

MINA FELICIDAD (VALLE DE BARDAJÍ, RIBAGORZA)

José Luis VILLARROEL¹
Víctor VIÑALS¹
José Antonio RAUSA²
Pedro Sidonio PEREIRA DA SILVA³
Pablo MARTÍN-RAMOS¹
José Antonio MANSO¹
Pilar LAPUENTE¹
José Antonio CUCHÍ¹

RESUMEN.— Este artículo presenta información sobre la mina denominada *Felicidad*, situada en el valle de Bardají, en las laderas del Turbón. La mina fue trabajada en la Antigüedad y reabierta a finales del siglo XIX. El mineral es una caliza impregnada de metales pesados, especialmente hierro y manganeso.

ABSTRACT.— This work presents information about the mine called *Felicidad*, located in the Bardají valley on the slopes of Turbón. The mine was worked in antiquity and reopened at the end of the 19th century. The ore is a limestone impregnated with heavy metals mainly iron and manganese.

KEY WORDS.— Mina Felicidad, valle de Bardají, Ribagorza, Huesca (Spain).

Recepción del original: 13-9-2017

¹ Universidad de Zaragoza. jlvilla@unizar.es, victor@unizar.es, pmr@unizar.es, manso@unizar.es, plapuent@unizar.es, cuchí@unizar.es

² Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE). Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA. jarausa@ono.com

³ Universidade de Coimbra. psidonio@fis.uc.pt

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se está dedicando algún esfuerzo al estudio de antiguas minas en la provincia de Huesca, desde diferentes puntos de vista. Véanse, por ejemplo, CALVO y cols. (1988), CASTROVIEJO y NODAL (1985), CASTROVIEJO (1986), CUCHÍ (1995), NIETO (1996), SUBÍAS y cols. (1993 y 1999), RODEGHIERO y cols. (1995), YUSTE y cols. (1995 y 1998), JOHNSON y cols. (1996), JIMENO (2003 y 2004), MATEO y cols. (2007 y 2010), GILLOT y cols. (2012), CUCHÍ y MANSO (2014), y VILLARROEL y CUCHÍ (2013).

En estos trabajos se han estudiado diversas minas altoaragonesas pero, hasta ahora, ninguna en el Turbón. IGME (2009) tampoco cita la presencia de minerales metálicos en este macizo. Sin embargo, en el valle de Bardají existe una antigua mina, de la que la página web <https://vallaxen.jimdo.com> da clara información. En su documentada obra, MADDOZ (1985 [1845-1850]: 22) bajo la voz *Aguascalas* cita: “en el Turbón, en el que hay una mina de plata que se explotó en algún tiempo, según indica su boca; esta tiene varios escalones que con el transcurso del tiempo se han derruido. La sociedad minera del Sobrarbe la denunció en el año 1840, y trabajó algo en sus escombros, pero ha suspendido las labores”. La misma fuente cita una antigua mina de oro en Cotiella pero, evidentemente, eso es otra historia.

Mina Felicidad aparece relacionada con las calizas de este macizo de la Ribagorza. Pero la plata aparece generalmente asociada con filones hidrotermales en rocas metamórficas o volcánicas. Por ejemplo, hay plata asociada a calizas en el distrito de Colquijirca, en Perú (BENDEZÚ y FONTBOTÉ, 2009), pero se encuentran dentro de un ambiente claramente volcánico. También puede aparecer en la galena, básicamente sulfuro de plomo. En Huesca hubo minas de este mineral en Yenefrito, Bielsa-Chisagüés-Parzán, Benasque-Cerler y Bono (CALVO y cols., 1988).

SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

Es interesante la información complementaria existente en el Archivo Histórico Provincial de Huesca donde está el expediente de la mina. Siguiendo la legislación vigente, básicamente la Ley de Minas de 1859 con las reformas de la Ley de Bases Generales de 28 de diciembre de 1868, “a las 11 de la mañana del 23 de noviembre de 1874, Juan Farled, en nombre de

Sebastián Sesé, vecino del valle de Bardají, solicita el registro de 12 pertenencias de una mina de mineral argentífero con el nombre de La Felicidad”. Ese mismo día, Ángel Abad, como gobernador civil, admite la solicitud pero poco se debió avanzar dado que el interesado reclama la tramitación el 12 de abril del año siguiente. El 21 de mayo de 1875, Juan Bautista Vicens, ingeniero de Minas, acompañado del ayudante Francisco Magallón, practican la demarcación en presencia de Vicente Felipe, vecino de Naval, Manuel Bielsa, de Plan, y el interesado. El acta indica que no hay mina alguna en la comarca y que la mina está en terreno del Cretácico. El punto de partida es la escombrera y la prolongación del eje de la galería se relacionó por medio de una visual dirigida a la cumbre del Mallo de Turbón en dirección este 15° sur y, por otro, al eje de la boca de la galería tomando dirección sur 8° este. Por posible sugerencia del ingeniero, el interesado renuncia a ocho de las doce pertenencias solicitadas quedándose con 40 000 m².

La tramitación continúa. El 13 de junio de 1875, renuncia el representante en Huesca, por razones no explicitadas. El 21 de junio de 1875, aparece el correspondiente anuncio en el *Boletín Oficial de la Provincia de Huesca* con firma de Gaspar Tortajada, gobernador civil. El 18 de mayo de 1878, José Dessy, oficial de Administración de Contribuciones y Rentas, confirma que se han pagado 40 pesetas por cuatro trimestres en concepto de canon de superficie y que no se procede a la caducidad. El 27 de mayo de 1896, se indica que no se han pagado 21 pesetas por siete trimestres, que se abonan el 18 de julio del año siguiente. En enero de 1904, se adeudan 69 pesetas por cuatro trimestres. El 17 de febrero de este año, el gobernador civil da por caducada la concesión pero, el 14 de mayo, se indica que se ha pagado la deuda. Sin embargo, el 2 de noviembre de 1906, se indica que han quedado desiertas las tres subastas de varias minas, incluida la Felicidad. Desde entonces parece que no se han realizado labores mineras en esta cavidad.

MARCO GEOLÓGICO

La mina se encuentra en el flanco oeste de la montaña del Turbón. Una cartografía de la geología básica y la memoria correspondiente se encuentra en IGME (2008). La ladera oeste de esta montaña, plegada en un espectacular anticlinal, abierto en combe por el glacialismo pirenaico, está formada por las calizas cretácicas de la formación Aguas Salenz. Con un

espesor de unos 250 metros, que buza al noreste, estas calizas del Coniaciense – Santoniense ($89,8 \pm 0,3 - 83,6 \pm 0,2$ Ma) son interpretadas en SIMÓ (1986 y 1989) e IGME (2008) como facies de talud y cuenca. Información tectónico-sedimentológica más detallada se encuentra en ARDÈVOL y cols. (2000) y DRZEWIECKI y SIMÓ (1997). Estos, al estudiar la evolución de las plataformas carbonatadas del Cretácico en los Pirineos meridionales, indican la presencia de acontecimientos anóxicos.

LA MINA Y SU MARCO GEOGRÁFICO

La ubicación de la mina es bien conocida por los vecinos de Lleret, a través de los cuales se tuvo la primera noticia. Situada en ETRS89. Huso 31, X: 293615; Y: 4700647; Z: 1480 metros, el topónimo y la ubicación de la mina aparecen en la cartografía del *Mapa excursionista del Alto Ésera* a escala 1 : 40 000. Se accede con cierta facilidad desde la pista de Lleret a Esterún por la pista que sube hacia el collado de La Margalida. Al final de un largo zigzag se toma una pista secundaria que se dirige hacia el sur por la ladera del macizo. En un antiguo final de pista se puede comenzar a caminar por una estrecha senda durante unos diez minutos hasta un canchal en la base de



Fig. 1. Boca de Mina Felicidad (valle de Bardají, Ribagorza).

una canal. En la orilla opuesta, en el lateral de la glera, se encuentra la boca de la mina (fig. 1). También se puede acceder en vehículo por una pista forestal reciente que ha aterrizado el canchal.

Como se ha señalado, la boca de la mina aflora rodeada por canchales, activos y fósiles, en la base de una gran fractura subvertical que desciende desde la parte superior de la montaña y que ha evacuado una gran masa de clastos periglaciares, probablemente con la ayuda de episódicos flujos de agua. Una fracturación menor, de la misma dirección, se observa dentro de la cavidad y se encuentra karstificada.

TOPOGRAFÍA DE LA MINA

Es evidente que la mina ha sido recorrida en tiempos recientes, pero no se ha localizado ninguna topografía de la misma. A finales de 2016 se realizaron dos visitas a la mina y se hizo un levantamiento mediante métodos clásicos en espeleología: brújula-clinómetro Suunto, distanciómetro Leica-distio y cintas métricas. Los resultados se presentan en la figura 2.

La mina presenta en la actualidad dos niveles visitables. Está formada por dos galerías de altura limitada, prácticamente superpuestas, unidos por un pequeño pozo vertical de unos 2 metros que puede presentar algún problema. La galería inferior sigue una diaclasa karstificada que en algunos puntos da altura a la galería. No hay restos de entibos, aunque los laterales del tramo inferior muestran paredes de piedra seca en un cuidadoso trabajo. La longitud total es de 92 metros. Se observan también varias pequeñas galerías ciegas, alguna de las cuales pudiera tener continuidad bajo los escombros del piso, concordando con la descripción de MADDOZ (1985 [1845-1850]: 22).

Dentro de la mina, no aparece una mineralización metálica clara. No se ha localizado ninguna escombrera minera exterior, cerca de la boca. Apparentemente, los mineros extrajeron una caliza oscura que contrasta con la caliza clara del entorno y clastos de la glera. En campo aparece como una masa carbonatada con manchas pardas y grises oscuras surcada por venas de color blanco con manchas rojizas. Es probable que hubiera alguna fundición cercana.

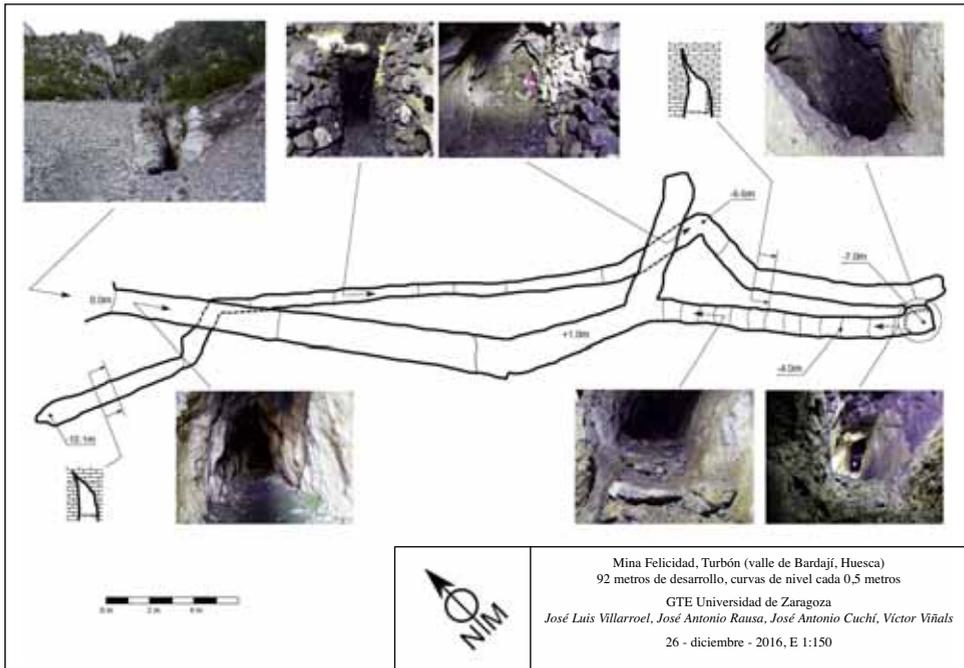


Fig. 2. Topografía de Mina Felicidad (GTE, Universidad de Zaragoza).

MATERIAL Y MÉTODOS

Para este artículo se ha tomado una muestra seleccionada por su mayor color oscuro y densidad ($2,6 \text{ t/m}^3$). Hay que señalar que son criterios totalmente subjetivos, que se han aplicado a falta de otros. Los resultados analíticos pueden ser diferentes a los de otras muestras.

Métodos analíticos

Se ha realizado una lámina delgada para la observación al microscopio petrográfico. Se ha elaborado en el Servicio de Preparación de Láminas Delgadas del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. Se ha estudiado en un microscopio de luz polarizada OLYMPUS AX-70, del Departamento de Ciencias de la Tierra y en un microscopio petrográfico NIKON Eclipse 50iPOL con un dispositivo acoplado CITL CL8200 Mk5-1, para el estudio de la catodoluminiscencia (CL). Las

fotografías petrográficas se han tomado con una cámara NIKON DS-Fi2 dotada con la aplicación NIKON NIS-Elements D. La CL se ha registrado con una cámara NIKON CoolPix5400 acoplada al microscopio mediante un adaptador NIKON CoolPix MDC Lens, de la Unidad de Estudios Arqueométricos del Instituto Catalán de Arqueología Clásica.

Una parte de la misma muestra, 4,0807 gramos, se ha atacado con agua regia. La solución, convenientemente aforada en un matraz de 100 mililitros. Esta se ha analizado por vía húmeda mediante un espectrofotómetro de absorción atómica Varian SpectrAA 110. Se utilizaron como estándares los siguientes patrones: Mn 313185 Panreac solución 1000 mg/L; Ni 313187 Panreac solución 1000 mg/L; Fe 313182 Panreac solución 1000 mg/L; Co 313177 Panreac solución 1000 mg/L; Pt 1.09867 Merck solución 1000 mg/L; AgNO₃ 141459 Panreac solución de 1000 mg/L. Se prepararon patrones de las siguientes concentraciones: Mn: 0,2 – 0,8 – 1,6 – 3 – 5 mμ/mL; Ni, Fe y Co: 0,2 – 1 – 3 – 5 – 7 – 10 mμgr/mL; Pt: 1 – 2 – 5 – 10 mμgr/mL; Ag: 0,5 – 1 – 2 – 5 – 10 mμgr/mL.

Otra parte de la muestra de mineral en bruto y el residuo insoluble al agua regia del análisis por vía húmeda se han analizado mediante fluorescencia de rayos X (FRX) en un equipo Hitachi SEA6000VX del laboratorio del Departamento de Física de la Universidade de Coimbra. Se estima que la precisión del equipo está en torno a las 200 partes por millón en sólido que corresponde a 200 mg/kg. De cada muestra se han analizado las zonas masivas más representativas por el color de las manchas. Hay que tener en cuenta que los resultados son de menor precisión que los realizados por vía húmeda y que el equipo solo detecta elementos con $Z \geq 11$, sodio (Na) y, por tanto, ni carbono (C) ni oxígeno (O).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La muestra manual se ha caracterizado macroscópicamente. Se trata de una roca sedimentaria gris oscura en corte fresco y con pátina superficial anaranjada por oxidación. Presenta un aspecto compacto y fractura concoidea, de grano fino con escasos componentes oscuros milimétricos y otros cristalinos claros, con presencia de microvenas rectilíneas de microcristales blancos (figs. 3a y 3b).

Reacciona frente al ácido, con burbujeo y desprendimiento de CO_2 por descomposición de sus componentes, aspecto que marca su alto contenido en carbonatos, propio de las rocas carbonatadas. En la sección preparada para la elaboración de una lámina delgada, muestra su uniformidad y tamaño de grano fino (fig. 3b).

Caracterización microscópica y de catodoluminiscencia

Se ha estudiado una lámina delgada al microscopio óptico de luz transmitida con objeto de caracterizar su composición y textura para su identificación y clasificación.

Se ha teñido la lámina con rojo de alizarina S, técnica que permite observar mediante tinción roja el contenido de calcita (fig. 3c). Como se observa en la fotomicrografía está compuesta por un alto contenido en calcita (> 95%), muy escasa dolomita (1%) y componentes terrígenos siliciclásticos (3%).

La misma lámina delgada fue sometida a estudio de catodoluminiscencia para comprobar si los carbonatos emitían luminiscencia al ser bombardeados por un chorro de electrones en cámara al vacío generado con un dispositivo emisor de energía (en condiciones de 300 μA de intensidad de corriente eléctrica con 15 kilovoltios y 50 kilovoltios de potencial eléctrico). La imagen registrada (fig. 3d) muestra una CL homogénea de baja intensidad para la mayoría de sus componentes con muy escasos cristales de calcita con alta intensidad de CL y emisión roja.

El estudio petrográfico pone de manifiesto la naturaleza de los granos carbonatados que integran esta caliza. Destacan por su alto porcentaje los granos esqueléticos, o componentes inorgánicos de organismos (bioclastos) con caparazones de conchas en distinto estado de fragmentación, en su mayoría moldes bien conservados (figs. 3e y 3f) y con un buen grado de empaquetamiento. Además, muestra algunos agregados de peloides, en una matriz micrítica concentrada de forma heterogénea en zonas arqueadas y presencia de cemento microesparítico irregularmente distribuido rellenando la porosidad interpartícula e intrapartícula. La naturaleza de los bioclastos es variada, distinguiéndose los moldes de algunos organismos con facilidad (microforaminíferos multicámara, briozoos, crinoides,

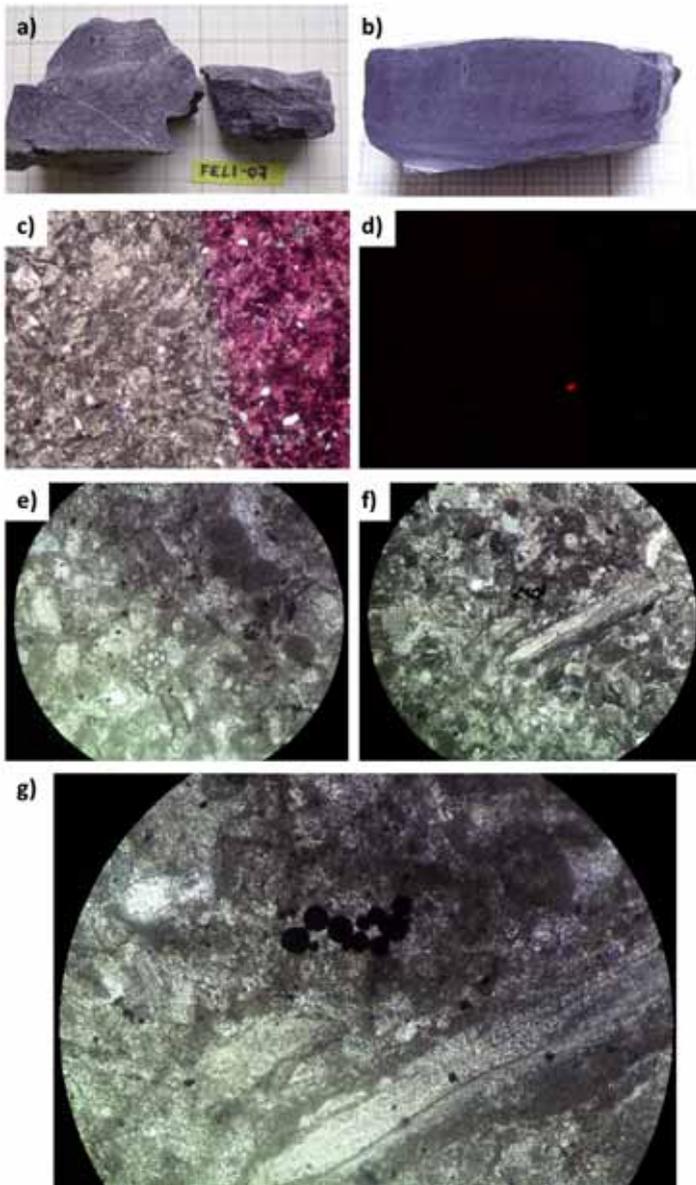


Fig. 3. *a* y *b*, Aspecto macroscópico de la caliza de Mina Felicidad; *c*, fotomicrografía en luz polarizada cruzada donde se observa la textura general y su alta composición en calcita, por su tinción roja (la longitud del lado más largo de la imagen equivale a 4 milímetros); *d*, la misma imagen en condiciones de catodoluminiscencia; *e* y *f*, diferentes observaciones bajo el microscopio óptico de polarización donde se visualizan sus componentes bioclásticos; *g*, detalle de la imagen anterior.

corales, algas, moluscos) y otros de difícil identificación. En el detalle que se muestra en la figura 3g, se observa además de la textura laminar de los cristales de calcita de un fragmento de alga, una curiosa concentración de pequeñas estructuras opacas circulares a modo de bolitas negras que recuerdan las morfologías de las piritas framboidales. La presencia de estas es común en medios anóxicos, actuales y antiguos (WILKIN y BARNES, 1997).

En la clasificación de esta caliza marina, atendiendo al alto contenido en bioclastos, se denominaría *bioesparita*, según terminología de FOLK (1959 y 1962) con más del 50% de aloquímicos y con textura granosoportada que combina la presencia de matriz y cemento (*poorly washed*). Atendiendo a la clasificación de DUNHAM (1962) y la revisada de WRIGHT (1992), se trata de un *packstone* con presencia de fina matriz micrítica, algunas recristalizaciones de microesparita, y con escaso desarrollo de cemento esparítico.

Análisis por vía húmeda por absorción atómica

Los resultados del análisis por absorción atómica se presentan en la tabla I. El valor más alto corresponde al hierro, coherente con la presencia de minerales opacos tipo piritas framboidales, que se observan a lámina delgada. Destaca la presencia de platino y plata que pudo dar origen al calificativo de la mina.

Tabla I. Resultados de análisis de una muestra 2 por vía húmeda.

	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Ag</i>	<i>Pt</i>
mg/L (solución)	0,86	1,09	105,21	0,54	1,43	8,00
gr/T (sólido)	21,05	26,68	2575,71	13,22	35,01	195,85

Los valores de metales pesados son del orden de los presentados por DRZEWIECKI y SIMÓ (1997) para carbonatos de plataformas del Cretácico medio (Cenomaniense – Turoniense) en medios marinos con redox positivo próximos como en Sopeira (hierro [Fe]: 1500 partes por millón; manganeso [Mn]: 100 partes por millón).

Fluorescencia de rayos X

Sobre un trozo diferente de la misma muestra se realizaron dos análisis de fluorescencia de rayos X en una zona de color rojizo y otra de color más oscuro (figs. 4 y 5). Dada la heterogeneidad de la muestra, este análisis se puede considerar como semicuantitativo.



Fig. 4. Zona en facies parda estudiada en FRX.



Fig. 5. Zona en facies oscura estudiada por FRX.

Los valores de concentración entran en lo considerado habitual por BAUSCH (1968). Los resultados muestran un claro predominio del contenido en calcio (Ca), totalmente coherente con la naturaleza calcárea de las muestras y su entorno geológico. El análisis no revela presencia de magnesio (Mg), corroborando la reducida presencia de dolomita puesto en evidencia en lámina delgada. Aparece también estroncio (Sr), elemento relacionado con la transformación aragonito – calcita de los fósiles. El contenido en rubidio (Rb) es el habitual en rocas y muestras de suelo. La presencia de arena silíceas y arcillas no caracterizadas se manifiesta en los contenidos en silicio (Si), aluminio (Al) y potasio (K). El contenido en hierro (Fe) tiene un alto nivel en la facies marrón, como también aparece en el análisis por vía húmeda. La muestra contiene, además, elementos sensibles a procesos redox y formadores de sulfuros insolubles como níquel (Ni), vanadio (V), zinc (Zn) y elementos ligados al depósito de materia orgánica como el cobre (Cu). También se han detectado picos de wolframio (W) y tántalo (Ta). Destaquemos que, en consonancia con la pirita detectada en lámina delgada, se ha detectado azufre (S) por FRX sobre el residuo insoluble del ataque con agua regia. Este viene habitualmente acompañado de arsénico (As) (tabla II).

Los metales pesados superan en algún orden de magnitud los valores presentados por PARKER (1967) para rocas carbonatadas de ambientes marinos profundos.

Tabla II. Resultados de análisis por FRX de las facies parda y negra de una muestra de Mina Felicidad. Datos en ppm.

	<i>Facies parda</i>		<i>Facies gris</i>	
		<i>S</i>		<i>S</i>
Ca	615 419,55	599,28	827 612,75	537,51
Si	177 336,64	806	75 766,17	581,72
Al	109 559	1964,95	79 045,02	196,4
Fe	62 421,97	106,45	8088,54	35,74
K	22 500,79	122,44	8078,66	54,8
Ti	9943,59	72,42	433,06	19,15
Mn	1088,73	25,54		
Zr	666,68	5,43	412,89	3,83
Sr	542,88	2,42	489,19	1,95
Cr	160,31	9,2		
Zn	153,79	3,38	16,11	1,62
Cu	74,81	3,54	10,72	2,14
As	72,93	1,5	40,17	1
Rb	58,34	1,16	6,72	0,67

S: desviación típica.

Es interesante la presencia de metales pesados en esta caliza. La presencia de hierro y manganeso es habitual en el Prepirineo. Oxihidróxidos de hierro aparecen en masas de modesto tamaño, denominados localmente *cagaferro*. Es posible que se utilizaran localmente como mena de hierro aunque la única mina conocida, en Betorz, parece haberse utilizado para extracción de pigmentos (VILLARROEL y CUCHÍ, 2013). Manganeso se extrajo en Estopiñán (CALVO y cols., 1988). Aparece en calizas brechoides del Cretácico, en las cercanías de afloramientos de ofitas. Su presencia, según IGME (1996), se debe a un doble proceso de acumulación. El origen primario podría ser hidrotermal ligado a zonas de fractura, y una posterior acumulación por procesos kársticos. En el caso de esta mina, no se conocen

afloramientos cercanos de ofitas. En cuanto a otros metales pesados, los datos de STUBEN y cols. (2002), en niveles geológicos de Beloc (Haití) por debajo del límite K-T, son del orden de los presentados aquí para Cu y Zn, pero los valores de arsénico, rubidio y zirconio son más altos que en este artículo.

Ya se ha señalado que la concentración de metales pesados supera a la normal en rocas carbonatadas marinas. Podrían proceder de cenizas volcánicas o emanaciones submarinas (humeros). Otra posibilidad, enumerada como hipótesis, podría ser una acumulación marina en condiciones de anoxia. Varios episodios de anoxia oceánicos (OAE: *Oceanic Anoxic Event*) ocurrieron en el Cretácico. Uno de ellos, el OAE 3, se produjo en el Santoniense – Coniaciense y es citado por varios autores a escala mundial, por ejemplo, REY y cols. (2004), JENKYNS (2010) y PRAUSS (2015). En el entorno pirenaico también es señalado por POMAR y cols. (2005). Por otro lado, en general, los episodios de tipo anóxico suelen corresponder, en sondeos submarinos, con depósitos de arcillas negras con bajo contenido en carbonatos y altos valores de aluminio, como indican MÄRZ y cols. (2008).

CONCLUSIONES

Se ha realizado una cartografía de la Mina Felicidad, en Lkert (valle de Bardají), que muestra un desarrollo francamente modesto. Es posible que haya más galerías bajo los derrubios tanto en la galería cartografiada como en el exterior.

Los análisis de una muestra de lo que pudiera ser el mineral extraído en la mina ofrecen un bajo contenido en plata. Hierro, titanio y manganeso son los metales más abundantes.

En el momento actual, poco se puede indicar con seguridad sobre la génesis de la mineralización. Podrían sugerirse emanaciones submarinas o fases anóxicas. Evidentemente, el tema necesita de un estudio más detallado.

Es muy posible que esta mina sea una de las que hicieron exclamar a Lucas Mallada: “Algunos nódulos y vetillas de piritita arsenical enclavados en las calizas de Cotiella y el Turbón se tomaron como ricos indicios de criaderos de oro y plata por las gentes del país, y motivaron excavaciones

hoy completamente en abandono. Las fábulas inventadas en la comarca sobre esta materia nos apartarían del asunto más de lo que es menester” (1875: 200-201).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la inestimable ayuda del personal de la Biblioteca de la Escuela Politécnica Superior de Huesca en la obtención de la bibliografía. La lámina delgada para el estudio petrológico se ha realizado en el Servicio de Preparación de Láminas Delgadas del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (Unizar), a cuyos laborantes se agradece el esmero en el trabajo realizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDAMA, J. (1846). Apuntes geognóstico-mineros de la provincia de Huesca y parte de la de Zaragoza o el territorio designado con el título de Alto Aragón. *Anales de Minas*, tomo IV: 191-233.
- ARDÈVOL, L., J. KLIMOWITZ, J. MALAGÓN y P. J. NAGTEGAAL (2000). Depositional sequence response to foreland deformation in the Upper Cretaceous of the Southern Pyrenees, Spain. *American Association of Petroleum Geologist bulletin*, 84 (4): 566-587.
- ARTHUR, M. A., H. J. BRUMSACK, M. A. H. JENKYN y H. J. B. S. SCHLANGER (1990). Stratigraphy, Geochemistry, and Paleooceanography of Organic Carbon-Rich Cretaceous Sequences. En R. N. Ginsburg y B. Beaudoin (eds.), *Cretaceous Resources, Events and Rhythms: Background and Plans for Research*, 304: 75-119. Kluwer. Dordrecht.
- ASSO, I. (1798). *Historia de la Economía Política de Aragón*. Imprenta de Francisco Magallon. Zaragoza. 503 pp.
- BASELGA, S. (1966). Minas aragonesas. *Cuadernos de Aragón*, 1: 117-149.
- BAUSCH, W. M. (1968). Outlines of distribution of strontium in marine limestones. En G. Müller y G. M. Friedman (eds.), *Recent Developments in Carbonate Sedimentology in Central Europe*: 106-115. Springer. Berlín / Heidelberg / Nueva York.
- BENDEZÚ, R., y L. FONTBOTÉ (2009). Cordilleran Epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) Mineralization in the Colquijirca District, Central Peru: Deposit-Scale Mineralogical Patterns. *Economic Geology*, 104 (7): 905-944.
- BOWLES, W. (1792). *Introducción a la historia natural y a la geografía física de España*. 2.^a ed. Imprenta Real. Madrid. 576 pp.
- CALVO, M., J. BESTEIRO, E. SEVILLANO y A. POCOVÍ (1988). *Minerales de Aragón*. Mira Editores. Zaragoza. 142 pp.

- CASTROVIEJO, R. (1986). Mineralogía y génesis de las concentraciones metálicas de Co-(Ni-Cu) de la mina de San Juan de Plan (valle de Gistaín), en el Pirineo de Huesca. *Boletín Geológico y Minero*, 97 (1): 25-41.
- CASTROVIEJO, R., y T. NODAL (1985). Estudio geológico de las concentraciones de Co-(Ni-Cu-Fe) en el Silúrico de San Juan de Plan, valle de Gistaín (Pirineo de Huesca). *Boletín Geológico y Minero*, 96 (6): 607-625.
- CUCHÍ, I. (1995). Introducción a la minería medieval en el Alto Aragón: las minas de cobre de Santa Eulalia (Huesca). En *Actas de las Jornadas sobre Minería y Tecnología en la Edad Media Peninsular (León)*: 217-224. Fundación Hullera Vasco-Leonesa. [León].
- CUCHÍ, J. A., y J. A. MANSO (2014). Un antiguo escorial en Ballibierna (Benasque, Huesca). *Lucas Mallada*, 16: 125-134.
- DRZEWIECKI, P. A., y J. T. SIMÓ (1997). Carbonate platform drowning and oceanic anoxic events on a Mid-Cretaceous carbonate platform, south-central Pyrenees, Spain. *Journal of Sedimentary Research*, 67 (4): 698-714.
- DUNHAM, R. J. (1962). Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. En W. E. Ham (ed.), *Classifications of carbonate rocks—a symposium. American Association of Petroleum Geologist Memoir*, 1: 108-121. American Association of Petroleum Geologists. Tulsa.
- FOLK, R. L. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 3 (1): 1-38.
- FOLK, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestone types. *American Association of Petroleum Geologist Memoir*, 1: 62-68.
- GILLOT, T., D. BADÍA, J. A. MANSO y J. A. CUCHÍ (2012). Nota sobre mineralizaciones en Monzorrobal (Ayerbe, Huesca). *Lucas Mallada*, 14: 193-200.
- GIMENO, A. (1918). Impregnaciones cupríferas en Aragón. *Boletín de la Sociedad Aragonesa. Historia Natural*, xvii: 93-103.
- GIMENO, A. (1924). Las areniscas cupríferas en Aragón. *Boletín Oficial de Minas y Metalurgia*, año VIII, 89-90: 1031-1074 y 1103-1151 (con 37 figuras).
- IGME (1996). *Mapa geológico de España. Hoja 289 (Benabarre)*. Escala 1 : 50 000. 186 p., 1 mapa. Borrador no publicado.
- IGME (2009). *Mapa geológico de España. Hoja 213 (Pont de Suert)*. Escala 1 : 50 000. IGME. Madrid. 76 pp., 1 mapa.
- JENKYN, H. C. (2010). Geochemistry of Oceanic Anoxic Events. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3): Q03004. doi:10.1029/2009GC002788.
- JIMENO, F. (2003). Las minas de Guarrinza (1.ª parte). *Aragonito*, 6: 13-17.
- JIMENO, F. (2004). Las minas de Guarrinza (2.ª parte). *Aragonito*, 7: 14-19.
- JOHNSON, C., E. CARDELLACH, J. TRITLLA y B. B. HANAN (1996). Cierco Pb-Zn-Ag vein deposits; isotopic and fluid inclusion evidence for formation during the Mesozoic extension in the Pyrenees of Spain. *Economic Geology*, 91 (3): 497-506.

- MADOZ, P. (1985 [1845-1850]). *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Huesca. P. Madoz. Madrid. Ed. facsímil: Ámbito Ediciones / DGA. Valladolid. 335 pp.
- MALLADA, L. (1875). Breve reseña geológica de la provincia de Huesca. *Anales de la Sociedad Española de Ciencias Naturales*, iv: 169-232.
- MÄRZ, C., S. W. POULTON, B. BECKMANN, K. KÜSTER, T. WAGNER y S. KASTEN (2008). Redox sensitivity of P cycling during marine black shale formation: dynamics of sulfidic and anoxic, non-sulfidic bottom waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72 (15): 3703-3717.
- MATEO, E., C. BIEL, I. FANLO e I. SUBÍAS (2007). El yacimiento de Fe-As-Cu-Sb de Cerler, Alto Aragón occidental. *Macla*, 7: 108.
- MATEO, E., I. FANLO, I. SUBÍAS, C. RECIO y K. BILLSTRÖM (2010). Geological, mineralogical and geochemical constraints on the genesis of the Chinipí arsenopyrite-pyrite-invisible gold vein (Canfranc, Central Spanish Pyrenees). *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen / Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 187 (3): 313-327.
- MICHARD-VITRAC, A., F. ALBAREDE, C. DUPUIS y H. P. TAYLOR JR (1980). The genesis of Variscan (Hercynian) plutonic rocks: Inferences from Sr, Pb, and O studies on the Maladeta igneous complex, central Pyrenees (Spain). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 72 (1): 57-72.
- NIETO, J. J. (1996). El proceso siderometalúrgico altoaragonés: los valles de Bielsa y Gistaín en la Edad Moderna. *Llull*, 19: 471-507.
- PARKER, R. L. (1967). *Composition of the Earth's Crust*. United States Government Printing Office (U. S: Geol. Surv. Professional Paper 440-D). Washington. 19 pp.
- POMAR, L., E. GILI, A. OBRADOR y W. C. WARD (2005). Facies architecture and high-resolution sequence stratigraphy of an Upper Cretaceous platform margin succession, southern central Pyrenees, Spain. *Sedimentary Geology*, 175 (1): 339-365.
- PRAUSS, M. L. (2015). Marine palynology of the Oceanic Anoxic Event 3 (OAE3, Coniacian e Santonian) at Tarfaya, Morocco, NW Africa e transition from preservation to production controlled accumulation of marine organic carbon. *Cretaceous Research*, 53: 19-37.
- REY, O., J. A. SIMÓ y M. A. LORENTE (2004). A record of long- and short-term environmental and climatic change during OAE3: La Luna Formation, Late Cretaceous (Santonian-early Campanian), Venezuela. *Sedimentary Geology*, 170: 85-105.
- RODEGHIERO, F., I. FANLO, I. SUBÍAS, A. YUSTE, C. FERNÁNDEZ-NIETO y L. BRIGO (1995). Sulfide-, fluorite-, barite-bearing siliceous "crusts" related to unconformity surfaces of different ages in Pyrenees and Alps: a new model in carbonate-hosted deposits? *Acta Geológica Hispánica*, 30 (4): 69-81.
- SCOTT, R. W., J. T. SIMÓ y J. P. MASSE (1993). Economic Resources in Cretaceous Carbonate Platforms: An Overview: Chapter 2. *American Association of Petroleum Geologist Memoir*, 56: 15-23.
- SIMÓ, A. (1986). Carbonate platform depositional sequences, Upper Cretaceous, south-central Pyrenees (Spain). *Tectonophysics*, 129 (1-4): 205-231.

- SIMÓ, A. (1989). Upper Cretaceous platform-to-basin depositional sequence development, Tremp Basin, south-central Pyrenees, Spain. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, 44: 365-378.
- SIMÓ, A. (1993). Cretaceous carbonate platforms and stratigraphic sequences, south-central Pyrenees, Spain. Cretaceous carbonate platforms. *American Association of Petroleum Geologist Memoir*, 56: 325-342.
- STUBEN, D., U. KRAMER, Z. BERNER, J. D. ECKHARDT, W. STINNESBECK, G. KELLER, T. ADATTE y K. HEIDE (2002). Two anomalies of platinum group elements above the Cretaceous – Tertiary boundary at Beloc, Haiti: geochemical context and consequences for the impact scenario. *Special Paper. Geological Society of America*, 356: 163-188.
- SUBÍAS, I., I. FANLO y C. FERNÁNDEZ-NIETO (1993). Las mineralizaciones filonianas de F-Zn-PB de Las Marmoleras (Pirineo occidental, provincia de Huesca): caracterización geológica, mineralógica y geoquímica. *Acta Geológica Hispánica*, 28 (4): 49-61.
- SUBÍAS, I., I. FANLO, A. YUSTE y C. FERNÁNDEZ-NIETO (1999). The Yenefrito Pb-Zn mine (Spanish Central Pyrenees): an example of superimposed metallogenetic events. *Mineralium Deposita*, 34 (2): 220-223.
- SUBÍAS, I., I. FANLO, E. MATEO y J. GARCÍA-VEIGAS (2003). A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, Aragón (NE Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematics. *Geology Reviews*, 23: 55-70.
- SUBÍAS, I., I. FANLO, E. MATEO y C. BIEL (2008). Explotaciones mineras del entorno del Hospital de Benasque: geología y encuadre histórico. *Macla*, 9: 239-240.
- VILLARROEL, J. L., y J. A. CUCHÍ (2013). La cavidad conocida como *Sotarraña* en Betorz (Huesca). *Lucas Mallada*, 15: 191-201.
- WILKIN, R. T., y H. L. BARNES (1997). Formation processes of framboidal pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61 (2): 323-339.
- WRIGHT, V. P. (1992). A revised classification of limestones. *Sedimentary Geology*, 76 (3-4): 177-185.
- YUSTE, A., A. LÓPEZ y C. FERNÁNDEZ-NIETO (1995). Morfología y mineralogía de la mina Ana (Bielsa, Huesca). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 18 (2): 35-36.
- YUSTE, A., I. SUBÍAS, A. LÓPEZ, M. OROZCO y C. FERNÁNDEZ-NIETO (1998). Estudio estructural y mineralógico del filón Ana: distrito minero de Bielsa-Parzán (Alto Aragón). Datos preliminares. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 21: 29-46.