
La galena argentífera de la mina La Rosa o De Lima I, Cordillera de Mérida, Estado Mérida: origen y emplazamiento

Ramón S. Sifontes G. y María A. Crespo O.

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra, Caracas 1010 A

Resumen

La mina La Rosa ó De Lima I consiste en un pequeño depósito de galena argentífera asociada con cuarzo lechoso, localizado en el flanco este del valle de Las Tapias, a unos 3,5 km al suroeste de la población de Bailadores, estado Mérida. Está constituido por sulfuro de plomo argentífero, casi como la única fase metálica, ya que otros sulfuros tales como esfalerita, calcopirita, y pirita, se presentan sólo en cantidades trazas; la ganga es principalmente cuarzo.

La mina La Rosa fue conocida desde el siglo XVIII y fue explotada durante la década de los años cincuenta. Sin embargo, no existe información acerca de la composición mineralógica y química ni acerca de su origen y emplazamiento. Con el presente trabajo se pretende llegar a conocer las características composicionales de la mena y establecer sus condiciones de formación.

La metodología utilizada para cumplir con estos objetivos incluyó análisis mineralógico y químico de la mena, con la determinación tanto de los elementos mayoritarios como de algunos trazas; se hizo además, estudio petrográfico y químico de la roca caja. Todas estas determinaciones permitieron establecer una hipótesis acerca de la generación de este depósito y su posible relación con las mineralizaciones de sulfuro masivo existentes en el área.

La galena en parte se presenta masiva y de granulometría gruesa, bastante uniforme; en parte está asociada con cuarzo lechoso (cerca de los contactos) en proporciones comparables. La composición química arroja alrededor de 80% de Pb, 14% de S, más de 2000 ppm de Ag, y más de 5000 ppm de Bi. La alta concentración de Ag y Bi sugieren una alta temperatura de formación de la galena.

La mineralización La Rosa ó De Lima I está emplazada discordantemente en roca meta-volcánica silícea, lo que indica que es epigenética. Esta roca fue intrusionada por el granito de Las Tapias, el cual, al parecer, originó soluciones hidrotermales que lixiviaron plomo y otros elementos de mineralizaciones preexistentes enriquecidas en galena argentífera. Dichos elementos luego fueron redepositados en fracturas, conformando la mineralización que hoy conocemos. Esta hipótesis parece encontrar apoyo por la existencia en el área de mineralizaciones enriquecidas en galena, y por el evidente efecto metasomático observado en las rocas que contienen la mineralización.

Palabras claves: Bailadores, Las Tapias, La Rosa, De Lima I, galena argentífera

Abstract

The La Rosa or De Lima I mine consists of a small concentration of argentiferous galena associated with milky quartz. It is located on the eastern flank of the Las Tapias valley, 3.5 Km SW of the town of Bailadores, Mérida state. The deposit is made up of argentiferous lead sulfide, as the dominating metallic phase, since sphalerite, chalcopyrite, and pyrite are the present in very small quantities. The gangue is mainly quartz.

The La Rosa mine is known since the eighteenth century and was active during the 1950s. However no information is available relating to its mineralogical and chemical composition or its emplacement. This study reports the chemical characteristics of the ore and establishes its formation conditions.

The methods used to reach these objectives include the mineralogical and chemical analyses of the ore, including major and some trace elements, and the petrology and chemical analysis of the country rock. All these determinations contributed to the formulation of a hypothesis of its genesis and its relationship with mineralization of massive sulphides also found in the general area.

Galena occurs in fairly uniform masses of coarse-grained crystals and, close to contacts, is associated with quartz in similar proportions. The chemical analyses of this galena gives 80% Pb, 14% S, more than 2000 ppm Ag, and more than 5000 ppm Bi. These high concentrations of Ag and Bi suggest a high crystallization temperature.

The La Rosa or De Lima I mineralization was emplaced discordantly within a siliceous meta-volcanic rock, which indicates that it is epigenetic. This rock in turn has been intruded by the Las Tapias granite. Apparently this granite originated hydrothermal solutions that leached lead and other elements from previously existing mineralizations that were rich in argentiferous galena. These elements were later deposited in fractures and made up the mineralization as is known today. Apparently this hypothesis seems to be supported by the existence, in the general area of the mine, of mineralizations rich in galena, and by the evident metasomatic effect observed on the rocks that host the mineralization.

Key words: Bailadores, Las Tapias, La Rosa, De Lima I, argentiferous galena

Introducción

La mina La Rosa ó De Lima I está localizada a unos 3,5 km al sur de la población de Bailadores, distrito Rivas Dávila, estado Mérida, Andes Meridionales venezolanos, en el flanco éste del valle de la quebrada Las Tapias, aldea del mismo nombre, a una altitud de 2220 m s.n.m. (Fig.1). Consiste en un pequeño depósito de galena argentífera asociada con cuarzo lechoso. El mineral metálico es casi exclusivamente sulfuro de plomo argentífero, ya que otros sulfuros, tales como: esfalerita, calcopirita y piritita, sólo se presentan en menores concentraciones o como trazas; la ganga es principalmente cuarzo.

La mina La Rosa fue conocida desde el siglo XVIII y fue explotada durante la década de los años cincuenta (a partir de 1953) por una pequeña empresa, la cual extrajo la galena debido, probablemente, a su elevada concentración de plata. Sin embargo, no existe publicación donde se informe de las características de la mena, así como del tonelaje extraído, y del comportamiento de la mineralización.

A partir de 1965, el entonces Ministerio de Minas e Hidrocarburos (MMH), hoy Ministerio de Energía y Minas (MEM), asumió la exploración de las mineralizaciones de Bailadores hasta el año 1979, cuando cesaron prácticamente todas estas actividades. El MMH realizó dos perforaciones en De Lima I, pero no existe documentación pública de los resultados, posiblemente en los archivos internos de la Dirección de Geología del MEM, exista la descripción de los núcleos de los sondeos efectuados.

El presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer los resultados de investigaciones geológico-geoquímicas realizadas en dicho depósito, las cuales incluyeron el estudio del cuerpo

mineralizado, sus relaciones de campo, caracterización mineralógica y química de la mena y de la roca caja, influencia de la intrusión granítica de Las Tapias en la formación del depósito, y establecimiento de una hipótesis acerca de su origen y emplazamiento.

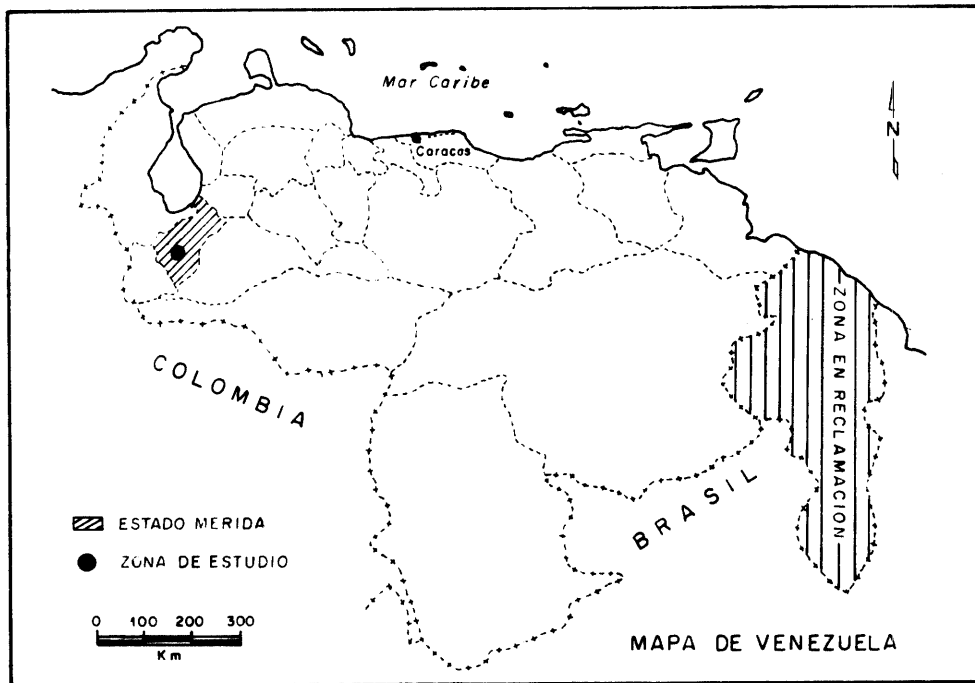
Marco Geológico

La mina La Rosa ó De Lima I forma parte de un conjunto de mineralizaciones de sulfuro metálico que afloran en la región de Bailadores-Guaraque, de las cuales la mineralización conocida como De Lima II, constituye un depósito de importancia económica (Sifontes 1985; 1989; 1992).

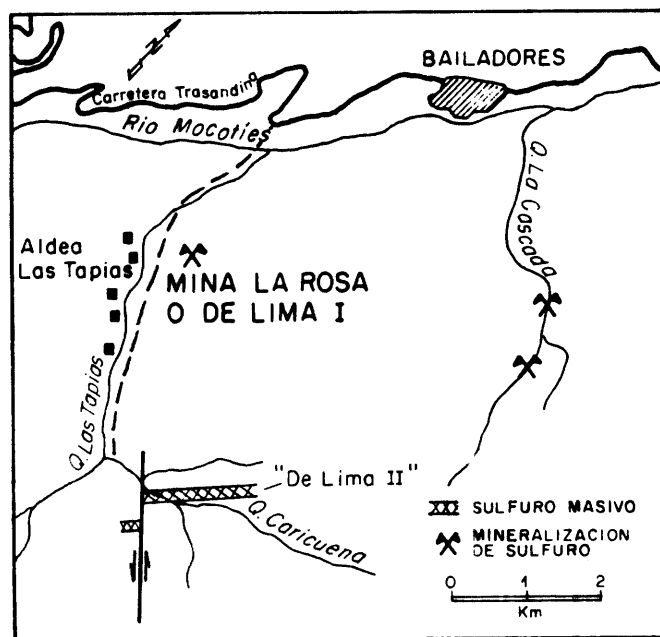
El área donde está ubicada la mina La Rosa, incluye una secuencia estratigráfica integrada por rocas paleozoicas meta-sedimentario-volcánicas y gneises graníticos, que ha sido intrusionada por cuerpos pequeños en la forma de diques y masas lenticulares de rocas máficas y félsicas, mayormente, y escasamente algunos diques de rocas de composición intermedia (Fig. 2).

Rocas meta-sedimentario-volcánicas

Las rocas meta-sedimentario-volcánicas corresponden a la unidad meta-sedimentario-volcánica descrita por Sifontes (1985; 1989; 1992) de la región de Bailadores-Guaraque, consistentes en pizarras, filitas y esquistos de origen pelítico y rocas de origen volcánico, silíceas, que han sufrido metamorfismo regional de grado bajo (parte baja de la facies de los esquistos verdes), y localmente, al parecer por influencia de la intrusión granítica de Las Tapias, metamorfismo de contacto, como en el caso de la quebrada El Buque, donde se observa roca granatífera en o casi en contacto directo con el cuerpo granítico, alcanzando lo que

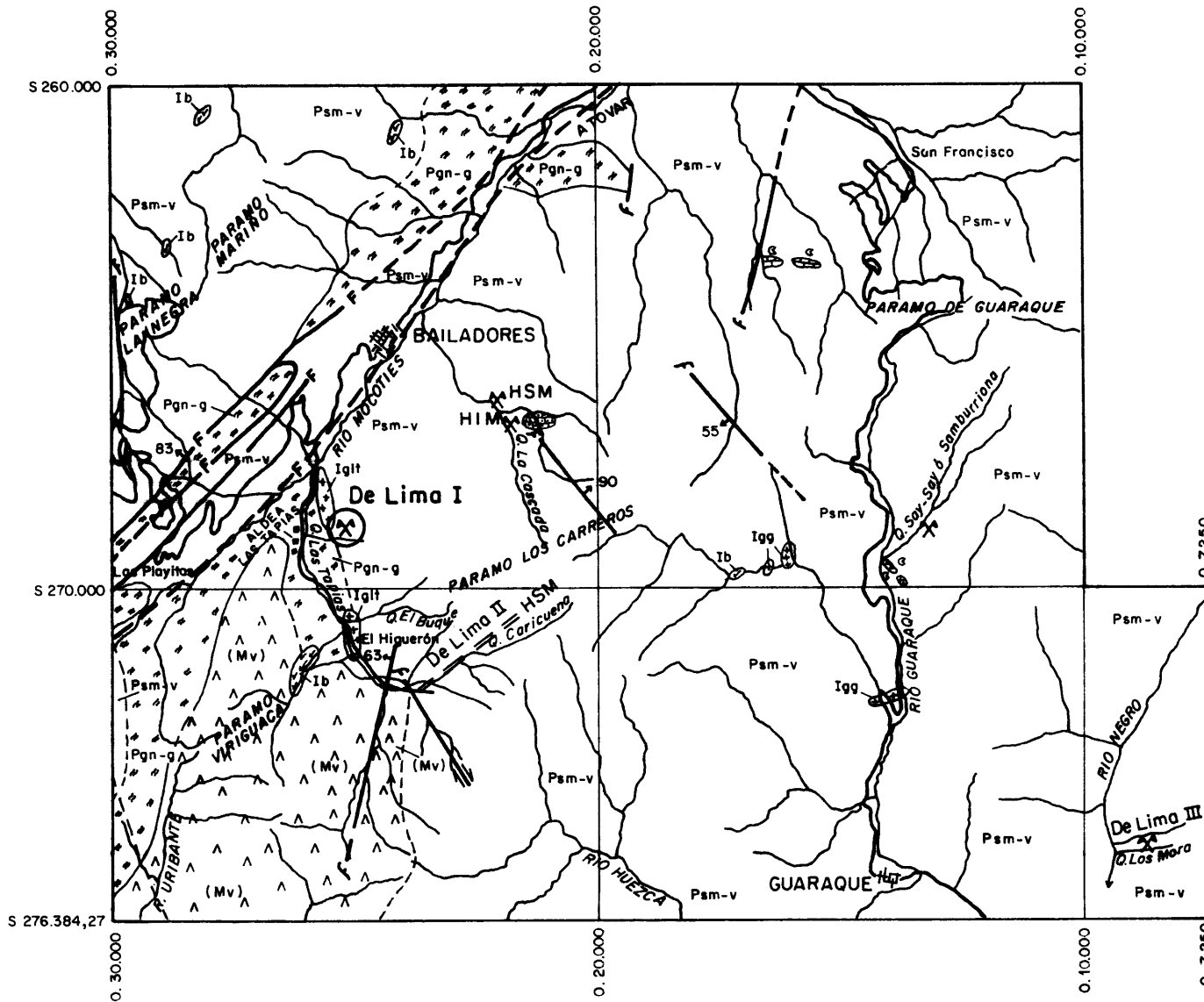


(a)



(b)

Figura 1
Localización de la zona de estudio: (a) en Venezuela y en el estado Mérida; (b) en la aldea Las Tapias.



MAPA GEOLOGICO DE LA REGION DE BAILADORES - GUARAQUE
DISTRITO RIVAS DAVILA - ESTADO MERIDA



Geología: Ramón S. Sifontes G.

LEYENDA

ESTRATIGRAFIA

- PALEOZOICO**
- Pgn-g: Gneises graníticos (originalmente granitos intrusivos sintectónicos en la secuencia meta-sedimentario - volcánica)
 - Psm-v: Secuencia meta-sedimentario-volcánica: pizarras y filitas cuarzo-sericitico-clorítico-grafíticas (principalmente) y esquistos, meta-limolitas, meta-areniscas, etc., y rocas meta-volcánicas silíceas (mv).

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

- Igt: granito de Las Tapias
- Igg: granito gráfico metamorfoseado
- Ib: roca máfica metamorfoseada

Tendencia Estructural Regional: Noreste

SIMBOLOS GEOLOGICOS Y TOPOGRAFICOS

- F: Falla regional bien definida indicando el buzamiento, con trazos donde es inferida
- f: Falla menor indicando el buzamiento, con trazos donde es inferida
- f: Falla menor tipo transcurrente indicando el movimiento relativo
- Contacto geológico: Bien definido
- Aproximado
- Lente de caliza marmórea
- Localidad fósilífera
- Lente de caliza marmórea cuarzosa, en parte cuarcita calcárea
- Mineralización: HSM: Horizonte Superior de Mineralización; HIM: Horizonte inferior de Mineralización
- Mina La Rosa ó De Lima I
- Población importante
- Rio ó quebrada
- Carreteras asfaltadas

Base Topográfica: Parte del cuadrante suroeste de la hoja G - 3 - A
 (Creole Petroleum Corporation) 1.959. Escala 1: 50.000
 Origen de coordenadas: Catedral de Maracaibo (N.00 - E.00)

1.996

Figura 2

parece ser la facies hornfels de hornablenda, con formación de grandes porfidoblastos de granate almandino. Estos se ven dispuestos transversalmente a la foliación, en una matriz de grano fino, esquistosa (esquisto cuarzo-micáceo-granatífero de origen pelítico). El granate también se observa en rocas meta-volcánicas silíceas, en cristales aislados, o en vetillas acompañado de filosilicatos cortando la foliación, quizás formado por acción metasomática hidrotermal.

Las rocas de origen volcánico que aparecen en los alrededores de la Mina La Rosa fueron, al parecer, al menos en su mayoría, flujos de lava de composición riolítica. En la zona de De Lima II, en cambio, las piroclásticas son más abundantes (Carlson 1974; 1977), y por lo general exhiben buena foliación.

La composición de las rocas meta-volcánicas, en general, es predominantemente riolítica, algunas veces riodacítica.

La distribución de las rocas meta-volcánicas, la cual muestra un predominio de flujos de lava hacia el suroeste, de acuerdo a los trabajos de Harder (1977) y Sifontes (1985; 1987 y 1992) y Sifontes y García (1975) y un predominio de rocas piroclásticas hacia el noreste, especialmente en la zona del páramo Viriguaca, quebrada San Carlos y sus nacientes, y en la zona mineralizada De Lima II y sus alrededores, parece indicar la existencia de un centro volcánico (ó varios) ubicado inmediatamente al suroeste de la zona de estudio. Posiblemente hubo volcanismo subaéreo así como también actividad volcánica submarina.

Gneises graníticos

Los gneises graníticos que afloran en el valle de la quebrada Las Tapias y quebrada El Rincón, forman parte de los gneises de la serranía páramo del Batallón-Bailadores-Tovar, al norte de la zona de fallas de Boconó, los cuales han sido descritos por Sifontes y Talukdar (1980); Canelón y García (1977); Sifontes (1985; 1989; y 1992) y Sifontes y García (1975). Su composición corresponde mayormente a los tipos graníticos y granodioríticos; por efecto de la zona de fallas de Boconó en este sector, se han desarrollado varios tipos de rocas de falla, tales como, gneises protomiloníticos, gneises miloníticos, cataclasitas, y otras (Talukdar y Sifontes 1980).

Las relaciones de campo entre los gneises graníticos y las rocas meta-sedimentarias, es por lo general de falla, pero cuando es intrusivo se observa una pequeña zona de metamorfismo de

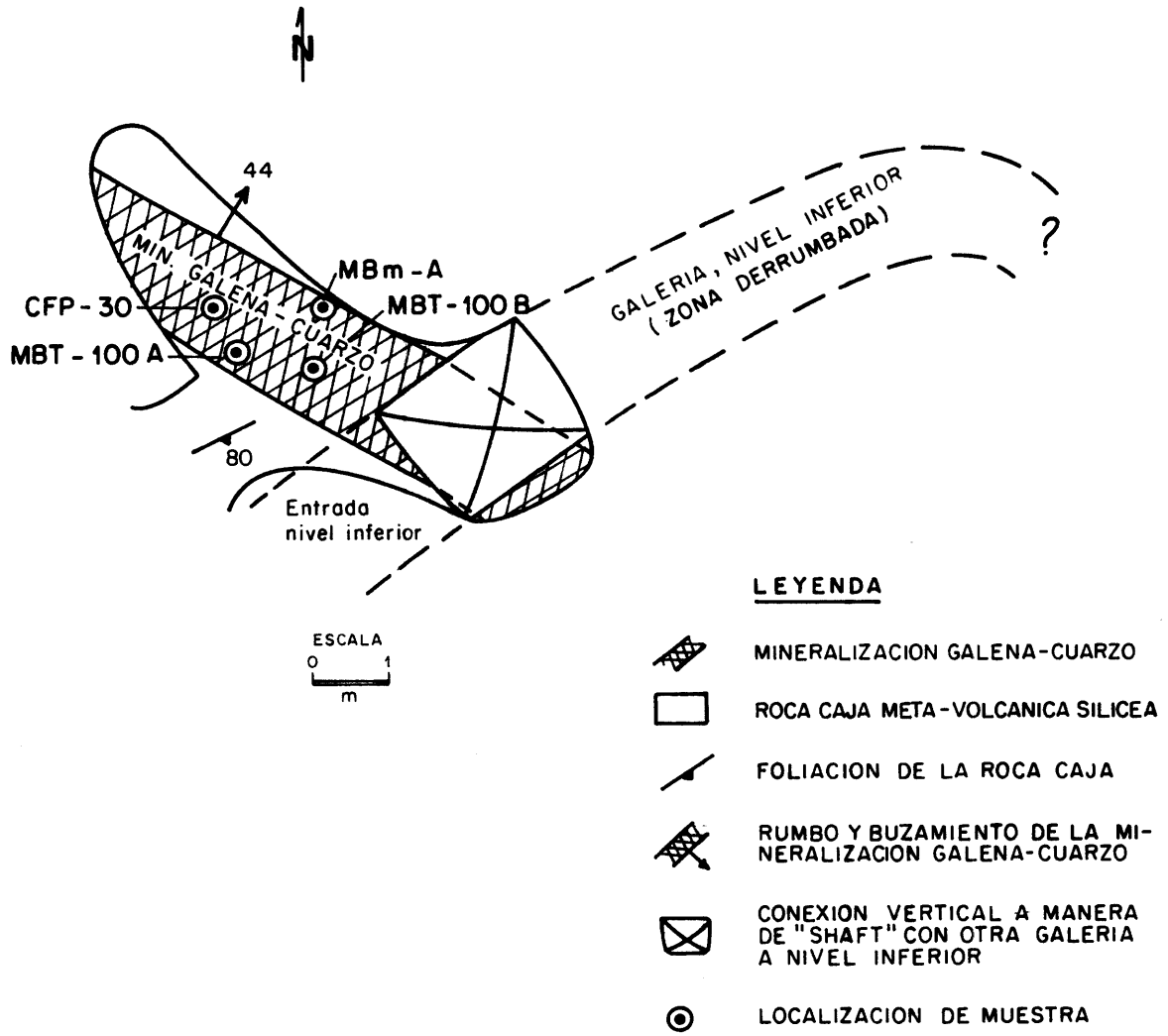
contacto, de pocos centímetros de espesor, con la formación de biotita, y a veces granate (Sifontes y Talukdar 1980).

Rocas ígneas intrusivas

En la región de Bailadores-Guaraque, en un área de más de 300 km², se ha detectado una actividad ígnea relativamente abundante, no común en los Andes de Mérida. Los cuerpos intrusivos más antiguos están representados por rocas máficas, que han sufrido metamorfismo regional de grado bajo. Se presentan en la forma de diques y masas lenticulares de pequeño tamaño, que varían de espesor desde menos de 6 hasta más de 50 m. Son mayormente de composición diabásica; su abundancia es más acentuada en el páramo La Negra, donde se los ve principalmente como diques delgados, concordantes, de 1 a 2 m de espesor, y también como masas lenticulares concordantes. Su distribución y abundancia relativa en esta zona, parece sugerir un emplazamiento a través de fracturas tensionales.

Algunos diques de lamprófidos fueron detectados en el área, como en la quebrada La Cascada, donde aflora uno del tipo mineta sódica, con espesor que varía entre 3 y 9 m. También en la quebrada Caricuena fueron observadas varios del tipo mineta, con espesores de 2 a 2,5 m. Estos diques laprofidicos no muestran evidencias de haber sufrido metamorfismo regional (Sifontes 1992).

Los cuerpos ígneos intrusivos félsicos son también bastante frecuentes en el área antes señalada; están localizados, en su gran mayoría, al sur de la zona de fallas de Boconó, principalmente al sur y suroeste de la población de Bailadores, en la cercanías de las mineralizaciones de sulfuros metálicos. Se presentan mayormente en diques de 2 a 8 m de espesor, pero también en forma lenticular de hasta 300 m de ancho y más de 1 km de largo (apófisis del granito de Las Tapias). Los hay del tipo subvolcánico de composición dacítica, riolítica y riodacítica (Sifontes 1992), y del tipo granítico (granito de Las Tapias, el de mayor tamaño e importancia). Muchos de ellos, quizás la mayoría, no muestran evidencias de haber sufrido metamorfismo regional (en algunos sólo se observa cizallamiento), debido a lo cual, su edad debe estar comprendida entre el Paleozoico Tardío y el Mesozoico Temprano. Así vemos que el granito de Las Tapias, cuya datación radiométrica por isocrona de Rb/Sr arroja una edad de 316 ± 21 Ma (Teggin et al. 1985),



1.996

Figura 3
 Croquis de la mina La Rosa ó de Lima I ubicada frente a la aldea Las Tapias, en el flanco este del valle de la quebrada del mismo nombre

corresponde al Carbonífero Tardío).

El granito de Las Tapias parece tener una estrecha relación genética con el depósito de galena argentífera La Rosa o De Lima I, y también con los efectos metasomáticos observados en De Lima II, donde aparecen minerales metasomáticos tales como gahnita, vesuvianita, granate, biotita y otros (Sifontes 1985; 1989; 1992).

La galena argentífera de la mina La Rosa o De Lima I

Aspectos Generales

La mineralización de galena argentífera de la mina La Rosa o De Lima I, consiste de un horizonte irregular, integrado casi exclusivamente de sulfuro de plomo (como mineral metálico), asociado con cuarzo lechoso (mineral principal de la ganga), emplazado en roca meta-volcánica de composición riolítica (Sifontes 1992).

La mineralización aflora en el socavón La Rosa, (Fig. 3) en donde conforma un cuerpo algo irregular, cuya posición es N 55-60 W; 30 NE, en la entrada del socavón, en relación discordante con la foliación de la roca caja (N 50 E; 80 SE), casi perpendicularmente a ésta, pero luego muestra fuertes cambios. El espesor en la entrada es de alrededor de 1,30 m, pero luego presenta variaciones y hasta llega a ramificarse. Actualmente lo que se observa del horizonte de mineralización, son pequeños remanentes en el techo y en las paredes del socavón, con abundante cuarzo lechoso. Sin embargo, el cuerpo de mena, en la parte central, estuvo formado mayormente por galena masiva, tal como se ha observado en muestras tomadas en ese sector, que aún se conservan.

Hoy en día se observa sólo parcialmente el socavón La Rosa, ya que a causa de los continuos derrumbes, está tapado en su mayor parte.

Características Mineralógicas de la Mena

La mena está constituida casi completamente por galena argentífera, en alrededor del 98%, y en cantidades muy pequeñas o trazas, pirita (FeS_2), calcopirita (CuFeS_2) y esfalerita (ZnS). La ganga, además de cuarzo, incluye algunos minerales secundarios, tales como, piromorfita y carbonatos de cobre, en cantidades minoritarias.

La galena (PbS) se presenta en arreglos de cristales orientados al azar, conformando una textura entrelazada, con cristales desde uno hasta

más de 6 mm de diámetro, mayormente alrededor de los 2 mm; con frecuencia se los ve con superficies curvadas, dobladas. Esto, según Park y Mc Diarmid (1975, p. 500), pudiera ser el resultado del comportamiento plástico que sigue la galena cuando es sometida a esfuerzo.

La pirita se observa en segregaciones pequeñas, y ocasionalmente aparece rellenando pequeñas fracturas en cuarzo lechoso, siempre en cristales euhedrales. Las primeras ocurren como racimo de cristales rellenando espacios vacíos dentro de la galena.

En cuanto a la calcopirita sólo se la ve escasamente en pequeñas segregaciones acompañando la pirita, o menos frecuentemente aún, en granos aislados intersticialmente entre cristales de galena. La esfalerita sólo aparece como trazas.

Análisis Químico de la Mena y Discusión de Resultados

De acuerdo con los análisis químicos mostrados en la tabla 1, el depósito mina La Rosa constituye una mena de plata de alto tenor, con un promedio de 2175 ppm (~77oz de Ag/TM). Así mismo, la galena argentífera muestra también una elevada concentración de Bi, la cual está cerca de las 6000 ppm. Probablemente los dos elementos están en la galena como moléculas de matildita (AgBiS_2).

Las concentraciones de Ag y Bi para el horizonte superior de mineralización de la quebrada La Cascada, constituido mayormente por galena, y para la muestra 27B del taladro T9-1 de De Lima II, consistente de galena en cuarzo lechoso, son respectivamente, de 500 y 220 ppm (Ag), y N.D. y < 80 ppm (Bi), lo que indica una diferencia bastante notable entre estos dos lugares y la mina La Rosa, posiblemente a causa de su origen diferente.

Los demás elementos mostrados en la tabla 1, parecen mantenerse dentro de los intervalos señalados por Vaughan y Craig (1978), para elementos minoritarios y trazas en galena, excepto algunas variaciones puntuales, y de valores marcadamente bajos para el Mn, el cual registra ~5 ppm para la mina La Rosa y algo más alto para la quebrada La Cascada y De Lima II (galena), pero en todo caso menores de 35 ppm.

La alta concentración de Bi en galena, como el caso de la mina La Rosa, ha sido reseñada por varios autores como un marco de alta temperatura, así vemos que Schroll (en Fleischer 1955) encontró que la concentración de Bi de la galena de East Alpine varía con la concentración de Ag, siendo

Resultados de Análisis Químicos de la Galena Argentífera del Depósito Mina La Rosa o De Lima I, y del Horizonte Superior de la Qda. La Cascada y del Taladro T9-1 de De Lima II (*)

Muest/E lem	MBT- 100 A	MBT- 100 B	CFP-30	MBm ⁽¹⁾ -A	Promedio Mina La Rosa	HSM-Q La Cascada MBT-149	Mina De Lima II T9-1/27 B (1)
Pb(%)	84,55	82,83	71,11	76,20	78,67	77,14	80,70
S(%)	13,80	15,00	14,60	14,20	14,40	15,45	13,60
Ag (ppm)	2.700	1.100	3.300	1.600	2.175	500	220
Bi (ppm)	6.600	3.300	6.000	7.300	5.800	ND	< 80
Sb (ppm)	201	246	398	1.300	536	878	1.700
Mn (ppm)	5	4	5	< 6	~ 4	18	34
Fe (ppm)	697	231	188	2.000	779	418	54.000
Cd (ppm)	185	172	183	230	193	12	430
Cu (ppm)	856	160	405	50	368	53	520
Zn (ppm)	665	184	230	10.000	2.770	583	1.800
K (ppm)	70	92	188	NA	117	67	NA
Na(ppm)	174	ND	ND	NA		154	NA
Mg (ppm)	150	60	65	NA	97	28	NA
Ca (ppm)	708	710	788	NA	735	290	NA
Ba (ppm)	7	0	3	NA	~ 3	7	NA
TOTAL	99,65%	98.45%	86.88%	92.60%	94.37%		

(*) Los análisis fueron hechos por espectrometría de plasma inducida (ICP), excepto el Pb que fue analizado por absorción atómica y el azufre con un analizador de azufre tipo LECO.

En la Fig 3 se indica la localización de las muestras MBT-100A, MBT-100B, MBm-A y CFP-30. Las muestras MBT-149 y T9-1/27B localizadas en la quebrada La Cascada y en el sondeo T9-1 de De Lima II, respectivamente, están señaladas en informe de Sifontes, 1992.

(1) Ojeda (1983)

NA: No analizado; ND: no detectado (por debajo del límite de detección del método utilizado)

más alta cerca de un macizo de gneis granítico y decrece a medida que se aleja de éste. Tischendorf (en Fleischer 1955) ha indicado que la concentración de Bi varía con la concentración de Ag y Sb, y todos decrecen con la disminución de la temperatura de formación.

La alta concentración de Bi en depósitos de galena argentífera cerca de cuerpos graníticos, parece tener relación genética con estos cuerpos intrusivos, debido, quizás, a los fluidos hidrotermales generados por éstos, durante el proceso de cristalización. Dichos fluidos podrían extraer y concentrar tanto la Ag como el Bi a partir del mismo magma granítico, de la roca caja, o de mineralizaciones preexistentes. Para esto se requiere de suficiente cantidad de agua presente en el magma granítico, cuya fracción liberada constituiría las soluciones hidrotermales; se requiere además, de bajo pH de estas soluciones acuosas, alta concentración de cloruro, y adecuados gradientes de temperatura y presión.

El depósito de galena argentífera de la mina La Rosa, además de presentar elevadas concentraciones de Ag y Bi, está localizado a pocos metros de distancia de la intrusión granítica de Las Tapias, la cual, posiblemente, aportó calor suficiente, generando soluciones hidrotermales a temperaturas quizás bastante por encima de los 500°C, tal como se explicará en páginas venideras.

Holland (1972), indica que experimentos realizados en relación a la composición de soluciones acuosas en equilibrio con fundidos silicatados de composición granítica, han demostrado que Zn, Mn y al parecer también Pb, son fuertemente fraccionados y concentrados en la fase acuosa, y que la relación de fraccionamiento es, a grosso modo, proporcional al cuadrado de la concentración de cloruro en dicha fase. Agrega este autor, que la extracción de los metales a partir de magma granítico por las soluciones hidrotermales, depende de la concentración inicial de cloruro y de agua en el magma, así como también, de la relación de tiempo entre la separación de la fase de vapor y la cristalización del fundido. Bajo circunstancias favorables, los metales pueden ser extraídos del magma granítico para formar depósitos.

En el caso del depósito de galena argentífera de la mina La Rosa, el aporte de los metales no parece ser a partir del magma granítico, pese a que el granito de Las Tapias es anómalo respecto a Ca, Zn, Pb, Mn y Ag, por razones que se explicarán más adelante.

Holland (1972) menciona que el bajo pH de

soluciones acuosas equilibradas con fundidos graníticos, está típicamente entre 1,4 y 2,2. Tales soluciones reaccionan con las rocas de las paredes durante el enfriamiento y se mueven en la dirección de supersaturación con respecto a los sulfuros de metales base.

Estos datos, según este autor, le dan soporte a las hipótesis clásicas acerca del origen de los depósitos minerales hidrotermales post-magmáticos, las cuales se basan en las siguientes tres proposiciones: (1) los magmas con suficiente cantidad de agua, liberan parte de ella como soluciones hidrotermales durante su cristalización; (2) las soluciones hidrotermales producidas de esta manera, contienen suficientes concentraciones de metales para dar origen a los depósitos de metales base; (3) el descenso de la temperatura y la presión, así como la reacción de estas soluciones con las rocas de las paredes, permite la precipitación de los minerales de mena.

Muchos autores coinciden en que la movilidad de los metales base por soluciones hidrotermales, depende de la estabilidad de los complejos con cloruro que estos metales puedan formar (Malyshev y Khodakovskii 1964; Seccombe 1990 y Hedenquist y Lowenstern 1994).

Si realmente la galena de la mina La Rosa es un producto de removilización de sulfuro de plomo, a partir de mineralizaciones preexistentes enriquecidas en galena, debe haber un mecanismo que explique este proceso. En este sentido, experimentos y cálculos realizados por Korenman (en Malyshev y Khodakovskii 1964) muestran que considerable cantidad de PbS es disuelto por soluciones acídicas con cloruro, y que la solubilidad aumenta con la concentración del ión cloruro. Por su parte, Khitarov y Moskalyuk (en Malyshev y Khodakovskii 1964) indican que la solubilidad de la galena es más alta en mezcla de soluciones de cloruros (NaCl + CaCl₂) que en soluciones de una sola sal.

Malyshev y Khodakovskii (1964) afirman que la solubilidad de la galena en el KCl es cerca de diez veces más alta que en NaCl o MgCl₂. El incremento en la concentración de cloruros aumenta la solubilidad del sulfuro de plomo.

Existen algunas evidencias de lixiviación hidrotermal en mineralizaciones conocidas. Tal es el caso descrito por Lacy y Hosmer (1956), quienes refieren un proceso de lixiviación hidrotermal en Perú Central, de barita, sulfuros y carbonatos como la fase tardía de un episodio de mineralización. La lixiviación está normalmente asociada con la mineralización de plomo-cinc y la

secuencia general de lixiviación parece ser: (1) remoción de barita; lixiviación de sulfuros, en aproximadamente el siguiente orden: tetrahedrita, galena-esfalerita, pirita, calcopirita; (3) lixiviación de carbonatos; (4) depositación de sulfuros y sulfosales. Indican los autores que Hemley, en su estudio de la solubilidad del sulfuro de plomo, encuentra que la solubilidad del plomo como complejo $Pb(HS)_3^-$ y $Pb(HS)^+$ aumenta con el incremento del azufre bivalente y disminuye con los valores de pH por encima de 7.

El granito de Las Tapias aflora muy cerca del depósito Mina La Rosa o De Lima I (a menos de 50 m). Aquí durante los años 70, fueron hechas dos perforaciones por el entonces Ministerio de Minas e Hidrocarburos, hoy Ministerio de Energía y Minas, para estudiar la continuidad de la mineralización de galena argentífera. Uno de los taladros, el SI-I en su parte más profunda cortó el granito a la profundidad de 137 m y continuaba aún a los 177 m donde finalizó dicho taladro.

En la tabla 2 se da la concentración de Cu, Zn, Pb, Mn, y Ag en muestras tomadas en varios afloramientos del granito, resultando que el 35,7% de las muestras tomadas son altamente anómalas en Cu; el 42,8% lo son en Zn; el 42,8% en Pb; el 7% en Mn y el 64,2% en Ag.

Los promedios obtenidos en muestras de 14 afloramientos, para Cu, Zn, Pb y Ag, divididos por la concentración normal indicada por Beus y Grigorian (1975) para estos mismos elementos en granito, arroja las relaciones siguientes: 3,3; 9,3; 5,1 y 11,4 respectivamente, es decir, más de tres veces, más nueve veces, cinco veces y más de 10 veces este valor normal.

Estas relaciones sugieren que las concentraciones de Cu, Zn, Pb y Ag, en el granito de Las Tapias son adecuadas para permitir la formación de depósitos post-magmáticos de estos metales base y de plata, a través de soluciones hidrotermales, probablemente generadas por el propio cuerpo granítico. En otras palabras, todos estos factores parecen apuntar a que el granito de Las Tapias es la fuente de los metales que conforman el depósito Mina La Rosa o De Lima I, excepto, quizás para el Bi, cuyas concentraciones están debajo del límite de detección para la técnica utilizada, con equipo ICP-Plasma. Sin embargo, la composición mineralógica de la mena, constituida casi monomineralicamente por galena argentífera (más del 98% de los sulfuros metálicos) no refleja las elevadas concentraciones de Zn y de los otros metales en el granito. Esto obliga a reflexionar acerca del origen del sulfuro de plomo del depósito

La Rosa, como ya fuera señalado en páginas anteriores, el cual está bastante enriquecido en Ag y Bi. En este sentido, se pueden considerar otras dos alternativas para la formación de este depósito, una que el granito haya generado las soluciones hidrotermales que lixivieron los metales de la roca caja; otra, que dichas soluciones lixivieron los metales desde una mineralización preexistente, enriquecida en galena argentífera. Esta última alternativa recibe soporte de observaciones de campo, por cuanto existen en el área, mineralizaciones enriquecidas en galena, como el horizonte superior de mineralizaciones de la quebrada La Cascada, que tiene más del 70% de sulfuros de plomo. Hay también otras mineralizaciones menores enriquecidas en galena, en la zona mineralizada De Lima II (mineralización cortada por el taladro T9-I (muestra 27B) y las localizadas en las cercanías de Guaraque (quebrada de Say-Say y quebrada Los Mora o De Lima III).

También debe mencionarse, que en las rocas de la mina La Rosa se observa un efecto metasomático bien marcado, evidenciado por la presencia de minerales tales como: biotita, moscovita, magnetita (en cristales euhedrales de más de 3 mm de diámetro), y granate rico en almandino, este último también está presente en la propia galena masiva, como cristales euhedrales de hasta 5 mm de diámetro, incluidos en el sulfuro de plomo. El origen más probable de estos minerales, cuyo crecimiento ha sido mayormente en forma discordante con la foliación de las rocas que los contienen, parece ser producto del efecto hidrotermal, relacionado con el emplazamiento del granito de Las Tapias.

En la entrada del socavón La Rosa, se observa inclusiones esquistosas en la roca meta-volcánica félsica. Estas consisten en un esquistotítico-anfibólico con alrededor de 80% de biotita verde oliva y más de 5% de hornablenda verde azulado, con cristales de hasta 4 mm de largo, al parecer formado por metasomatismo hidrotermal, debido posiblemente, a la intrusión granítica. Se nota además, que la roca meta-volcánica en el contacto superior de la mineralización, está bastante cizallada y se aprecia multitud de vénulas irregulares del orden de los 0,2 mm de espesor, a manera de "stockwork", de filosilicatos, principalmente biotita.

El granito de Las Tapias aflora en la quebrada El Buque, donde forma una cascada de cerca de 40 m de caída; encima de la cascada, aguas arriba, se observa esquistos de origen pelítico, en

Concentración de metales base y de plata en vario afloramientos del Granito de las Tapias en partes por millón (ppm) (1)

Muestra/Elementos	Cu	Zn	Pb	Mn	Ag
CPF - 22	256	1050	146	187	0,6
CPF - 23	51	322	191	191	0,2
CPF - 40	7	74	21	307	-
CPF - 43	39	524	298	181	1,1
CPF - 44	14	66	18	103	0,5
CPF - 45	17	106	63	114	0,5
CPF - 46	69	499	386	83	1,1
MBG - 141	64	712	48	195	0,0
MBG - 155	14	53	44	98	-
MBG - 158	2	19	7	17	0,7
MBG - 331 A	7	30	14	167	-
MBG - 332 AB	4	102	2	440	-
MBT - 198	8	97	7	591	0,4
GEB - C	14	2840	188	2980	0,8
Promedio	40	464	102	404	0,42
Concentración normal para granitos (*)	12	50	20	390	0,037
Prom/Con normal	3,3	9,3	5,1	1,0	11,4
Porcentaje de muestras anómalas	35,7	42,8	42,8	7	64,2

(*) Fuente: Beus y Grigorian (1975)

(1) Analizados por espectrometría de plasma inducida (ICP)

La localización de las muestras está indica en los Trabajos Especiales de Grado de Crespo: "Relación Genética de la Intrusión Granítica de Las Tapias con los Sulfuros de La Mina La Rosa o De Lima I, Bailadores, estado Mérida, Venezuela" (en preparación) y de Pérez: "Efectos Metasomáticos en la Zona Mineralizada De Lima II y sus cercanías, Bailadores, estado Mérida, Venezuela" (en preparación).

contacto con dicho granito. Son esquistos micáceo-granatíferos, con desarrollo de porfidoblastos de granate rico en almandino de hasta 4 cm de diámetro, como ya fuera mencionado en páginas presentes.

En el trayecto quebrada El Buque-Mina La Rosa, también se observa rocas micáceo-granatíferas, a veces con crecimiento de granate en forma de rosario o formando bandas continuas. Todos estos minerales parecen tener una estrecha relación genética con la intrusión granítica, la cual causó un efecto termal e hidrotermal.

Cuarzo hidrotermal

La mineralización de galena argentífera de la mina La Rosa está acompañada por abundante cuarzo lechoso hidrotermal. La abundancia de cuarzo y la relación discordante de la mineralización con la foliación de la roca caja, así como su carácter irregular, son características comunes de los depósitos de vetas hidrotermales epigenéticas. La asociación del cuarzo con la galena argentífera y la presencia de cristales de granate almandino dentro de la galena, sugiere unas condiciones de formación con temperatura de alrededor de los 500°C y presión del orden de los 5 kb.

El cuarzo probablemente es de origen hidrotermal post-magmático, relacionado quizás con la cristalización del magma granítico. Igual consideración puede hacerse con las masas de cuarzo lechoso que afloran en esta área, como la de la parte superior de la quebrada El Buque, la cual consiste en un lente de cerca de 50 m de espesor, que no muestra mineralización de sulfuros, al menos a nivel superficial.

Estudio a través de Inclusiones Fluidas

Un estudio en inclusiones fluidas de muestras de los depósitos La Rosa o De Lima I y De Lima II, fue llevado a cabo a fin de determinar las condiciones de formación donde precipitaron los minerales de mena. El estudio se hizo en seis muestras de cuarzo lechoso de los dos depósitos, una correspondiente al depósito La Rosa ó De Lima I y cinco del depósito De Lima II (Sifontes 1992). De dicho estudio se obtuvo lo siguiente:

1) El cuarzo se presenta altamente cizallado, fracturado y repleto de inclusiones.

2) De acuerdo con sus características las inclusiones son del tipo secundario, la mayoría de las cuales están relacionadas a alineamientos de

fracturas.

3) Hay dos tipos principales de inclusiones, uno rico en agua y otro rico en vapor. Las primeras son las más abundantes, con muy alta salinidad, que en el caso del depósito La Rosa, están entre 22,5 y 24,7% en peso equivalente de Na Cl, excepto una que registro 12,9%.

Las inclusiones ricas en vapor se caracterizan por una gran burbuja central (metano supercrítico) y un anillo estrecho de agua líquida. Con frecuencia coexisten con las inclusiones ricas en agua en el mismo plano de fractura, posiblemente a causa del atrapamiento simultáneo de dos fluidos inmiscibles.

4) Las inclusiones de los dos depósitos, De Lima II y La Rosa ó De Lima I, muestran características similares. El tipo dominante es el de la salmuera saturada en metano (CH₄) con una concentración variable pero menor de CO₂.

Para la determinación del CH₄ y CO₂, el sistema fue enfriado por debajo de los - 100°C. A estas condiciones la burbuja central de las inclusiones se separa en dos fases, una de vapor interna (gas metano) y una fase líquida externa (metano líquido). La fase líquida fue enfriada a - 190°C formándose metano sólido. La fusión del metano ocurre por debajo de - 150°C indicando poco o no CO₂ presente.

5) La mayoría de las inclusiones decrepitan antes de alcanzar la temperatura de homogeneización. Si la hipótesis de la inmiscibilidad es correcta, la temperatura de atrapamiento es igual a la temperatura de homogeneización para estas inclusiones, la cual es de 225 a más de 300°C.

Las condiciones de formación de la galena argentífera de la mina La Rosa, atendiendo a la asociación de minerales metasomáticos presentes, tales como biotita, moscovita, magnetita y granate rico en almandino, tanto en la roca de los alrededores como dentro de la propia mena (granate), así como las altas concentraciones de Ag y Bi en la galena, sugiere una temperatura de formación de alrededor de los 500°C y una presión del orden de los 5 kb, como ya fuera indicado. Estas condiciones aparentemente no son soportadas por los datos de temperatura y presión obtenidas del estudio de las inclusiones fluidas (315°C y 1,3 a 2,5 kb). Sin embargo, hay que tener en cuenta, que los valores determinados con el estudio de estas inclusiones no son conclusivos, ya que las mismas son del tipo secundario, en su mayoría, asociadas a alineamientos de fracturas, debido, al parecer, a un intenso cizallamiento.

Esto significa que posiblemente hubo fuga parcial de las sustancias atrapadas en las inclusiones, tal como lo sugiere su frecuente localización en planos de fractura, en cristales de cuarzo altamente fracturados, cizallados.

Por otra parte, no se hizo corrección alguna por presión y temperatura, lo que según Craig y Vaughan (1981), para menas de alta temperatura, hay circunstancias en que la corrección, en cuanto a temperatura, puede exeder los 300°C.

6) Las inclusiones del depósito La Rosa aunque bastante similares a las de De Lima II, muestran una mayor concentración de CO₂; el metano sin embargo, ocurre en más de 10 moles por ciento. Casi todas las inclusiones revelan altas salinidades y la mayoría decrepitan antes de la homogeneización.

Aunque los datos obtenidos a través del estudio de las inclusiones fluídas no nos permiten llegar a conclusiones concretas en cuanto a las condiciones de formación, es importante destacar el hecho de que en los dos depósitos las inclusiones presentan las mismas características, siendo ellos, al parecer, de origen distinto, lo que hace pensar que éstas probablemente fueron formadas por el mismo evento, quizás debido al metasomatismo hidrotermal causado por la intrusión granítica de Las Tapias.

Edad de la Mineralización

La mineralización de galena argentífera del depósito La Rosa ó De Lima I no ha sido datada, sin embargo, la edad del granito de Las Tapias, determinada por el método Rb-Sr, resultó ser de 316±21Ma (Teggin et al.1985).

Si la hipótesis del granito como generador de las soluciones hidrotermales que removilizaron sulfuro de plomo y luego lo redepusieron, es válida, la edad de la mineralización debería ser la de este fechamiento, es decir, correspondiente al Carbonífero Tardío.

Conclusiones

La investigación realizada en el depósito La Rosa o De Lima I permitió llegar a las siguientes conclusiones:

1) La mineralización de galena argentífera que constituye el depósito La Rosa ó De Lima I, muestra relaciones de campo discordantes con la foliación de la roca caja, lo que sugiere que se trata de una mineralización epigenética.

2) Debido al alto tenor de Ag (más de 2000 ppm)

del depósito de galena La Rosa, y a causa del pequeño tamaño del mismo (quizás del orden de las 20000 TM), éste fue explotado como mena de plata; probablemente fueron recuperadas más de 45000 onzas de este metal.

3) La estrecha relación espacial con el granito de Las Tapias, y su alta concentración de Ag (2175 ppm, promedio) y de Bi (5800 ppm, promedio), sugiere condiciones de formación a alta temperatura, al parecer genéticamente asociado al intrusivo granítico. Es probable que tanto la Ag como el Bi ocurran en la galena como moléculas de matildita (AgBiS₂).

4) Aunque el granito de Las Tapias muestra concentraciones altamente anómalas en Cu, Zn y Pb (principalmente de Zn, con más de nueve veces la concentración normal en granito), no se lo considera como la fuente de los metales para el depósito La Rosa, ya que éste está constituido casi monominerálicamente por galena, con sólo trazas de otros sulfuros.

5) En este sentido, se piensa que el granito generó las soluciones hidrotermales a alta temperatura y con alta concentración de cloruro, que lixiviaron los componentes metálicos de una mineralización pre-existente enriquecida en sulfuro de plomo, tal como la del horizonte superior de mineralización de la quebrada La Cascada, o la detectada por el taladro T9-1/27B de De Lima II, y que luego fueron redepusidos en fracturas como la galena argentífera que hoy conocemos.

6) La presencia en la roca caja del depósito La Rosa, de minerales de probable origen metasomático, tales como: biotita, moscovita, magnetita, y granate almandino (este último presente también dentro de la galena masiva), orientados al azar, son indicativos de condiciones de formación correspondientes a temperaturas de alrededor de los 500°C y presión del orden de los 5 kb.

7) El estudio de la mineralización de galena argentífera, a través de inclusiones fluidas en muestras de cuarzo de la mineralización, aunque no conclusivo para la determinación de las condiciones de formación del depósito, permitió establecer que existe una similitud en las inclusiones de los depósitos La Rosa y De Lima II, de origen, al parecer, diferente, lo que sugiere que éstas, probablemente se formaron durante un mismo evento, quizás a causa de acción hidrotermal debida a la intrusión granítica de Las Tapias.

8) La edad de la mineralización en el depósito La Rosa, no ha sido determinada; sin embargo, si

la hipótesis acerca de la relación genética con la intrusión granítica de Las Tapias es correcta, la edad de dicha mineralización debe ser aproximadamente, la de este granito, es decir, 316 ± 21 Ma, correspondiente al Paleozoico Tardío.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento al Instituto de Ciencias de la Tierra de la U.C.V., organismo que permitió la realización del trabajo y donde se hizo la mayoría de los análisis químicos, petrográficos y de rayos-X; al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la U.C.V., quien financió parte del estudio; al Ministerio de Energía y Minas donde fueron hechos los análisis químicos por absorción atómica; al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) quien financió parte del estudio, a través del proyecto S1-1932; a Begoña Sagasti (MEM) por su valiosa colaboración en la parte analítica; y a todas aquellas personas que de una manera u otra colaboraron en la realización de este trabajo.

Referencias

- Beus, A.A. y Grigorian, S.V. 1975. *Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits*. Applied Publishing LTD. 287p.
- Canelón, C.,G. y García, J.R. 1977. Consideraciones sobre Rocas del Paleozoico Inferior, Formación Tostosa en el Flanco norte de la Cordillera de los Andes. V Congreso Geológico Venezolano. Memoria, Caracas, Venezuela, p. 227-252.
- Carlson, G.G. 1977. *Geology of the Bailadores, Venezuela. Massive Sulfide Deposit*. Economic Geology, vol.72, p.1131-1141.
- Carlson, G.G. 1974. *Geology of Bailadores, Massive Sulfide Deposit*. M.Sc. Thesis, Michigan Technological University, 53p.
- Craig, J.R. y Vaughan, D.G. 1981. *Ore Microscopy and Ore Petrography*. John Wiley & Sons, 406p.
- Fleischer, M. 1955. *Minor Elements in some sulfide Minerals* Economic Geology, Fiftieth Anniv. vol, p. 970-1024.
- Harder, G. 1977. *Geology and Petrology of The Sierra Nevada and Mucuchachí Formations, Viriguaca and Valle Rio Negro Regions, south of Bailadores, Venezuelan Andes*. A Thesis M.Sc. Michigan Technological University, 94p.
- Hedenquist, J. W. y Lowenstern J. B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, vol.370, p. 519-527.
- Holland, H. H. 1972. *Granites, Solutions and Base Metal Deposits* Economic Geology, vol.67, p. 281-301.
- Lacy, W. C. y Hosmer, H. L. 1956. *Hydrothermal leaching in Central Perú*. Economic Geology, vol.51, p. 69-79.
- Malyshev, B. I. y Khodakovskii, I. L. 1964. *Some Geochemical Characteristics of Transport and Deposition of Lead By Hydrothermal Solutions as Illustrated by Zambarak Deposit*. Geokhimiya, vol.5, p. 431-440.
- Ojeda B., N. E. 1983. *Estudio Geoquímico de los Minerales Metálicos en las Mineralizaciones de Bailadores, Estado Mérida, U.C.V., Fac. de Ciencias, Trabajo Especial de Grado*, 70 p.
- Park, C. F. y MacDiarmid, R. A. 1975. *Ore Deposits Third Edition* W. H. Freeman & Co., p. 529.
- Rodríguez M., S. E. 1986. *Recursos Minerales de Venezuela, Bol. de Geología-Producciones Gráficas Reverón*. Caracas, Vol. 27 p. 183-185.
- Seccombe, P. K. y Barnes, H. L. 1990. *Experimental Mobility of Sulfides along Hydrothermal Gradients*. Economic Geology, vol. 85, p. 1099-1113.
- Sifontes G., R.S. 1992. *Génesis y Evolución de las Mineralizaciones y Sulfuros Metálicos Localizadas en la Región de Bailadores-Guaraque, Estado Mérida, Venezuela*. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela, Fac. de Ingeniería, 227 p.
- Sifontes G., R.S. 1989. *Metamorfismo y Deformación en el Yacimiento de Sulfuros De Lima II, Bailadores, Estado Mérida*, VII Congreso Geológico Venezolano. Memoria. Barquisimeto, Venezuela. Tomo IV, p. 2005-203.
- Sifontes G., R.S. 1985. *Origen y Emplazamiento de Las Mineralizaciones de Sulfuros Metálicos de la Región de Bailadores-Guaraque, Estado Mérida*, VI Congreso Geológico Venezolano, Memoria Caracas, Venezuela, Tomo VI, p. 4209-4247.
- Sifontes G., R. S. y García D., E. 1975. *Prospección Geológico-minera en la Región de Bailadores-Guaraque, Estado Mérida*, M.M.H., Div. de Recursos Minerales. Informe Inédito, 91 p.
- Sifontes G., R. S. y Talukdar, S. 1980. *Estudio Estratigráfico de los gneises de la región de Bailadores-Tovar, Andes Meridionales Venezolanos*. 9ª Conferencia Geológica del Caribe, Santo Domingo, República Dominicana,

- Vol. de Resúmenes, p. 67-68.
- Talukdar, S. y Sifontes G., R. S. 1980. Cataclastic gneiss of Bailadores-Tovar, Venezuelan Andes and the history of Boconó Fault. 9ª Conferencia Geológica del Caribe, Santo Domingo, República Dominicana, Vol. de Resúmenes, p.71-72.
- Teggin, D., Sifontes G., R. S. y Lira, A. 1985. La Geocronología de la Región de Bailadores, Estado Mérida, Venezuela. Acta Científica Venezolana, 1 (36), p. 52-63.
- Vaughan, D. I. y Craig, J. R. 1978. Mineral Chemistry of Metal Sulfides. Cambridge University Press, 493 p.