

El Oro de Rodalquilar

Geoguías GEMM
Serie Distritos Mineros 1



Introducción

El distrito minero aurífero de Rodalquilar es único en la península ibérica por sus características geológicas. El cuerpo mineralizado principal del Cinto es un yacimiento epitermal de alta sulfurización asociado a caldera volcánica. El distrito se localiza en la Provincia de Almería, dentro de los terrenos del Parque Natural de Cabo de Gata - Níjar. El Parque, declarado como tal en 1987, recibió además el status de Reserva de la Biosfera por parte de la UNESCO en 1997 y tiene unos 457 km² de tierras y costas protegidas. Esta reserva se encuentra en la región más árida de Europa. La zona posee además una alta diversidad florística que constituye una prioridad para la conservación en Europa. El clima es de tipo Mediterráneo semi-árido, con precipitaciones de unos 200 mm y una temperatura media de 18°C. Bajo un punto de vista fisiográfico el distrito de Rodalquilar se localiza en un sector caracterizado por escarpados montes que sin embargo no superan los 360-380 m de altitud. Los valles se juntan para formar grandes ramblas que permanecen secas la mayor parte del tiempo aunque pueden inundarse durante episodios tormentosos. El clima semi-árido de la región puede haber empezado hace unos 4500 años, con una transformación importante del paisaje que se refleja en las condiciones esteparias que se observan hoy en día.

La geología de la región incluye un basamento constituido por los Complejos Nevado Filábrides (Precámbrico/Paleozoico a Triásico) y Alpujárrides (Pérmico a Triásico), y una cobertura sedimentaria del Mioceno-Plioceno formada por las rocas de la Cuenca de Sorbas y el Campo de Níjar (P1-3). Otros elementos geológicos de la zona incluyen el bloque tectónico de la Serrata de Níjar (Mioceno Superior a Plioceno) y el bloque volcánico de Cabo de Gata (Mioceno Medio a Superior) (P4-6).



P1, contacto entre gneisses del basamento (G) y conglomerados de la Cuenca de Sorbas (C). Carretera N340a, cerca de la salida 514 de la autovía de Murcia a Almería (A7).



A la izquierda P2, esquistos del Complejo Nevado Filábrides en la Sierra Alhamilla. Carretera AL3107 de Lucainena de las Torres a Níjar. A la derecha P3, pliegue en filices en la Sierra de Alhamilla, Complejo de Alpujárrides. Carretera de Níjar a Huebro.



Camino entre Cabo de Gata (pueblo) y San José por la costa (en parte carretera AL3115). Arriba a la izquierda P4, el Cabo de Gata y las salinas. A la derecha P5, andesitas masivas en el faro del Cabo de Gata. Abajo a la izquierda P6, ignimbrita de Cala Rajá. A partir del punto más alto la pista a San José está cerrada a los coches.

Geología y yacimientos minerales del distrito minero de Rodalquilar

El marco geológico del distrito de Rodalquilar incluye rocas del Mioceno consistentes en domos, ignimbritas, tobas, rocas volcánicas masivas, y un complejo de calizas arrecifales del Messiniense. La actividad más relevante se produjo hace unos 9 Ma e implicó la emisión de las ignimbritas del Cinto (P8), la formación de una gran caldera, el emplazamiento de domos félsicos anulares (P9), la emisión de nuevas ignimbritas (Las Lázaras) (P10) y la formación de una caldera más pequeña: la Lomilla, donde se localizan los yacimientos del Cinto. El modelo de alteración incluye núcleos de silicificación, alteración argílica avanzada (alunita y caolinita) y una alteración propilítica más externa. Los yacimientos que se formaron en la gran caldera de Rodalquilar pueden ser clasificados en dos tipos: 1. Epitermales de alta sulfurización, de Au-As, consistentes en filones y brechas (yacimientos del Cinto; caldera de la Lomilla) (P11,14). 2. Epitermales de baja sulfurización (periféricos), de Pb-Zn-Cu-(Au). A esta última categoría pertenecen yacimientos como María Josefa o Abellán (P12,13). La mineralogía primaria de los yacimientos tipo 1 consiste en oro nativo, piritita (FeS₂), enargita (Cu₃AsS₄), tenanita (Cu₁₂As₄S₁₃), tetraedrita (Cu₁₂Sb₄S₁₃), cinabrio (HgS), bismutina (Bi₂S₃), casiterita (SnO₂), galena (PbS) y esfalerita (ZnS). Por otra parte, la mineralización del tipo 2 incluye oro nativo, esfalerita, galena y calcopirita (CuFeS₂). La oxidación masiva de piritita y la subsecuente formación de soluciones ácidas hace cerca de 3 Ma causó la neoformación de caolinita y alunita sobre los antiguos conjuntos de alteración hidrotermales. Esta alteración supergénica fue acompañada por la formación de goethita y jarosita en todos aquellos sectores donde había filones o venillas con abundante piritita. Esta alteración confiere a las ignimbritas y domos un característico color blanquecino con bandas de color amarillo (jarosita: KFe₃(SO₄)₂(OH)₆) a rojizo-morado (goethita: FeOOH) (P8,11,14).

Minería y metalurgia

La minería en el Distrito de Rodalquilar se inicia hacia 1825, para Pb, Zn y Cu, y no será hasta 1864 que los mineros se dan cuenta de que además el mineral contiene oro. Operaciones mineras de la época son aquellas de Consulta, María Josefa, San Diego y Triunfo. Se trataba de operaciones a pequeña escala y el mineral era enviado a Murcia para su fundición. Hacia comienzos de la primera guerra mundial la mayor parte de la minas había cerrado. En 1925 se inició una operación minero-metalúrgica en María Josefa (**P12**) mediante amalgamación, aunque un año después y debido a problemas técnicos, la actividad cesó. Equivalente es el caso de las llamadas Minas de Abellán (**P13**) entre los años 1929-1930. La moderna minería en Rodalquilar se inicia en 1931 con capitales británicos, que permiten el diseño y operación de la primera planta de lixiviación aurífera por cianuración, construida cerca del pueblo de Rodalquilar (Planta Dorr). La planta recibía mineral de las minas Consulta, Triunfo y Mi Lucía. En 1956 la empresa española ADARO inauguraba una nueva planta de cianuración (Planta Denver) (**P15**), que en su tipo y época fue la más grande de Europa. La operación duró hasta 1966 y recibió mineral desde la mina del Cinto. Entre 1943 y 1966 ADARO extrajo alrededor de 1,6 millones de toneladas de mineral aurífero con una ley media de $3,5 \text{ g t}^{-1} \text{ Au}$. La balsa localizada a los pies de la planta Denver contiene entre unas 900.000 y 1.250.000 toneladas de residuos (**P16**). El proceso de lixiviación aurífera mediante cianuración funciona de acuerdo a la siguiente reacción química:



El principal reactivo utilizado para estos fines es cianuro de sodio (NaCN), un compuesto de elevadísima toxicidad aunque de escasa permanencia en el medio (se descompone en NH_3 y CO_2). Finalmente la recuperación aurífera en la planta Denver se realizaba mediante precipitación inducida por zinc (proceso Merrill Crowe).

En los años 1980's se exploró nuevamente el distrito debido a los elevados precios del oro (centenares de US\$ por onza de Au), esta vez con técnicas y conceptos modernos (modelo epitermal) lo que llevó a su reapertura en 1989 por parte de la empresa minera Cluff Resources - Antofagasta Holdings JV. Se explotó el sector del Cinto a cielo abierto y la operación metalúrgica se realizó mediante lixiviación (cianuración) en pila. Sin embargo, poco después la operación había cesado, dejando tras de sí una pila de unos 120.000 m³ de minerales cianurados que aun permanecen en la posición original (**P17**).

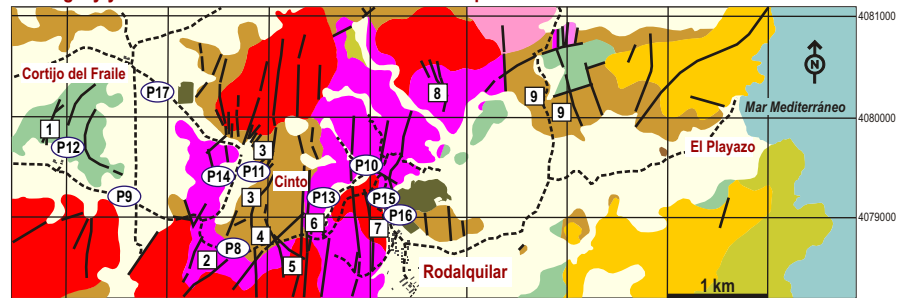


Mirador de Las Amatistas (**P7**). Al fondo (suroeste) el complejo volcánico de El Fraile. Carretera AL4200, de Los Escullos a Rodalquilar.

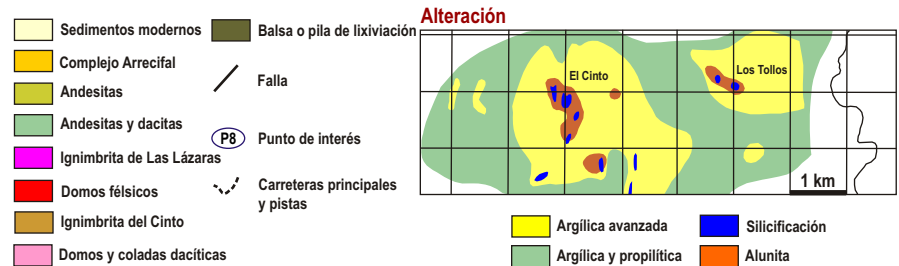


Rodalquilar (ver mapa del distrito para puntos de interés). Arriba a la izquierda **P8**, ignimbrita del Cinto. Arriba a la derecha, detalle de **P8**: ignimbrita con venillas de jarosita (colores amarillos) y goethita (color marrón-rojizo) en el túnel de entrada a San Diego. Abajo izquierda **P9**, domo en el lado sur de la misma carretera. Abajo a la derecha **P10**, ignimbrita de Las Lázaras con disyunción columnar y fuertemente triturada por fallamiento.

Geología y yacimientos minerales del distrito de Rodalquilar



Antiguas minas (□): 1) María Josefa, 2) San Diego, 3) Cinto, 4) Filón 340, 5) Mi Lucía, 6) Minas de Abellán, 7) Consulta, 8) Triunfo, 9) Los Tollos



Simplificado y modificado del Mapa Geológico 1: 25.000 del distrito de Rodalquilar (Arribas, 1993) y Arribas et al. (1995)

Marco ambiental

La actividad minera, como la mayor parte de las actividades que el hombre realiza para su subsistencia, crea alteraciones en el medio natural, desde las más imperceptibles hasta las que representan claros impactos sobre el medio en que se desarrollan. Esto nos lleva a definir el concepto de impacto ambiental de una actividad: la diferencia existente en el medio natural entre el momento en que la actividad comienza, el momento en que la actividad se desarrolla, y, sobre todo, el momento en que esta cesa. Estas cuestiones, que hace algunos años no se percibían como un factor de riesgo, hoy se contemplan con gran preocupación. Así, en el momento actual existen normativas muy estrictas sobre el impacto que puede producir una explotación minera, que incluyen una reglamentación de la composición de los vertidos líquidos, de las emisiones de polvo, de gases, de ruidos, de restitución del paisaje, etc., que ciertamente a menudo resultan muy problemáticos de cumplir por el alto costo económico que representan, pero que indudablemente han de ser asumidos para llevar a cabo la explotación.

En lo que respecta al distrito de Rodalquilar, los principales problemas minero-ambientales pueden ser resumidos de la siguiente manera (2009):

1. Altos contenidos de arsénico en las balsas y pilas.
2. Actividades agrícolas en zonas circundantes a la pila abandonada de lixiviación cianurada (Cortijo del Fraile).
3. Edificios abandonados, algunos de ellos en ruinosas condiciones.
4. Algunos pozos abiertos y galerías mineras no selladas.



Arriba **P11**, panorámica de la corta del Cinto. Observe además en la portada del tríptico las estructuras verticales con fuertes coloraciones rojas y blancas (goethita, caolinita, alunita). Abajo a la izquierda **P12**, mina abandonada María Josefa. A la derecha **P13**, antiguas instalaciones de las Minas de Abellán.



A la izquierda **P14**, filones fuertemente lixiviados y oxidados en el Cinto. A la derecha **P15**, antigua planta Denver de cianuración en tanques (al lado del pueblo de Rodalquilar).



A la izquierda **P16**, aspecto de la balsa (residuos de la planta Denver) al descubierto. A la derecha **P17**, pila de lixiviación del Cinto y una de las piscinas de almacenamiento de soluciones cianuradas.

Glosario de algunos términos utilizados en la guía

Alteración argilica avanzada: Es un tipo de alteración hidrotermal propio de niveles cercanos a la superficie. Es característica de los **yacimientos epitermales** de alta fugacidad de azufre y de oxígeno. Implica un elevado metasomatismo de H⁺, que destruye completamente los feldspatos y la sericita, dando lugar a la formación de **alunita**, acompañada por **caolinita** y sílice. Genera un importante blanqueo (*bleaching*) de las rocas, lo que facilita la exploración de los depósitos en los que está presente.

Balsa: acumulación física de forma más o menos regular de los residuos de una planta de tratamiento hidrometalúrgico de minerales.

Corta: Explotación minera a cielo abierto, normalmente de minerales metálicos. En el caso de la explotación de rocas se utiliza el término cantera.

Depósitos de caída (fall deposits) = toba: Se forman a partir de los materiales expulsados violentamente del volcán (fragmentos de pómez y/o lapilli). Carecen de laminación dentro de las capas pero se reconoce bien una cierta "estratificación". Genéricamente en el campo podemos llamar **tobas** a estas rocas.

Depósitos piroclásticos de flujo (pyroclastic flow deposits) = ignimbrita: Se originan por movimiento lateral de los piroclastos que conforman una "nube" de gas caliente y partículas en suspensión. **Ignimbrita** es un término difícil de definir por sus especiales características. En ocasiones este término ha sido utilizado en un sentido litológico, para referirse a tobas soldadas, en otras se ha utilizado en un sentido genético, refiriéndose a depósitos del tipo flujo piroclástico. La primera idea es de por sí engañosa, ya que las ignimbritas pueden presentar zonas no-soldadas. Los fragmentos pueden ser de tamaño muy variado, con pómez y otras rocas flotando en una matriz de ceniza.

Domo: Cuerpo ígneo de emplazamiento somero a superficial. Presentan forma de champiñón o bombilla. Los tipos más comunes presentan composiciones dacíticas a riolíticas.

Epitermal: El término se refiere a aquellos yacimientos hidrotermales formados a baja temperatura (< 300°C) y a relativamente poca profundidad. La mayoría de los depósitos hidrotermales de oro y de plata son epitermales y se asocian a rocas volcánicas intermedias (andesitas) y félsicas (riolitas-dacitas). Presentan alteraciones hidrotermales típicas como la silicificación intensa, argilica avanzada y propilitica.

Bibliografía principal

Arribas A (1993) Mapa Geológico del Distrito de Rodalquilar (escala 1: 25.000). Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.

Arribas AJr, Cunningham CG, Rytuba JJ, Rye RO, Kelly WC, Podwysoki MH, McKee EH, Tosdal RM (1995) Geology, geochronology, fluid inclusions, and isotope geochemistry of the Rodalquilar gold alunite deposit, Spain. Econ Geol 90:795-822.

Hernández F (2005) Rodalquilar, el oro del Cabo de Gata. Historia. Bocamina 15:18-30.

Oyarzun R, Márquez A, Ortega L, Lunar R, Oyarzún J (1995) A late Miocene metallogenic province in southeast Spain: Atypical Andean-type processes on a smaller scale. Trans Instn Min Metall (Sect B: Appl earth sci) 104:197-202.

Oyarzun R, García Romero E, López García JA, Regueiro M, Molina JA (2007) Teaching field geology in SE Spain: an alternative approach. European Geologist 24: 9-12.

Wray (1998) The impact of unconfined mine tailings and anthropogenic pollution on a semi-arid environment - an initial study of the Rodalquilar mining district, south east Spain. Environ Geochem Health 20: 29-38.

Universidad Complutense de Madrid
Facultad de Ciencias Geológicas
Roberto Oyarzun Muñoz
José Ángel López García

Y la colaboración de: Emilia García Romero,
Sol López Andrés &
Manuel Regueiro y González Barros

Universidad Rey Juan Carlos
ESCE
Francisco Javier Lillo Ramos
Iván López Ruiz-Labranderas

Aula2pontonet
www.aulados.net



Reconocimiento No Comercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. En cualquier explotación de la obra autorizada por la licencia hará falta reconocer la autoría. 2009.

GEMM: Grupo de Estudios en Minería & Medioambiente.
www.aulados.net/GEMM/GEMM.html

Foto portada: Camino a la Corta del Cinto