ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS MINERALIZACIONES DE LA MINA DE ORO ROMANA DE LLAMAS DE CABRERA (LEON, NO DE ESPAÑA)

F. Gómez Fernández*, R. Matías*, A.J. Méndez*, J. Cifuentes**

RESUMEN

La mina de Llamas de Cabrera (León, España) es un yacimiento de oro explotado en época romana, en el que coexisten mineralizaciones de oro primario y de oro secundario. Las mineralizaciones de oro primario arman sobre todo en los tramos superiores de la Cuarcita Armoricana. Se trata de mineralizaciones filonianas, siendo muy abundantes las que encajan en fracturas tensionales de dirección N180°E/70-85°E y ocasionales las asociadas a fracturas de direcciones N70°E y N125°E. Están formadas por cuarzo y arsenopirita muy dominante sobre pirita, galena, oro, calcopirita, bismutina, tetraedrita y covellina. Las alteraciones hidrotermales acompañantes son silicificaciones, sericitizaciones y cloritizaciones. Los minerales supergénicos determinados son escorodita, goethita y anglesita. El oro explotado es oro libre dispuesto generalmente en microfisuras en arsenopirita o cuarzo. Su contenido en plata varía desde 1,99 a 7,62%, mientras que el contenido en cobre es muy bajo, permaneciendo por debajo del límite de detección instrumental. El estudio realizado pone de manifiesto la existencia de dos fases de mineralización, producidas durante dos eventos hidrotermales de edad hercínica, además de la fase supergénica. Las mineralizaciones de oro secundario, explotadas en sedimentos aluviales y coluviales, se produjeron por la actuación del ciclo exógeno sobre los yacimientos de oro primario. Se estima que el volumen total de material movido en época romana ascendió a 2 Mm³.

Palabras clave: Mineralizaciones filonianas, arsenopirita, arrugia, sinclinal de Truchas, España.

ABSTRACT

The mine of Llamas de Cabrera (Leon, Spain) is a gold deposit operated during the Roman Empire, in which primary and secondary gold ores coexist. The primary gold ores were hosted mainly in the upper layers of the Armorican Quartzite. They are lodes, being very abundant those hosted in N180°E/70-85°E tensional fractures and rare the ones associated to N70°E and N125°E fractures. They are formed by quartz and arsenopyrite very dominant over pyrite, galena, gold, chalcopirite, bismuthinite, tetrahedrite and covellite. The accompanying hydrothermal alteration is silicification, sericitization and chloritization. The determined supergene minerals are scorodite, goethite and anglesite. The operated gold is free gold located generally in microfractures in arsenopyrite or quartz. Its content in silver varies from 1,99 to 7,62%, whereas the copper content is very low, remaining below the limit of instrumental detection. This study shows the existence of two phases of mineralization, deposited during two hydrothermal events of hercinian age, in addition to the supergenic phase. The secondary gold ores, operated in alluvial and colluvial sediments, were deployed by the action of the exogenous cycle on the primary gold deposits. We consider that the total volume of material moved at roman time ascended to 2 Mm³.

Key Words: Vein mineralizations, arsenopirite, arrugia, Truchas syncline, Spain.

* Área de Prospección e Investigación Minera. Departamento de Ingeniería Minera. Universidad de León. Jesús Rubio, 2, 24004 León (dimfgf@unileon.es).

** Área de Explotación de Minas. Universidad de León. Jesús Rubio, 2, 24004 León.

Introducción

A partir de los años 70 del siglo pasado, se han realizado numerosos estudios de orientación arqueológica e histórica, que perfilan una visión real de la verdadera magnitud de la minería aurífera romana del noroeste de la Península Ibérica (por ej., Lewis y Jones, 1970; Domergue, 1970; Sáenz y Vélez, 1974; Sánchez-Palencia, 1983). A partir de la conquista romana, en el siglo I antes de Cristo, la explotación de numerosos indicios y yacimientos de oro convirtió a Iberia en el principal productor de oro para el imperio romano, lo que dejó una huella en muchos casos todavía reconocible en el terreno. La minería del oro en época romana se centró tanto en sedimentos cenozoicos, con un movimiento de tierras de 308 Mm³ y un beneficio de 20 t de oro, como en materiales paleozoicos, con 290 Mm³ de terrenos movidos y un beneficio de 170 t de oro (Pérez-García *et al.*, 2000). Mientras que el arranque en mina de interior se realizó de forma manual, la arrugia fue el método de explotación sobre rocas deleznales o alteradas, lo que propició el desarrollo de obras de ingeniería hidráulica de dimensiones colosales, para llevar el agua a las explotaciones. El ejemplo más relevante es la explotación de Las Médulas, para la que se construyeron ocho canales de aporte de agua, con una longitud total de 600 km (Matías, 2004).

Desde la época romana, la minería del oro permaneció inactiva hasta finales del siglo XIX y principios del XX, período en el que se desarrollaron pequeñas operaciones centradas en el zócalo hercínico y en depósitos aluviales (Herail, 1984). Pérez-García *et al.* (2000) cuantificaron en menos de 100.000 onzas el oro extraído en esta época en trabajos desarrollados sobre filones de cuarzo-arsenopirita-oro.

El alza de los precios propició que, a partir de los años setenta del siglo pasado, numerosas compañías apostaran por la exploración del oro y que paralelamente, comenzaran a realizarse estudios geológicos y metalogenéticos de estos yacimientos. Algunos se desarrollaron sobre amplias áreas geográficas (Porter y Álvarez, 1992; Tornos *et al.*, 1993), otros tuvieron como objeto el estudio de yacimientos secundarios de oro, encajados en sedimentos cenozoicos (Pérez-García, 1977; Domergue y Herail, 1978), mientras que otros se centraron en yacimientos encajados en el zócalo hercínico, bien en relación con intrusivos, zonas de cizalla o filones. Trabajos de marcado carácter metalogenético, realizados sobre yacimientos filonianos genética y geográficamente muy relacionados con el de Llamas de Cabrera, son los de Ribera *et al.* (1992), desarrollado en la vertiente norte del Teleno y de Tornos *et al.* (1997), centrado en el sector meridional de la zona Asturoccidental-leonesa.

A pesar de que la mina de oro de Llamas de Cabrera fue relativamente importante durante su explotación en época romana, con un volumen de terreno movido del orden de 2 Mm³, la primera referencia a ella la encontramos en Matías y Gómez Fernández (2003). Aparte de su interés geológico-minero, esta mina presenta un interés añadido desde el punto de vista histórico, ya que se emplazó sobre la red de abastecimiento hidráulico (figura 1) activa durante la última fase de explotación de Las Médulas (Matías, 2004), inutilizándola, lo que aparte de arrojar luz sobre la cronología relativa de los trabajos en Llamas de Cabrera y Las Médulas, permite teorizar sobre las causas del cese de esta última explotación.

Metodología

La metodología utilizada en la realización del presente trabajo es común a gran parte de estudios geológicos. En una primera fase se realizó un estudio fotogeológico en base a fotografía aérea y ortofoto, geología de campo, desmuestre y cartografía geológica en el entorno de las mineralizaciones. Las muestras recogidas, una vez preparadas en secciones delgadas y delgadas pulidas fueron objeto de estudio mediante microscopía óptica (luz reflejada y luz transmitida) y microscopía electrónica de barrido. En esta última técnica se utilizó un microscopio JEOL JSM-6100, ubicado en la Facultad de Veterinaria de la Universidad de León.

Láminas delgadas pulidas de algunas muestras fueron sometidas a análisis químico en la microsonda electrónica ubicada en el Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid (JEOL JXA-8900M, equipada con cinco espectrómetros de longitud de onda WDS). En la rutina de sulfuros las condiciones de medida fueron 20kV, 50 nA, diámetros de haz entre 1 y 5 µm. Au 99,9999 (Au), galena (Pb), AsGa (As), HR-160 (Co,Ni), calcopirita (S,Cu,Fe), Zn (Zn), Ag (Ag), Sb (Sb), Bi₂Te₃ (Bi,Te) fueron utilizados como patrones para la determinación de los respectivos elementos entre paréntesis. En la rutina de silicatos las condiciones de medida fueron 15kV, 50 nA, diámetros de haz entre 1 y 5 µm. Los patrones utilizados fueron sillimanita (Al), albita-O (Na,Si), almandino (Fe,Mn), kaersutita (Ca,Ti,Mg), microclina (K), apatito.15 (F,Cl) y HR-160 (Ni,Cr).

Contexto geológico

Desde un punto de vista geológico, la mina de Llamas de Cabrera se ubica en el flanco norte del Sinclinal de Truchas, situado a su vez en el flanco norte del DAOS (Dominio del Anticlinorio del *Olla de Sapo*) de la Zona Centroibérica, perteneciente al Macizo Ibérico.

Durante la orogenia Hercínica el Dominio de Truchas sufrió un proceso deformativo (Pérez Estaun, 1978; Martínez Catalán *et al.*, 1990, 1992; Heredia *et al.*, 1994), en el que se han diferenciado tres fases (además de episodios de deformación tardía), con un metamorfismo sincinemático asociado que alcanzó la zona de la clorita. La primera fase de deformación (D₁), que es la mejor desarrollada, dio lugar a un gran número de pliegues de pequeña longitud de onda, vergentes al N o NNE, con una esquistosidad

asociada de plano axial (S_1), muy bien desarrollada. La segunda fase (D_2) originó cabalgamientos y micropliegues, siendo las estructuras de esta fase muy escasas en el Sinclinal de Truchas. La tercera fase de deformación (D_3), retrovergente y homoaxial con la primera, dio lugar a pliegues de amplia longitud de onda, que llevan asociada una esquistosidad de crenulación espaciada e irregularmente distribuida. Además de estas fases, se han descrito estructuras tardías de carácter localizado (fallas, pliegues, *kink-bands*, crenulaciones y diaclasas).

La serie estratigráfica paleozoica en el flanco norte del DAOS, por encima del porfiroide *Ollo de Sapo*, está formada por rocas de edad ordovícica y silúrica. Se trata de una serie dominada por pizarras, cuarcitas, areniscas y volcanitas, en la que se aceptan, de muro a techo, las siguientes unidades (Pérez Estaun, 1978; Pérez Estaun *et al.*, 1980; Barros Lorenzo, 1989; Gutiérrez-Marco *et al.*, 1999; Sarmiento *et al.*, 1999): Pizarras de los Montes, Cuarcita Armoricana, Pizarras de Luarca, Fm. Casaio, Fm. Rozadais, Fm. Losadilla y Fm. Llagarinos.

Fig. 1.—Mapa geológico de la zona de estudio.

Geología Local

En el entorno de la mina de Llamas de Cabrera están presentes las siguientes unidades cartográficas (figura 1). A) Cuarcita Armoricana: cuarcitas blancas masivas con intercalaciones de pizarras. En su techo afloran 200 m. (potencia aparente) de alternancias de areniscas y pizarras, que se corresponden aproximadamente con las denominadas Capas de Transición. B) Pizarras de Luarca: se trata de una monótona sucesión de pizarras negras, con cubos de piritita relativamente frecuentes. Incluye alguna intercalación de horizontes volcánicos. C) Formación Casaio: formada por alternancias de pizarras, areniscas y cuarcitas. D) Sedimentos cuaternarios: coluviones, sedimentos fluviales, periglaciares y antrópicos.

La estructura general viene marcada por un tren de pliegues de media escala, que queda de manifiesto en la traza cartográfica de la cuarcita armoricana (figura 1). Son pliegues bastante apretados, con planos axiales verticalizados (S_1 en torno a N 110°E/70°S), como corresponde al flanco norte del sinclinal de Truchas en zonas próximas al Anticlinorio del Teleno. Las estructuras de fase 3 observables en la zona son esquistosidades de crenulación N90°E/20 a 50°N.

Se han cartografiado fallas pertenecientes a tres sistemas. Los dos primeros sistemas aparecen desarrollados en dirección N125-140°E y N70°E, subverticales. Las fallas pertenecientes a estos sistemas pueden presentar desarrollo lateral relativamente importante (del orden de centenares e incluso miles de metros). El tercer sistema tiene dirección N180°E/70-85°E, tratándose de fallas extensionales de menor desplazamiento que las anteriores. Aunque se han encontrado mineralizaciones de oro relacionadas con todos estos tipos de fracturas, son especialmente frecuentes las mineralizaciones relacionadas con fallas extensionales de dirección N180°E/70-85°E.

Las explotaciones

Basándonos en la terminología de Matías y Gómez-Fernández (2003) y en base a criterios de ubicación geográfica y metodología de extracción utilizada en época romana, se ha dividido el yacimiento en las siguientes zonas (figura 1): La Casarina, Machato, El Zanjón, Valdecorrales, La Corta, Los Corrales, El Corralín, La Mata Negra, El Puente, Arroyo de La Patadura y Falla de La Patadura.

En el entorno del yacimiento de Llamas de Cabrera coexisten explotaciones superficiales y labores de interior (figura 2a, b y c) conservadas en muy buen estado, teniendo en cuenta el tiempo transcurrido desde su realización. Muchas zanjas

superficiales desarrolladas sobre filones, evolucionaron a labores de interior al profundizarse en las explotaciones. Otras labores de interior presentes son galerías transversales de pequeña sección (1 x 1,7 m), realizadas para mejorar el acceso a los frentes de explotación y el desagüe. Por lo que respecta a los trabajos superficiales, fueron desarrollados mediante el método de la arrugia, moviendo volúmenes de terreno significativamente mayores que mediante minería subterránea.

Trabajos de interior

Las explotaciones de interior se sitúan sobre filones de dirección N180°E/70-85°E, muy constante, con corridas de hasta 80 m, potencias explotadas de hasta 3 m (figura 2b) y profundidades reconocidas de explotación de hasta 50 m. La mayor parte de los filones encajan en los tramos superiores de la Cuarcita Armoricana, equivalentes a las denominadas Capas de Transición. Se concentran en la zona denominada La Casarina, donde se explotaron más de veinte, conformando un conjunto de pozos y galerías que afloran a lo largo de 300 m de desnivel. Más al este, en la zona El Zanjón, fue explotado un filón de características similares, encajado, así mismo, en la parte alta de la Cuarcita Armoricana, mientras que en la zona Machato, situada al sur de La Casarina, se explotó otro filón similar, encajado en las Pizarras de Luarca.

Trabajos superficiales

Se encuentran dispersos por el área de estudio (La Corta, El Zanjón, El Corralín, Los Corrales, Valdecorrales, El Puente, La Mata Negra, Machato, Arroyo de La Patadura, Falla de La Patadura). Llegaron a mover volúmenes importantes de terreno, siendo su máximo exponente la explotación denominada La Corta (Figura 2a), donde se movieron 0,5 Mm³ (Matías y Gómez Fernández, 2003).

Gran parte de estas explotaciones beneficiaron oro secundario, ya que se sitúan inequívocamente sobre coluviones o aluviones (El Corralín, Los Corrales, El Zanjón, Arroyo de La Patadura), por lo que guardan una estrecha relación con la ubicación y geometría de estos depósitos. Otros trabajos superficiales (La Corta, El Puente, La Mata Negra, Valdecorrales, Falla de La Patadura), se desarrollaron sobre mineralizaciones de oro primario encajadas en rocas ordovícicas más o menos alteradas hidrotermal y meteóricamente (no creemos que las zonas de enriquecimiento supergénico hayan llegado a tener volúmenes relevantes, dada la mineralo-

Fig. 2.—Aspectos macroscópicos del yacimiento. A) Vista parcial del yacimiento. Labores de interior (Zona de la Casarina, parte inferior izquierda y central de la fotografía) y explotación a cielo abierto (La Corta, parte superior derecha). B) Frente de explotación tal como se abandonó en época romana (La Casarina). La explotación se realizó tanto sobre el filón de cuarzo como sobre la roca de caja adyacente a él. C) Filón explotado en la zona El Zanjón.

gía de los filones conocidos y la elevada pendiente del terreno). Aunque en la mayor parte de estas labores no se pueden hacer más precisiones, es manifiesto que algunos de estos trabajos e indicios se encuentran relacionados con fracturas. Así, las labores de Valdecorrales (explotación de 20 x 200 m alargada paralelamente al curso del arroyo de Valdecorrales), se encuentran relacionadas con una zona de falla de dirección N70°E, mientras que el indicio de la Falla de la Patadura (aunque no muestra evidencia de explotación romana, es muy probable que haya sido trabajado), está geométricamente relacionado con la falla del mismo nombre, de dirección N125°E (figura 1). Otra labor relacionada con fracturas la encontramos en la zona Machato, donde existe un corredor de 10-15 m de anchura y más de 100 m de longitud, en dirección N5°E, situado por encima de la galería descrita apartado anterior.

La infraestructura hidráulica construida para el desarrollo de las labores superficiales mineras consta de 9 depósitos de almacenamiento y distribución de agua, además de 6 canalizaciones propias, con más de 26 km de recorrido (Matías y Gómez Fernández, 2003). La ubicación de canales de aporte, depósitos de acumulación y canales de drenaje, respecto de las zonas explotadas indica que la arrugia fue el método de explotación utilizado.

Las mineralizaciones

Se han recogido muestras de mineralizaciones *in situ*, encajadas en rocas ordovícicas, en las zonas La Casarina, El Zanjón, Falla de la Patadura, Valdecorrales y Machato. Los minerales metálicos aparecen en relación con venas de cuarzo lechoso, sin zonaciones aparentes, bien en el propio cuarzo o en el encajante próximo (areniscas, cuarcitas o pizarras) y son arsenopirita (muy dominante), pirita, galena, oro, calcopirita, bismutina, tetraedrita y covellina. Los minerales supergénicos determinados son escorodita, goethita y anglesita. La arsenopirita aparece en cristales de tamaño generalmente del orden de varios milímetros, con fuerte tendencia euhedral. La pirita, la mayor parte de las veces, aparece en agregados anhedrales, observables *de visu*, recubriendo a la arsenopirita, pero cuando se encuentra en el encajante pizarroso aparece en cristales aislados con tendencia euhedral, pudiendo reemplazar arsenopirita. Galena y bismutina son observables únicamente al microscopio. La bismutina se encuentra en cristales del orden de 10 µm, inmersos en pirita, mientras que la galena, de dimensiones que pueden sobrepasar las 100 µm, rellena fracturas y huecos. Calcopirita, tetraedrita y covellina han sido encontradas únicamente en las mineralizaciones de la Falla de La Patadura.

El oro reconocido es oro libre (láminas de dimensión mayor generalmente < 100 µm, llegando en ocasiones hasta a 1,3 mm; figura 3a y b), incluido en arsenopirita o en cuarzo, la mayor parte de las veces rellenando microfisuras. Por lo que respecta a su composición química, se han realizado tres análisis de oro en la microsonda electrónica (tabla 1). Los rasgos más característicos de su composición son: contenidos en cobre por debajo del límite de detección instrumental y contenidos en plata que varían entre 1,99 y 7,62%.

La secuencia paragenética pone de manifiesto la existencia de dos fases mineralizadoras y de dos episodios deformativos posteriores a la deposición de la primera fase de mineralización.

La primera fase de mineralización se caracteriza por la formación de las venas de cuarzo, con arsenopirita, a la que acompañan cantidades menores de pirita y bismutina muy ocasional. En el encajante próximo a los filones precipitan asimismo arsenopiritas y piritas euhedrales que cortan la S₁. La calcopirita, tetraedrita y covellina reconocidas en el indicio de la falla de la Patadura parecen pertenecer a esta fase de mineralización.

El primer episodio de deformación, contemporáneo con la segunda fase de mineralización, produjo fracturación frágil de los sulfuros en el interior de las venas de cuarzo (figura 3c), además de deformación y recrystalización del propio cuarzo. En las fracturas y huecos generados se produjo la deposición de cuarzo, galena (figura 3d) y oro. En el encajante de los filones, los sulfuros precipitados durante la primera fase de mineralización, propiciaron la aparición de sombras de presión en su entorno, en las que precipitaron fibras de cuarzo y mica blanda sintectónicas (figura 3e). Dos determinaciones (tabla 2), realizadas mediante microsonda electrónica ponen de manifiesto que las micas blancas presentes en las sombras de presión son micas fengíticas con una fórmula promedio (Na_{0,04} K_{1,56}) (Al_{3,66} Ti_{0,02} Fe_{0,23} Mg_{0,21}) (Si_{6,42} Al_{1,58}) O₂₀ (OH)₄ y con una componente paragonítica (relación atómica entre Na y Na+K+Ca) de 0,03.

El segundo episodio de deformación produjo deformación y recrystalización del cuarzo, sin que se haya observado precipitación de sulfuros asociada.

Las aureolas de alteración del encajante presentes son silicificaciones, sericitizaciones y cloritizaciones, las cuales, muchas veces se limitan al entorno próximo a la mineralización (figura 3f).

Metalogenia

A falta de estudios geoquímicos de detalle, pocas precisiones podemos hacer acerca de la metalogenia

Fig. 3.—Fotografías de detalle de las mineralizaciones. A) Oro encajado en cuarzo en las proximidades de arsenopirita. B) Oro fisural en arsenopirita. C) Brecha con cantos de arsenopirita cementados por cuarzo. D) Arsenopirita recubierta por pirita, cuarzo y galena. E) Cristales de arsenopirita y pirita remplazando a la roca de caja y con sombras de presión asociadas en su entorno. F) Silicificación en los márgenes de una vena de cuarzo de dirección N180°E/75°E.
— A, F: macrofotografías; B, D: microfotografías (luz reflejada; nícoles paralelos); C, E: microfotografías (luz reflejada, nícoles casi totalmente cruzados).
— Abreviaturas: Qtz = cuarzo, Au = oro, Apy = arsenopirita, Gn = galena, Py = pirita, H = huecos producidos durante la realización de la lámina.

Tabla 1.—Resultados de análisis en microsonda electrónica; rutina de sulfuros

Muestra	Mineral	%As	%Fe	%Pb	%S	%Se	%Cu	%Ag	%Au	%Ni	%Te	%Sb	%Co	%Bi	%Zn	%Total
13-1	Oro	0,08	0,07		0,12			6,58	92,28		0,12		0,01	0,12	0,04	99,41
13-1	Oro	0,02	0,90		0,06			7,62	91,44		0,05		0,01	0,25	0,01	100,36
F1-4	Oro		0,50		0,06	0,01		1,99	95,14	0,03	0,14		0,00	0,27		98,15
F1-2	Tetraedrita	0,30	6,32	0,17	24,93		28,83	11,03				28,28	0,01	0,02	1,80	101,69
13-1	Bismutina		2,05	0,45	18,93	0,01				0,00	0,07	0,03	0,02	82,20		103,76
F1-2	Covellina	0,03	1,51	0,20	33,46		63,75	0,11		0,01	0,01			0,02		99,10
13-1	Galena		0,17	86,75	13,21	0,01					0,16			0,21		100,51
13-1	Anglesita		1,38	66,28	9,94						0,06			0,12		77,78

Tabla 2.—Resultados de análisis en microsonda electrónica (rutina de silicatos) y fórmula estructural

Muestra	M-7	M-7	Fórmula estructural promedio	
%Na ₂ O	0,16	0,17	Si	6,42
%K ₂ O	9,20	9,55	Al _(IV)	1,58
%CaO	0,03	0,00	Σ _{IV}	8,00
%TiO ₂	0,33	0,17		
%Fe ₂ O ₃	—	—	Al _(VI)	3,66
%FeOt	2,30	1,95	Ti	0,02
%MnO	0,00	—	Fe (t ²⁺)	0,23
%Cr ₂ O ₃	0,03	0,01	Mn	0,00
%SiO ₂	48,38	50,01	Cr	0,00
%Al ₂ O ₃	34,06	34,16	Mg	0,21
%MgO	1,05	1,14	Ni	0,00
%NiO	—	—	Σ _{VI}	4,13
%Total	95,56	97,16		
Relaciones atómicas promedio			Na	0,04
			K	1,56
Na/(Na+K+Ca)			Ca	0,00
Si/Al _(IV)			Σ _{XII}	1,60

Todo el Fe calculado como Fe²⁺.

de las mineralizaciones de oro primario estudiadas, al margen de las ya realizadas por Ribera *et al.* (1992) y Tornos *et al.* (1997) para depósitos similares de zonas próximas.

Este trabajo ha puesto de manifiesto la existencia, en Llamas de Cabrera, de dos eventos hidrotermales con sendas fases de mineralización asociadas. El primer evento hidrotermal es posterior al momento álgido de la primera fase de deformación hercínica (D₁), ya que los sulfuros dispersos en el encajante de los filones cortan a la esquistosidad asociada a esta fase (S₁). El segundo evento hidrotermal está relacionado con un proceso de deformación posterior, que propició la brechificación de los sulfuros en las venas de cuarzo y la aparición de sombras de presión en torno a los cristales de arsenopirita y pirita del encajante.

La fuente del oro parece estar en las rocas del entorno geológico (Tornos *et al.*, 1997), que habrían sido objeto de lixiviación con posterioridad a la pri-

mera fase de deformación hercínica (D₁). En este sentido, Herail (1984) pone de manifiesto la existencia de paleoplaceres de oro presentes en la Cuarcita Armoricana, mientras que Porter y Álvarez (1992) estiman en hasta 80 ppb en contenido en oro de las pizarras de Lluarca en el occidente de Asturias. El oro habría precipitado en zonas extensionales, por descenso de presión y temperatura.

Conclusiones

En la mina de Llamas de Cabrera fue explotado en época romana oro primario encajado en el zócalo hercínico y oro secundario presente en sedimentos aluviales y coluviales.

Los yacimientos de oro primario se encuentran, en la mayor parte de los casos, encajados en la Cuarcita Armoricana (especialmente en sus tramos superiores, equivalentes a las Capas de Transición) y ocasionalmente en las pizarras de Lluarca. Los forman mineralizaciones de tipo filoniano, encajadas en relación con fracturas de dirección N180°E/70-85°N y en algunas ocasiones de dirección N125°E y N70°E. Las mineralizaciones arman tanto en venas de cuarzo lechoso como en su encajante (cuarcitas, pizarras y areniscas).

Se han reconocido dos fases de mineralización. La primera, formada por arsenopirita, pirita y bismutina y posiblemente por calcopirita, tetraedrita y covellina, es posterior al momento álgido de la primera fase de deformación hercínica (D₁). La segunda fase de mineralización, formada por galena y oro está relacionada con un proceso de deformación posterior no datado, que produjo brechificación de los sulfuros previos y crecimiento sincinemático de cuarzo y micas fengíticas en sombras de presión desarrolladas en torno a los cristales de arsenopirita y pirita del encajante. Las alteraciones hidrotermales que acompañan a las mineralizaciones son silicificaciones, sericitizaciones y cloritizaciones.

Los datos aportados en este trabajo están de acuerdo con la hipótesis genética propuesta por Tor-

nos *et al.* (1997) para yacimientos de oro de la Zona Asturoccidental-leonesa, según la cual el oro y los otros elementos que conforman las mineralizaciones procederían de las rocas del entorno geológico. El oro y los metales habrían sido objeto de lixiviación, transporte y, en zonas extensionales, precipitación por descenso de presión y temperatura.

En cuanto a las mineralizaciones de oro secundario, se han producido por la actuación del ciclo exógeno sobre rocas portadoras de oro primario.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto de Investigación «Evaluación y génesis de los depósitos primarios de oro de los Montes de León (Sierras del Teleno y Cabrera)», financiado por la Excm. Diputación provincial de León (Ayudas a Proyectos de Investigación con destino en la Universidad de León, año 2004).

Los autores desean expresar su agradecimiento a D. Alfredo Fernández Larios (Centro de Microscopía Electrónica, Universidad Complutense de Madrid), por su colaboración durante la realización de las determinaciones en la microsonda electrónica y a los doctores Andrés Paniagua Condado (Universidad de Zaragoza) y Emilio J. González Clavijo (Instituto Geológico y Minero de España), por su asesoramiento en temáticas metalogenética y estructural, respectivamente, de las que son reconocidos especialistas.

Referencias

- Barros Lorenzo, J. C. (1989). Nuevos datos geológicos y cartográficos sobre el flanco sur del Sinclinorio de Truchas (Ourense-León, NW de España). *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 14: 93-116.
- Domergue, C. (1970). Introduction à l'étude des mines d'or du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique dans l'antiquité. In: *Legio VII Gemina*, Cátedra de San Isidoro, León, 255-286.
- Domergue, C. y Herail, G. (1978). *Mines d'or romaines d'Espagne. Le district de la Valduerna (León). Etude Geomorphologique et Archeologique*. Publications de l'Université de Toulouse-Le Mirail, Serie B, T-IV, 310 págs.
- Gutiérrez-Marco, J. C., Aramburu, C., Arbizu, M., Bernárdez, E., Hacar Rodríguez, M. P., Méndez-Bedia, I., Montesinos López, R., Rábano, I., Truyols, J. y Villas, E. (1999). Revisión bioestratigráfica de las pizarras del Ordovícico Medio en el noroeste de España (Zonas Cantábrica, Asturoccidental-leonesa y Centroibérica septentrional). *Acta Geol. Hispanica*, 34: 3-87.
- Herail, G. (1984). *Géomorphologie et gîtologie de l'or détritique. Piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne*. Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Paris, 456 págs.
- Heredia, N., Rodríguez Fernández, L. R. y Suárez, A. (1994). Capítulo III: Tectónica. In: *Mapa Geológico de la provincia de León, escala 1/200.000*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 91-132.
- Lewis, P. R. y Jones, G. D. B. (1970). Roman Gold-Mining in North-West Spain. *J. Roman Studies*, 60: 164-178.
- Martínez Catalán, J. R., Hacar Rodríguez, M. P., Villar Alonso, P., Pérez Estaún, A. y González Lodeiro, F. (1992). Lower Palaeozoic extensional tectonics in the limit between the West Asturian-Leonese and Central Iberian Zones of the Variscan Fold Belt in NW Spain. *Geol. Rundschau*, 81: 545-560.
- Martínez Catalán, J. R., Pérez Estaún, A., Bastida, F., Pulgar, J. y Marcos, A. (1990). West Asturian-Leonese Zone structure. In: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (R. D. Dallmeyer and E. Martínez-García, Eds.), Springer Verlag, Berlín, 103-114.
- Matías, R. y Gómez Fernández, F. (2003). La mina romana de Llamas de Cabrera (León-España). In: *Actas del IV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero*, Utrillas (Teruel), 383-398.
- Matías, R. (2004). Ingeniería minera romana: La red hidráulica de Las Médulas (León-España). In: *Actas del II Simposio sobre Minería y Metalurgia Antiguas en el Sudoeste Europeo*. Madrid, 279-293.
- Pérez Estaún, A. (1978). Estratigrafía y estructura de la rama sur de la Zona Asturoccidental-leonesa. *Mem. Inst. Geol. Min. España*, 92: 1-151.
- Pérez Estaún, A., Marquínez, J. y Ortega, E. (1980). La sucesión ordovícica y la estructura de la región de Silván (La Cabrera, León). *Brev. Geol. Asturica*, 24: 17-32.
- Pérez-García, L. C. (1977). *Los sedimentos auríferos del NO de la cuenca del Duero (provincia de León, España) y su prospección*. Tesis Doctoral inédita, Universidad de Oviedo, 399 págs.
- Pérez-García, L. C., Sánchez-Palencia, F. J. y Torres-Ruiz, J. (2000). Tertiary and Quaternary alluvial gold deposits of Northwest Spain and Roman mining (NW of Duero and Bierzo Basins). *J. Geochem. Expl.*, 71: 225-240.
- Porter, D. H. y Álvarez, B. (1992). Mineralizaciones de oro del noroeste de España. In: *Recursos Minerales Españoles* (J. García Guinea y J. Martínez Frías, Eds.), Colección Textos Universitarios, CSIC, Madrid, 849-860.
- Ribera, F., Tornos, F. y Locutura, J. (1992). Las mineralizaciones hidrotermales de oro de la vertiente norte del Teleno (León). *Actas del III Congreso Geológico de España*. T-3, 418-421.
- Sáenz, C. y Vélez, J. (1974). *Contribución al estudio de la minería primitiva del oro en el Noroeste de España*. Ediciones Atlas, Madrid, 190 págs.
- Sánchez-Palencia, F. J. (1983). *La explotación prerromana y romana del oro en Asturias y Gallaecia*. Tesis doctoral inédita. Universidad Complutense de Madrid.
- Sarmiento, G. N., Gutiérrez-Marco, J. C. y Robardet, M. (1999). Conodonts ordovícicos del noroeste de España. Aplicación al modelo de sedimentación de la región limítrofe entre las zonas Asturoccidental-Leonesa y Centroibérica durante el Ordovícico superior. *Rev. Soc. Geol. España*, 12: 477-500.
- Tornos, F., Spiro, B. F., Shepherd, T. J. y Ribera, F. (1997). Sandstonehosted gold lodes of the Southern West Asturian Leonese Zone (NW Spain). *Chron. Rech. Min.*, 528: 71-86.
- Tornos, F., Locutura, J., Ortiz, G., Ximenez, P., Cayola, F., Ribera, F. y Sánchez, A. (1993). *Mapa metalogenético de España E. 1:200.000, Hoja 18 Ponferrada*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 116 págs.

Recibido el 12 de diciembre de 2005

Aceptado el 29 de diciembre de 2005