

FINANCIADO POR:



GOBIERNO DE ESPAÑA
Ministerio de Educación y Competitividad



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA

Financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Economía y Competitividad

geología 16
Almería

EL ORO DE RODALQUILAR

-Guía Geológica de Campo-

8 de Mayo 2016



COORDINAN:



Sociedad
Geológica
España



Ministerio de Educación y Competitividad

Instituto Geológico y Minero de España

COLABORAN:



Ayuntamiento de Níjar



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



RHyGA

Recursos Hídricos y Geología Ambiental

Grupo de Investigadores RHyGA 139



JUNTA DE ANDALUCÍA

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



EL ORO DE RODALQUILAR: "50 Aniversario del Cierre Minero" -Guía Geológica de Campo-

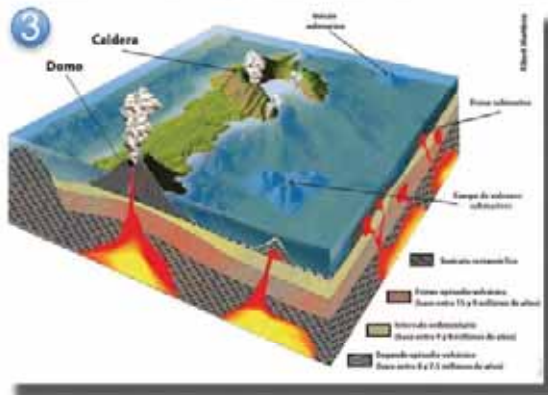
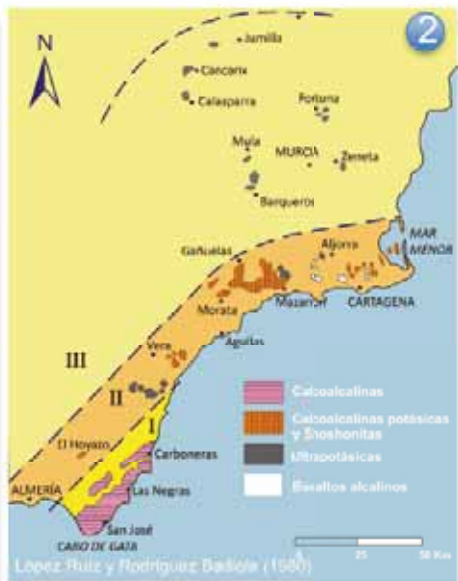
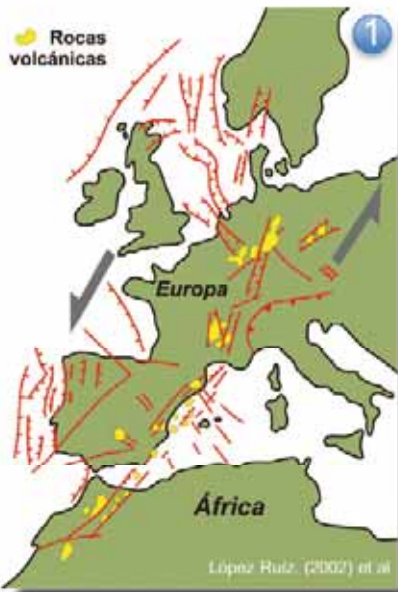
Coordina: José María Calaforra, **Edita:** Sociedad Geológica de España (2016)

Autores y Guías: José Miguel Alonso, José María Calaforra, José Miguel Cantos, Rodolfo Caparrós, Ángel Fernández-Cortés, Juan Gisbert, Manuel Guerrero, Francisco Hernández-Ortiz, Luis Molina, Francisco Navarro-Martínez, Antonio Pulido, Francisco Sánchez-Martos, Juan P. Rigol-Sánchez, Pablo Rivas, Andrés Sánchez-Picón, Fernando Sola y Ángela Vallejos.

Ejemplar gratuito. Imprime: ENARA.tel **ISBN:** 978-84-608-8084-4

1. Contexto Geológico de Rodalquilar
2. Las Rocas volcánicas de "El Cinto"
3. La Caldera volcánica de Rodalquilar
4. Hidrotermalismo Epitermal y "*stockwork*"
5. El Origen del Oro
6. Los otros Minerales de la Caldera
7. La Extracción del Oro: cianuración
8. La Minería del Oro. Primer periodo: Minería privada (1883-1939)
9. La Minería del Oro. Segundo periodo: Minería pública (1942-1966)
10. La Minería del Oro y el Medio Ambiente
11. Bibliografía: Para saber más sobre Rodalquilar

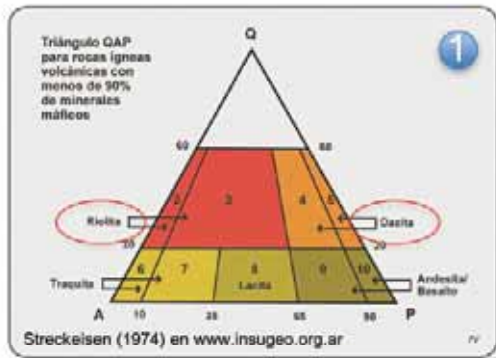
1. Contexto Geológico de Rodalquilar



LA REGIÓN VOLCÁNICA DEL SURESTE ESPAÑOL

- 1. Contexto geodinámico de la provincia volcánica del SE de España.** La fase tardía del vulcanismo se relaciona con la convergencia África-Europa, generando una zona de cizalla a gran escala que favorece el vulcanismo desde Marruecos al N de Alemania. Dentro de esta gran faja volcánica se encuentra Cabo de Gata y la Caldera del Cinto como uno de los mejores exponentes del vulcanismo reciente.
- 2. Distribución de las rocas volcánicas según su composición en el SE español.** La composición de estas rocas volcánicas varía según las zonas: desde rocas calcoalcálinas (Ca y Na dominantes), como las que se observan en el Cinto hasta rocas potásicas y ultrapotásicas (K dominante) como las del Hoyazo de Nijar al norte.
- 3. Reconstrucción de la paleogeografía del entorno de Rodalquilar en el momento de la formación de sus rocas** hace entre 11 y 8 millones de años. La mayor parte del vulcanismo se produjo de manera submarina, pero algunos cuerpos volcánicos pudieron emerger en un momento determinado. En la zona del Cinto el vulcanismo fue submarino y el agua de mar tuvo su influencia también en la mineralización. Sus rocas tienen un antigüedad de unos 10 millones de años.

2. Las rocas volcánicas de "El Cinto"



EL VULCANISMO EXPLOSIVO DE RODALQUILAR

1. Diagrama de STRECKEISEN (rocas volcánicas).

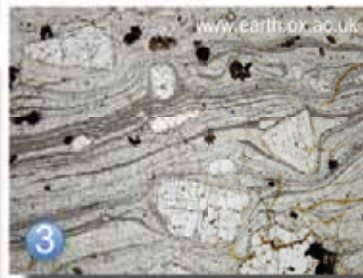
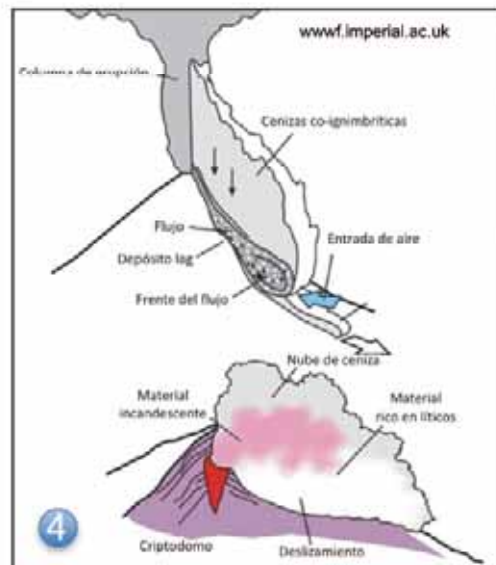
En este diagrama se representan los campos composicionales de las distintas rocas volcánicas en función de su contenido en Q: cuarzo, P: plagioclasa (anortita-Ca) y A: feldespatos alcalinos (ortosa-K y albíta-Na).

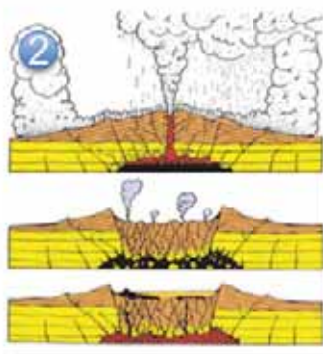
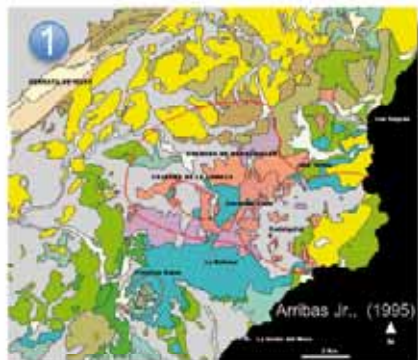
2. Las rocas volcánicas que aparecen en esta área

presentan un alto contenido en sílice (>20%) y entran dentro del grupo de las **dacitas y riolitas**. Se trata de magmas ácidos con alta viscosidad que frecuentemente se asocian a procesos volcánicos explosivos. En ocasiones las rocas de la caldera del Cinto tienen fenocristales de cuarzo, a diferencia de muchas rocas volcánicas del parque natural que no tienen esos grandes cuarzos.

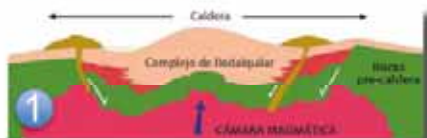
3. Las riolitas (vistas al microscopio o lupa) pueden presentar bandeados en la matriz que marcan el lento flujo de la lava. Estas bandas envuelven a grandes cristales (fenocristales) de feldespato.

4 y 5. Los depósitos ignimbriticos son muy densos y frecuentemente arrastran fragmentos magmáticos y cenizas. Son la consecuencia del colapso/dépósito de una nube y flujo piroclástico que se mueve por las laderas de los edificios volcánicos a alta temperatura originando texturas de flujo bandeado y en capas.

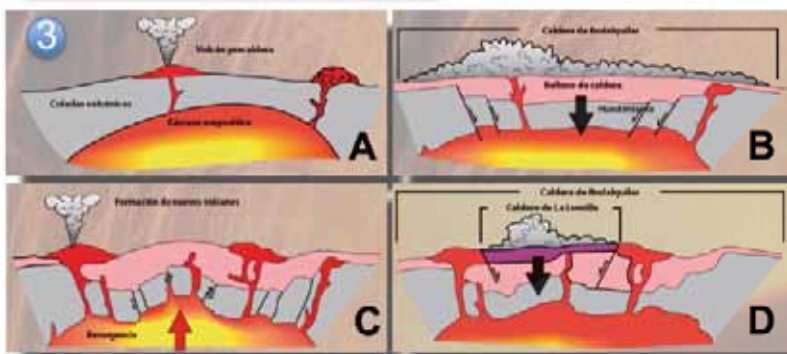




Fernández Soler (2003b)



Fernández Soler (2003a)



Basado en Arribas Jr., (1993)
La Casa de los Volcanes. Guía Ambiental

LA CALDERA DE RODALQUILAR

1. La Caldera de Rodalquilar es una estructura de colapso ovalada de unos 8 km de largo por 4 km de ancho y en su interior presenta otra caldera anidada de hundimiento, (Caldera de La Lomilla) de unos 2 km de ancho.

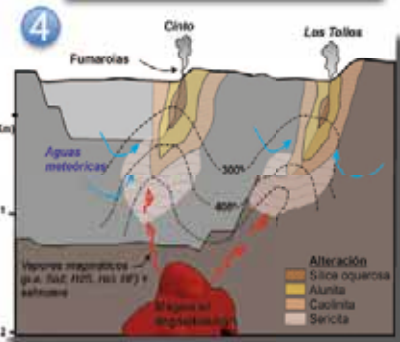
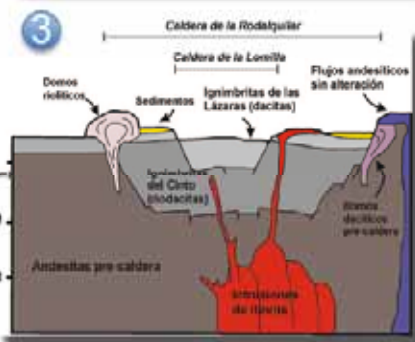
1. Origen. Se generó tras una serie de procesos eruptivos de alta explosividad que dieron lugar a diferentes unidades de rocas piroclásticas (ignimbritas).

1. Evolución de la Caldera

A - B. El colapso de la Caldera de Rodalquilar está datado alrededor de 10 Ma. Se produjo en relación con erupciones explosivas que dieron lugar a la emisión de la "Ignimbrita del Cinto".

C. Tras el colapso de la caldera de Rodalquilar, se produjo una etapa de resurgencia magmática, repitiéndose el proceso de colapso de la caldera y originando la caldera interna de La Lomilla y la "Ignimbritas de las Lázaras".

D. La actividad magmática fue cesando y la caldera fue quedando enterrada al menos parcialmente por los sedimentos marinos del Mioceno superior hace 5 Ma. Posteriormente se inició su erosión hasta la configuración actual, difícilmente identificable si no es con fotografía aérea.



3 y 4: Modificado de Arribas et al. (1995)

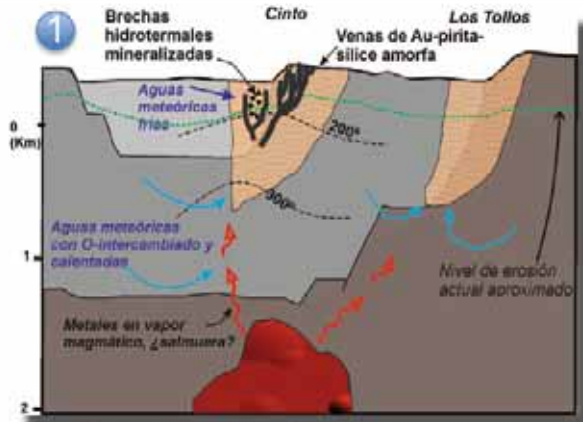


EL EPITERMALISMO DE LA CALDERA: ALTERACIONES HIDROTHERMALES

Se consideran depósitos o alteraciones epitermales cuando estos se producen a baja profundidad, hasta unos 2 km. Frecuentemente se asocian con ascenso de agua caliente (hidrotermalismo) y zonas volcánicas como las de la caldera del "Cinto".

1. Las rocas volcánicas de Cabo de Gata se alteran por los fluidos hidrotermales y en ocasiones es muy difícil identificar su textura original.
2. Los minerales típicos de las alteraciones hidrotermales (alunita, caolinita) se ven en el campo y también se pueden detectar con imágenes de satélite (Caldera del Cinto y Los Tollos, en morado).
3. y 4. Casi todas las rocas junto a los bordes de las calderas volcánicas están alteradas hidrotermalmente. Hace 10 Ma se desarrolló un sistema magmático hidrotermal de alta sulfuración (con alto contenido en ácido sulfúrico) que produjo una intensa alteración de las rocas volcánicas preexistentes.
5. Anillos de Liesegang. Los procesos de saturación y precipitación mineral de los fluidos hidrotermales ascendentes a través de la roca porosa y fracturada genera en ocasiones espectaculares formas anulares de precipitados bandeados, los anillos de Liesegang.
6. El "Stockwork" (malla de fracturas y venas rellenas de minerales) es el producto de la intensa alteración hidrotermal sufrida por la roca volcánica.

5. El Origen del Oro



Modificado de Arribas et al. (1995)



J.M. Santos



Filón mineralizado de calcedonia negra bandeada (Arribas, 1998)

Oro nativo en venas y huecos

Foto de detalle

Foto de detalle

Oro nativo y pirita diseminados



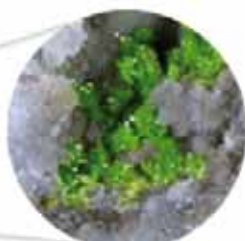
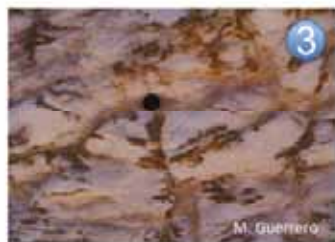
Arribas (1998)



M. Guerrero

EL ORIGEN DEL ORO DE RODALQUILAR

1. Los yacimientos de oro (Au) de Rodalquilar tienen su origen último en la presencia de una intrusión magmática diorítica a poca profundidad (3-4 Km) que proporcionó fluidos hidrotermales ácidos.
1. El Au y otros elementos (Cu, Te, Sn, Ag, etc.) fueron lavados (lixiviados de la roca) por fluidos hidrotermales ascendentes de origen magmático extremadamente ácidos (pH < 2) ricos en S y SiO₂ y a alta temperatura (200-400°).
1. Los fluidos cargados de metales ascendieron hacia la superficie a través de fracturas y zonas alteradas donde al enfriarse precipitaron los metales que transportaban. Las zonas de ascenso alteradas y mineralizadas aparecen en ocasiones como filones, denominados diques de explotación por los mineros.
2. El Oro se depositó en pequeñas venas o diseminado dentro de filones de sílice amorfa (calcedonia). Estos filones tienen un aspecto brechoide y constituyen los planos de fracturación por donde circularon los fluidos hidrotermales.



NO SOLO HAY ORO EN RODALQUILAR...

La riqueza mineralógica de Rodalquilar es realmente impresionante. Incluso existen minerales que llevan su propio nombre. Utiliza tu lupa para poder identificarlos.

1. **Goetita FeO(OH) .** Es un oxi-hidróxido de hierro, que frecuentemente procede de la oxidación de otros minerales de hierro. En el Cerro del Cinto aparece en su variedad irisada, de múltiples reflejos, tapizando las fracturas.
2. **Jarosita $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})$.** Es un sulfato de hierro. Debe su nombre al barranco del Jaroso en Cuevas de Almanzora donde fue inicialmente descrita. Se hizo famosa porque fue también hallada en Marte. Se trata de un mineral muy frecuente en Rodalquilar. Aparece en microcristales de color ambar.
3. **Alunita $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$.** Un sulfato de aluminio. masas blancas o amarillentas con textura terrosa microcristalina, forma parte del "stockwork" junto a la Jarosita. Se asocia a la alteración de los feldespatos presentes en las rocas volcánicas de Rodalquilar.
4. **Calcantita $\text{Cu}(\text{SO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.** Las alteraciones de los sulfuros de cobre producen sulfatos como la calcantita, de un color verde-azulado intenso. Se puede ver como inflorescencias que tapizan las rocas ricas en cobre.
5. **Rodalquilarita $\text{H}_3\text{Fe}_2(\text{TeO}_3)_4\text{Cl}$.** Es un telurito de hierro. Uno de esos minerales "raros" que tenemos en la provincia de Almería. Se asocia a todo el lixiviado ácido que acompañó a la precipitación del oro. Es posible que lo encuentres en pequeños huecos entre el cuarzo o calcedonia (SiO_2 amorfo). Utiliza la lupa...



(en Hernández-Ostiz, 2004)

1. Instalación metalúrgica de cianuración de "Minas de Rodalquilar S. A." (Planta Dorr. año 1935)

El proceso completo de extracción del oro (Au) constaba de: 1) trituración y molienda de las rocas con cuarzo aurífero, 2) humectación y cianuración dinámica en tanques (disolución del oro), 3) precipitación del oro mediante zinc en virutas, 4) afinado mediante productos químicos y 5) fundición en hornos (oro fundido en lingotes).

El proceso químico conocido como "cianuración" se fundamenta en la solubilidad del oro en presencia de los cianuros alcalinos (Na o K), cuando hay presencia de oxígeno u otro oxidante según la ecuación de Elsner:



El cianuro sódico/potásico de oro obtenido se mezcla con Zinc para su precipitación en polvo de oro y posterior fusión en lingotes



2. Planta Denver de Rodalquilar para la extracción del oro

Planta de cianuración utilizada desde 1956 a 1966 por la Empresa Nacional Adaro. Con características técnicas muy similares a la Planta Dorr pero con una capacidad 10 veces superior y utilizando zinc en polvo. En su día fue la instalación metalúrgica aurífera de sus características más grande de toda Europa Occidental.

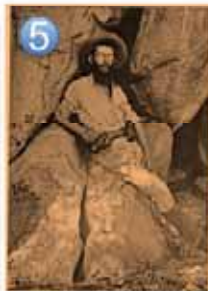
La aparición de esta nueva tecnología, hizo rentables los yacimientos de oro que antes no lo eran por el método tradicional de amalgamación, y respondía a la necesidad de un método capaz de disolver el oro cuando se presentaba combinado con otros metales (como es el caso de Rodalquilar).

Para la obtención de un kilo de oro mediante este cianuración son necesarios entre 30 a 40 kilos de cianuro, debido a que el cianuro también se combina con otros elementos además de con el oro (cobre, cinc, hierro, níquel, cadmio y plata).



<http://www.culturandaluca.com/>

8. Minería del Oro: Primer Periodo



LA MINERÍA PRIVADA (1883-1939)

1. **La minería del oro** se inicia en Rodalquilar con un hallazgo en la mina de las Niñas (1) de la que se extraía galena argentífera (1883). Comienza un periodo especulativo, de minería «de papel».
1. a 4. **Juan López Soler (2)** es el protagonista de la etapa de visionarios locales. Funda la empresa Minas Auríferas de Rodalquilar (MARSAs), pone en funcionamiento la mina María Josefa (1915) y la planta de amalgamación del mismo nombre (1925) (3). También participa en Explotaciones y Minas Auríferas de Rodalquilar (EMARSAs), que instala su propia planta de amalgamación, conocida como planta de Abellán (1929) (4). Ambas iniciativas empresariales y metalúrgicas fracasan.
5. a 7. **Minas de Rodalquilar, S.A.** se funda en 1928. El núcleo accionario pertenece al Banco de Vizcaya. En su consejo de administración aparece como asesor técnico Leopold Kessler (5), prestigioso ingeniero de minas. MRSA compra o arrienda derechos mineros, y centra su producción en la mina Consulta (6), junto a la que instala en 1930 una planta de cianuración, conocida como planta Dorr (7). La llegada de MRSA supone la fundación del pueblo de Rodalquilar y una gestión profesional que facilita el éxito empresarial. También es una época de gran impacto de la silicosis, por las duras condiciones de laboreo. MRSA sigue en activo hasta 1939, aunque, durante el periodo de la Guerra Civil, con cierta tutela de los Sindicatos Mineros.



LA MINERÍA PÚBLICA (1942-1966)

1. **Tras la Guerra Civil**, el Estado se incauta de todas las propiedades mineras del distrito de Rodalquilar. En 1942, el Instituto Nacional de Industria se hace cargo de las minas. En 1943 el INI encomienda a la Empresa Nacional Adaro esas tareas.
2. y 3. **En una primera etapa**, de 1943 a 1956, Adaro basa su explotación en la infraestructura metalúrgica de MRSA (la planta Dorr) En esta etapa, Adaro aumenta el número de minas en explotación y amplía los sistemas de transporte para llevar el mineral a la planta (transporte de vagonetes, plano inclinado del 40 (2), mejora de la carretera de San Diego) (3). Mejora también la situación sanitaria de los mineros, al introducirse el chorro de agua en los martillos neumáticos de arranque.
4. a 6. **La segunda etapa**, de 1956 a 1966, constituye un auténtico cambio de escala en la minería de Rodalquilar. Comienza la explotación a cielo abierto del Cerro del Cinto (4) y (5), entra en funcionamiento la planta de cianuración Denver, y el pueblo de Rodalquilar conoce una notable expansión urbanística con la construcción de las Casas Nuevas (6). Es el máximo esplendor de Rodalquilar desde su fundación. En 1966 se produce el cierre minero y el pueblo queda prácticamente deshabitado.

Entre 1988 y 1990, la multinacional St. Joe reaprovecha estériles de las minas y trata mineral de la mina Transacción en su instalación metalúrgica de lixiviación junto al cortijo del Fraile.



- 1. y 2. Las actividades mineras suelen generar** notables impactos en el medio y Rodalquilar no es una excepción. La afección al medio es especialmente visible durante siglos, como ocurre en el frente de arranque y vaciadero de la Mina de Alumbres (siglo XVI) en la ladera Este del Cinto.
- 3. y 4. Los procesos extractivos** y, sobre todo, los de la **metalurgia** afectan al medio abiótico y biótico. En vegetales, suelos, sedimentos, en los lechos que integran la red de drenaje (**3**: lixiviado de residuos de la planta Denver) y en las aguas subterráneas (**4**: restauración de antiguas norias) se detectan anomalías en As–Bi–Sb–Se–Sn–Te y en Cd–Cu–Hg–Pb–Zn. El de mayor concentración es el Arsénico.
- 5. y 6. Se han medido concentraciones de arsénico** comprendidas entre 61 y 1.410 ppm en los residuos mineros, suelos y sedimentos fluviales del Valle de Rodalquilar (**5**: Balsa de residuos de la Planta Denver en 1964 y **6**: en el 2010 con una repoblación de pinos sobre los estériles). Concentraciones de plomo (entre 131 y 8744 ppm), cobre (entre 54 y 957 ppm) y zinc (entre 70 y 1870 ppm). También en las aguas subterráneas del valle se midieron concentraciones de 0,224 mg/L de As, de Pb (0,022 mg/L), Sb (0,006 mg/L), Ni (0,650 mg/L), Se (0,025 mg/L), Fe (76,3 mg/L) y Mn (1,75 mg/L). Muchos de estos elementos químicos ya estaban de forma natural en el entorno de Rodalquilar, el hombre los ha ido concentrando.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. **Arribas Jr. A. (1993)** Mapa Geológico del Distrito de Rodalquilar (1: 25.000). Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
2. **Arribas Jr. A., Rytuba J., Rye R., Cunningham C., Podwysocki M., Kelly W., Arribas A. Sr., McKee E., Smith J. (1989)**. Preliminary study of the ore deposits and hydrothermal alteration in the Rodalquilar Caldera Complex, Southeastern Spain. United States Department of the Interior, Geological Survey, Open-File Report 89-327.
3. **Arribas Rosado A., Arribas Moreno, A. (1995)**. Caracteres metalogénicos y geoquímica isotópica del azufre y el plomo de los yacimientos minerales del sureste de España. *Boletín Geológico y Minero*, 106(1): 23-62.
4. **Arribas Jr. A., Cunningham C., Rytuba J., Rye R., Kelly WC, Podwysocki M., McKee E., Tosdal R. (1995)** Geology, geochronology, fluid inclusions, and isotope geochemistry of the Rodalquilar gold alunite deposit, Spain. *Economic Geology*; 90:795-822. 39 pp.
5. **Choe E., Van der Meer F., Van Ruitenbeek, Van der Werff H., de Smeth K., Kim W.K. (2008)**. Mapping of heavy metal pollution in stream sediments using combined geochemistry, field spectroscopy, and hyperspectral remote sensing: A case study of the Rodalquilar mining area, SE Spain. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3222-3233.
6. **Demoustier A., Castroviejo, R., Charlet (1998)**. Clasificación textural del cuarzo epitermal (Au-Ag) de relleno filoniano del área volcánica de Cabo de Gata, Almería. *Boletín Geológico y Minero*, 109(5): 449-468.
7. **Doménech L.M., Navarro A., Viladevall M., Mendoza J.L., Hernández F. (2005)**. Efectos ambientales de la minería del Au en el área de Rodalquilar (Almería). VI SIAGA, I: 1353-1364.
8. **Fernández Soler, J.M. (2003a)**. El Complejo Volcánico de Cabo de Gata. En "Geología del entorno árido almeriense. Guía didáctica de campo". Consejería de Medio Ambiente Junta de Andalucía, 29-31.
9. **Fernández Soler, J.M. (2003b)**. Los episodios volcánicos. Origen de los procesos magnéticos y formas volcánicas. En "Geología del entorno árido almeriense. Guía didáctica de campo". Consejería de Medio Ambiente Junta de Andalucía, 25-28.
10. **Gil Picón, E. (2002)**. Rodalquilar. Testimonio de su pasado. Junta de Andalucía-Consejería de Medio Ambiente
11. **Hernández Ortiz, F. (2002)**. El oro y las minas de Rodalquilar. Años 1509-1990. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente. Madrid, Grafistaff S.L., 263 pp.
12. **Hernández Ortiz, F. (2004)**. Rodalquilar: Historia Gráfica. Editorial G.B.G., Barcelona, 96 pp.
13. **Hernández Ortiz, F. (2005)**. Rodalquilar, el oro del Cabo de Gata: Historia. *Bocamina* 15: 18-30.
14. **Hernández Ortiz, F. (2008)**. La minería del oro de Rodalquilar durante el siglo XX: La estructura empresarial y su influencia en el éxito minero". *Boletín Geológico y Minero*, 119, 343-360.
15. **López Ruiz J, Cebriá J.M. y Doblas M. (2002)**. Cenozoic volcanism I: the Iberian peninsula. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.), Geol. Soc. (London), 417-438.
16. **López Ruiz J. y Rodríguez-Badiola, E. (1980)**. La región volcánica neógena del sureste de España. *Estudios Geol.*, 36: 5-63.
17. **López Soler, J. (2014)**. El oro de España en la región de Cabo de Gata. Edición de un manuscrito inédito de Juan López Soler (1886-1943). Estudio introductorio de María Luisa Andrés Uroz, Francisco Hernández Ortiz y Andrés Sánchez Picón. Universidad de Almería.
18. **Moreno T., Oldroyd A., McDonald I., Gibbons W. (2007)**. Preferential Fractionation of Trace Metals-Metalloids into PM10 Resuspended from Contaminated Gold Mine Tailings at Rodalquilar, Spain. *Water Air Soil Pollut*, 179: 93-105.
19. **Navarro A., Doménech L. (2010)**. Arsenic and metal mobility from Au mine tailings in Rodalquilar (Almería, SE Spain). *Environ. Earth Sci*, 60: 121-138.
20. **Oyarzun R., López García J.A. (2009)**. El oro de Rodalquilar. Geología GEMM (Grupo de Estudios en Minería y Medio Ambiente). Serie distritos Mineros 1.
21. **Oyarzun R., Cubas P., Higuera P., Lillo J., Llanos W. (2009)**. Environmental assessment of the arsenic-rich, Rodalquilar gold-(copper-lead-zinc) mining district, SE Spain: data from soils and vegetation. *Environ. Geol.* 58: 761-777.
22. **Rigol Sánchez J.P. (2000)**. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección en Exploración Minera. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 414 pp.
23. **Rytuba J., Arribas Jr. A., Cunningham C., McKee E., Podwysocki M., Smith J., Kelly W., Arribas A. (1990)**. Mineralized and unmineralized calderas in Spain: Part II, evolution of the Rodalquilar caldera complex and associated gold-alunite deposits. *Mineral. Deposita*, 25: 29-35.
24. **Sánchez Picón A. (2015)**. La quimera del oro. Visionarios locales, negocio privado e inversión pública en unas minas del sureste de España (Rodalquilar, 1883-1966)". *Revista de Historia Industrial*, N.º 58. Año XXIV. 2015.
25. **Van der Meer F. (2006)**. Indicator kriging applied to absorption band analysis in hyperspectral imagery: A case study from the Rodalquilar epithermal gold mining areas, Se Spain. *Int. J. Appl. Earth Observation and Geoinformation*, 8: 61-72.



Almería 8 de Mayo de 2016

