredicho.

Fig. 1.- Geographical and geological location of the Almadén syncline and its mercury mineralizations. Z.C.: Cantabrian Zone; Z.A.O.L.: West Asturian-Leonese Zone; Z.C.I.: Central Iberian Zone; Z.S.P.: South Portuguese Zone. LC: Las Cuevas; PL: Pilar de la Legua; Cor: Corchuelo; Gu: Guadalperar; NVC: Nueva and Vieja Concepción; EE: El Entredicho.

Pertenece a este tipo las mineralizaciones de Almadén y El Entredicho, así como, probablemente, la del yacimiento de La Vieja Concepción, el peor conocido de este grupo.

**Mineralizaciones epigenéticas:** Constituyen yacimientos de dos subtipos bien diferenciados:

a) Estructuras filonianas discretas, por lo general encajadas en materiales cuarcíticos: casos de las mineralizaciones de El Burcio-Las Tres Hermanas, Pilar de la Legua, o Este de Almadén (tipo "Pilar de la Legua").

b) Stockworks, más o menos irregulares, por lo general encajados en materiales volcánicos o volcano-sedimentarios. Corresponde a este subtipo el yacimiento de Las Cuevas (Jébrak y Hernández, 1993, 1995), y probablemente también los de La Nueva Concepción y Nuevo Entredicho.

Este segundo tipo de mineralizaciones han sido interpretadas como removilizaciones tectonometamórficas de mineralizaciones primarias tipo Almadén (Jébrak y Hernández, 1995; Higuera *et al.*, 1995b).

**Trabajo realizado**

En las rocas magmáticas asociadas a las mineralizaciones de mercurio del distrito es posible reconocer dos procesos de alteración bien diferenciados: una alteración que implica la sustitución pseudomórfica de los minerales ígneos primarios por clorita + carbonatos de Ca-Mg-Fe + sílice, y que Higuera (1993, 1995) relaciona de forma directa con la génesis de las mineralizaciones de tipo Almadén, y otra que es posible caracterizar en el yacimiento de Las

Muestra	Yacimiento	Asociación mineral (*)	% de Ar <sup>39</sup> liberado	Edad gas total (Ma)	Edad de retención (Ma)
S.C-87/403	Las Cuevas	Ms/Il-Chl-Qtz	12.7	320.90 ± 0.60	363.18 ± 0.38
EE-4	El Entredicho	Ms/Il-Chl-(Qtz)	17.9	301.05 ± 0.49	360.36 ± 0.20
S.ME-32/1	El Entredicho	Ms/Il-Qtz-(Ab)	15.5	307.62 ± 0.44	358.59 ± 0.21
S.ME-32/2<1µm	El Entredicho	Ms/Il-Chl-Qtz-(Ab)	20.1	295.17 ± 0.76	362.25 ± 0.40
S-ME-32/2<.2µm	El Entredicho	Ms/Il-Chl-Qtz-(Ab)	18.9	297.29 ± 0.70	360.28 ± 0.39

(\*) : Abreviaturas de minerales según Kretz (1983). Minerales entre paréntesis son fases minoritarias.

Tabla 1.- Descripción de las muestras analizadas y síntesis de los resultados obtenidos.

Table 1.- Description of the analyzed samples, and abstract of the results for each one.

Cuevas, y que corresponde a una alteración arcillítica que destruye fundamentalmente a los minerales relacionados con la alteración clorítico-carbonatada (Higuera *et al.*, 1995b). Esta alteración arcillítica, que implica caolinita, pirofilita e ilita como minerales característicos, se detecta también, aunque en menor escala, en otros yacimientos del distrito, como Almadén (ver Jébrak y Hernández, 1995), y en mineralizaciones menores de tipo epigenético en rocas volcánicas, como Corchuelo (Higuera y Borrero, 1991). También se detecta en El Entredicho, asociada a removilizaciones menores a fracturas de la mineralización principal.

La datación realizada se ha centrado en la ilita relacionada con la alteración arcillítica. En concreto, se han tomado un total de 5 muestras, una de Las Cuevas, y el resto de El Entredicho. La Tabla 1 muestra las asociaciones minerales presentes en estas muestras, junto con una síntesis de los resultados obtenidos por muestra.

**Metodología:** Las muestras seleccionadas se han molido en mortero de ágata, y se ha realizado una separación de la fracción menor de 2 mm por decantación en medio acuoso. Una muestra (SC-87/403), especialmente rica en calcita, se atacó con ácido clorhídrico diluido y frío. Los análisis  $Ar^{40}/Ar^{39}$  se llevaron a cabo mediante la técnica de encapsulado en vacío de Dong *et al.*, (1995), que implica irradiación neutrónica y fusión mediante láser. Las medidas se realizaron mediante un espectrómetro de masas MAP-215, en la Universidad de Michigan.

**Resultados obtenidos:** La Tabla 1 muestra de forma sintética los resultados obtenidos, mientras que en la Figura 2 se muestran gráficamente los resultados por muestras. Las edades correspondientes a gas total presentan una dispersión relativamente grande (295-325 Ma), mientras que las edades de retención muestran un grado de dispersión mucho menor (359-263 Ma). Dong *et al.*, (1995) consideran que las edades de retención son más fiables que las correspondientes a gas total, en base a su mayor reproducibilidad, y a comparación con otras técnicas de datación. En nuestro caso, su mejor agrupamiento, a pesar de corresponder a muestras de procedencias distintas, también hace suponer que estas edades de retención son las más fiables.

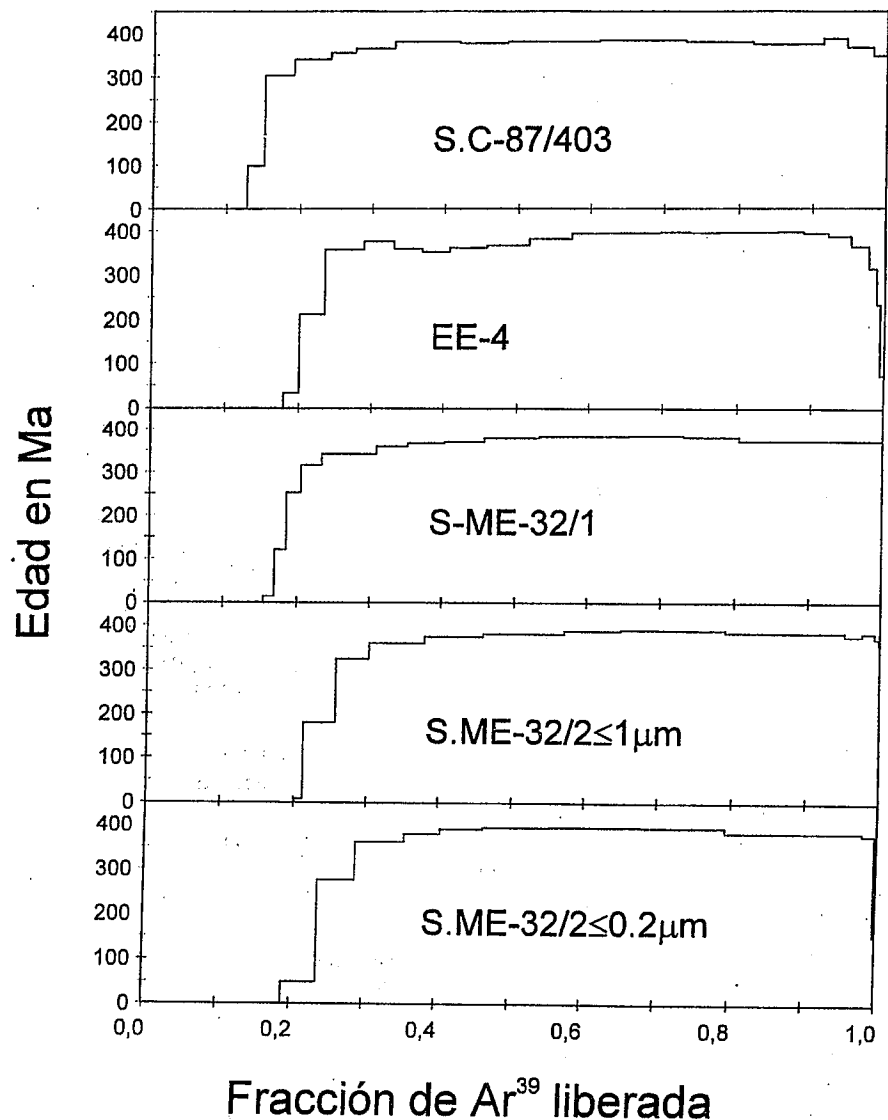


Fig. 2.- Edades gas total y retención obtenidas en este estudio en las ilitas analizadas. En la Tabla 1 se ofrece la descripción de las muestras correspondientes.

Fig. 2.- Total gas and gas retention ages for the analyzed illites. A description of the samples is given in Table 1.

#### Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos arrojan una edad de  $361 \pm 2$  Ma para las ilitas analizadas. Esta edad, correspondiente al Carbonífero inferior, es del orden de la obtenida por Nögler *et al.*, (1992) en la datación Rb-Sr de pizarras ordovícicas de la región ( $335 \pm 15$  Ma), y que probablemente corresponde a la edad del metamorfismo de éstas. Datos del mismo orden de magnitud, aunque siempre sensiblemente inferiores, se obtienen en la datación de rocas graníticas de la región: Leutwein *et al.*, (1970) datan en  $312 \pm 7$  Ma. el granito

de Fontanosas, situado a unos 30 Km. al Este de Almadén, mientras que el batolito de Los Pedroches arroja edades comprendidas entre 290 y 345 Ma. (Bellón *et al.*, 1979 y Penha y Arribas, 1974). En la región de la Sierra de Guadarrama, por su parte, Villaseca *et al.* (1995) obtiene 2 pulsos graníticos con edades del orden de los 300 y 320 Ma, mientras que Caballero *et al.*, (1982) datan episodios hidrotermales de edades diversas, siempre inferiores a 300 Ma.

Es evidente que las edades obtenidas no confirman en absoluto la posibilidad de que los yacimientos de tipo Almadén sean aproximadamente coetáneos de la

cuarcita de Criadero. Son edades que verosimilmente representan la edad de las removilizaciones representadas por los yacimientos de tipo Las Cuevas, proceso que habría dado lugar tanto a los yacimientos de este tipo, como a fenómenos de importancia menor en el resto de yacimientos estratiformes del distrito. El hecho de que el mineral datado corresponda a illita, que aparece como fase ligada precisamente a este proceso de alteración arcillítica, da soporte a esta posibilidad. Por otra parte, la naturaleza de esta alteración, que implica fundamentalmente una lixiviación de Fe y Mg y enriquecimiento en Na, K, Al y Si, podría indicar una relación con procesos hidrotermales ligados a actividad granítica precoz, sobre la base de la edad obtenida.

La datación directa de las mineralizaciones posiblemente primarias (tipo Almadén) parece problemática. Una posibilidad a contemplar es la datación Rb-Sr del proceso clorítico-carbonatado que aparece directamente relacionado con estas mineralizaciones. Este proceso, al producir movilizaciones diferenciales de estos dos elementos (Higueras, 1994), puede dar lugar a variaciones en los correspondientes ratios que puedan tener implicaciones cronológicas.

#### Agradecimientos

A Juliana Parras, por su ayuda en las separaciones minerales. A Minas de Almadén y Arrayanes S.A., y en especial a D. Javier Ustarroz Astorga, por su autorización para el trabajo en los yacimientos. El presente trabajo ha sido

parcialmente subvencionado por el Programa "Líneas Precompetitivas" de la Universidad de Castilla-La Mancha.

#### Referencias

- Almela, A.; Alvarado, M.; Coma, J.; Felgeroso, C.; Quintero, I. (1962). *Bol. Inst. Geol. Min. España*, 73: 193-327.
- Bellón, H.; Blancheré, H.; Crousilles, M.; Deloche, C.; Dixsaut, C.; Hertrich, B.; Prostdame, V.; Rossi, Ph.; Simon, D.; Tamain, G. (1979). *Bull. Soc. Géol. France*, XXI: 113-120.
- Borrero, J.; Higueras, P. (1990). *Bol. Geol. Min.*, 101-6: 48-65.
- Borrero, J.; Higueras, P. (1991). *Bol. Soc. Esp. Min.*, 14: 117-124.
- Caballero, J.M.; Casquet, C.; Galindo, C.; González Casado, J.M.; Snelling, N.; Tornos, F. (1992). *Geogaceta* 11: 18-22.
- Dong, H.; Hall, C.M.; Peacor, J.R.; Halliday, A.N. (1995). *Science*, 267: 355-359.
- García Sansegundo, J.; Lorenzo Álvarez, S.; Ortega, E. (1987). *IGME*, Madrid.
- Hernández, A.M. (1984). *Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca*. 120 pg.
- Higueras, P. (1993). in: Fenoll, P.; Gervilla, F.; Torres, J., eds.: Current research on geology applied to mineral deposits. *Univ. Granada*: 131-134.
- Higueras, P. (1994). in: Martínez Frías, J.; Rey, J.; Lunar, R., eds. Geología y metalogenia en ambientes oceánicos. Depósitos hidrotermales submarinos. *Publ. Esp. del Inst. Esp. de Oceanografía*, 18: 21-30.
- Higueras, P. (1995). *Tesis Doctoral, Universidad de Granada. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, Cuenca*. 270 pg.
- Higueras, P.; Morata, D. (1996). Geodynamic and metallogenic implications. In prep.
- Higueras, P.; Morata, D.; Munhá, J. (1995a). *Bol. Soc. Esp. Min.*, 18: 111-125.
- Higueras, P.; Parras, J.; Sánchez, C. (1995b). *Bol. Soc. Esp. Min.*, 18: 191-200.
- Jébrak, M.; Hernández, A.M. (1993). in: Fenoll, P.; Gervilla, F.; Torres, J., eds.: Current research on geology applied to mineral deposits. *Univ. Granada*: 323-325.
- Jébrak, M.; Hernández, A.M. (1995). *Mineral. Deposita*, 30: 413-423.
- Kretz, R. (1983). *Amer. Mineral.*, 68: 277-279.
- Leutwein, F.; Saupé, F.; Sonet, J.; Bouyx, E. (1970). *Geol. Mijnb.*, 49: 297-304.
- Nägler, T.F.; Schäfer, H.-J.; Gebauer, D. (1992). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 789-795.
- Penha, M.H.; Arribas, A. (1974). *Bol. Geol. Min. Esp.*, LXXXV: 271-273.
- Puche, O. (1989). *Tesis Doctoral. Universidad Politécnica*. Madrid. 472 pg.
- Quintero, I. (1965-70). *IGME*. Inéditos.
- Saupé, F. (1967). *Mineral. Deposita*, 2: 26-33.
- Saupé, F. (1973). *Mém. Sci. Terre*, 29: 342 pg.
- Saupé, F. (1990). *Econ. Geol.*, 85: 482-510.
- Villaseca, C.; Eugercios, L.; Snelling, N.; Huertas, M.J.; Castellón, T. (1995). *Rev. Soc. Geol. Esp.*, 8 (3): 137-148.