

Rocas volcánicas, minas de oro y plantas tenaces: Un paseo por la Caldera de Rodalquilar* (Almería, España)

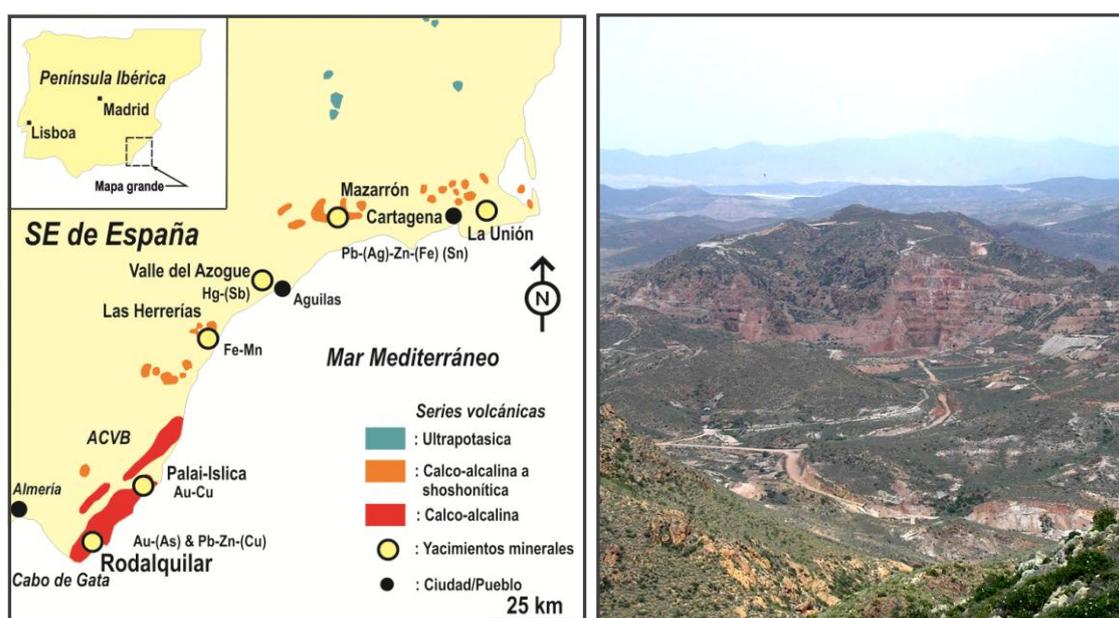
R. Oyarzun y P. Cubas

Aula2punto.net - 2021



El extremo oriental de la caldera volcánica de Rodalquilar, en primer plano el Valle de Rodalquilar; al fondo el Playazo y el Mar Mediterráneo.

Hace unos 14 millones de años (*Ma*), tras el colapso de la cadena de montañas bético-rifeñas que se formó por la colisión África – Iberia (*Orogenia Alpina*) se empezó a desarrollar un vulcanismo que abarcaría el sureste de España, el Mar de Alborán (*el extremo occidental del Mar Mediterráneo*) y el norte de Marruecos (*p.ej. Doblas & Oyarzun 1989; Oyarzun et al. 1995*). En lo que se refiere a España, este vulcanismo se fue extendiendo hacia el noreste (*hasta Cartagena*). En relación a los procesos volcánicos, también se formaron yacimientos minerales, muchos de los cuales fueron explotados económicamente. En el caso de Rodalquilar el vulcanismo más importante se desarrolló hace unos 11 *Ma* y dio origen también a yacimientos de oro del tipo epitermal (*p.ej. Oyarzun et al. 2018*).

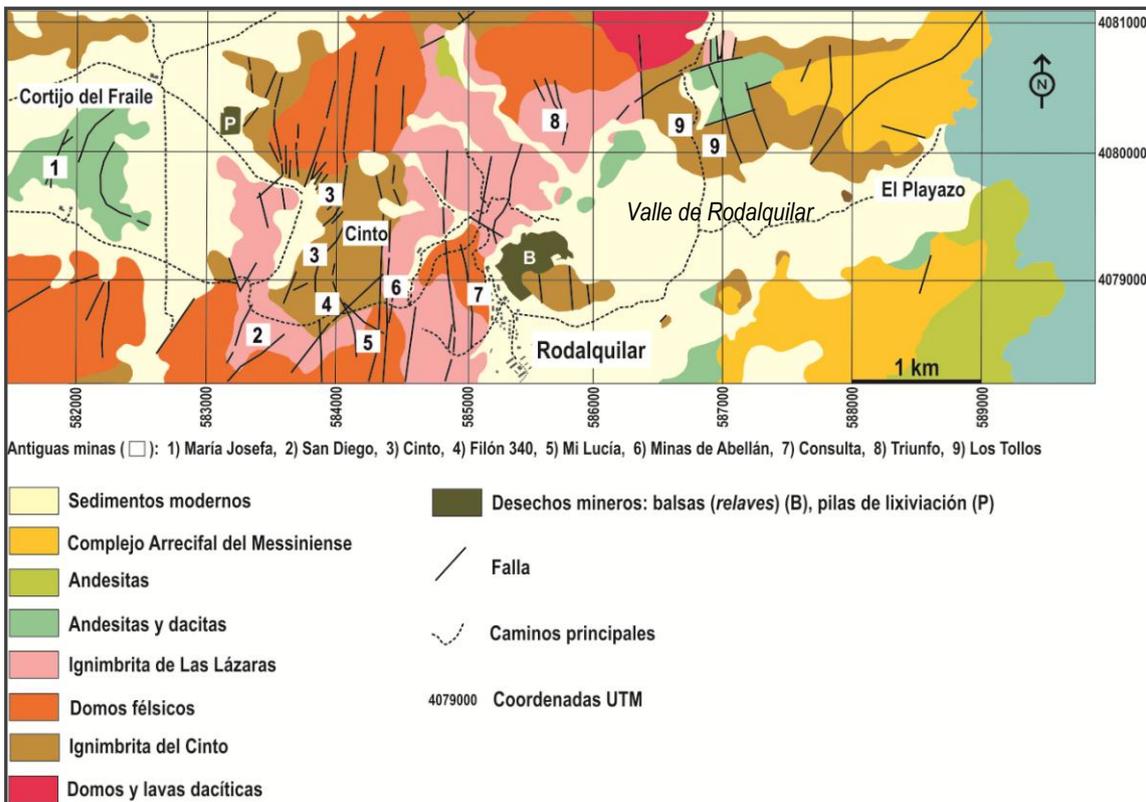


Izquierda, rocas volcánicas y yacimientos minerales en el sureste de España (adaptada de Oyarzun et al. 2018). Derecha, las minas de oro de Rodalquilar (sector Cerro del Cinto).

* La Caldera de Rodalquilar se inserta dentro del Parque Natural de Cabo de Gata – Níjar y el Geoparque del mismo nombre (Junta de Andalucía 2021a,b).



Izquierda, geología de la región del Cabo de Gata indicando los límites del Parque Natural de Cabo de Gata – Níjar (adaptada de Oyarzun et al. 2009). Derecha arriba, logo del Parque (Junta de Andalucía 2021a). Derecha abajo, el Indalo, figura rupestre de la Edad del Cobre que representa una figura humana con los brazos extendidos y sosteniendo un arco, y que es considerada un símbolo de Almería (Blog Arhoteles.com 2017).



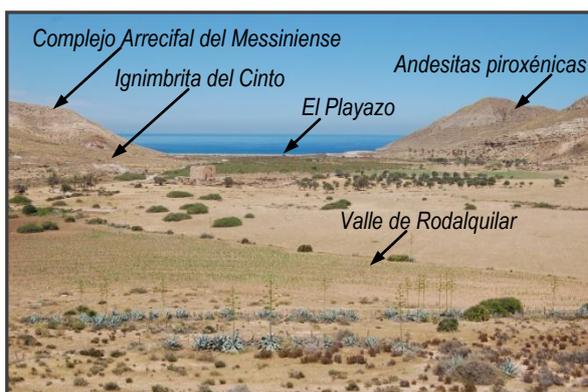
Marco geológico del sector de la caldera y localización de yacimientos auríferos del distrito minero de Rodalquilar. Adaptada y ligeramente modificada de Arribas (1993) y Arribas et al. (1995).

Descubriendo unidades geológicas en la caldera

La Caldera de Rodalquilar tiene una forma ovalada de aproximadamente 8 km de largo en dirección Este-Oeste, siendo parte integral del bloque volcánico del Cabo de Gata (*ver figuras anteriores*).

Para visitar la caldera sugerimos aquí cinco recorridos (*ver mapa de recorridos*): 1) de Rodalquilar al Playazo; 2) de Rodalquilar al Barranco de las Cuchillas; 3) de Rodalquilar al Cortijo del Fraile (*cuidado con este nombre, hay muchos sitios con el nombre "Frailes" entre Cabo de Gata y Rodalquilar*); 4) saliendo del recorrido 2 a las Minas de Abellán; y 5) saliendo del recorrido 2 a las Minas del Cinto.

El Recorrido 1 nos lleva por una carretera de hormigón no siempre en el mejor estado. El valle de Rodalquilar y el Playazo ofrecen excelentes sitios para observar las relaciones de contacto entre la Ignimbrita del Cinto y las calizas del Complejo Arrecifal Messiniense. El sur de la playa también ofrece una excelente vista de las andesitas de piroxeno. Estas andesitas son de color negro y son más jóvenes (8 Ma) que las unidades félsicas de la caldera (*ignimbritas del Cinto y Las Lázaras*).



Valle de Rodalquilar (mirando hacia el Este), al fondo el Playazo.

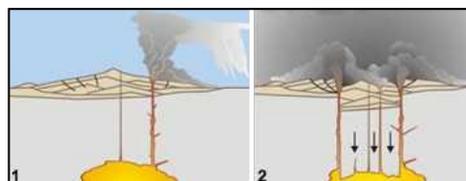


Valle de Rodalquilar (mirando hacia al Norte); casas: Cortijada de la Ermita.

El Recorrido 2, nos hace salir del pueblo por su parte más alta hacia el sur primero, girando y adentrándonos en un valle llamado el Barranco de las Cuchillas. Se trata de un recorrido que se puede hacer a pie o en coche por unos 250 m. Se recomienda dejar el

¿Qué es una caldera volcánica?

Son grandes cráteres volcánicos que se forman por dos métodos diferentes: 1) una erupción volcánica explosiva; o 2) colapso de la roca superficial en una cámara de magma vacía.



Formación de una caldera, desde la erupción (1) al colapso del edificio volcánico (2). Adaptada de King (2021).

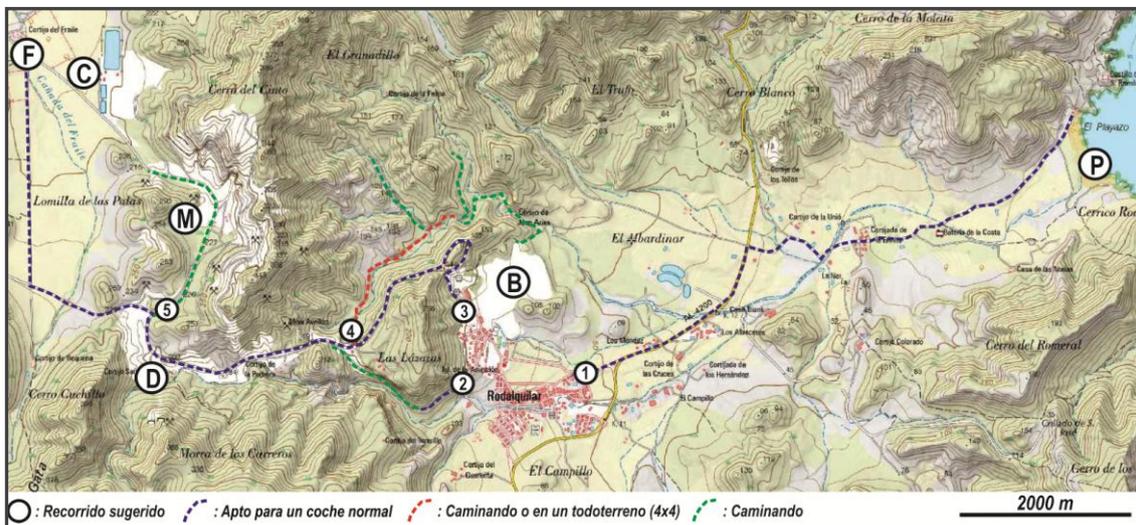
¿Qué es una ignimbrita?

Es una mezcla caótica y caliente (típicamente > 800 °C) de fragmentos de roca, gas y ceniza que viaja rápidamente (decenas de metros por segundo). Estas rocas suelen estar asociadas con la formación de calderas mientras el volcán colapsa, aunque no siempre es así. Los depósitos de ignimbrita pueden ser enormes (decenas de metros de altura) con sectores diferenciados a lo largo de la columna.



Nube ardiente emergiendo del cráter de un volcán, que al consolidarse al dejar de avanzar formará una ignimbrita (Internet Geography 2021)

coche donde sale un camino hacia la parte baja del barranco. Este recorrido permite tener una vista excepcional de la Ignimbrita de las Lázaras, ya que la pista de tierra discurre cortando a esta. Se trata de un recorrido perfecto para observar un fenómeno poco común, una ignimbrita con disyunción columnar. A destacar también una vista preliminar de la Ignimbrita del Cinto que se encuentra al comienzo del recorrido.



Recorridos aquí propuestos (1-5) sobre la base topográfica Iberpix 4 (Instituto Geográfico Nacional 2021). B: Balsas de estériles; C: Nueva zona de cianuración (1989-1990); D: Cortijo San Diego (minas de); F: Cortijo del Fraile; M: Minas del Cinto; P: El Playazo.



Imágenes del Recorrido 2. Arriba, comienzo del recorrido, Ignimbrita del Cinto con venillas de goethita y antigua labor minera de exploración. Abajo a la izquierda, la Ignimbrita de Las Lázaras con disyunción columnar (mirando hacia el sureste). A la derecha, un trozo de columna en el camino.

Recorrido 3. Al norte y al oeste del pueblo de Rodalquilar la geología está dominada por tres unidades principales (ver *mapa geológico de la caldera*), la Ignimbrita del Cinto, los Domos Félsicos, y la Ignimbrita de Las Lázaras. No hay que confundirse, al comienzo la subida se realiza por un camino adoquinado en muy buen estado, aunque rápidamente se entra en una pista de tierra en mejor o peor estado (dependiendo del año) pero que no obstante es apta para vehículos normales.



Izquierda, subida por camino adoquinado con varias curvas que lleva de Rodalquilar a Los Albaricoques (el coche está en la dirección contraria); al fondo la Planta Denver. Derecha, la planta de tratamiento de mineral aurífero Denver; en primer plano los tanques de cianuración, más arriba la planta de molienda de mineral (Wikinauta 2008).

Aquí podemos observar las primeras evidencias de la antigua actividad minera, ya que los edificios de la antigua Planta Denver destacan en la colina. Llegando al punto más alto se pueden observar las columnas de Las Lázaras una vez más, aunque el contacto con un domo félsico se encuentra pocos metros más adelante avanzando por el camino (ver *mapa geológico*). A destacar los anillos de Liesegang que se observan en un pequeño afloramiento de ignimbrita en este sector.



Anillos de Liesegang en ignimbrita. Estos se forman por precipitación oscilatoria de óxidos-hidróxidos de hierro a partir de la lixiviación-oxidación de un pequeño grano o granos de pirita.

La carretera nos llevará por un paisaje minero abandonado mezclado con bonitos afloramientos de ignimbritas y domos félsicos. Estas rocas están muy alteradas habiendo sufrido fenómenos de alteración tanto debido a proceso hidrotermales (que llevaron a la formación de yacimientos minerales) como supergénicos (debidos a la oxidación de la pirita) (ver Oyarzun et al. 2018). Ambos generaron grandes cantidades de ácido sulfúrico que hidrolizaron los feldespatos y blanquearon la roca, cogiendo luego ésta tonos ocres debido a la oxidación de la pirita. La entrada a la Ruta 4 que nos lleva al valle (que está a nuestra derecha) y las minas de Abellán es fácilmente visible a medida que avanzamos.



Izquierda, pequeña galería que comunica el camino con las instalaciones mineras del Cortijo San Diego; la unidad geológica es la Ignimbrita del Cinto, aquí con un enrejado de venillas de goethita y jarosita. Derecha, al frente de la imagen anterior, la misma unidad afectada por una pequeña zona de falla (ZF).

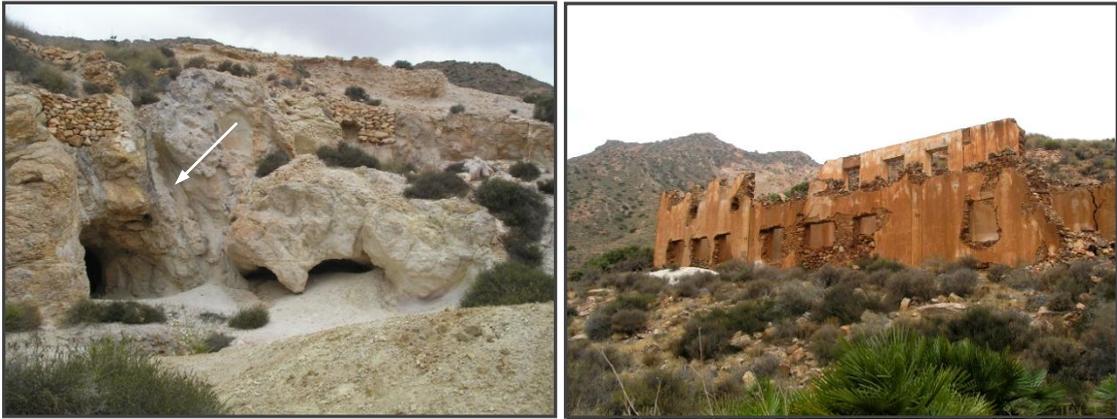
Siguiendo por la ruta, encontraremos el pequeño túnel a la izquierda que comunica con las instalaciones mineras del Cortijo de San Diego, y unos 340 m más adelante el comienzo de la Ruta 5. Avanzando unos 800 m a partir de ahí hay que doblar a la derecha, y en esa carretera recta se puede observar las minas del Cinto desde la distancia, llegando por fin al Cortijo del Fraile.



Izquierda, las Minas del Cinto y en primero plano, la piscina y pila de cianuración aurífera abandonadas en 1990. El cianuro tiene una escasa duración en el medio ambiente (en el rango de días a semanas: epa.govt.nz 2021) de tal manera que no presenta ningún peligro actual. Derecha, el Cortijo del Fraile.

De acuerdo a la Wikipedia (2021) el Cortijo del Fraile es una edificación que fue declarada Bien de Interés Cultural con la tipología de Sitio Histórico, aunque por su estado de ruina técnica se encuentra en la lista roja del patrimonio en peligro (y nadie se hace responsable de este bien). En sus proximidades tuvo lugar el 22 de julio de 1928 un suceso conocido como “el crimen de Níjar”, que inspiró el drama en verso de Federico García Lorca titulado Bodas de Sangre (Wikipedia 2021).

Recorrido 4. Este recorrido empieza separándose del anterior, hacia la derecha, y continúa en una dirección noreste que si se sigue completamente, gira hacia el sureste y luego al suroeste, pudiéndose así regresar a Rodalquilar caminando. No en un todoterreno (4x4), ya que sólo un sector es transitable con este tipo de vehículos (ver mapa de recorridos). La ruta nos lleva de manera directa a las llamadas Minas de Abellán, otro de los fracasos minero-metalúrgicos auríferos de Rodalquilar (1929-1930). La roca dominante en el recorrido es la ignimbrita del Cinto, fácilmente reconocible por su color blanco. Los colores amarillo-verdosos corresponden a una mineralogía dominada por alunita-jarosita.

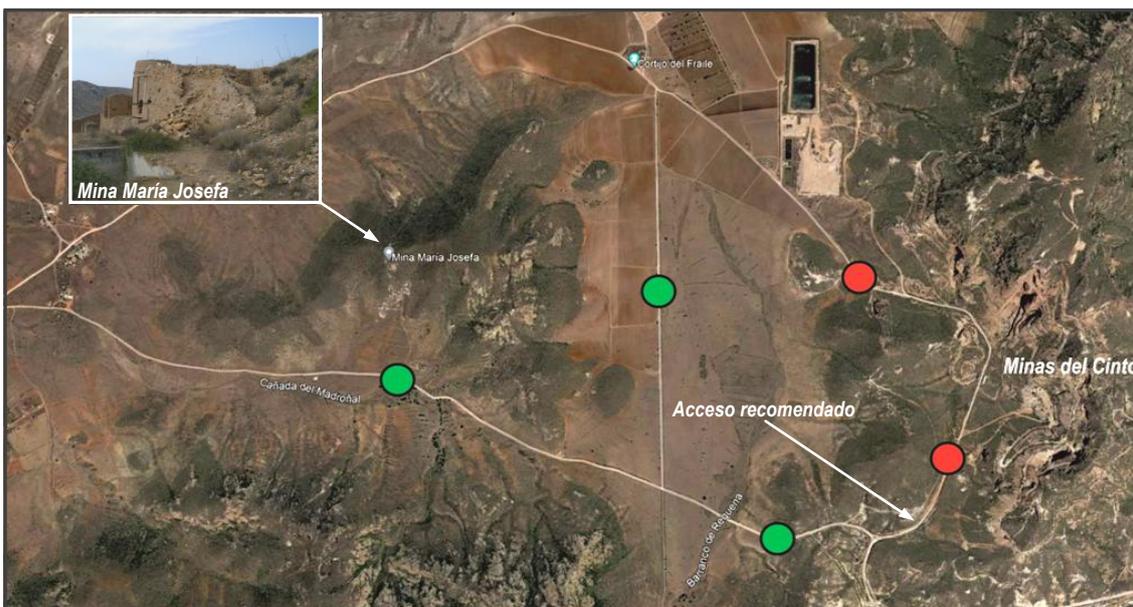


Izquierda, antiguas labores mineras en el sector de las Minas de Abellán, ignimbritas del Cinto cortadas por una pequeña zona de falla (flecha). Derecha, ruinas de un edificio de las Minas de Abellán, al fondo el Cerro del Cinto.

Recorrido 5. Por fin tenemos este último recorrido que en algunos aspectos puede que sea el más interesante de todos, ya que nos lleva a las minas de oro más famosas del distrito: las Minas del Cinto. Se accede por un camino cortado (por razones desconocidas desde hace ya algunos años), doblando hacia la derecha poco más allá (unos 340 m) del túnel que comunica con el Cortijo San Diego.



Las Minas del Cinto. Arriba, vista desde el Sur entrando por el camino cortado. Abajo, vista desde el Oeste. El camino que se observa en ambas imágenes (flechas) aparece en Iberpix4, Google Maps y Google Earth, pero no se puede acceder al mismo salvo caminando.

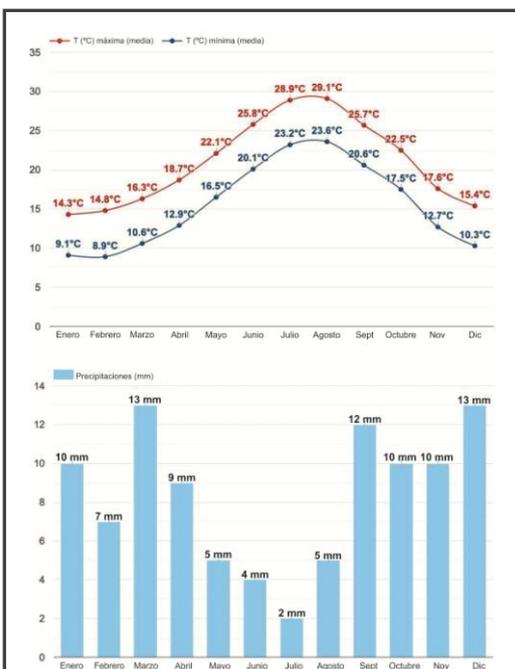


Aquí se detallan los recorridos que se pueden (círculos verdes) y no se pueden (círculos rojos) hacer en coche en las Rutas 3 y 5. Para evitar problemas se recomienda el acceso a las minas por el Sur. Aunque está fuera de los recorridos propuestos, se ha incluido aquí una imagen de las instalaciones en ruinas de la Mina María Josefa. Imagen Google Earth.

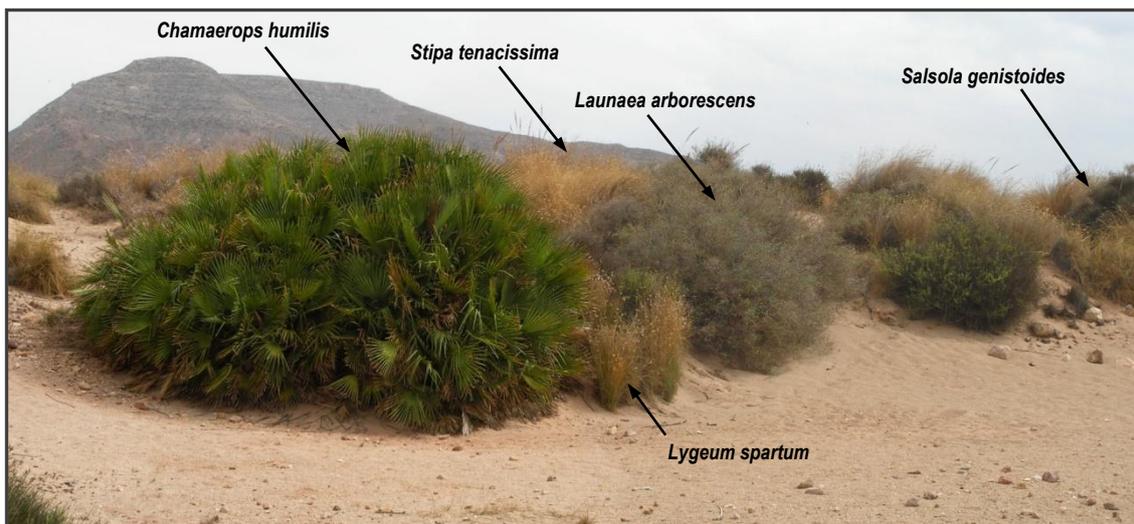
En el sector de las Minas del Cinto encontraremos las tres unidades geológicas que se han mencionado con anterioridad: las ignimbritas del Cinto y Lázaras, y los domos félsicos. Estas rocas están muy alteradas (*alteración argílica avanzada*), incluyendo la silicificación parcial de las mismas y la presencia muy importante de alunita. Además estas rocas están impregnadas de tonos ocre producto de la precipitación masiva de óxidos-hidróxidos de hierro. No busque oro, aparte de que las leyes eran bajísimas (*unos pocos gramos por tonelada*) el oro se encontraba tan finamente diseminado que (*salvo casos excepcionales*) no era reconocible a la vista.

Las tenaces plantas que alberga la caldera

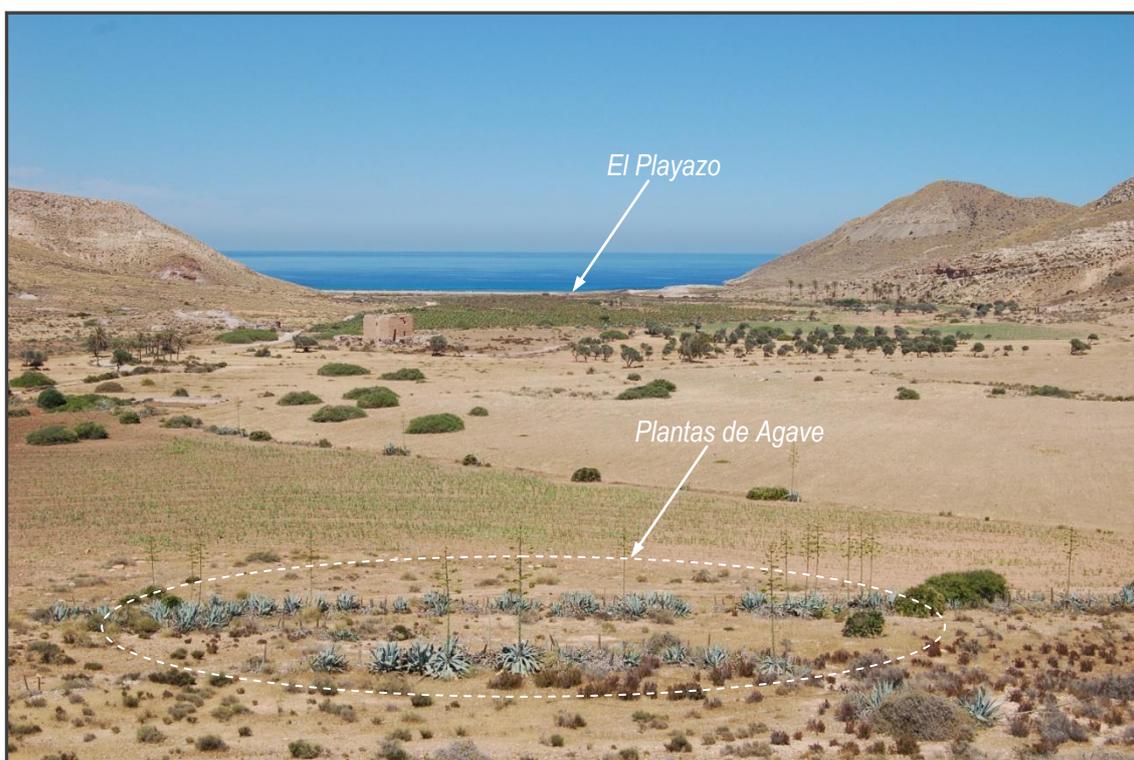
La vegetación de Rodalquilar ha estado (y está) sometida a una fuerte presión por la actividad humana, agrícola y minera, así como por unas condiciones climáticas duras, con temperaturas elevadas y una baja precipitación (*ver figura de temperaturas y precipitaciones*), aunque compensadas en parte cerca de la costa por la influencia marina. A pesar de esto conserva restos de una interesante vegetación, con numerosas plantas bien adaptadas a estas condiciones. Muchas de ellas tienen una distribución restringida, siendo endémicas del sur de España y norte de África, o de la región mediterránea.



Izquierda, promedio de temperaturas y precipitaciones mensuales en el Caserío El Campillo, a 500 m ENE de Rodalquilar. El mes con menor precipitación media es Julio (2 mm), y la máxima temperatura máxima media corresponde a Agosto (29.1 °C). Weather Atlas (2021)



Incluso sobre las balsas de estériles mineros, la vegetación va restableciéndose poco a poco. En la imagen, tomada en la balsa inferior de Rodalquilar (ver mapa de recorridos), crecen arbustos como el palmito (*Chamaerops humilis*), el albardín (*Lygeum spartum*), el esparto (*Stipa tenacissima*), la cardavieja (*Launaea arborescens*) y el mato negro (*Salsola genistoides*).



Vista hacia El Playazo, en primer plano plantas de Agave. Diversas especies como *A. fourcroydes* y *A. sisalana* se cultivaron para la obtención de fibras textiles, y aunque se abandonó su explotación, actualmente quedan ejemplares naturalizados.

Muchos arbustos toman formas semiesféricas, presentan ramas espinosas, tienen hojas pequeñas o las dejan caer en las épocas desfavorables, evitando de este modo la excesiva pérdida de agua. También abundan las plantas con bulbos, rizomas u otros órganos subterráneos, que permanecen enterradas durante los periodos más desfavorables. Algunos ejemplos se muestran a continuación. Los nombres científicos siguen la nomenclatura de *Flora iberica* (Castroviejo 1986-2021).



En el centro de la imagen izquierda, el azufaifo (*Ziziphus lotus*), un arbusto caducifolio espinoso de hasta dos o tres metros de altura. A la derecha, detalle de las ramas en zigzag características y las pequeñas hojas caducifolias.



Varias leguminosas del grupo de las genisteas crecen en la zona. A la izquierda, *Genista spartioides*, que pierde rápidamente las pequeñas hojas. A la derecha, *Ulex parviflorus* con ramas transformadas en espinas.



Un cornical (*Periploca angustifolia*), un arbusto con pequeñas flores que dan lugar a unos frutos (difoliculos) formados por dos piezas divergentes a modo de cuernos.



A la izquierda, un palmito (*Chamaerops humilis*) creciendo en materiales de la balsa inferior. Se trata de la única especie de palmera autóctona de la Península ibérica y Baleares. A la derecha, detalle de sus frutos (flecha).



A la izquierda, flores del oroval (*Withania frutescens*), una solanácea iberoafricana que se puede encontrar en las islas Baleares y el sur y este de España, en Marruecos y en Argelia. A la derecha, detalle del fruto en baya englobado en el cáliz persistente.



Valle de Rodalquilar. La adelfa (*Nerium oleander*), un arbusto nativo de la región mediterránea y Oriente medio, que crece en ramblas, barrancos pedregosos y cursos de agua.

En primavera y verano, especialmente si ha habido algo de lluvia, la zona se cubre de numerosas plantas que florecen y embellecen el paisaje.



A la izquierda, *Fagonia cretica*, una planta herbácea que tapiza los suelos. A la derecha, *Arisarum vulgare*, una planta herbácea que es polinizada por pequeños mosquitos que son atraídos por el olor y la humedad del ápice del espádice, y por el color de la espata.



Valle de Rodalquilar. Los gamones (*Asphodelus* sp.) crecen a partir de rizomas enterrados en el suelo formando hermosas plantas de flores blancas y frutos en cápsula.



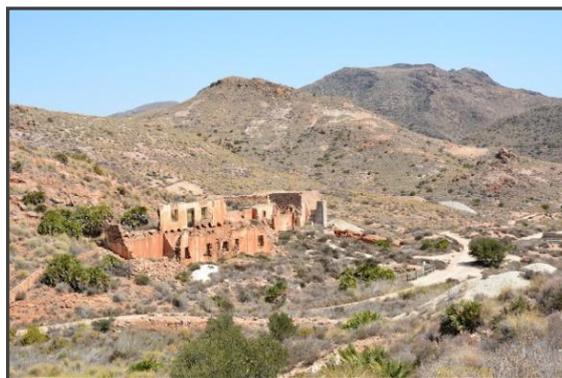
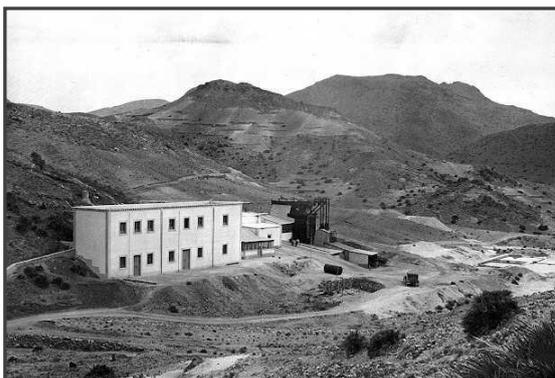
Balsas de estériles inferior y superior al Este de Rodalquilar. Las plantas no sólo se abren camino sino que prosperan.

La minería del oro en Rodalquilar (“broken dreams”)

En lo que se refiere al oro (p.ej. Oyarzun et al. 2018), Rodalquilar ha sido en muchos aspectos un lugar de “sueños rotos”. La minería (Hernández Ortiz 2005) se inició alrededor de 1825 para Pb, Zn y Cu, pero no fue hasta 1864 que los mineros se dieron cuenta de que el mineral también contenía algo de oro. Las operaciones mineras pertenecientes a este período son las de Consulta, María Josefa, San Diego y Triunfo. Se trataba de operaciones a pequeña escala y el mineral se enviaba a Murcia para la fusión y producción de Pb rico en Au, un producto finalmente enviado a Amberes (Bélgica) para separar el oro. Al comienzo de la Primera Guerra Mundial (1914-1918), la mayoría de las minas se habían cerrado.

En 1925 se instaló una operación metalúrgica de amalgama de oro con mercurio en la Mina María Josefa, sin embargo, un año después problemas técnicos llevaron al cierre de la operación. Otra incursión fallida en la amalgama industrial de oro se llevó a cabo entre 1929-1930 en las llamadas Minas de Abellán.

La minería moderna en Rodalquilar (Hernández Ortiz 2005) se inicia en 1930 por una empresa inglesa llamada Minas de Rodalquilar S.A., con el establecimiento de la primera operación metalúrgica de lixiviación con cianuro (la llamada planta Dorr) cerca de la localidad de Rodalquilar. En 1934 lograron extraer unas 29.000 toneladas a 12 g t^{-1} Au, recuperando 240 kg de oro. Una estimación de reserva de mineral en 1952 arrojó una cifra de unas 3.348.297 toneladas a $4,7 \text{ g t}^{-1}$ de Au en siete cuerpos mineralizados subverticales.



El tiempo no perdona. El edificio de las Minas de Abellán en 1932 (imagen: Arnold Heim) y en 2019 (Blog de Paco 2019).

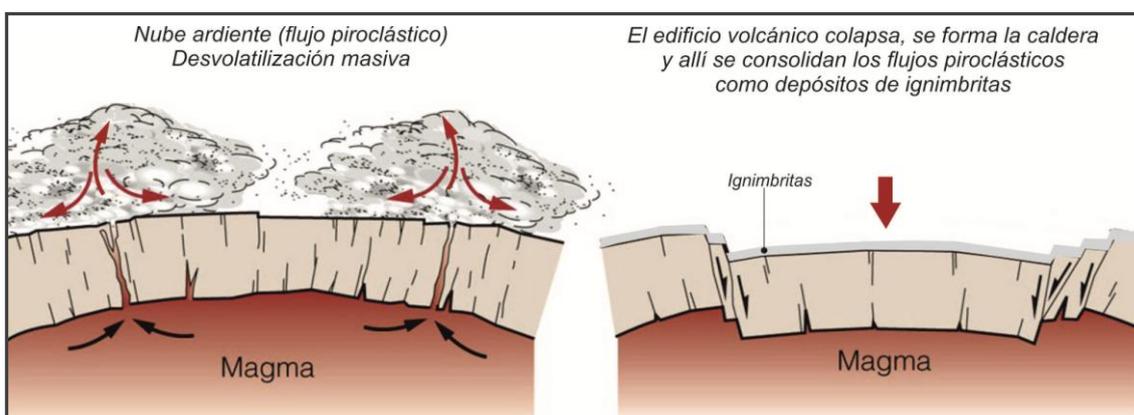


Equipo de perforación (izquierda) y excavadora y camión volquete (derecha) en Rodalquilar (durante el período de ADARO) (imágenes: Hernández Ortiz 2016).

En 1956 la empresa minera ADARO (*empresa estatal española*) inauguró una nueva operación de cianuración, la denominada planta de Denver, que en ese momento era la planta de lixiviación aurífera más grande de Europa. Esta operación se prolongó hasta 1966 y se trató el mineral de las minas a cielo abierto de El Cinto. Entre 1943 y 1966, ADARO extrajo alrededor de 1,6 Mt (1,6 millones de toneladas métricas) de mineral con una ley de 3,5 g t⁻¹ Au. La mayoría, si no todas las balsas de estériles alrededor del pueblo de Rodalquilar pueden estar relacionados con este período minero y el volumen de estos materiales (según los datos de producción para el período 1943-1966) puede estar en el rango de 900.000 a 1.250.000 m³. Los métodos de minería consistieron en trabajos subterráneos para tratar los cuerpos minerales de buzamiento vertical/subvertical durante el período inglés y a cielo abierto durante el período ADARO.

En 1989 se inició una nueva operación minera y metalúrgica en el sector El Cinto. La empresa era extranjera (*Cluff Resources - Antofagasta Holdings JV*) y el procedimiento metalúrgico elegido fue la lixiviación en pila. La intención era extraer unas 750.000 toneladas métricas de mineral a 2,3 g t⁻¹ Au, aunque en 1990 se abandonó la operación. Como resultado de esta operación fallida, todavía quedan unos 120.000 m³ de estériles cerca del Cortijo del Fraile, en las proximidades de tierras agrícolas.

Esta es una larga historia de fracasos, pero ¿por qué? Quizás porque se ha extraído más oro de los pensamientos de los hombres del que se ha extraído de la tierra. Más allá de la codicia, existe una explicación geológica para esta historia de proyectos fallidos. La naturaleza fuertemente explosiva de las erupciones como las que ocurrieron en Rodalquilar arrojaron masivamente piroclastos y volátiles ricos en metales a la atmósfera, evitando así la formación de un gran depósito de mineral en profundidad.

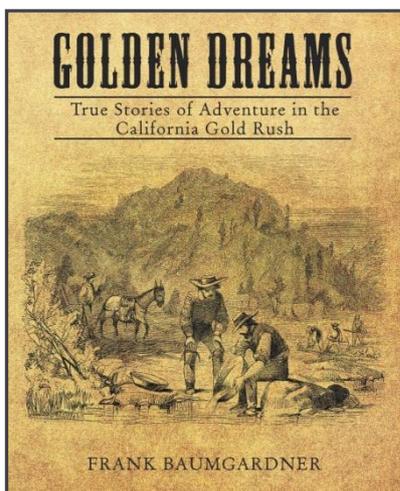


Formación de una gran caldera volcánica (varios kilómetros de diámetro) desde la erupción (izquierda) al colapso y relleno con ignimbritas (derecha). En la primera fase se pierde una inmensa cantidad de volátiles a la atmósfera (e.g. Oyarzun et al. 2005), lo cual impide que se formen grandes yacimientos bajo esta (e.g. Pasteris 1996; John 2008). Adaptada de Iriarte (2010).



Pérdida masiva de volátiles. Izquierda, el Volcán Pinatubo (Filipinas) entra en erupción el 12 de Junio de 1991 (Imagen: Harlow 1991). Derecha, la erupción del volcán de la Soufrière (Isla de Montserrat) el 11 de febrero de 2010. La altura de la pluma piroclástica alcanzó los 15 km. Imagen: Daily Mail Reporter (2010).

Se estima que de la Caldera de Rodalquilar se puede haber emitido un volumen de ~ 5 a 6 km³ de materiales piroclásticos, esto es sólo tomando en cuenta los procesos que llevaron a la formación de la ignimbrita del Cinto (Oyarzun *et al.* 2021). Procesos de esta naturaleza han sido analizados por Pasteris (1996) y John (2008). De esta manera Rodalquilar se convirtió en lo que las reglas de la geología, la química y la física le permitieron ser, ni más, ni menos: un depósito de oro epitermal con pequeños tonelaje y leyes; una mala combinación desde el punto de vista económico.



Pero los sueños de riqueza, por absurdos que sean, son demasiado poderosos como para dejarlos ir sin más...

Portada: www.amazon.com/Golden-Dreams-Stories-Adventure-California/dp/1480886769

Base bibliográfica

A. Arribas (1993) *Mapa Geológico del Distrito de Rodalquilar (scale 1: 25,000)*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.

A. Arribas Jr, C.G. Cunningham, J.J. Rytuba, R.O. Rye, W.C. Kelly, M.H. Podwysoki, E.H. McKee & R.M. Tosdal (1995) *Geology, geochronology, fluid inclusions, and isotope geochemistry of the Rodalquilar gold alunite deposit, Spain*. *Economic Geology* 90: 795–822.

Blog Arhoteles.com (2017) *¿Qué es el Indalo?* <https://blog.arhoteles.com/que-es-el-indalo/>

Blog de Paco (2019) *Las Minas de Abellán - 90 aniversario de su inauguración (7 de Septiembre de 1929 - 7 Septiembre 2019)*. <http://minasderodalquilar.blogspot.com/2019/09/las-minas-de-abellan-90-aniversario-de.html>

S. Castroviejo (coord. gen.) (1986-2021). *Flora iberica 1-21*. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid. <http://www.floraiberica.org/>

Daily Mail Reporter (2010) *'Ladies and gentlemen, on your left you will see an erupting volcano': The stunning sight Caribbean holidaymakers saw from plane*. <https://www.dailymail.co.uk/news/article-1260293/Montserrat-Soufriere-Hills-volcano-erupts-Caribbean-island.html>

M. Doblas, M. & R. Oyarzun (1989) *Neogene extensional collapse in the western Mediterranean (Betic-Rif Alpine orogenic belt): implications for the genesis of the Gibraltar Arc and magmatic activity*. *Geology* 17: 430-433.

Epa.govt.nz (2021) *Appendix D: Ecotoxicity and Environmental Fate of Cyanide*. <https://www.epa.govt.nz/assets/FileAPI/hsno-ar/HRE05002/9eeff5480e/HRE05002-053.pdf>

D. Harlow (1991) *The June 12, 1991 eruption column from Mount Pinatubo taken from the east side of Clark Air Base*. U.S. Geological Survey Photograph taken on June 12, 1991, 08:51 hours, by Dave Harlow. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pinatubo91eruption_plume.jpg

F. Hernández Ortiz (2005) *Historia general de las explotaciones de oro*. *Bocamina* 15: 18-46.

F. Hernández Ortiz (2016) *El cierre de las minas de oro de Rodalquilar (1966): auge y declive de la Planta Denver*. *De Re Metallica* 26: 9-17.

Instituto Geográfico Nacional (2021) *Iberpix*. <https://www.ign.es/iberpixhistorico/>

Internet Geography (2021) *What are pyroclastic flows?* <https://www.internetgeography.net/topics/what-are-lahars-and-pyroclastic-flows/>

R. Iriarte (2010) *Modelling Caldera Collapse: Sand box models/analogue caldera models*. Oregon State University. <https://volcano.oregonstate.edu/calderacollapse>

D.A. John (2008) *Supervolcanoes and metallic ore deposits*. *Elements* 4: 22.

Junta de Andalucía (2021a) *Parque Natural Cabo de Gata-Níjar*. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page/-/asset_publisher/4V1kD5gLiJkq/content/parque-natural-cabo-de-gata-n-c3-adjjar/20142

Junta de Andalucía (2021b) *Geoparque Cabo de Gata-Níjar*. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page/-/asset_publisher/4V1kD5gLiJkq/content/geoparque-cabo-de-gata-n-c3-adjjar/20151

H.M. King (2021) *What is a Caldera? How Do Calderas Form?* Geology.com, <https://geology.com/articles/caldera/>

R. Oyarzun, A. Marquez, L. Ortega, R. Lunar & J. Oyarzún (1995) *A late Miocene metallogenic province in southeast Spain: atypical Andean-type processes on a smaller scale.* *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Sect. B: Appl. earth sci.)* 104: 197-202.

R. Oyarzun, J. Lillo, J.C. Sánchez Hernández & P. Higuera (2005). *Pre-industrial metal anomalies in ice cores: A simplified reassessment of windborne soil dust contribution and volcanic activity during the last glaciation.* *International Geology Review*, 47: 1120-1130.

R. Oyarzun, P. Cubas, P. Higuera, J. Lillo, & W. Llanos (2009) *Environmental assessment of the arsenic-rich, Rodalquilar gold–(copper–lead–zinc) mining district, SE Spain: data from soils and vegetation.* *Environmental Geology* 58: 761-777.

R. Oyarzun, J.A. López García & E. Crespo (2018) *The Cabo de Gata Miocene volcanics and the gold mining district of Rodalquilar – SE Spain: a field & teaching guide.* Ediciones Aula2punto.net, 80 pp, https://aulados.net/GEMM/Libros_Manuales/Field_Teaching_Guide_Cabo_de_Gata_Rodalquilar.pdf

R. Oyarzun, J.A. López García & E. Crespo (2021) *Mapping extremely altered pyroclastic rocks at the Casa Blanca site, Rodalquilar Volcanic Caldera (Almería - SE Spain).* Aula2punto.net, 7 pp, https://www.aulados.net/Geologia_yacimientos/Express_Mapping_2/Mapping_altered_pyroclastics.pdf

G. Pasteris (1996) *Mount Pinatubo volcano and “negative” porphyry copper deposits.* *Geology* 12: 1075–1078.

Weather Atlas (2021) *Agosto previsión meteorológica y clima Caserío El Campillo de Rodalquilar, España.* <https://www.weather-atlas.com/es/espana/caserio-el-campillo-de-rodalquilar-el-tiempo-en-agosto>

Wikinauta (2008) *Ruins of the former gold mining factory “Planta Denver” in Rodalquilar (Andalusia, Spain).* https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20081029_Rodalquilar_Planta_Denver.jpg

Wikipedia (2021) *Cortijo del Fraile.* https://es.wikipedia.org/wiki/Cortijo_del_Fraile