

Geo-Temas



Volumen 16 (1)

IX Congreso Geológico de España



Universidad
de Huelva



Instituto Geológico
y Minero de España



Geo-Temas es una publicación de carácter no periódico en la que se recogen los resúmenes extensos de las comunicaciones presentadas en los Congresos Geológicos que celebra cuatrienalmente la Sociedad Geológica de España, así como en otros congresos, jornadas y simposios de carácter científico y organizadas por las comisiones de la SGE u otras asociaciones mediante convenios específicos. Los organizadores de cada reunión son los responsables de la obtención de los fondos necesarios para cubrir en su totalidad los gastos de edición y difusión del correspondiente número de Geo-Temas. Al no constituir una publicación de carácter periódico, Geo-Temas es distribuida exclusivamente a los inscritos en los actos a los cuales va dirigida la edición, reservándose un cierto número de ejemplares para la distribución por parte de la SGE.

La SGE no se hace responsable de las opiniones vertidas por los autores de los artículos, siendo por tanto ésta responsabilidad exclusiva de los respectivos autores.

La propiedad intelectual queda a plena disposición del autor de acuerdo con las leyes vigentes. queda prohibida la reproducción total o parcial de textos e ilustraciones de esta revista con fines comerciales sin autorización escrita de la SGE o de los autores. Se permite sin necesidad de autorización la generación de separatas para uso de los autores y la reproducción con fines docentes.

EDITOR PRINCIPAL

Juan Antonio Morales González

Departamento de Geología, Universidad de Huelva, 21007 Huelva (España)

Tel: +34 959 219 815; e-mail: jmorales@uhu.es

EDITORES ADJUNTOS

Luis M. Nieto Albert

Facultad de Ciencias Experimentales
Universidad de Jaen
Campus Universitario "Las Lagunillas"
23071 JAEN
lmnieto@ujaen.es

Carlos L. Liesa Carrera

Dpto. Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza
50009 ZARAGOZA
carluis@unizar.es

Ignacio Arenillas Sierra

Dpto. Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza
50009 ZARAGOZA
carluis@unizar.es

COMITÉ CIENTÍFICO

Pedro Alfaro (U. Alicante)
Bartolomé Andreo (U. Málaga)
Ricardo Arenas (U. C. Madrid)
Puy Ayarza (U. Salamanca)
José Miguel Azañón (U. Granada)
Beatriz Bádenas (U. Zaragoza)
Fernando Bea (U. Granada)
Elisabet Beamud (U. Barcelona-CSIC)
José Borrego (U. Huelva)
Amelia Calonge (U. Alcalá)
M^a. Luisa Calvache (U. Granada)
Ramón Carbonell (CSIC)
Rosa M^a. Carrasco (U. Castilla la Mancha)
Antonio Casas (U. Zaragoza)
Antonio Castro (U. Huelva)
José M^a Cebriá (CSIC)
Juan Carlos Cerón (U. Huelva)
Ferrán Colombo Piñol (U. Barcelona)
Ana Crespo (U. Granada)
Manuel Díaz Azpiroz (U. P. de Olavide)
Jesús Díaz Curiel (U. P. Madrid)
Fernando Díaz del Olmo (U. Sevilla)

Enrique Díaz Martínez (IGME)
Rubén Díez Fernández (U. Salamanca)
Carlota Escutia (U. Granada-IACT-CSIC)
Carlos Fernández (U. Huelva)
Francisco J. Fernández Rguez. (U. Oviedo)
Germán Flor Blanco (U. Oviedo)
Encarnación García Navarro (U. Huelva)
Joaquín García-Sansegundo (U. Oviedo)
Jacinta García Talegón (U. Salamanca)
Juan Gómez-Barreiro (U. Salamanca)
José Luis González (Dpto. Seg. Nacional)
José Antonio Grande Gil (U. Huelva)
Albert Griera (U. A. Barcelona)
Nemesio Heredia Carballo (IGME)
Nadia Herrero (Generalitat de Cataluña)
Pedro Huerta (U. Salamanca)
María José Huertas (U. C. Madrid)
María José Jurado (ICTJA-CSIC)
Emilia H. Lopera Pareja (CIEMAT-CSIC)
Sergio Llana Fúnez (U. Oviedo)
Domingo Martín Sánchez (U. P. Madrid)
Jesús Martínez Frias (U. C. Madrid -CSIC)

Rosa M^a. Mateos (IGME)
José Jesús Martínez Díaz (U. C. Madrid)
Eduardo Mayoral Alfaro (U. Huelva)
Pilar G. Montero (U. Granada)
Juan A. Morales González (U. Huelva)
Belén Oliva (U. A. Madrid)
Alberto Pérez López (U. Granada)
Rafael Pérez López (U. Huelva)
Isabel Rábano (IGME)
Antonio Rodríguez Ramirez (U. Huelva)
Francisco Rodríguez Tovar (U. Granada)
Joaquín Rodríguez Vidal (U. Huelva)
Gabriel Ruiz de Almodóvar
Pere Santanach (U. Barcelona)
María Santisteban Fernández (U. Huelva)
Esther Sanz (U. C. Madrid)
Rosa Tejero (U. C. Madrid -IGEO, CSIC)
Teresa Valente (U. do Minho)
Blas Valero (IPE-CSIC)
Juan Carlos Vera Rodríguez (U. Huelva)
Fermín Villarroya Gil (U. C. Madrid)
Carlos Villaseca González (U. C. Madrid)

SEDE EDITORIAL

Sociedad Geológica de España:

Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. Plaza de la Merced, s/n. 37008 Salamanca, España.

<http://www.sociedadgeologica.es>

Imagen de portada: Acantilados de Playa de Castilla, Costa oriental de Huelva.
Fotografía de Francisco M. Alonso Chaves.

Geo-Temas



IX Congreso Geológico de España
Huelva, Septiembre 2016

Editores:

Juan A. Morales González
Berta M. Carro Flores
Aguasanta Miguel Sarmiento
Manuel A. Camacho Cerro

Vol. 16 (2016)

<i>Caracterización hidroquímica e isotópica preliminar del agua drenada por los principales manantiales de los acuíferos carbonáticos de las sierras Tejeda, Almijara, Guájares y Albuñuelas (Provincias de Málaga y Granada).</i>	371
J. Prieto, B. Andreo, J.J. Durán, L. Fernández y M. Mudarra	
<i>Unidades hidroestratigráficas e hidrogeología del manantial de Playa Chorrillos (Región de Atacama, Chile).</i>	375
C. Guerrero, T. Izquierdo y M. Abad	

Mineralogía.

<i>Depósitos epitermales encajados en rocas volcánicas del SE de España: ¿Siempre derivados de azufre de origen magmático?</i>	379
J. Carrillo-Rosúa, I. Esteban-Arispe, S. Morales-Ruano, A. J. Boyce y F. Velasco	
<i>Formación de fosfatos en suelos en ambiente antártico: Estudio de un perfil en la Isla Media Luna (archipiélago de las Shetland del Sur).</i>	383
M. Pelayo, J. López-Martínez, T. Schmid, J. Díaz-Puente, M. Rodríguez-Rastrero y M.J. Sierra	
<i>Opaline chert nodules in maar lake sediments from Caldes de Malavella (La Selva Basin, NE Spain).</i>	387
J. Miró, J.D. Martín-Martín, J. Ibáñez, P. Anadón, O. Oms, J. Tritlla y M.A. Caja	
<i>Patrones de tierras raras y estudio isotópico preliminar del caolín asociado a un paleosuelo laterítico del suroeste peninsular.</i>	391
J.C. Fernández-Caliani y M. Cantano	

Petrología Ígnea y Metamórfica.

<i>Composición y origen de los roques centrales de la Caldera de Taburiente (La Palma, Islas Canarias): restos de láminas deslizadas.</i>	395
R. Casillas, J. De la Nuez, C. Fernández y J.R. Colmenero	
<i>El Complejo Lóbulo-Hialoclastítico Traquítico de la Caldera de Taburiente (La Palma, Islas Canarias).</i>	399
R. Casillas, J. De la Nuez, J.R. Colmenero y C. Fernández	
<i>Caracterización textural y origen de la brecha de Salinas, centro- oeste de la isla de Fuerteventura, Islas Canarias.</i>	403
A. Claro y C. de Ignacio	
<i>Caracterización geoquímica del complejo lóbulo-hialoclastítico submarino de la Caldera de Taburiente (La Palma, Islas Canarias).</i>	407
J. De la Nuez, R. Casillas, M.L. Quesada, C. Fernández y J.R. Colmenero	
<i>Geoquímica de roca total y fábricas de deformación del olivino en xenolitos mantélicos del NE de España: claves para la evaluación de la petrogénesis y la deformación del manto litosférico.</i>	411
G. Galány M. Fernández-Roig	
<i>Edad y contexto geodinámico del magmatismo básico Ordovícico del Sistema Central Español.</i>	415
D. Orejana, C. Villaseca y E. Merino Martínez	
<i>Las micas blancas del manto del Veleta (cordillera Bética, España).</i>	419
Á. Santamaría-López y M.D. Ruiz-Cruz	
<i>Evolution of the composition of magmas under fractional crystallization: a thermodynamic study.</i>	423
M. Garcia-Arias and I.F. Blanco-Quintero	
<i>The Ollo de Sapo gneiss: petrology, geochemistry, partial melting.</i>	427
M. Garcia-Arias, L.G. Corretgé and I.F. Blanco-Quintero	
<i>Relaciones entre rocas volcánicas y plutónicas en el distrito minero de Riotinto, Faja Pirítica Ibérica, España.</i>	431
T. Donaire, M. Toscano y E. Pascual	
<i>Revisión de la geocronología U-Pb de las carbonatitas del NW de Fuerteventura: nuevos datos e implicaciones geológicas.</i>	435
C. de Ignacio, J.I. Gil Iburguchi, M. Muñoz, J. Sagredo y M.E. Sánchez Lorda	

Depósitos epitermales encajados en rocas volcánicas del SE de España: ¿Azufre siempre derivado de una fuente magmática?

Epithermal volcanic-hosted deposits from SE Spain: ¿always derived from a magmatic sulfur source?

J. Carrillo-Rosúa^{1,2}, I. Estaban-Arispe³, S. Morales-Ruano^{2,3}, A. J. Boyce⁴ y F. Velasco⁵.

1 Dpt. de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Fac. de Ciencias de la Educación, Campus Universitario de Cartuja, Universidad de Granada, 18071 Granada (Granada, España). fjcarril@ugr.es

2 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC). Avda. de las Palmeras Nº 4, 18100 Armilla (Granada, Spain). fjcarril@ugr.es, smorales@ugr.es

3 Dpt. de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias, Campus Fuentenueva, Universidad de Granada, 18002 Granada (Granada, España). iesteban@ugr.es, smorales@ugr.es

4 Scottish Universities Environmental Research Centre (SUERC). Rankine Avenue, Scottish Enterprise Technology Park, East Kilbride G75 0QF (Scotland, Reino Unido). Adrian.Boyce@glasgow.ac.uk

5 Dpt. de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco, 48940 (Leioa, Vizcaya, España). francisco.velasco@ehu.es

Resumen: La región metalogénica del SE de España está constituida por depósitos de metales base y Au-Ag encajados en rocas volcánicas del Mioceno (San José, Rodalquilar, Carboneras, Mazarrón –y Cartagena en parte–), algunas veces también por metasedimentos del basamento metamórfico (Sierra Almagrera, Águilas y Cartagena). El análisis de los datos mineralógicos, microtermométricos y geoquímicos de estos depósitos señala un origen para los fluidos relacionado con el magmatismo Mioceno. Sin embargo, los valores de $\delta^{34}\text{S}$ de los sulfuros indican, sorprendentemente, la existencia de azufre reducido de procedencia no magmática. Esta propuesta se apoya principalmente en el amplio rango de valores de $\delta^{34}\text{S}$ encontrado: enriquecidos hasta +12‰ en San José y hasta +28‰ en Mazarrón, empobrecidos hasta el -8‰ en Carboneras, y hasta -3‰ en Mazarrón. Esta diversidad sugiere la implicación de fenómenos atípicos de sulfato reducción en la génesis de este tipo de mineralizaciones epitermales.

Palabras clave: SE de España, yacimientos epitermales, isótopos de azufre, sulfato-reducción, metales base y metales nobles.

Abstract: The metallogenic region of southern Spain comprise epithermal, base metals- and Au-Ag- bearing deposits hosted by Miocene volcanic rocks (San Jose, Rodalquilar, Carboneras, Mazarrón and Cartagena in parte). In occasions hosted by metasediments belonging to the metamorphic basement (Sierra Almagrera, Águilas and Cartagena). The analysis of the mineralogical, microthermometric and geochemical data of these deposits, indicate a magmatic related origin of the hydrothermal fluids. However, $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfides}}$ values show, surprisingly, a non magmatic, reduced sulfur component in these hydrothermal fluids. This hypothesis is mainly supported by the great $\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfide}}$ range, enriched up to +12‰ -San José- and + 28‰ -Mazarrón-, and depleted down to -8‰ -Carboneras-, and -3‰ -Mazarrón-. This diversity suggests sulfate reduction process in the genesis of this kind of epithermal mineralizations.

Key words: SE of Spain, epithermal deposits, sulfur isotopes, sulfate-reduction, base metals and noble metals.

INTRODUCCIÓN

El sureste de España ha constituido, desde la antigüedad, una zona minera relevante y diversa, destacando en ciertos momentos históricos (comienzo del siglo XX) como uno de los núcleos productores de metales base más importantes de Europa. Asociada a este papel como fuente de recursos geológicos, ha sido objeto de numerosos estudios científicos (Friedrich et al., 1964; Morales-Ruano, 1994; Arribas et al., 1995; Carrillo-Rosúa 2005; Andreazini Sabaté et al 2015, Esteban et al., 2016 y referencias contenidas en ellos). Los yacimientos epitermales de metales base y preciosos más destacables de esta región son, de

suroeste a noreste: San José, Rodalquilar, Carboneras, Sierra Almagrera, Águilas, Mazarrón y Cartagena (Fig. 1). Dichos depósitos están mayoritariamente encajados en rocas volcánicas, han sido clasificados tradicionalmente dentro del grupo de “depósitos epitermales asociados rocas volcánicas”, respondiendo muchos de ellos a estilos híbridos de alta sulfuración (alunita-caolinita) y baja sulfuración (adularia-sericita); uno de los más importantes, el depósito de Rodalquilar es considerado en la literatura especializada como un modelo clásico del subtipo alta sulfuración (Arribas et al., 1995). Estos depósitos (a veces pequeños distritos) están formados por sulfuros cuyo azufre se supone que debe ser, originalmente, de naturaleza magmática,

aunque los mecanismos de precipitación y las condiciones redox en el ambiente de depósito pueden ser diversas (Ohmoto y Goldhaber, 1997). Sin embargo, algunos tipos encajados en rocas volcánicas, como es el caso del depósito de Zn-Pb-Cu-Ag-Fe de Mazarrón, podrían estar constituidos, al menos en parte, por azufre de origen no magmático (Esteban et al. 2016). Estos autores sugieren que una parte importante del azufre reducido necesario para la precipitación de los sulfuros, se habría originado por procesos de reducción térmica de sulfatos provenientes de la cuenca. Nuestro objetivo en este trabajo es poner de manifiesto esta fuente de azufre, de difícil encaje en modelos tradicionales de depósitos epitermales de metales base y preciosos relacionados con rocas volcánicas. Esta característica puede representar una peculiaridad geológica del contexto metalogénico del sureste español.



FIGURA 1. Localización de los principales yacimientos (y pequeños distritos) epitermales de metales base y metales preciosos del SE de España, en relación con distintos tipos de rocas volcánicas (adaptado de López-Ruiz y Rodríguez Badiola, 1980).

MARCO GEOLÓGICO

El sureste de España se caracteriza geológicamente por la evolución del orógeno Bético-Rifeño, encontrándose una serie de rocas volcánicas de diferente afinidad geoquímica, zonadas espacialmente en un estrecho corredor orientado hacia el NE (Fig. 1): rocas toleíticas, calcoalcalinas, calcoalcalinas altas en potasio y shoshoníticas, ultrapotásicas y basaltos alcalinos (de SW a NE), si bien bajo el mar su distribución es mucho mayor (López Ruiz y Rodríguez Badiola 1980; Turner et al., 1999). Entre esta diversidad, son las rocas calcoalcalinas y puntualmente las calcoalcalinas “altas” en potasio y shoshoníticas (relacionadas con los depósitos de Mazarrón y en parte de Cartagena) las que tienen encajados depósitos epitermales de metales base y Au-Ag. La edad de este magmatismo, originado en un contexto de descompresión por colapso gravitacional de la pila orogénica fruto de la convergencia entre la placa Europea y Africana, oscila entre los 14Ma y los 6Ma, coincidiendo con la máxima intensidad del magmatismo en la región (Turner et al., 1999).

En cuanto a los yacimientos no directamente encajados en rocas volcánicas (Sierra Almagrera, Aguilas y Cartagena, en parte), los materiales en los que encajan corresponden a metapelitas del basamento Paleozoico y Permotriásico de las complejos Nevado-Filábride y Alpujárride (e.g. Friedrich et al.; 1964; Morales-Ruano 1994).

MINERALIZACIONES

Los depósitos epitermales del SE no responden a un patrón único, si no que por el contrario, presentan una gran variedad en cuanto a estructuras, asociaciones minerales, tipos de alteración y secuencias paragenéticas. No obstante, comparten características comunes, tales como el predominio de sistemas de venas, generalmente rellenas de cuarzo con cantidades variables de carbonatos y barita, sulfuros de metales base (Pb, Zn, Cu) y metales preciosos. Unos son ricos en Au, como Rodalquilar, en menor medida Carboneras y algún indicio en el sector de San José (como oro nativo, electrum y telururos; estos últimos en Rodalquilar). Mientras que la Ag está presente en cantidades variables en todos los depósitos, siendo más abundante en los que predomina la esfalerita y galena. La Ag aparece como sulfosales de Bi-Ag-Pb, en cobres grises, pero también en electrum, argentita y telururos y seleniuros de Ag y como elemento menor en galena y piritita coliforme (Arribas et al., 1995; Carrillo-Rosúa, 2005; Esteban et al., 2016).

Todos los yacimientos encajados en rocas volcánicas presentan intensas alteraciones hidrotermales argílicas, con aparición de silicificaciones. Hay que destacar el desarrollo local de alteración argílica avanzada con abundancia de sulfatos de Al-Fe (alunita-jarosita), formando incluso densos entramados de venas a modo de stockwork. Estas asociaciones generalmente presentan firmas supergénicas, probablemente fruto de la superposición de etapas tardías de alteración ácida sobre los sistemas hidrotermales primarios (Arribas et al., 1995; Carrillo-Rosúa, 2005; Esteban et al., 2016).

Las características de los fluidos hidrotermales a partir de los estudios de inclusiones fluidas (IF), indican el predominio de un amplio rango de temperaturas, comprendidas fundamentalmente entre 100° y <400°C, con la mayoría alrededor de 250°C (en Mazarrón y San José, no se superan los 300°C). Por otra parte, las salinidades de los fluidos son muy variables, oscilando entre el 1 y el 55% eq. NaCl, observándose ciertas diferencias entre depósitos. En los casos de San José, Rodalquilar y Carboneras, la mayor parte de los datos se encuentra entre el 2 y el 9% eq. NaCl, mientras que en Mazarrón se sitúan entre el 10 y el 20% eq. NaCl (Morales-Ruano, 1994; Arribas et al., 1995; Carrillo-Rosúa, 2005; Esteban et al., 2015; presente estudio).

Desde un punto de vista regional, los depósitos situados al noreste son los que presentan salinidades más homogéneas y relativamente elevadas (Mazarrón: entre el 10 y 20% eq. NaCl, Esteban et al., 2016; Sierra Almagrera y Águilas: entre 2 y 23% eq. NaCl, siendo también más frecuente el intervalo entre 5 y 23% eq. NaCl). En cualquier caso, son escasos los valores de salinidad menor de 3,2% eq. NaCl (aprox. el valor característico del agua marina). De los yacimientos del distrito minero de Cartagena no hay datos disponibles.

Finalmente, en lo que se refiere a la edad de las mineralizaciones, los depósitos de San José, Rodalquilar (Arribas et al., 1995), Carboneras (Carrillo-Rosúa, 2005) y Mazarrón presentan edades similares a los de las rocas volcánicas que los encajan. En el caso de Sierra Almagrera y Águilas, depósitos que no están encajados en rocas volcánicas, se les asocia a los mismos eventos magmáticos neógenos (Morales-Ruano, 1994) si bien no existen datos radiométricos. Finalmente, para el caso del distrito de Cartagena, con estilos metalogénicos que divergen del resto, pero que también, en parte, encajan en vulcanitas miocenas, existe más controversia. Así hay autores que relacionan estas mineralizaciones exclusivamente con el evento neógeno, mientras que otros hablan de una etapa metalogénica previa de edad Triásica (Andreazini Sabaté et al., 2015).

GEOQUIMICA DE ISÓTOPOS DE AZUFRE

El rango de valores de $\delta^{34}\text{S}$ y el valor modal de los sulfuros de las mineralizaciones del SE se encuentran recogidos en la figura 2 (base de datos a partir de valores publicados y aportados en este estudio; i.e., valores correspondientes a los depósitos de San José y Carboneras). En dicho gráfico también se representa el valor de las rocas magmáticas sin alterar que oscila entre $-0,6$ y $7,3\text{‰}$ (Arribas et al., 1995) y que es apreciablemente mayor que el típico magmático de $0 \pm 2\text{‰}$ (Ohmoto y Goldhaber, 1997). Cabe señalar que las modas de todos los depósitos se encuentran entre 2 y 10‰ , y entre 6 y 10‰ los depósitos encajados solo por rocas volcánicas. Entre ellos destacan Carboneras, Mazarrón y sobre todo San José que presentan valores modales por encima del máximo determinado para el S magmático ($7,3\text{‰}$).

En el caso de Cartagena y Mazarrón, los valores $\delta^{34}\text{S}$ mínimos y máximos encontrados, son muy dispares, con razones isotópicas extremadamente enriquecidos (hasta $+37\text{‰}$ y $+28\text{‰}$, respectivamente, Friedrich et al., 1964 y Esteban et al., 2016). Por el contrario, el caso de Cartagena muestra valores $\delta^{34}\text{S}$ extremadamente empobrecidos (hasta -42‰ según Friedrich et al., 1964). Valores empobrecidos de similares características también se han detectado en el caso de Carboneras (hasta -8‰ , si bien sólo los suministra la asociación mineral de grano muy fino

analizable únicamente mediante ablación láser; valores $\delta^{34}\text{S}$ entre $-8,3$ y $1,4\text{‰}$).

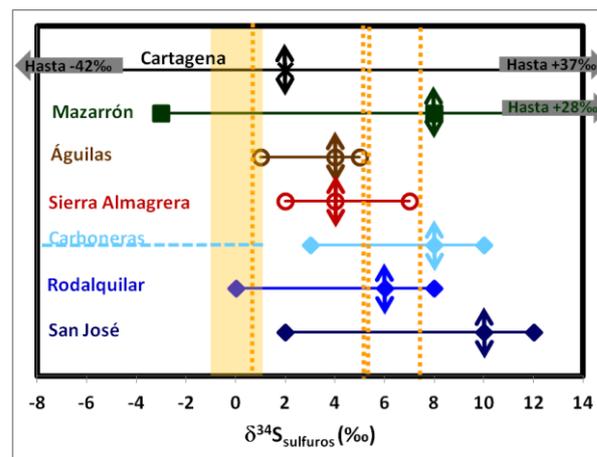


FIGURA 2. Variación de valores de $\delta^{34}\text{S}$ de sulfuros de los depósitos (o pequeños distritos mineros) del SE de España. Rombos y círculos marcan el valor mínimo, el máximo y la moda (flecha vertical). Se incluye también la signatura típica magmática (Ohmoto y Goldhaber, 1997) y los valores de $\delta^{34}\text{S}$ de rocas volcánicas calcocalcinas sin alterar del entorno de Rodalquilar (Arribas et al., 1995). De sureste a noreste los depósitos considerados son: San José ($n=48$, presente estudio), Rodalquilar ($n=59$, Arribas et al., 1995), Carboneras ($n=53+18$, el rango principal en trazo continuo y el obtenido por análisis láser en asociación de grano fino en trazo discontinuo-, este estudio), Sierra Almagrera y Águilas ($n=15$ y $n=35$, Morales-Ruano, 1994), Mazarrón ($n=50$, Esteban-Arispe et al., 2016) y Cartagena ($n=266$, Friedrich et al., 1964; Andreazini Sabaté et al., 2015).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de las características de los depósitos del SE de la península Ibérica, especialmente San José, Rodalquilar, Carboneras y Mazarrón muestra (teniendo en cuenta tipo de roca encajante, estructuras, asociaciones minerales y metales que presentan, alteraciones hidrotermales asociadas y edad) que presentan características propias de los yacimientos típicamente epitermales asociados a rocas volcánicas.

Los datos de temperatura de las IF también avalan esta opinión, si bien en la mayoría de los depósitos presentan valores que superan el típico rango epitermal (hasta los $300\text{-}350\text{°C}$, Wilkinson, 2001), indicando quizás una transición a un contexto más profundo de clara derivación magmática. En cuanto a las salinidades, todos los datos se sitúan en el intervalo más salino de los depósitos epitermales (Wilkinson, 2001), salvo Mazarrón (y en parte Águilas) que presentan valores aún más elevados. Esta característica no incluye los valores hipersalinos producto de procesos de ebullición documentados en Rodalquilar (Arribas et al., 1995) que obviamente aumentan de manera notable las salinidades originales de los fluidos hidrotermales. En cualquier caso, la información disponible permite descartar la incorporación a los fluidos de un aporte significativo de aguas meteóricas. Esto es coherente con los datos de isótopos de oxígeno disponibles, en Arribas et al. (1995) y Carrillo-Rosúa

(2005) para alguno de los depósitos. Globalmente los datos de IF parecen compatibles con fluidos de derivación magmática, marinos (compatibles con un contexto mioceno costero), si bien los de mayor salinidad sugieren la presencia de salmueras de cuenca y/ mezcla de ambos. En algunos casos la elevada salinidad de los fluidos (e.g., Mazarrón) podría explicarse atendiendo a la importante participación de fluidos de cuenca capaces de lixiviar materiales del basamento, incluidas las evaporitas triásicas (Esteban et al., 2015).

Según Ohmoto y Goldhaber (1997) una de las características de los yacimientos epitermales asociados a rocas volcánicas es la fuente magmática del azufre. Ésta fue la hipótesis asumida para Rodalquilar (Arribas et al., 1995). Sin embargo, el conjunto de los datos isotópicos para los depósitos epitermales del SE no apuntan a un origen del azufre exclusivamente magmático. Existen evidencias que avalan el desarrollo de procesos de termo sulfato reducción (TSR) de azufre sedimentario como es el caso de Mazarrón (Esteban et al. 2016), sin excluir la posibilidad de un menor aporte de S magmático (apuntado en la moda de $\delta^{34}\text{S}$). Para San José, no encontramos un margen tan amplio en los valores $\delta^{34}\text{S}$, pero la existencia de valores extremos de hasta 12‰ y una moda situada en 10‰ (no atribuible a azufre magmático), refuerza la hipótesis de la existencia de procesos TSR en la formación del depósito. También en Carboneras, con valor modal de 8‰ y máximo de 10‰, esta hipótesis podría ser adoptada, aunque la extensión de los procesos de TSR serían mucho menores. En cualquier caso, en este mismo yacimiento, la población de sulfuros con valores empobrecidos de $\delta^{34}\text{S}$ parece un producto de procesos de reducción bacteriana (BSR) compatibles con su rango de temperaturas más bajas. En Cartagena, los valores isotópicos son más extremos y complejos, aunque parecen también compatibles con la propuesta de TSR, tal como han señalado Andreazini Sabaté et al. (2015), interviniendo incluso la BSR si tenemos en cuenta los valores más empobrecidos detectados por Friedrich et al. (1964). Andreazini Sabaté et al. (2015) claramente apuntan a este tipo de procesos en un contexto de mineralización triásica e hipotéticamente miocena. Por el contrario, son los depósitos de Sierra Almagrera y Águilas, no encajados en rocas magmáticas, los que paradójicamente presentan unas signaturas isotópicas más fácilmente explicables con un esquema de derivación del azufre únicamente magmática.

Se puede concluir que en el SE de España, durante el Mioceno, la actividad magmática originó sistemas hidrotermales que dieron lugar a mineralizaciones ricas en metales base y oro-plata, formando yacimientos epitermales encajados en rocas volcánicas. Aunque estos sistemas hidrotermales parecen bastante complejos, presentan caracteres que evidencian la participación de fluidos marinos y de cuenca capaces

de lixiviar sedimentos evaporíticos del basamento. Esto explica el predominio local de los procesos de TSR para la obtención del S reducido que ha contribuido a la génesis y pueden también ayudar a dilucidar el problema del origen del importante input de Pb, Zn y Ag que contienen estas mineralizaciones.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos/grupos de investigación P05-RNM-0736, RNM 0131 y HUM 613 (Junta de Andalucía), CGL-2006-02594-BTE (MEC y FEDER) y NERC.

REFERENCIAS

- Andreazini Sabaté, A., Melgarejo, J.C., Tauler, E., Torró, L., Manteca, J.I. y Arnold, M. (2015): Ore Deposits in La Unión-Portmán District: Mineralogical and Geochemical Characterization. En: *Mineral resources in a sustainable world. 13th SGA Biennial Meeting* (A.S. André-Meyer et al. eds.). SGA, Nancy, 355-358.
- Arribas, A. Jr., Cunningham, C.G., Rytuba, J.J., Rye, R.O., Kelly, W.C., Podwysoki, M.H., McKee, E.H. y Tosdal, R.M. (1995): Geology, geochronology, fluid inclusions, and isotope geochemistry of the Rodalquilar gold alunite deposit, Spain. *Economic Geology*, 90: 795-822.
- Carrillo-Rosúa, J. (2005): *El depósito epitermal de oro-cobre de Palai-Islica (Carboneras, Almería)*. *Mineralogía, geoquímica y metalogenia*. Tesis Doctoral, U. Granada, 421 p.
- Esteban-Arispe, I., Velasco, F., Boyce, A. J., Morales-Ruano, S., Yusta, I. y Carrillo-Rosúa, J. (2016): Unconventional non-magmatic sulfur source for the Mazarrón Zn-Pb-Cu-Ag-Fe epithermal deposit (SE Spain). *Ore Geology Review*, 72: 1102-1115.
- Friedrich, G., Schachner, D. y Nielsen, H. (1964): Schwefelisotopen-untersuchungen an sulfiden aus den erzvorkommen der sierra de cartagena in Spanien. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28: 683-698.
- López Ruiz, J. y Rodríguez Badiola, E. (1980): La región volcánica del sureste de España. *Estudios Geológicos*, 36: 5-63.
- Morales-Ruano, S. (1994): *Mineralogía, geoquímica y metalogenia de los yacimientos hidrotermales del SE de España*. Tesis Doctoral, U. Granada, 254 p.
- Ohmoto, H. y Goldhaber, M.B. (1997): Sulfur and carbon isotopes. En: Barnes, H.L. (Ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 3rd ed. Wiley, New York, p. 517- 611.
- Turner, S.P., Platt, J.P., George, R.M.M., Kelley, S.P., Pearson, D.G. y Nowell, G.M. (1999): Magmatism associated with orogenic collapse of the Betic-Alboran domain, SE Spain. *Journal of Petrology*, 40: 1011-1036.
- Wilkinson, J.J. (2001): Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55: 229-272.