# La mina "San Rafael", Cardeña, Córdoba, Andalucía

Antonio P. López Cabello
Autor independiente
Sevilla, España
alopezc256@gmail.com

César Menor-Salván
Universidad de Alcalá de Henares (UAH)
Alcalá de Henares, Madrid, España
cesar.menor@uah.es

Antonio Carmona Ruiz
Autor independiente
Sevilla, España
a.carruiz@gmail.com

RESUMEN
La mina "San Rafael", situada en el término municipal de Cardeña, al noreste de la provincia de Córdoba (Andalucía), fue uno de los principales yacimientos de plomo-zinc explotados sobre el filón 'Zumajo'. En este artículo se realiza una descripción de su localización geográfica así como una introducción geológica que la sitúa en la Unidad Granodiorítica del Batolito de Los Pedroches.
Además, se hace una breve reseña de la historia de la explotación que se remonta desde los últimos años del siglo XIX hasta mediados del siglo XX.
Por último, nos centraremos en la paragénesis del yacimiento con la descripción detallada de las especies minerales que han aparecido, destacando, independientemente de las menas principales explotadas (galena y esfalerita), una serie de minerales secundarios de plomo, zinc y cobre como son cerusita, caledonita, linarita, kasolita y minerales de la serie mimetita-piromorfita, entre otros.
PALABRAS CLAVE
Mina San Rafael, filón Zumajo, unidad granodiorítica, Batolito de Los Pedroches, Cardeña, Córdoba, plomo, zinc, cerusita, caledonita, linarita, kasolita.

*ABSTRACT*
*The San Rafael mine, located in the municipality of Cardeña, in the north-east of Córdoba province (Andalusia), worked one of the main lead-zinc deposits in the Zumajo vein. This paper provides a description of its geographical location together with a geological introduction to its place in the granodioritic unit of the Los Pedroches batholith and a brief review of the mining activity taking place there between the late 19th and mid-20th centuries. Finally, it focuses on the paragenesis of the deposit, with a detailed description of the mineral species that have appeared, highlighting –apart from the main ores mined (galena and sphalerite)– a number of secondary lead, zinc and copper minerals including cerussite, caledonite, linarite, kasolite and members of the mimetite-pyromorphite series.*
*KEYWORDS*
*San Rafael mine, Zumajo vein, granodioritic unit, Los Pedroches batholith, Cardeña, Córdoba, lead, zinc, cerussite, caledonite, linarite, kasolite.*

López Cabello, Antonio P.; Menor-Salván, César; Carmona Ruiz, Antonio (2020): "La mina 'San Rafael', Cardeña, Córdoba, Andalucía". *Paragénesis* (2020-2); vol. 2, núm. 4, pp. 33-54.

## Localización geográfica

Los restos de la mina "San Rafael" (figura 1) se localizan en el paraje Los Asentejos-La Vacadilla, a unos 12 kilómetros al oeste del pueblo de Cardeña, en la comarca de Los Pedroches, en el noreste de la provincia de Córdoba, Andalucía (figura 2).

Sus coordenadas geográficas son:

- Latitud: 38° 18' 19" N.
- Longitud: 4° 25' 58" O.

El término municipal de Cardeña es el más elevado de la comarca sobre el nivel del mar, así como el de toda la provincia cordobesa, con una cota media cercana a los 800 metros de altitud, y está situado en la zona central de Sierra Morena. La principal elevación de la zona es el monte Colmena, con 828 metros sobre el nivel del mar, y la cota más próxima a la mina es Navalconejuelo, con 810 metros, situada al sureste de esta, en un extremo de la Loma de Matas Puercas.

La comarca actúa como divisoria entre las cuencas del Guadiana y del Guadalquivir. Hacia el oeste y el norte presenta una topografía suave, coincidiendo con los terrenos graníticos por los que circula el río Guadalmez, frontera natural con Sierra Madrona y Sierra de Alcudia (Ciudad Real), en la cuenca del Guadiana; mientras que al sur y al este es más accidentada, debido a la aparición de materiales pizarrosos, sobre los que encaja el río Yeguas, frontera natural con la Sierra de Andújar (Jaén), en la cuenca del Guadalquivir.

El clima es mediterráneo con rasgos continentales; con inviernos fríos y abundantes lluvias y veranos áridos y largos. La temperatura media anual es de 15,2 °C, con una oscilación térmica de 20 °C. La media del mes más frío (enero) es de 7,1 °C y la del más cálido (julio) es de 25,4 °C. El término municipal de Cardeña tiene el mayor índice de precipitaciones de la comarca de Los Pedroches, alcanzando los 800,6 litros de media en la localidad de Cardeña y una máxima de 956,3 litros

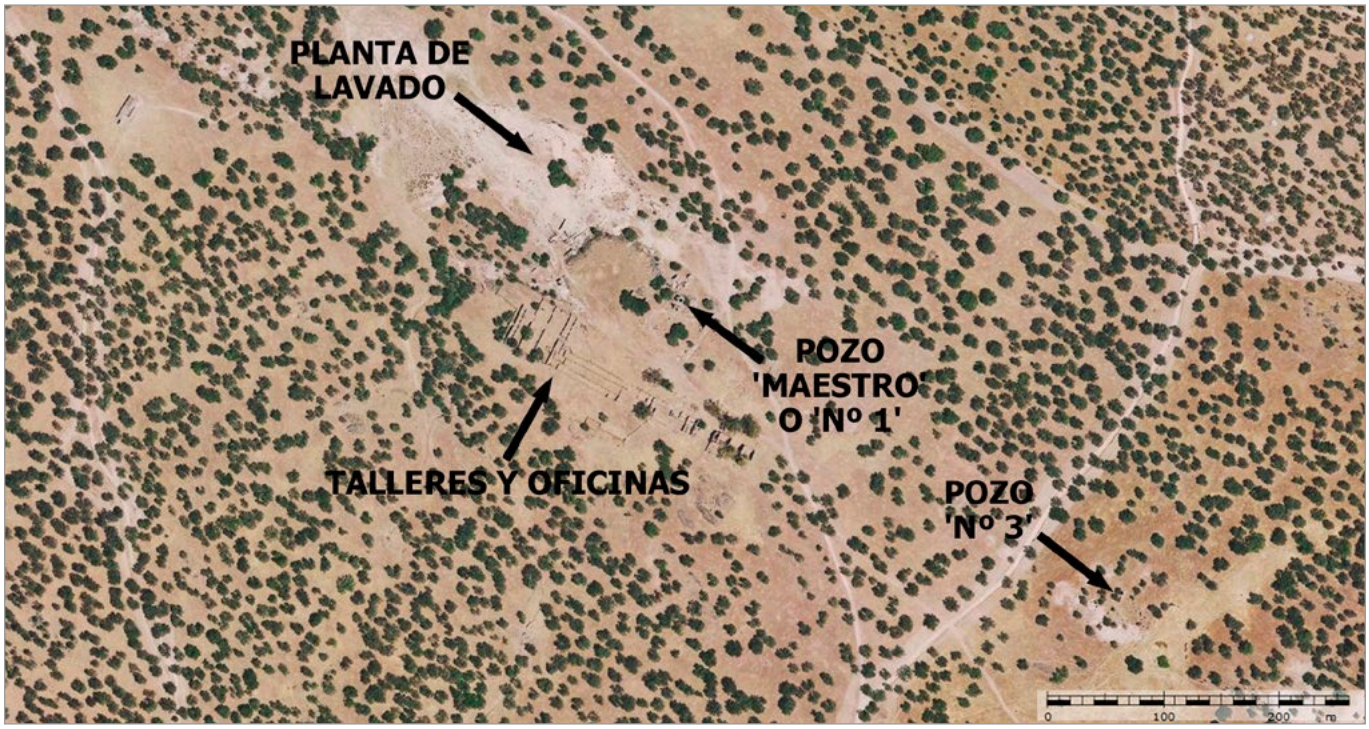


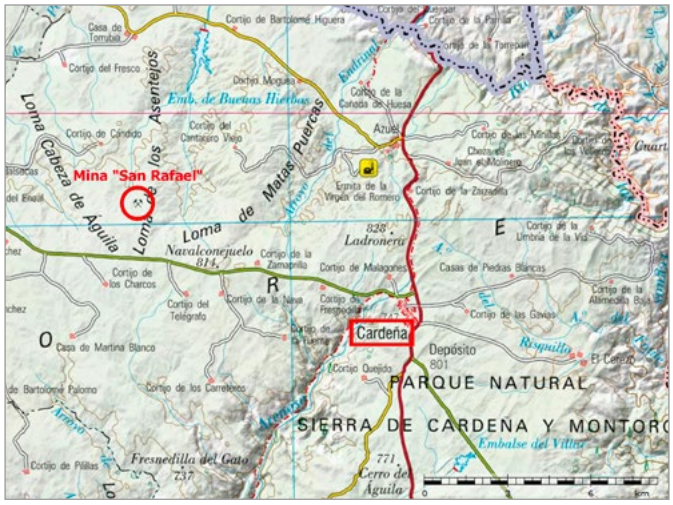

Figura 1. Vista aérea de los restos de la mina "San Rafael". Se señalan parte de las instalaciones, como la planta de lavado y los pozos 'nº 1' ('maestro') y 'nº 3'. Foto: modificada de la ortoimagen PNOA más actual (fuente: portal Signa, Instituto Geográfico Nacional –IGN– de España).

en Venta del Charco, al este del municipio. Estas altas precipitaciones se deben a la mayor altitud del término municipal y a la cercanía de elevados relieves, como Sierra Madrona (con una cota máxima de 1.333 metros de altitud).

La vegetación está representada por encinas (*Quercus ilex*) (figura 3), quejigos (*Quercus faginea*), acebuches (*Olea europaea var. silvestris*), alcornoques (*Quercus suber*) y robles melojos (*Quercus pirenaica*), en la zona más húmeda de Venta del Charco. Los arbustos predominantes son jaras (*Cistus ladanifer*), brezos (*Calluna vulgaris*), madroños (*Arbutus unedo*) y lentiscos (*Pistacia lentiscus*). Las manchas de bosque mediterráneo virgen tienen una excepcional importancia ecológica, motivo por el que el entorno fue declarado como parque natural (Parque Natural de la Sierra de Cardeña y Montoro) en 1989.

Palero Fernández, en el informe de metalogenia elaborado para el IGME (2009), describe textualmente el acceso a la mina de la siguiente manera: «Desde Cardeña por la carretera de Villanueva de Córdoba, a 10.3 km está a la derecha el camino de entrada a La

Figura 2. Localización de la mina "San Rafael". Mapa: modificado de la cartografía *raster* del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:200.000 (fuente: portal Signa, Instituto Geográfico Nacional –IGN– de España).


Mina "San Rafael"
Cardeña
Azuel
Ladronera
Navalconejuelo
Loma de Matas Puercas
Loma Cabeza de Aguila
Loma de los Asentejos
Emb. de Buenas Hierbas
Depósito
PARQUE NATURAL
SIERRA DE CARDEÑA Y MONTORO
Embalse del Viller
Fresnedilla del Gato
Cerro de Aguila
Casas de Piedras Blancas
Casa de Martina Blanco
Cortijo de Bartolomé Higuera
Cortijo del Fresco
Cortijo de Candido
Cortijo de los Charcos
Cortijo de Malagones
Cortijo de las Gavias
Cortijo de Pillas
Cortijo de los Carreteros
Cortijo de la Zarzadilla
Ermita de la Virgen del Romero
Cortijo de la Umbría de la Vid
Cortijo de la Almendra Baja
Cortijo de la Canada de Huesa
Cortijo del Telégrafo
Cortijo de la Nava
Cortijo de la Zamarrilla
Cortijo del Cantarero Viejo
Casa de Tomaba
Cortijo de Bartolomé Palomo
Cortijo Quejido
El Cerrajo
Risquillo
Arroyo
Arenas
Arroyo Matas Puercas
Arroyo Asentejos
Arroyo Ladronera
Arroyo Cerrajo
Arroyo Risquillo
Arroyo Cerro Aguila
Arroyo Fresnedilla
Arroyo Cortijo Quejido
Arroyo Cortijo de Pillas
Arroyo Cortijo de Malagones
Arroyo Cortijo de las Gavias
Arroyo Cortijo de la Almendra Baja
Arroyo Cortijo de la Umbría de la Vid
Arroyo Cortijo de la Zarzadilla
Arroyo Cortijo de la Canada de Huesa
Arroyo Cortijo de la Nava
Arroyo Cortijo de la Zamarrilla
Arroyo Cortijo del Cantarero Viejo
Arroyo Cortijo del Telégrafo
Arroyo Cortijo de los Carreteros
Arroyo Cortijo de los Charcos
Arroyo Cortijo de Candido
Arroyo Cortijo del Fresco
Arroyo Cortijo de Bartolomé Higuera
Arroyo Cortijo de Bartolomé Palomo
Arroyo Casa de Martina Blanco
Arroyo Casas de Piedras Blancas
Arroyo Casa de Tomaba
Arroyo Ermita de la Virgen del Romero
Arroyo Dehesa Moguila
Arroyo Cortijo de la Canada de Huesa
Arroyo Cortijo de la Almendra Baja
Arroyo Cortijo de la Umbría de la Vid
Arroyo Cortijo de la Zarzadilla
Arroyo Cortijo de la Zamarrilla
Arroyo Cortijo de la Nava
Arroyo Cortijo de Malagones
Arroyo Cortijo de las Gavias
Arroyo Cortijo de Pillas
Arroyo Cortijo de los Carreteros
Arroyo Cortijo de los Charcos
Arroyo Cortijo de Candido
Arroyo Cortijo del Fresno
Arroyo Cortijo de la Parrilla
Arroyo Cortijo de la Torrejuela
Arroyo Cortijo de la Almendra

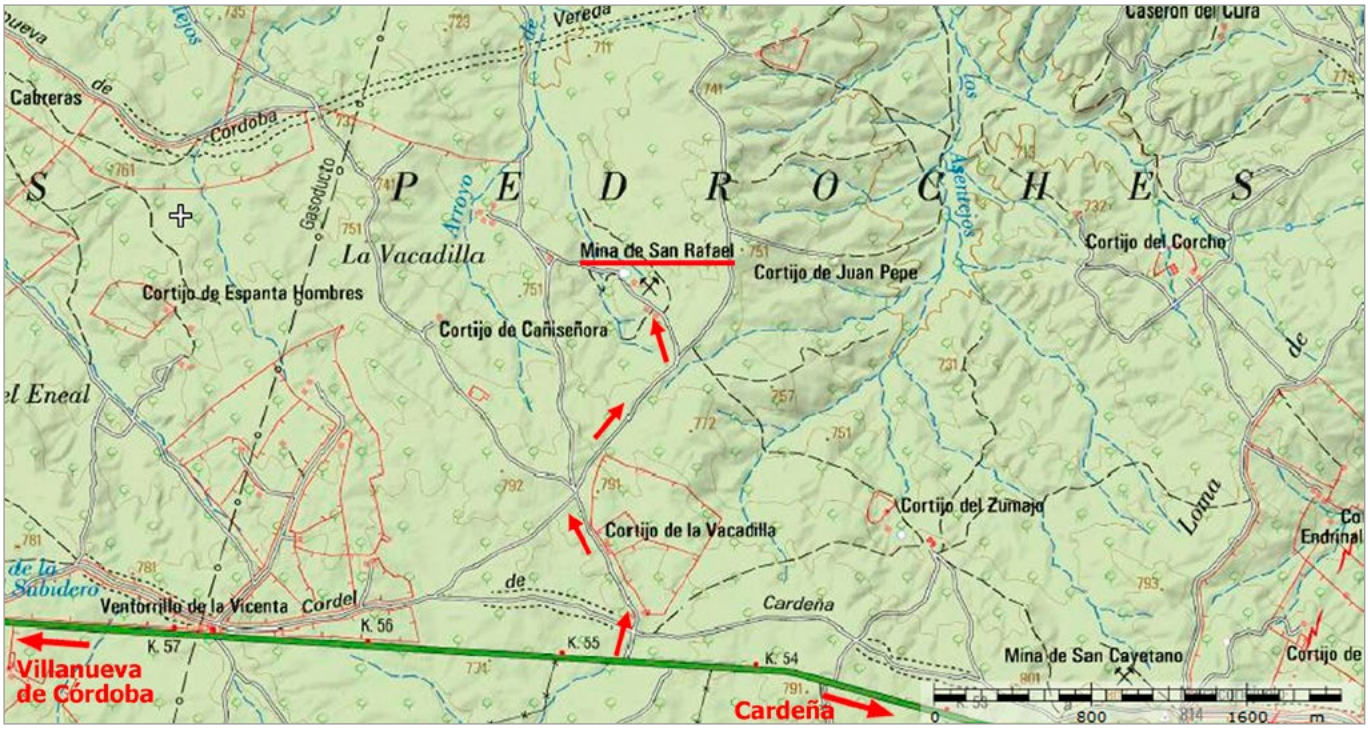
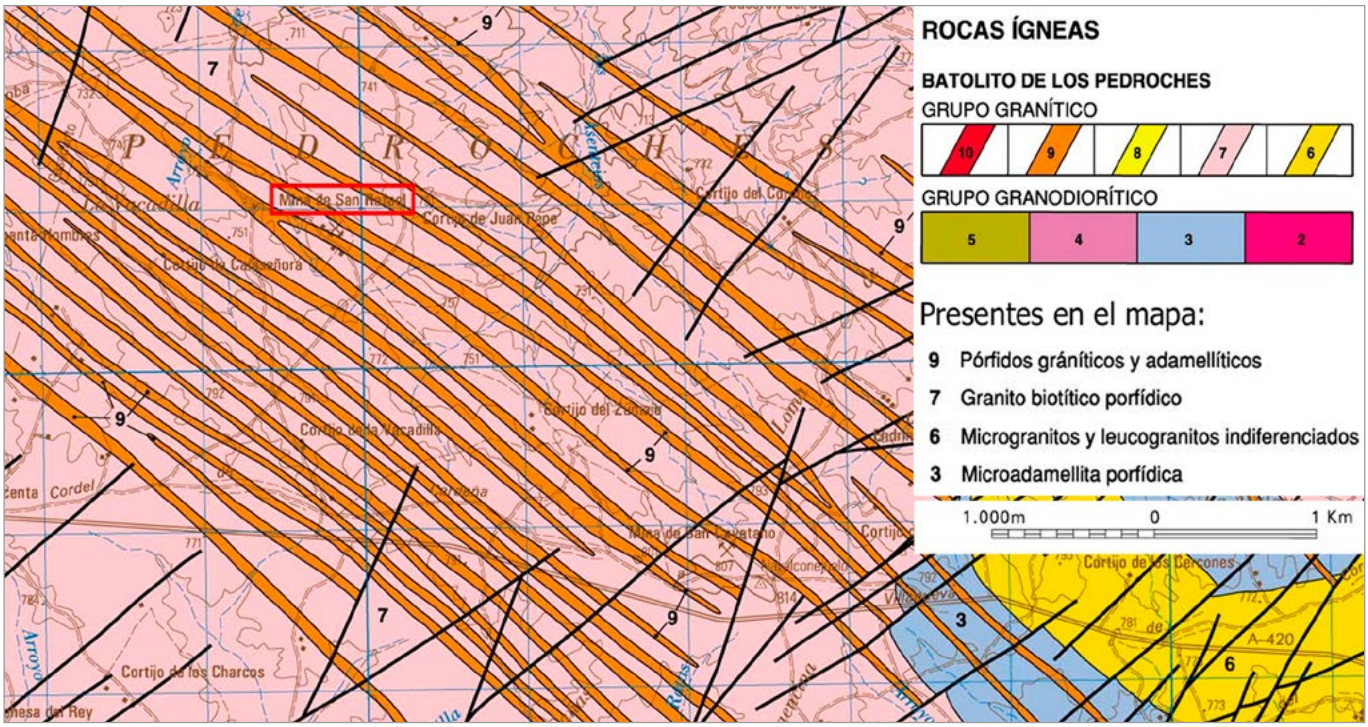



Figura 4. Accesos al yacimiento (aquí «Mina de San Rafael»). Mapa: modificado de la cartografía *raster* del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (fuente: portal Signa, Instituto Geográfico Nacional –IGN– de España).

Vacadilla. Tomando ese camino a poco más de 230 m se pasa junto a unas casas y siguiendo por el camino principal a 600 m se llega al cortijo de La Vacadilla. Pasadas las casas, a 360 m se cruza una puerta y, nada más pasarla, hay tres caminos. Tomando el de la derecha, a 900 m hay una bifurcación donde, si se coge el camino de la izquierda, se va al pozo maestro de la mina San Rafael, y si se coge el de la derecha se pasa junto al Pozo Nº 3.» (figura 4). Como puede verse, la mina queda a medio camino entre los cortijos de Juan Pepe y de Cartiseñora.

Figura 5. Geología de la mina "San Rafael" y sus alrededores. Mapa: modificado del pdf de la hoja nº 882 (Cardeña) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (fuente: Instituto Geológico y Minero de España –IGME–).



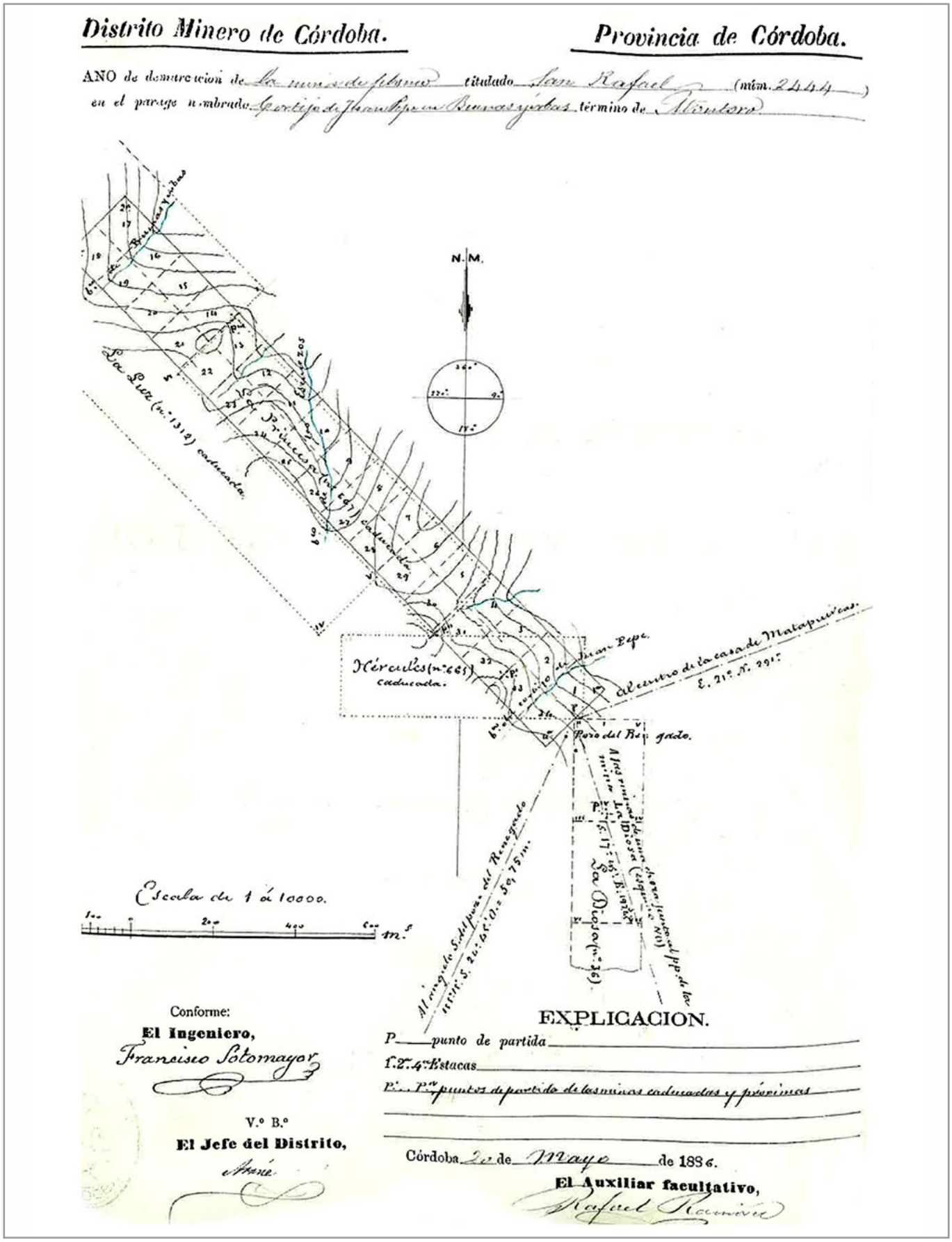



Figura 6. Plano de demarcación de la mina "San Rafael" (núm. 2444). Aquí se indica que se otorga para plomo y que está ubicada en el paraje del Cortijo de Juan Pepe, término de Montoro. Fuente: Archivo Central de la D. T. de Economía y Empleo en Córdoba.

**Distrito Minero de Córdoba.** **Provincia de Córdoba.**

EXPLICACION del plano de trinita y cuatro pertenencias para la mina de plomo nombrado San Rafael cuyo espediente tiene el núm. 2444 sito en Cortijo de Juan Pepe en Buenas yerbas, término municipal de Montoro, demarcado de órden del Sr. Gobernador fecha 8 de Abril de 1886. por el ingeniero que suscribe.

## VISUALES DE REFERENCIA Á PUNTOS FIJOS.

| | DIRECCION. Rumbos | Grados | . | Longitud en metros |
|---|---|---|---|---|
| Desde P. punto de partida | | | | |
| á el centro de la casa de Matapuercas | E. 21° N. | 291 | | |
| De id. á la esquina N. de las ruinas de una chica junto al F.F. de la Diva | S. 17° 45' E | 197 | 45 | |
| De id. á Cángulo S. del pozo del Renegado | S. 24° 45' O | 155 | 15 | 50.75 |

## LINEAS DE LA DEMARCACION.

| | BRÚJULA. Rumbos. | Grados | . | Longitud Metros | Metros cuadrados | SITIOS DE LOS MOJONES. | Minas ó terrenos colindantes con espresion del número de espediente respectivo. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DESDE EL P. DE P. | | | | | | | |
| á la 1.ª estaca | NE | 315. | . | 100 | | Terreno de D. Pedro Montes | Lindan con terrenos fron- |
| de la 1.ª á la 2.ª | NO | 45 | - | 1700 | 340.000 | Cañada de Buenas yerbas. | teros por todos sus lados. |
| de 2.ª á 3.ª | SO | 135 | . | 200 | | Id. | |
| de 3.ª á 4.ª | SE | 225 | . | 1700 | | Terreno de D. Pedro Montes. | |
| de 4.ª á P. | NE | 315 | . | 100 | | | |
| Nota. | Tiene un punto de contacto, que es el de partida, con la mina "La Diva" (nº 36) | | | | | | |
| | Encierra dos pertenencias | | | | | se compone de gran parte del terreno concedido á las minas Hercules (nº 665) | La Princesa (nº 667) y La Luz (nº 1312). |

Córdoba 20 de Mayo de 1886.

**El Ingeniero,**

Francisco Sotomayor

Figura 7. Explicación (visuales de referencia y líneas de demarcación) que acompaña al plano de la figura 6.
Fuente: Archivo Central de la D. T. de Economía y Empleo en Córdoba.

## Marco geológico

El yacimiento se encuentra en la zona noroeste de la hoja nº 882 (Cardeña) a escala 1:50.000 del MAGNA (figura 5), situándose en la parte sureste del Batolito de Los Pedroches, ubicado en la Unidad Granodiorítica de la Zona Centroibérica del Macizo Hespérico.

El Batolito de Los Pedroches, que se extiende en dirección ONO-ESE desde las proximidades de Linares (Jaén) hasta la comarca de La Serena (Badajoz), es una gran estructura geológica tardihercínica intruida en materiales carboníferos (Culm de Los Pedroches), formada esencialmente por dos unidades plutónicas: la Unidad Granodiorítica y la Unidad Granítica, además de un importante complejo filoniano.

Estas unidades se emplazaron en dos episodios plutónicos principales. El primero, la Unidad Granodiorítica, es un lacolito alargado con dirección N110-115°E que está formado por granodioritas biotíticas y anfíbol, al que se le calcula una edad de unos 310 Ma. Mientras que la Unidad Granítica, que se emplaza con posterioridad, estimándose una edad de unos 300 Ma, forma una serie de plutones alineados según la dirección N120-130°E. Esta unidad está compuesta por monzogranitos porfídicos, formados por fenocristales de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa, y a veces cordierita, englobados en una matriz granítica biotítica-cordierítica, con moscovita secundaria, de grano fino a grueso. El batolito se enclava cronológicamente al final de la orogenia Varisca o Hercínica, concretamente en el Bolsoviense (antes Westfaliense C), que corresponde al Carbonífero superior.

Una importante peculiaridad del Batolito de Los Pedroches es que está surcado por un gran número de filones y diques (como se aprecia bien en el mapa de la figura 5), desarrollados posteriormente a su formación, que han dado lugar a numerosos yacimientos explotados desde muy antiguo. Uno de estos filones hidrotermales es el llamado filón 'Zumajo' que, según el Programa Nacional de Investigación Minera, es una estructura de desgarre, de dirección N120°E, a lo largo de la cual se multiplican numerosas fracturas de dirección regional N55°O y cuya longitud total llega a los 30 kilómetros, situada entre los términos municipales de Cardeña y Villanueva de Córdoba. El filón encaja en su extremo noroeste en la Unidad Granodiorítica y en la parte opuesta penetra en el plutón de Cardeña-Virgen de la Cabeza, uno de los seis plutones que forman la Unidad Granítica del Batolito de Los Pedroches.

Aprovechando esta gran fractura han encajado numerosos diques de tipo aplítico-pegmatítico, seguidos inmediatamente por la mineralización de cuarzo-calcita-barita-fluorita con galena, esfalerita, sulfuros de cobre y otros sulfuros complejos. Posteriormente el mecanismo de cizallamiento siguió funcionando, dispersando las mineralizaciones y produciendo potentes salbandas de ultramilonitas arcillosas que rompen la continuidad de las estructuras y dificultan extraordinariamente las labores de explotación.

En los granitos y granodioritas del Batolito de Los Pedroches es frecuente encontrar uranio que, movilizado, se encuentra con minerales alterados de plomo y puede llegar a formar raros silicatos de uranilo y plomo, como la kasolita.

Son numerosas las concesiones mineras que se alinean a lo largo de la corrida del filón 'Zumajo', entre ellas las minas más importantes son "San Rafael", "La Chinche", "San Juan", "Membrilejos" y "El Águila". En ninguna de ellas se profundizó a más de 100 metros.

## Antecedentes históricos

Aprovechando el magnífico artículo de Ramos *et al.* (2012) "Kasolita de la mina 'San Rafael', Cardeña (Córdoba, España)", publicado en la revista *Acopios*,

Figura 8. Vista exterior del robusto malacate de mampostería del pozo 'maestro', que está bastante bien conservado. Foto: Antonio P. López.

Figura 9. Detalle del interior del malacate de la figura 8. El pozo está al fondo de la imagen. Foto: Antonio P. López.

Figura 10. Detalle de los arcos de mampostería externos del malacate del pozo 'maestro'. Foto: Antonio P. López.

Figura 11. Interior del pozo 'maestro', de casi 3 metros de diámetro. Foto: Antonio P. López.

Figura 12. Pozo auxiliar 'Nº 3', casi totalmente rodeado por un muro de mampostería. Foto: Antonio P. López.

Figura 13. Escombrera próxima al pozo 'Nº 3'. Foto: Antonio P. López.

Figura 14. Restos de edificios situados hacia el suroeste del pozo 'maestro'. Foto: Antonio P. López.

Figura 15. Restos de las alineaciones formadas por los muros de los pabellones mineros, hacia el sur del pozo 'maestro'. Foto: Antonio P. López.

Figura 16. Casa de máquinas del pozo 'maestro', desde la que se manipulaba la jaula. Foto: Antonio P. López.

Figura 17. Zona en la que se ubicaba la planta de lavado. Foto: Antonio P. López.

haremos un breve resumen de la historia de la mina.

La concesión "San Rafael", con nº 2.444, fue solicitada el 27 de noviembre de 1885 y demarcada el 20 de mayo de 1886 (figuras 6 y 7). Fue otorgada el 21 de julio de 1886 y entregado el Título el 9 de octubre del mismo año, con una superficie total concedida de 34 hectáreas, a la Compañía de los Ferrocarriles Andaluces (CFA). Esta compañía tuvo la mina en explotación hasta que en 1912 la arrendó a la Sociedad Minero Metalúrgica de Peñarroya (SMMP). La coincidencia con la Primera Guerra Mundial incrementó la demanda de mineral, cuya producción alcanzó las 9.465 toneladas entre los años 1913 y 1918. Pocos años después, la SMMP estuvo relavando las escombreras de la mina y se retiró de la explotación definitivamente a mediados de los años 20. A partir de ese momento el yacimiento se trabajó por cuadrillas de buscadores que removían las antiguas escombreras y extraían mineral en zonas del filón que aún no habían sido explotadas.

Cardeña pertenecía al término municipal de Montoro hasta que se segregó de éste en el año 1930. Por este motivo, la mina "San Rafael" aparece en planos y documentos anteriores a ese año como perteneciente a Montoro (como en el caso de la figura 6).

En 1969, la Compañía de los Ferrocarriles Andaluces, titular de la concesión, se la arrendó a un particular para relavar las escombreras. Finalmente, en 1977 la sociedad EXMINESA, que trabajó también las explotaciones de plomo-zinc de Rubiales (Lugo) o las de hierro-zinc de Mutiloa (Guipúzcoa), en un acuerdo firmado con CFA, investigó varias concesiones del filón 'Zumajo' dentro del Permiso de Investigación llamado "San Francisco", que no llegó a concluir por problemas con los propietarios de los terrenos y por la reducción del crédito.

Durante los años 60 y 70 del siglo XX se llevaron a cabo varias campañas de investigación por parte del IGME y de ENADIMSA (Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras S.A.). Finalmente, en los

Figura 18. Restos de maquinaria de la planta de lavado. Foto: Antonio P. López.

Figura 19. Molino de trituración en su posición original. Foto: Antonio P. López.

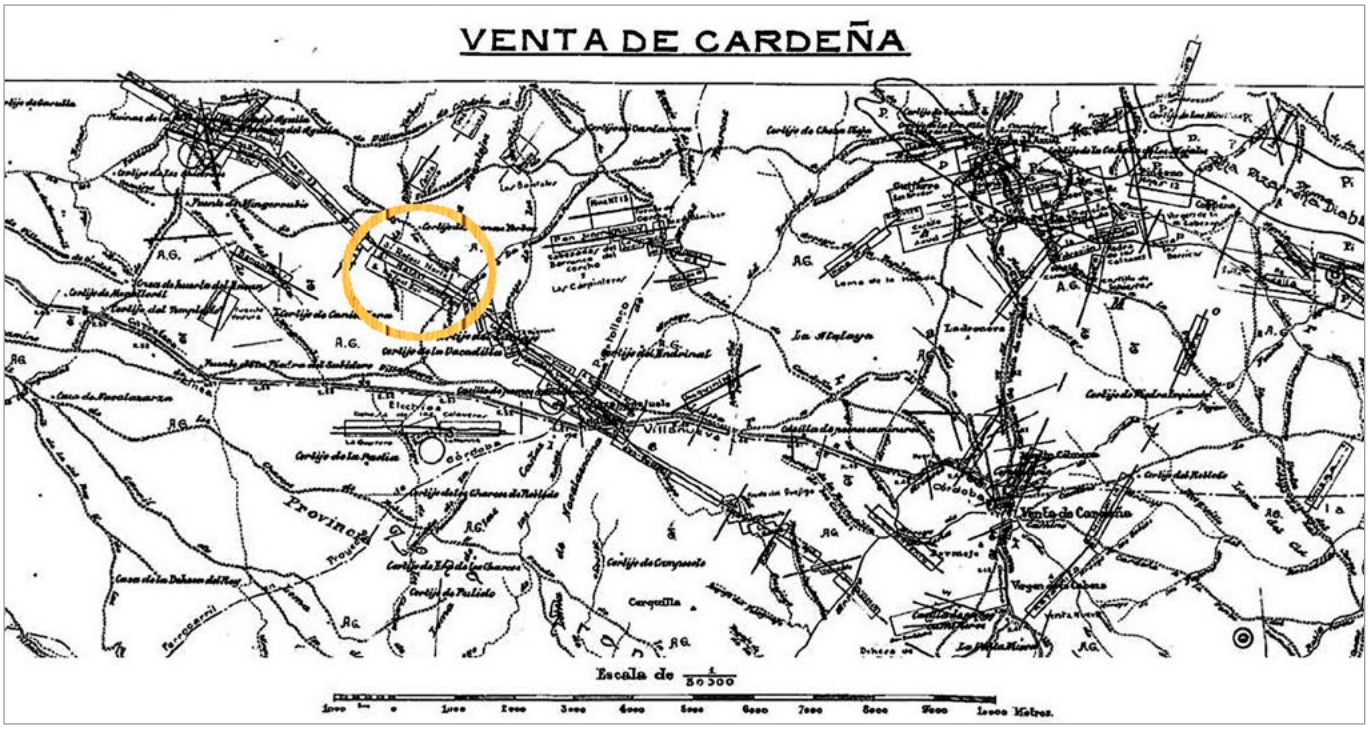



Figura 20. Plano minero de una parte del municipio de Cardeña (Venta de Cardeña), a inicios de los años 30 del s. XX, según A. Carbonell Trillo-Figueroa (modificado). Marcado en amarillo, el grupo minero "San Rafael". Fuente: Escuela de Minas de Belmez, Córdoba.

primeros años de los 80 la zona fue investigada por MAYASA (Minas de Almadén y Arrayanes S.A.).

La concesión "San Rafael" caducó, mediante resolución del Consejero de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía, con fecha 8 de abril de 1997.

## Minería

El informe de metalogenia del IGME realizado por Palero Fernández (2009), con código 0882020, recoge que el yacimiento de San Rafael es «un filón de cuarzo emplazado en una potente caja filoniana de granito descompuesto que puede llegar a 14 m de potencia. Parece ser que en algunas zonas había otro filón mineralizado dentro de la misma caja. Presenta una buena continuidad que supera el kilómetro con rumbo N135°E». Tiene una estructura general bandeada, formada por cuarzo tectonizado de aspecto sacaroide y masivo.

La roca encajante está formada por granodioritas equigranulares de grano medio a fino, con algunos enclaves, en las que encajan grandes diques de pórfidos graníticos de rumbo ONO-ESE. En el contacto de la granodiorita con los diques se desarrollan zonas de fracturas silicificadas y rellenas de cuarzo.

La edad estimada es Bolsoviense (antiguo Westfaliense C) que corresponde al Carbonífero superior, hace aproximadamente 310 Ma.

En el terreno se localizan tres pozos. El principal es el pozo 'maestro', también llamado pozo 'Nº 1' o pozo 'San Rafael', sobre el que hay un magnífico malacate de mampostería bastante bien conservado (figuras 8, 9 y 10). El pozo (figura 11) tenía tres plantas, llegando a los 108 metros de profundidad y cortando el filón a los 103 y 100 metros en la última planta. Las otras dos estaban en los niveles 61 y 30 metros, respectivamente. Al oeste se localiza el pozo auxiliar 'Nº 2' y a unos 400 metros al este del pozo 'maestro' se encuentra el otro pozo auxiliar, el 'Nº 3' (figura 12). Ambos pozos auxiliares llegaron hasta los 60 metros. En profundidad, la mineralización en todos los pozos era solo de 3 cm de grosor, motivo por el cual las labores fueron abandonadas.

Varias pequeñas escombreras se localizan próximas a los diferentes pozos de la mina (figura 13).

Hacia el sur y suroeste del pozo principal hay restos de edificios abandonados, posiblemente talleres y alguna oficina (figuras 14), y largos muros que correspondían a los pabellones de los mineros, curiosamente alineados en la misma dirección que el filón 'Zumajo' (figura 15). Cerca del pozo 'Nº 1' queda en pie la casa de máquinas (figura 16).

Al noroeste del pozo 'maestro' se localiza la zona en donde se ubicaba la planta de lavado y molienda (figura 17). En la actualidad solo quedan restos oxidados de alguna maquinaria y un pequeño molino de bolas que permanece en su posición original (figuras 18 y 19), en una gran explanada.

La mina "San Rafael" llegó a formar un grupo minero. Algunas de las concesiones que formaron parte de este grupo fueron "Socorro" (nº 2483), "Número 24" (nº 5654), "Tío Juan" (nº 6556), "Juan Pepe" (nº 6627), "San Rafael Sur" (nº 6656) y "San Rafael Norte" (nº 6657). En el mapa de la figura 20 aparece con las concesiones "San Rafael Sur", "San Rafael" y "San Rafael Norte".

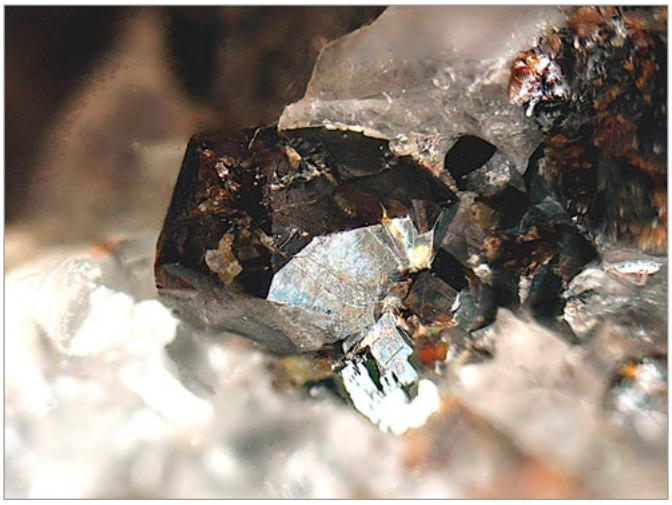


Figura 21. Esfalerita. Cristal de 2 mm.
Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 22. Galena en cuarcita. Medidas: 5 x 5 cm.
Colección y foto: Juan José Herrera.

La ley para el plomo llegó a ser del 4,7% y su contenido en plata de alrededor de 200 g/t. Las probables reservas existentes del grupo "San Rafael" se pueden estimar en unas 75.000 toneladas de todo uno.

## Mineralogía

La paragénesis de este yacimiento de origen filoniano está constituida, como minerales metálicos primarios, por galena y esfalerita, que aparecen junto a cuarzo, jaspe (var. de calcedonia) y ankerita. Y por la alteración de estos minerales primarios aparece una paragénesis secundaria formada por anglesita, calcita, calcocita, calcopirita, caledonita, cerusita, crisocola, cuprita, descloizita, djurleíta, hemimorfita, kasolita, linarita, malaquita, mimetita, pirita, piromorfita, willemita y wulfenita.

Haremos un repaso detallado de las diferentes especies minerales encontradas en el yacimiento de "San Rafael", independientemente de la abundancia con la que aparecen, siguiendo un orden sistemático.

### Sulfuros

**Calcocita**, $Cu_2S$, y **djurleíta**, $Cu_{33}S_{16}$

Se trata de dos sulfuros secundarios que aparecen mezclados entre sí, como pequeñas masas, a veces centimétricas, diseminadas en las zonas oxidadas de los sulfuros de cobre de la mina "San Rafael" (Ramos *et al.*, 2012).

**Calcopirita**, $CuFeS_2$

Esta especie se encuentra residualmente asociada a los sulfuros principales que aparecen en la mina. No hemos encontrado muestras significativas recientemente.

**Esfalerita**, ZnS

La esfalerita se encuentra formando delgados filon-

Figura 23. Cerusita y mimetita. C.V. 1 cm.
Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 24. Cristal de cerusita de 8 mm en matriz de cuarzo.
Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

cillos asociada a la galena o como pequeños cristales equidimensionales en fisuras de cuarzo, de color marrón rojizo a casi negro (figura 21). Este sulfuro se presenta en menor cantidad que la galena, aunque fue también aprovechado como mena metálica en este yacimiento.

**Galena**, PbS

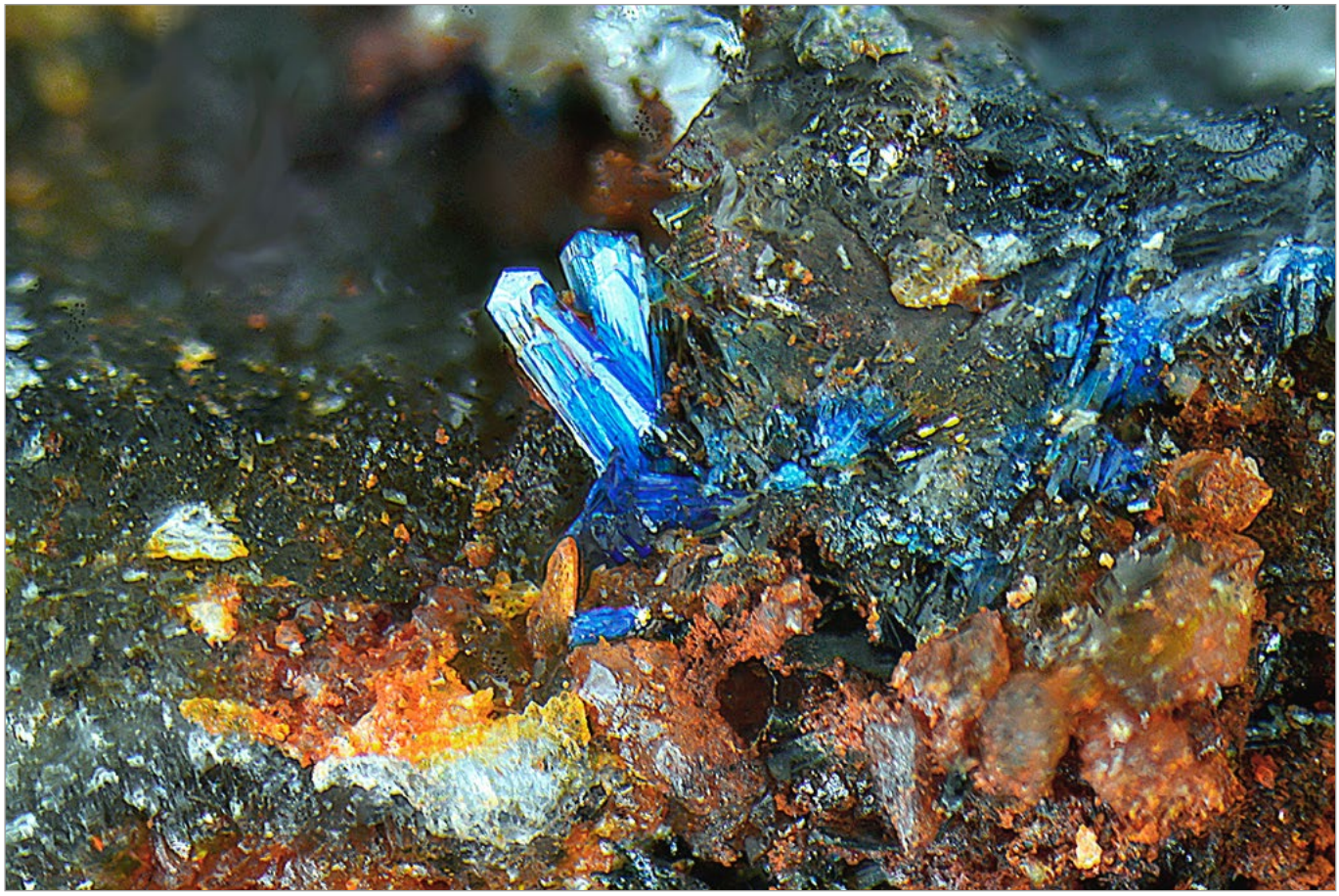
Este sulfuro de plomo, de color gris y brillo metálico, aparece en masas exfoliables incluidas en matriz de cuarzo (figura 22), algo alteradas por oxidación, y como cristales cúbicos centimétricos. Actualmente, y en muy raras ocasiones, como pequeños cristales toscos cúbicos o con cierto hábito cubooctaédrico de tamaño milimétrico. En algunos niveles la galena llegó a contener cantidades suficientes de plata como para ser beneficiada. Generalmente va asociada al otro mineral primario, esfalerita, y a los de alteración, cerusita y anglesita. Es la mena mineral principal de la mina "San Rafael".

**Pirita**, $FeS_2$

Igual que la calcopirita, está muy poco representada en el yacimiento. Aparece diseminada en pequeños cristales cúbicos o en forma masiva incluida en el cuarzo y la calcedonia.

Figura 25. Cerusita. C.V. 8 mm.
Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 26. Caledonita. C.V. 1 mm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.



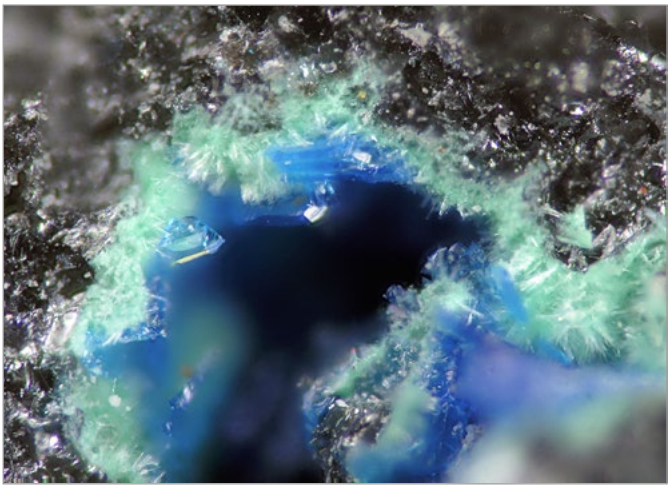


Figura 27. Caledonita rodeada de malaquita. C.V. 2 mm. Colección y foto: César Menor-Salván.

Figura 28. Linarita (pendiente de análisis). C.V. 3 mm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

## Óxidos

**Cuarzo**, $SiO_2$

El cuarzo, en diferentes variedades, se presenta rellenando el filón mineralizado de la mina "San Rafael", en las zonas de fracturas y en el contacto de la granodiorita con el dique de pórfido granítico de la roca encajante. El cuarzo ha aparecido formando cristales prismáticos hexagonales terminados en un extremo por dos romboedros, uno positivo y otro negativo, que les da una apariencia de pirámide. En los ejemplares 'micro' fotografiados, el cuarzo aparece en forma de pequeños cristales hialinos con hábito piramidal tapizando las superficies de la matriz o en pequeñas oquedades, asociado a kasolita, descloizita, willemita y wulfenita. En los extremos del filón se encuentra jaspe, que es la variedad de calcedonia formada por cuarzo microcristalino o criptocristalino, generalmente en una proporción por encima del 80%, conteniendo hasta el 20% de otros minerales, especialmente óxidos de hierro, minerales de las arcillas, cloritas, etc. Es muy abundante en toda la explotación.

**Cuprita**, $Cu_2O$

La cuprita aparece como producto de alteración en la zona de oxidación de minerales de cobre. De color rojo ladrillo a casi negro, su brillo es adamantino y pertenece al sistema cúbico. Según Calvo Rebollar (2009) se han encontrado granos cristalinos y cristales milimétricos, de hábito octaédrico, a veces con pequeñas modificaciones de caras de cubo, asociados a microcristales de cerusita. Los cristales de cuprita presentan corrosiones en algunos puntos, que suelen estar rellenas por carbonatos de cobre, mientras que en otros las caras están sin alterar visiblemente, aunque carecen casi de brillo.

## Carbonatos

**Ankerita**, $Ca(Fe^{2+},Mg)(CO_3)_2$

En el informe de metalogenia del IGME (Palero Fernández, 2009) se cita la ankerita, pero no la hemos encontrado en restos visibles en las escombreras de la mina.

Figura 29. Linarita. C.V. 3 mm. Colección y foto: César Menor-Salván.

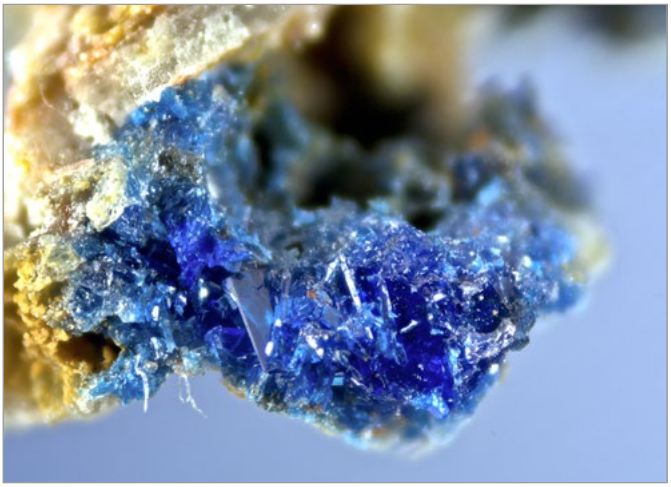


Figura 30. Wulfenita con cerusita y mimetita. Medidas: 3,5 x 3,5 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 31. Wulfenita y mimetita-piromorfita (serie). C.V. 1,5 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 32. Cristales tabulares de wulfenita recubiertos de pequeños cristales prismáticos de mimetita-piromorfita (serie). C.V. 1,8 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

**Calcita**, $Ca(CO_3)$

En este yacimiento se depositaron, junto con el cuarzo de origen hidrotermal, algunos carbonatos, entre ellos calcita. La forma más común de presentarse es como romboedros agudos o prismáticos con terminaciones escalenoédricas, o combinaciones de los dos, aunque de manera más habitual aparece como restos masivos o exfoliados (espáticos).

**Cerusita**, $Pb(CO_3)$

Este carbonato se encuentra en la zona de oxidación de los depósitos de minerales de plomo. Especie de origen secundario, es el resultado de la alteración de

Figura 33. Cristal tabular de wulfenita. C.V. 1 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

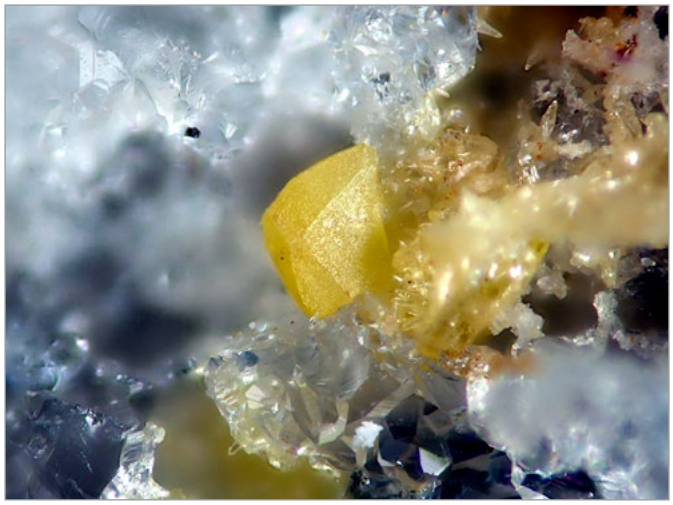


Figura 34. Wulfenita. C.V. 1 mm.
Colección y foto: César Menor-Salván.

Figura 35. Wulfenita. C.V. 8,5 mm.
Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 36. Wulfenita rodeada de pequeños cristales de mimetita-piromorfita (serie). C.V. 7 mm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 37. Cristales de descloizita. Sobre uno de ellos ha crecido un pequeño cristal de wulfenita. C.V. 1 mm. Colección y foto: César Menor-Salván.

Figura 38. Mimetita-piromorfita (serie) y wulfenita. Medidas: 6 x 3,5 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 39. Cristales prismáticos de mimetita, con terminación piramidal. C.V. 4 mm. Colección y foto: César Menor-Salván.

Figura 40. Mimetita-piromorfita (serie). C.V. 1,5 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

la galena en esta mina. Se presenta en forma de cristales prismáticos alargados, a menudo también tabulares con terminaciones bipiramidales, incoloros o ligeramente blanquecinos (figuras 23, 24 y 25). Se han encontrado también maclas de contacto según {110}, formadas por dos individuos, y otras compuestas por varios cristales prismáticos que forman grupos múltiples pseudohexagonales en forma de estrella, con brillo intenso, algo nacarado. Se encuentra asociada a malaquita y, ocasionalmente, a kasolita, como cristales milimétricos de color miel o marrón claro. En los huecos de la galena aparece en forma de diminutos cristales de color oscuro, probablemente por la presencia de inclusiones de galena (Calvo Rebollar, 2012).

Figura 41. Mimetita-piromorfita (serie). Medidas: 2,5 x 2 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

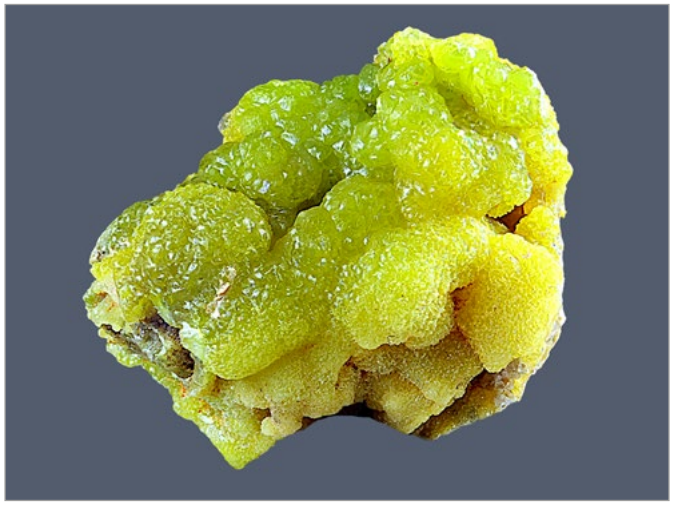
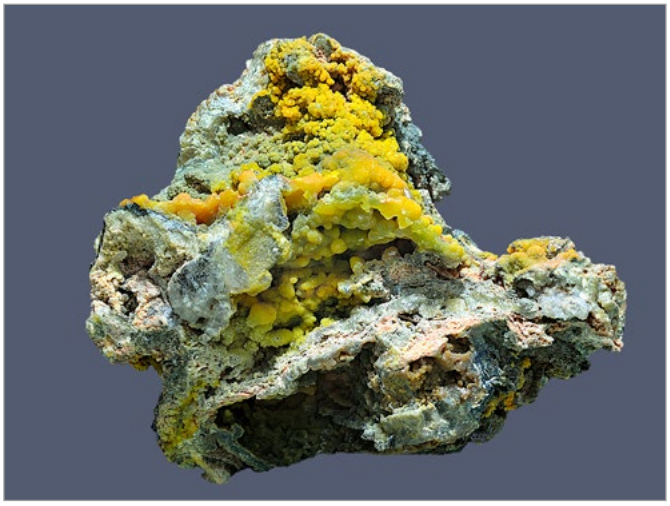


Figura 42. Mimetita-piromorfita (serie). Medidas: 8 x 6,5 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.



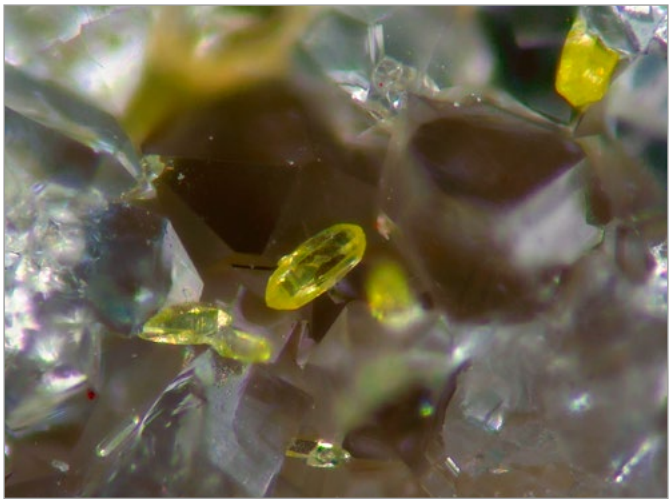


Figura 43. Cristales biterminados de piromorfita. C.V. 0,8 mm. Colección y foto: César Menor-Salván.

Figura 44. Piromorfita con un pequeño cristal de wulfenita. C.V. 2 mm. Colección y foto: César Menor-Salván.

**Malaquita**, $Cu_2(CO_3)(OH)_2$

En las zonas de la mina en donde los sulfuros de cobre son más abundantes no es raro encontrar este carbonato de cobre, en muy pequeña cantidad. Aparece en pequeñas costras o masiva, asociada a caledonita, como finos cristales aciculares de color verde claro. Curiosamente no ha sido citado ni encontrado el otro carbonato de cobre habitual, la azurita, en todo el yacimiento.

## Sulfatos

**Anglesita**, $Pb(SO_4)$

Es junto con la cerusita el mineral de plomo secundario más común, aunque bastante más escaso que ésta. Se encuentra formando cristales frecuentemente tabulares, de contorno romboidal, o cristales prismáticos, a veces estriados verticalmente. Normalmente incolora o blanquecina, su brillo puede ser adamantino o vítreo. Calvo Rebollar (2014) describe la presencia en la mina "San Rafael" de «pequeños cristales de anglesita, incoloros o de color caramelo, con hábito tabular y de unos cuantos milímetros de longitud, en huecos en la galena. También aparecen pequeñas masas cristalinas».

**Caledonita**, $Pb_5Cu_2(SO_4)_3(CO_3)(OH)_6$

Este raro sulfato de plomo y cobre, de color azul y brillo vítreo, aparece en forma de cristales prismáticos alargados según [001], generalmente con estriación paralela al eje *c*. Es muy difícil de identificar 'a visu', dada su escasez y su semejanza con la linarita, por lo que resulta imprescindible un estudio analítico para su correcta caracterización. Los cristales suelen ser minúsculos y aparecen sueltos o formando grupos divergentes (figuras 26 y 27). Se encuentra asociada a cerusita, malaquita y wulfenita.

**Linarita**, $PbCu(SO_4)(OH)_2$

Sulfato de plomo y cobre de color azul, similar a la caledonita. Aparece en forma de pequeños cristales tabulares gruesos o alargados con fuerte brillo vítreo (figuras 28 y 29). También se ha encontrado como

Figura 45. Crisocola. Medidas: 6 x 3,5 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 46. Kasolita. C.V. 1 cm. Colección y foto: César Menor-Salván.

Figura 47. Kasolita sobre cuarzo. C.V. 2 mm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

haces divergentes de cristales aciculares, asociada a cerusita y cuarzo. Relativamente poco abundante, a veces se presenta impregnando masas de cuarzo o en finas costras azuladas.

**Wulfenita**, $Pb(MoO_4)$

La wulfenita es un molibdato de origen secundario que se encuentra en las zonas de oxidación de los depósitos hidrotermales de plomo. Su color varía de rojo anaranjado intenso hasta amarillo. Aparece formando cristales tabulares delgados según [001] o cuadrados, con caras planas o redondeadas, de hasta un centímetro, pero generalmente bastante menores, asociados a cerusita y minerales intermedios de la serie mimetita-piromorfita (figuras 30 a 36). Es relativamente abundante en la mina "San Rafael".

Figura 48. Kasolita sobre cuarzo. C.V. 1 mm.
Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

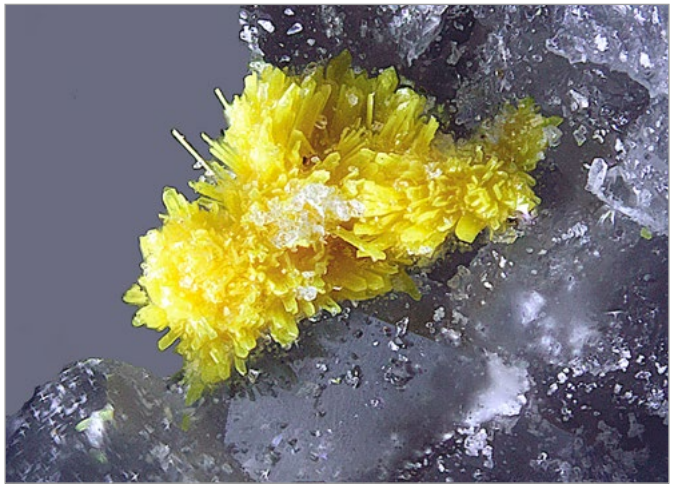


Figura 49. Kasolita y willemita. C.V. 1 mm.
Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 50. Kasolita. C.V. 2 mm.
Colección y foto: César Menor-Salván.

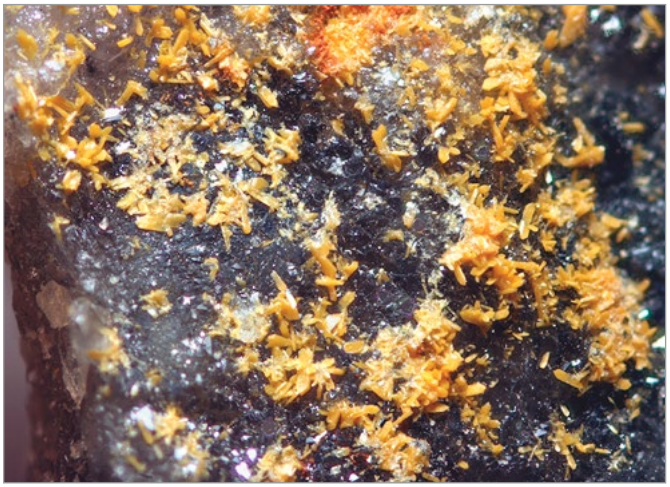


Figura 51. Kasolita. C.V. 8 mm.
Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

## Fosfatos, arseniatos y vanadatos

**Descloizita**, $PbZn(VO_4)(OH)$

Este vanadato de plomo y zinc se presenta en este yacimiento en forma de microcristales piramidales o prismáticos cortos de color pardo verdoso (figura 37). Este mineral de origen secundario de Zn, que se encuentra en las zonas de oxidación, forma serie con la mottramita, su análogo de Cu, que no se ha nombrado en esta mina, pero sí en otras también situadas sobre el filón 'Zumajo'. La descloizita es una especie muy poco frecuente en este depósito y solo se han hallado ejemplares 'micro', difícilmente visibles a simple vista.

**Mimetita-piromorfita** (serie), $Pb_5(AsO_4)_3Cl$ -$Pb_5(PO_4)_3Cl$

La mimetita es un arseniato que forma serie con la piromorfita, que es su fosfato análogo (isoestructural). En el yacimiento se encuentran ambas, formando serie (con predominio de los términos intermedios), por lo que es muy difícil distinguirlas a simple vista sin un análisis (figuras 38 a 44). Estos minerales secundarios se encuentran como pequeños prismas hexagonales, con las caras dominantes, sobre las que aparecen caras del pinacoide, o en forma de barril con las caras redondeadas, sobre grupos de cristales de cuarzo y galena alterada. Frecuentemente se presentan con hábito globular o reniforme y como recubrimientos compactos de estructura interna radiada. Su color varía desde el amarillo pálido hasta el verde, pudiendo ser también anaranjado y parduzco a rojizo; presentando un notable brillo resinoso.

## Silicatos

**Crisocola**, $Cu_{2-x}Al_x(H_{2-x}Si_2O_5)(OH)_4 \cdot nH_2O$

Filosilicato de origen secundario que suele aparecer asociado a otros minerales de cobre. De color azul a azul verdoso, se encuentra en el yacimiento como masas redondeadas o botrioidales (figura 45), junto con malaquita y calcopirita.

Figura 52. Kasolita sobre cuarzo. C.V. 1 mm.
Colección y foto: César Menor-Salván.

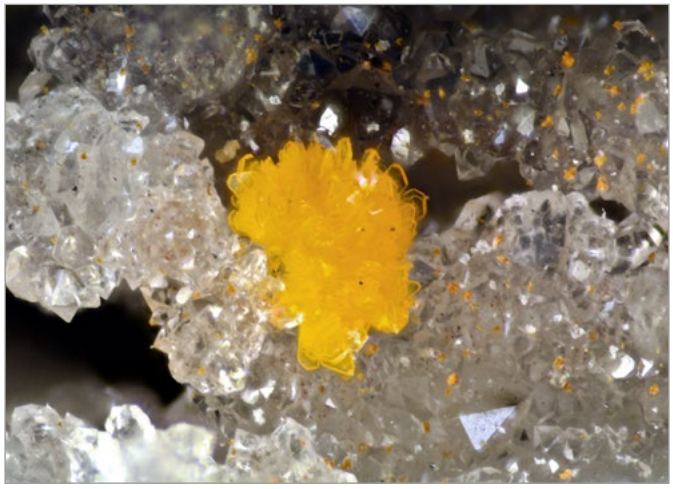


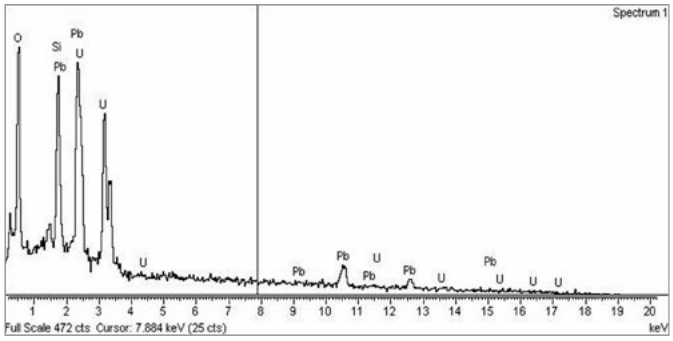
Figura 53. Kasolita sobre cuarzo. C.V. 1 mm.
Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

Figura 54. Kasolita con cuarzo. C.V. 2 mm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

**Hemimorfita**, $Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot H_2O$

Sorosilicato hidratado de zinc, incoloro o blanco, que se presenta generalmente en forma de cristales tabulares delgados o como agregados en forma de gavilla o abanico. Calvo Rebollar (2018) detalla la presencia de hemimorfita en la mina "San Rafael" «como agregados de cristales de hasta 3 milímetros de longitud y como esférulas del mismo tamaño, con estructura interna radiada y la superficie formada por las terminaciones paralelas a la superficie esférica de cristales laminares».

Figura 55. Espectro EDS de la kasolita de la mina "San Rafael". Análisis: César Menor-Salván.




**Kasolita**, $Pb(UO_2)(SiO_4) \cdot H_2O$

Este raro nesosilicato de plomo y uranilo es de intenso color amarillo a naranja rojizo. Aparece como cristales prismáticos aciculares formando agregados fibroso-rradiados, dentro de pequeñas geoditas o fisuras del cuarzo. En los ejemplares encontrados en la escombrera del pozo 'maestro', la kasolita se encuentra asociada a malaquita y a cerusita y aparece como cristales bien formados, de color amarillo canario intenso, con un cierto tono ocre en el caso de los mayores, brillantes, y que pueden tener un tamaño desde unas décimas de milímetro hasta varios milímetros. En la escombrera del pozo 'Nº 3' aparece en forma de bellos grupos radiales o divergentes de cristales de color amarillo canario a amarillo limón, ocasionalmente anaranjados a parduzcos. A veces se presenta como cristales prismáticos cortos y aplanados con la forma [001] como predominante, o en grupos de cristales aciculares (figuras 46 a 54). En algunos ejemplares, los cristales más pequeños recubren completamente las paredes de huecos formados por la desaparición de galena (Calvo Rebollar, 2018). En los cristales más grandes, hayan crecido totalmente o solo parcialmente, se observan fracturas según el plano de exfoliación (001), que hace que los cristales estén formados por una especie de apilamiento de láminas (Ramos *et al.*, 2012). El análisis realizado mediante SEM-

Figura 56. Grupo de cristales de willemita incolora sobre esfalerita, en matriz de cuarzo. C.V. 1,5 cm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

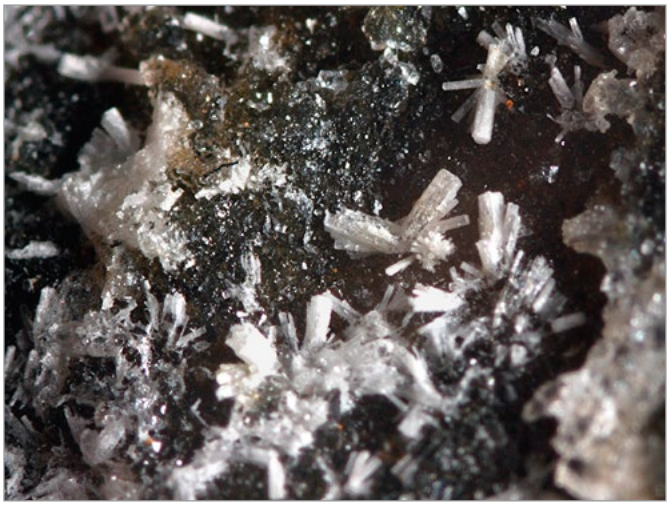


Figura 57. Willemita. C.V. 2 mm. Colección y foto: César Menor-Salván.

EDS que caracteriza la kasolita de la mina "San Rafael" muestra el espectro EDS que podemos ver en la figura 55. Es, sin duda, el mineral 'micro' más llamativo de este yacimiento.

**Willemita**, $Zn_2(SiO_4)$

Es un nesosilicato de zinc que en esta mina se presenta en forma de cristales prismáticos finos, incoloros a blanquecinos y transparentes a traslúcidos, con terminaciones planas del pinacoide basal o ligeramente redondeadas. Otras veces aparece formando agregados de cristales en abanico; e incluso se han encontrado cristales prismáticos biterminados con hábito hexagonal (figuras 56, 57 y 58).

Figura 58. Willemita. C.V. 5 mm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.

## *Agradecimientos*

A Carles Manresa y a Javier Rodríguez por la corrección del texto. A José Luis Garrido por la exhaustiva y acertada revisión del artículo.
Un recuerdo para Joaquín Blanco y Rafael Gutiérrez, compañeros de Acmipa (Asociación Cordobesa de Mineralogía y Paleontología) y de "salidas a por piedras" durante años, con los que hice mi primera visita a esta mina; y a Juan José Herrera, con quien hice la última visita (de momento) y tomé las imágenes de las instalaciones mineras que ilustran este artículo (en el año 2017).

## *Referencias bibliográficas*

- Calvo Rebollar, Miguel (2003): *Minerales y Minas de España. Volumen II: Sulfuros y sulfosales*. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava, Dpto. de Cultura, Juventud y Deportes. 705 pp.
- Calvo Rebollar, Miguel (2009): *Minerales y Minas de España. Volumen IV: Óxidos e hidróxidos*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas / Fundación Gómez Pardo. 751 pp.
- Calvo Rebollar, Miguel (2012): *Minerales y Minas de España. Volumen V: Carbonatos y nitratos. Boratos*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas / Fundación Gómez Pardo. 711 pp.
- Calvo Rebollar, Miguel (2014): *Minerales y Minas de España. Volumen VI: Sulfatos (seleniatos, teluratos), cromatos, molibdatos y wolframatos*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas / Fundación Gómez Pardo. 653 pp.
- Calvo Rebollar, Miguel (2018): *Minerales y Minas de España. Volumen IX: Silicatos*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas / Fundación Gómez Pardo. 767 pp.
- ENADIMSA (1986): *La Minería Andaluza. Libro Blanco*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Economía y Fomento, Dirección General de Industria, Energía y Minas.
- García-Cortés, A., Boixereu i Vila, E., Feixas, C., Fernández Leyva, C., Gumiel Martínez, P. (2011): *Cartografía de recursos minerales de Andalucía*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España / Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. 594 pp.
- Pastor Gómez, Vicente [Dir.] (1972): *Plan nacional de la minería. Programa nacional de investigación minera. Programa sectorial de investigación de minerales de plomo y cinc*. Madrid: Ministerio de Industria, Dirección General de Minas.
- Quesada, C., Cueto, L.A., Fernández, F.J., Larrea, F.J. (2013): *Memoria de la Hoja nº 882 (Cardeña). Mapa Geológico de España E. 1:50.000*. Segunda serie (MAGNA). Cartografía finalizada en 1990 y memoria finalizada y revisada en 2008. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Ramos Márquez, I., Menor-Salván, C., Calvo Rebollar, M., Carmona Ruiz, A., Viñals, J. (2012): "Kasolita de la mina 'San Rafael', Cardeña (Córdoba, España)". *Acopios;* vol. 3, pp. 63-76.

## *Webs consultadas*

- Web de la base de datos Mindat. Consulta: agosto y septiembre de 2020. Disponible en <https://www.mindat.org/>.
- Web de metalogenia del IGME, mina San Rafael (código 0882020), informe de F. J. Palero Fernández (2009). Consulta: agosto de 2020. Disponible en <http://doc.igme.es/bdmin/VerIndicio_IGME.aspx>.
- Web del Catálogo Digital de Cartografía Histórica de la Junta de Andalucía. Consulta: agosto y septiembre de 2020. Disponible en <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/>.
- Web del portal Signa (Sistema de Información Geográfica Nacional), del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de España. Consulta: agosto y septiembre de 2020. Disponible en <http://signa.ign.es/signa/Pege.aspx?>.

La documentación expuesta en las figuras 6 y 7 aparece en este artículo por cortesía del Archivo Central de la D. T. de Economía y Empleo (Junta de Andalucía) en Córdoba. Corresponde a la explicación y al plano, a escala 1:10.000, de la mina "San Rafael" (1886); Distrito Minero de Córdoba, Jefatura de Minas de Córdoba. Autoría: ingenieros de minas Francisco Sotomayor, José Luis Arrué y Rafael Ramírez. *Copyright*: Archivo Central de la D. T. de Economía y Empleo en Córdoba.

El mapa expuesto en la figura 20 aparece en este artículo por cortesía de la Escuela de Minas de Belmez, Córdoba. Corresponde a una parte del plano minero, a escala 1:50.000, de la hoja nº 882 (Venta de Cardeña) (inicios años 30 s. XX); Instituto Geográfico de España y Jefatura de Minas de Córdoba. Autoría: ingeniero de minas Antonio Carbonell Trillo-Figueroa. *Copyright*: Escuela de Minas de Belmez, Córdoba.

*FECHA RECEPCIÓN:* 23-09-20. *FECHA ACEPTACIÓN:* 29-09-20. *FECHA INICIO EDICIÓN:* 05-10-20.

Wulfenita y mimetita. C.V. 5,5 mm. Colección y foto: Inma Ramos y Antonio Carmona.