

- NICOLAS, A.: *Structures of Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere*, Dordrech, Kluwer, 1989, 367 pp.
- PARLAK, O., M. DEBALOYE y E. BINGÖL: «Mineral Chemistry of Ultramafic and Mafic Cumulate as an Indicator of the Arc-related Origin of the Mersin Ophiolite (southern Turkey)», en *Geol Rundsch* (85): 647-661, 1996.
- PEARCY, J.A. y M.J. NORRY: «Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y and Nb Variations in Volcanic Rocks», en *Contrib. Mineral. Petrol.* (69): 33-47, 1979.
- PEARCE, J.A., S.J. LIPPARD y S. ROBERTS: «Characteristics and Tectonic Significance of Suprasubduction Zone Ophiolites», en Kokelaar, B.P., y Howells, M.F. (eds.), *Marginal Basin Geology*, Geological Society, London Special Publication (16): 77-94, 1984.
- PROENZA, J., F. GERVILLA y J.C. MELGAREJO: Compositional Variations of Podiform Chromitites Among Different Mining Districts in the Mayari-Baracoa Ophiolitic Belt (eastern Cuba), en Papunen, H. (ed.), *Mineral deposits: research and exploration where do they meet?* (1): 487-490, 1997.
- PROENZA, J.: «Mineralizaciones de cromita en la Faja Ophiolítica Mayari-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Mercedita», Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, España. Facultad de Geología, 1998, 277 pp.
- POWELL, M. y R. POWELL: «An Olivine-clinopyroxene Geothermometer», en *Contrib. Mineral. Petrol.* (48): 249-263, 1974.
- QUINTAS, F.: «Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico Superior y Paleógeno de la provincia Guantánamo y zonas cercanas»,

- Tesis Doctoral, ISMM de Moa, Departamento de Geología, 1989, 145 pp.
- RÍOS, Y.I. y J.L. COBIELLA: «Estudio preliminar del macizo de gabrioides Quesigua de las ophiolitas del este de la provincia de Holguín», en *Minería y Geología* (2): 109-132, 1984.
- THAYER, T.P.: «Chrome Resources of Cuba», en *U.S. Geological Survey Bulletin*, (93-A): 1-4, 1942.
- TORRES, M.: «Características de la asociación ophiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el arco volcánico Cretácico», Trabajo de diploma, ISMM de Moa, Departamento de Geología, 1987.
- TORRES, M. y E. FONSECA: «Características geológico-petrográficas del contacto entre la asociación ophiolítica y el arco volcánico en Moa-Baracoa», en *Boletín de Geociencias* (4): 18-32, 1990.
- WADGE, G., G. DRAPER y J.F. LEWIS: «Ophiolites of the Northern Caribbean: A Reappraisal of their Roles in the Evolution of the Caribbean Plate Boundary», en *Ophiolite and oceanic lithosphere*, Ed. Blackwell Scientific Publications, Londres, : 367-380, 1984.
- WITT-EICKSCHEIN, G. y H.A. SECK: Solubility of Ca and Al in Orthopyroxene From Spinell Peridotite: an improved Version of an Empirical Geothermometer», en *Contrib. Mineral. Petrol.* (106): 431-439, 1991.
- WOOD, B.J. y S. BANNON: «Garnet-orthopyroxene and Orthopyroxene-Clinopyroxene Relationships in Simple and Complex Systems», en *Contrib. Mineral. Petrol.* (42): 109-124, 1973 □



Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca"

Relaciones Internacionales



PROYECCIÓN DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL

La dirección de asuntos internacionales de la Universidad de Pinar del Río, se propone contribuir a incrementar la imagen, la vitalidad y el desarrollo sostenible de la Universidad en las áreas académicas, científicas, cultural y social, a partir de un sistemático trabajo de intercambio bilateral y multilateral con centros de educación superior, organismos, instituciones, asociaciones y fundaciones de excelencia de distintos países.

PARA ELLO SE PROPONE EN SU ESTRATEGIA:

□ Incrementar los convenios de colaboración con acciones

concretas y sistemáticas que permitan su cooperación dinámica y estable, a partir de 92 convenios firmados con universidades de 15 países.

□ Participar en redes de cooperación bilateral y multilateral, amparadas por objetivos concretos de desarrollo académico, científico y comunitario, y superar las cifras de 4 redes alfas ya ejecutadas.
□ Potenciar el pregrado y el posgrado internacional compensado con beneficios comunes de desarrollo, en sus especialidades afines.
□ Incrementar en más de 20 los profesores invitados para impartir docencia en Universidades de distintos países, a partir de una Bolsa de más de 60 expertos en Forestal, Agronomía,

Geología, Economía, Mecánica y Electrónica.
□ Contribuir a la formación de estudiantes extranjeros para garantizar la integridad profesional y humana de los egresados. Actualmente suman miles la cifra de graduados de más de 50 nacionalidades.
□ Continuar la realización de eventos, congresos, simposios y talleres internacionales, con un promedio mínimo de cinco eventos por año.
□ Expandir la imagen de la Universidad con el predominio de asesoría y la presencia y participación sistemática, en distintos países de sus profesores y especialistas en congresos, misiones de colaboración, intercambio de especialistas y estudiantes.

Geoquímica y mineralogía del depósito argentífero Loma Hierro, Cuba occidental

José F. Lastra Rivero¹
Jesús Lara Blanco²

¹ Profesor de Geoquímica. Departamento de Geología. Universidad de Pinar del Río.
² Jefe de Proyectos Geológicos. Asociación Económica Holmer Gold Mines Limited - Geominera S.A.

RESUMEN: Las características geoquímicas y mineralógicas del depósito argentífero Loma Hierro, Cuba Occidental se corresponden de modo general con las referidas para depósitos de plomo-zinc alojados en sedimentos (SEDEX) en Cuba y otras partes del mundo. Sin embargo, las concentraciones de plata que acompañan a este tipo de mineralización resultan excepcionalmente altas, pudiendo considerarse que, dentro de este tipo genético de depósito, resulta único a nivel mundial. La mineralización primaria está representada por pirita, esfalerita, galena, pirrotina, marcasita, acanlita, estefanita, rickardita y plata nativa, representando apenas el 5 % del depósito en la actualidad. La mineralización oxidada es predominante y se compone de óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y limonitas), haluros de plata (clorargirita y yodargirita) y minerales secundarios de plomo y zinc, característicos de las zonas de oxidación de este tipo de depósito. Las relaciones Zn/(Zn+Pb) de la mineralización sulfurosa primaria inferiores a 0,70 permiten inferir la existencia de un déficit de azufre reducido en la salmuera original, lo que determinó la precipitación preferencial de la galena.

Una evaluación de la composición química de la mineralización oxidada contribuye a determinar el papel que han jugado los procesos hipergénicos en las transformaciones químicas y mineralógicas de la mineralización sulfurosa primaria, en relación con la lixiviación de unos metales y el enriquecimiento de otros en los productos finales. Se ofrecen conclusiones de carácter metalogénico para la mineralización sulfurosa original, destacando el ambiente geológico en que debió ocurrir el proceso de deposición menifera y sus etapas de mineralogénesis, sobre la base de su composición química y mineralógica, texturas y estructuras.

La tectónica postmenifera y los agentes hipergénicos contribuyeron al panorama existente en la actualidad, donde se aprecia una extraordinaria fracturación del cuerpo original, su erosión diferenciada y el efecto de una intensa meteorización química (oxidación e hidrólisis).

Palabras claves: plata, mineralogía, geoquímica, Cuba occidental, Loma Hierro

ABSTRACT: Geochemical and mineralogical characteristics of silver deposit Loma Hierro, Western Cuba, are related with the sediment-hosted lead-zinc deposits (SEDEX) in Cuba and other zones around the world. However, the silver concentrations exceptionally high for this type of mineralization, could be considered unique as SEDEX deposits in the whole world. The primary mineralization is represented by pyrite, sphalerite, galenite, pyrrothite, marcasite, stephanite, rickardite and native silver, constituting scarcely the 5 % of the whole deposit in the present-day. The predominant oxidized mineralization is composed by ferric oxide and hydroxide (hematite and limonites), silver halides (chlorargirite and iodargirite) and secondary minerals of lead and zinc, characteristics of the oxidized zones in this type of deposit. The Zn/(Zn+Pb) ratio of the sulfide primary mineralization which is lower to 0.70 permits to infer deficit of sulfide in the original brine. It determined the preferential precipitation of the galena.

An evaluation of the chemical composition of the oxidized mineralization contribute to determine the role that the hypergenics process has played in the chemical and mineralogical transformations of the sulfide mineralization, and related with the leaching of some metals and the concentration of the others during the weathering.

It concludes that metallogenic character for the sulfide mineralization, emphasize the geological environment in which occur the process of ore deposition and the mineralogénesis stages, based on chemical and mineralogical composition, texture and structure. The post-mineralization tectonics and the hypergenics agents contributed to the existing panorama at the time, where it is possible to see an extraordinary breaking of the original body, its differentiated erosion and the effect caused by an intense chemical weathering.

Keywords: silver deposit, mineralogy, geochemistry, western Cuba, Loma Hierro

INTRODUCCIÓN

El depósito argentífero Loma Hierro está alojado en las secuencias terrígenas de la Formación San Cayetano (J³ _{mo}), en el extremo noreste del Distrito Metalogénico Dora-Francisco, Cuba Occidental (Figura 1). De acuerdo con el carácter estratiforme de su mineralización, su composición química y mineralógica y el ambiente geotectónico de deposición se puede considerar como un depósito de origen exhalativo-sedimentario alojado en sedimentos (tipo SEDEX). La acción coordinada de los fenómenos tectónicos postmeniferos y de los agentes hipergénicos han implicado a su fracturación, la oxidación casi total de sus menas sulfurosas primarias (pirita, esfalerita, galena, pirrotina, marcasita, acanlita, etc.) y la erosión desigual de los cuerpos minerales resultantes de este fraccionamiento.

La mena sulfurosa primaria representa aproximadamente el 5 % del depósito, interceptada por los pozos de perforación P-027 (Lara et al., 1988) y LH-96-177 (Asociación Económica Holmer Gold Mines Limited - Geominera S.A., 1996). La ubicación de ambos pozos coincide y permiten determinar el carácter pirito-polimetálico y las elevadas concentraciones de plata de este tipo de mineralización.

En superficie, se manifiestan afloramientos de la mena oxidada, suelos rojos y rocas alteradas (sapolitas), indicativas de los intensos procesos de meteorización que afectaron tanto a las rocas encajantes como a la mineralización

sulfurosa primaria. La mena oxidada está constituida por limonitas (goethita, hidrogoethita), hematita, barita y minerales secundarios de plata que constituyen el interés económico fundamental de este depósito.



FIGURA 1. Mapa de ubicación regional.

Los suelos rojos están extendidos en toda la región del depósito y presentan como características fundamentales concentraciones anómalas de plata (2-20 ppm) y fragmentos de mineralización oxidada.

Las rocas encajantes están representadas por areniscas de grano fino y limolitas, intensamente caolinizadas en la zona de contacto con los cuerpos minerales. En estas se reflejan las concentraciones de plata en un nivel inferior al depósito.

La primera evaluación parcial de este depósito fue realizada por Pfeifer (1960). Con posterioridad, Juvit y Fesenko (1985) desarrollan un programa de exploración, y calculan las reservas de hierro. Vologdin *et al.* (1983) y Poplavski (1986) realizaron trabajos regionales e incluyeron el área del depósito. Sin embargo, no es hasta la ejecución de un programa de prospección de menas sulfurosas y polimetálicas en el Distrito Metalogénico Dora-Francisco (Lara *et al.*, 1988) que se propone como perspectiva esta zona para menas pirito-polimetálicas ricas en plata. Los últimos trabajos, llevados a cabo por parte de la Asociación Económica Holmer Gold Mines Limited-Geominera S.A. (1994-1997), consistieron en la prospección y exploración de las menas oxidadas de este depósito.

La evaluación de la potencialidad argentífera de estas menas tiene un significado especial al ser reportadas reservas de alrededor de 10 millones de onzas de plata con una ley entre 6-8 oz/t.

En el presente artículo se pretende realizar una generalización de la geoquímica y mineralogía de las menas sulfurosas y oxidadas del depósito Loma Hierro, así como ofrecer una valoración preliminar de sus condiciones físico-químicas de formación y de los procesos que provocaron la transformación de la mineralización primaria.

Estructura general y geología

El depósito Loma Hierro se encuentra situado en el Distrito Metalogénico Dora-Francisco, y ocupa su extremo noreste. En sus proximidades e integrando la estructura metalífera Francisco-Loma Hierro están ubicados el depósito Francisco y la manifestación mineral Loma Roja, con características metalogénicas distintivas respecto al depósito Loma Hierro.

El carácter estratiforme de la mineralización, alojada en una secuencia de rocas sedimentarias de origen deltaico, permiten afirmar que la deposición menífera ocurrió en el fondo de un mar somero simultáneamente con el aporte de sedimentos detríticos provenientes de la erosión de una zona elevada con corteza continental (situada presumiblemente entre el golfo de Campeche y la península de la Florida). Estos eventos ocurrieron durante el Jurásico Inferior-Superior (Oxfordiano Medio), dando lugar a la Formación San Cayetano en un ambiente geotectónico de margen continental pasivo con continuas oscilaciones verticales de la cuenca de sedimentación (Haczewski, 1987).

Las rocas encajantes de este depósito están representadas por limolitas, areniscas de grano fino y pizarras negras, de estratificación fina-laminar y estructura pelítica-psamítica, de donde resulta predominante el componente arcilloso.

Como alteración hidrotermal se destaca la cuarcificación, manifestada en forma de vetas y vetillas de cuarzo en el yacente de los cuerpos minerales. Dentro de las alteraciones hipergénicas las más representativas son la caolinización y la oxidación. La primera, vinculada con la descomposición hidrolítica de minerales primarios formadores de roca, y la segunda, a consecuencia de la acción de agentes oxidantes (oxígeno disuelto en las aguas meteóricas) sobre la mineralización pirítica dispersa o en forma de finas vetillas dentro de estas rocas. La yacencia es suave (5-15%), con buzamiento hacia el sureste.

Este depósito mineral experimentó una fracturación intensa y el desarrollo de dislocaciones plicativas como resultado de fenómenos tectónicos ocurridos durante el Paleoceno-Eoceno Medio. Las fallas longitudinales y transversales separan 8 zonas minerales: L-1, L-2, L-3, L-4, L-5, L-6, L-7 y L-8. Además, existe una falla de sobrecorrimiento situada entre los depósitos Loma Hierro y Mina Francisco que limita a dos estructuras de nappes (Figura 2)

Rasgos mineralógicos y geoquímicos de las menas sulfurosas

La mineralización sulfurosa primaria del depósito Loma Hierro se corresponde con la descrita por Large (1983) en su modelo empírico sobre los depósitos sulfurosos de plomo-zinc alojados en sedimentos, con numerosos ejemplos en el mundo: Rammelsberg,

Meggen, Silvermines, Tynagh, Mount Isa, Mc Arthur River, Broken Hill y Sullivan. Sin embargo, en este caso se encuentra poco extendida representando apenas el 5% de la totalidad del depósito, e interceptada únicamente por los pozos de perforación P-027 (Lara, 1988) y LH-96-177 (Asociación Económica Holmer Gold Mines Limited-Geominera S.A., 1996).

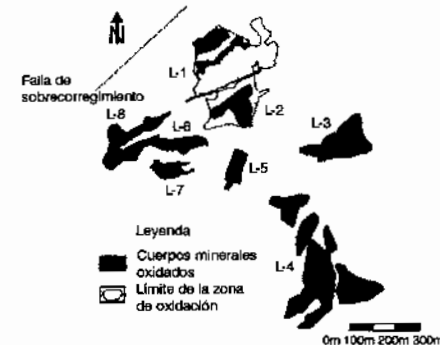


FIGURA 2. Esquema geológico. Depósito argentífero Loma Hierro.

El estudio mineralográfico realizado en secciones pulidas del pozo de perforación P-027, permitió realizar una descripción detallada de la composición mineralógica, textura y estructura de este tipo de mineralización, lo cual se resume a continuación:

Composición mineralógica

Minerales principales: pirita (30-35%), esfalerita (15-20%) y galena.

Minerales subordinados: marcasita (1-2%), pirrotina (1-2%), calcopirita (1-2%) e ilmenita (hasta 1%).

Minerales raros: plata nativa, acantita, estefanita, polibasita, rickardita y mackinawita

Minerales accesorios relictos: granos de esfena sustituidos por leucoxeno.

Minerales no metálicos: cuarzo, barita, estilpnomelana, micas, grafito.

Texturas

La pirita suele aparecer con textura metacoloidal, colomórfica y, a veces, porfiroblástica. También existe en entrecrecimiento con esfalerita, marcasita y galena formando textura subgráfica. Otra forma de presentarse es como metacristales dentro de los minerales no metálicos o incluidos en la esfalerita.

La esfalerita se desarrolla generalmente como segregaciones con emulsiones finas de pirrotina y con metacristales de pirita. En muchas ocasiones se encuentra asociada a la galena cementando cristales de pirita.

La galena se presenta cementando cristales y rellenando grietas en la pirita o en forma de inclusiones dentro de esta.

Estructuras

Bandeada.

Moteada diseminada.

Vetítico-diseminada.

De acuerdo con las particularidades texturo-estructurales y las relaciones mineralógicas, Hernández *et al.* (1988) establecen que la deposición mineral ocurrió en tres etapas con asociaciones paragenéticas de minerales y elementos característicos para cada una de ellas.

Etapas pirítica: Pirita I, marcasita y materia orgánica.

Etapas argentífero-polimetálica: Pirita II, esfalerita, calcopirita, pirrotina, galena, plata nativa y rickardita.

Etapas argentífera: Acantita y sulfosales de plata.

Composición química

La composición química de estas menas (Tabla 1) se expresa a partir de las concentraciones de Cu, Pb, Zn, y Ag en el intervalo 24.60-32.20 m del pozo de perforación LH-96-177.

TABLA 1. Composición química de las menas sulfurosas cortadas por el pozo LH-96-177

Muestra	Intervalo (m)		Potencia	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Zn/(Zn+Pb)
	Desde	Hasta						
252601	24,60	25,00	0,40	78	0,01	0,37	0,89	0,71
252602	25,00	26,00	1,00	651	0,01	1,56	3,12	0,67
252603	26,00	27,00	1,00	981	0,01	2,84	7,21	0,72
252604	27,00	28,00	1,00	555	0,01	1,49	3,06	0,67
252605	28,00	28,60	0,60	153	0,01	0,77	1,79	0,70
252606	28,60	29,70	1,10	600	0,01	3,34	6,50	0,66
252607	29,70	30,36	0,90	229	0,01	2,33	4,09	0,64
252608	30,36	31,40	0,90	164	0,01	1,60	1,78	0,53
252609	31,40	32,30	0,80	156	0,02	2,25	3,57	0,61
Promedio	24,60	32,20	1,00	452	0,01	2,02	3,94	0,66

El análisis de esta tabla permite confirmar las elevadas concentraciones de plata existentes en el intervalo de 24.6-32.2 m, representadas por un contenido promedio de 451.58 g/t. Además, las relaciones Zn/(Zn+Pb) varían entre 0.53-0.72, promediando 0.66.

Rasgos mineralógicos y geoquímicos de las menas oxidadas

La exposición de las menas sulfurosas a condiciones hipergénicas propició la ocurrencia de diversas transformaciones químicas y mineralógicas bajo la acción conjunta de varios agentes hipergénicos (agua, dióxido de carbono, oxígeno, etc.).

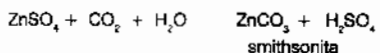
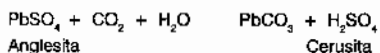
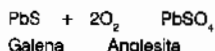
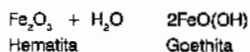
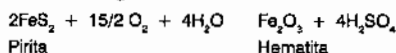
En general, las menas oxidadas ocupan el 85 % de la totalidad del depósito, siendo interceptadas por numerosos pozos de perforación distribuidos en toda el área y mapeándose en afloramientos naturales, trincheras y pozos criollos (Asociación Económica Holmer Gold Mines Limited - Geominera S.A., 1994-97).

A partir de la observación macroscópica de estas menas se han podido describir algunos rasgos de su composición mineralógica, texturas y estructuras, las que se describen de modo general a continuación:

Composición mineralógica

Minerales hipergénicos: hematita, limonitas (goethita, hidrogoethita), smithsonita, cerusita, clorargirita, yodargirita.

Los procesos que condujeron a la formación de estos minerales se pueden resumir mediante las ecuaciones siguientes:



Minerales residuales: barita, cuarzo, minerales arcillosos.

Texturas

Masiva: relacionada con las variedades hematíticas, limoníticas y baríticas donde el componente monolítico es predominante.

Porosa: característica para las variedades limoníticas de color pardo amarillento.

Bandeada: aparece relacionada con las variedades hematíticas.

Terrosa: típica para aquellas variedades limoníticas o donde el componente areno-arcilloso es predominante.

Estructuras

Esquelética: se expresa con la presencia de limonitas y hematita con vetillas de barita y cuarzo, formando un enrejado.

Arrifionada: se presenta cuando existe presencia de hematita y limonitas de textura masiva, manifestando en ocasiones colores iridiscentes en un fondo pardo oscuro-negro.

Estalactítica: representada por formaciones residuales localizadas en pequeñas cavernas existentes en el interior de la zona mineral oxidada, vinculada principalmente con la mineralización limonítica.

Composición química

La composición química de estas menas resulta una consecuencia de la descomposición química de los minerales sulfurosos primarios, vinculado esto con la lixiviación de algunos componentes y el enriquecimiento de otros (Tabla 2). Es evidente que existe un enriquecimiento notable en hierro debido a la formación de óxidos e hidróxidos, lo cual puede ser diferenciado en los cuerpos minerales L-1 y L-2 según los pozos perforados por Jujvit (1965) y destinados a la determinación de las concentraciones de hierro.

El cuerpo mineral L-2 presenta un contenido de hierro superior al cuerpo mineral L-1, motivado por una composición preferentemente hematítica y la pérdida del material areno-arcilloso acompañante como resultado de la erosión. Los resultados analíticos de muestras tomadas en la zona mineral oxidada de los cuerpos minerales L-1 y L-2 durante la exploración del depósito Loma Hierro por la Asociación Económica Holmer Gold Mines Limited-

Geominera S.A., ofrecen una información adicional a las obtenidas en investigaciones anteriores (Tablas 3, 4 y 5).

TABLA 2. Comparación de los contenidos de Fe (%) de los cuerpos minerales L-1 y L-2 (según datos de Jujvit, 1965)

Pozo	Potencia (m)	Contenido de Fe (%)
CUERPO MINERAL L-1		
P-372	14,30	41,72
P-373	14,00	40,23
P-374	6,74	40,51
P-375	12,59	36,90
P-385	11,00	40,57
P-389	12,98	49,39
P-391	6,14	49,33
P-393	4,99	43,00
P-396	2,40	37,58
P-397	5,67	34,65
P-398	1,55	36,34
Promedio	8,40	41,55
CUERPO MINERAL L-2		
P-371	3,80	49,75
P-377	2,30	44,62
P-378	10,85	41,70
P-379	2,00	47,24
P-380	0,50	47,15
P-381	8,55	53,38
P-382	5,00	60,61
P-383	2,50	43,60
P-386	2,70	45,56
P-387	3,50	47,17
P-388	2,60	42,20
P-390	7,90	51,28
P-392	18,60	46,58
P-394	4,00	44,70
P-399	9,45	45,23
P-400	3,70	55,16
P-401	2,40	46,50
P-402	8,35	40,80
Promedio	5,48	47,24

Las pequeñas concentraciones de plomo y zinc están determinadas por la lixiviación de estos metales durante la meteorización química. La elevada solubilidad del sulfato de zinc provocó su lixiviación casi total, expresándose en una disminución notable en sus concentraciones en la zona mineral oxidada.

Además, se aprecia una intensa baritización en la zona mineral oxidada interceptada por el pozo LH-96-169, lo cual es característico del cuerpo L-1 Este. Esto contribuye adicionalmente a la disminución de las concentraciones de hierro en este cuerpo mineral en comparación con el resto de L-1 y L-2.

Génesis

Large (1983) refiere el estudio de 38 depósitos de plomo-zinc alojados en sedimentos y en solo 6 de ellos las leyes de plata superan los 100 g/t, reportando el valor más alto de 180 g/t para el depósito Hilton, Australia. Además, reporta leyes ponderadas de 0.07 % Cu, 3.98 % Pb y 7.98 % Zn y relaciones Zn/(Zn+Pb) para estos 6 depósitos entre 0.48-0.68.

Por consiguiente, las concentraciones de Ag (451.58 g/t) reportadas en el pozo LH-96-177 son excepcionales para este tipo de depósito en el mundo y en Cuba. Contradictoriamente, las concentraciones de Cu (0.005 %), Pb (1.74 %) y Zn (3.94 %) son inferiores a la media mundial y solo comparables en Cuba con el depósito Santa Lucía (Tabla 6). La relación Zn/(Zn+Pb) de 0.66 lo convierte en un depósito formado en condiciones redox semejantes a las correspondientes a los 6 depósitos indicados por Large (1983), pero algo diferente al ambiente en que se formaron los depósitos Amistad y Santa Lucía, Cuba Occidental.

La creación de células convectivas, la lixiviación de los metales básicos (Fe, Cu, Pb, Zn), la plata y el bario desde las rocas y la migración de estos metales en forma de cloro-complejos, constituyeron las premisas para la formación de este depósito. La concentración de metales en la salmuera resultaba pequeña y la deposición ocurrió con una tendencia al incremento en la relación $\text{SO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{S}$, lo cual se corresponde con la relación Zn/(Zn+Pb) de 0.66. Por otro lado, las características del corte estratigráfico y la presencia de barita atestiguan que la cuenca de sedimentación se encontraba en una etapa de ascenso durante la descarga de las soluciones mineralizantes (salmuera), lo cual debe relacionarse con un incremento del Eh del medio.

TABLA 3. Composición química de la zona mineral oxidada (pozo LH-96-179). Cuerpo L-1

Muestra	Intervalo (m)		Potencia	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ba (%)
	Desde	Hasta						
87284	17,00	18,00	1,00	1 280	0,03	0,31	0,39	0,40
87286	23,00	24,00	1,10	1 160	0,06	0,41	0,24	0,30
Promedio	17,00	24,10	2,10	1 217	0,06	0,36	0,31	0,35

TABLA 4. Composición química de la zona mineral oxidada (pozo LH-96-169). Cuerpo L-1 Este

Muestra	Intervalo (m)		Potencia	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ba (%)
	Desde	Hasta						
635039	1,00	2,00	1,00	21	0,01	0,30	0,10	7,20
635040	2,00	3,00	1,00	17	0,01	0,37	0,11	5,10
635041	3,00	4,00	1,00	7 486	0,01	0,28	0,15	13,30
635043	4,50	5,50	1,00	2 180	0,02	0,18	0,22	9,10
635044	5,50	6,00	0,50	12 135	0,02	0,17	0,18	14,00
635045	6,00	7,00	1,10	1 375	0,01	1,20	0,09	31,70
635046	7,00	7,60	0,60	535	0,01	1,50	0,27	5,20
635047	7,60	8,60	1,00	1 085	0,02	0,81	0,09	3,80
635048	8,60	9,70	1,10	435	0,01	0,18	0,04	39,30
Promedio	1,00	9,70	8,70	2 187	0,01	0,38	0,12	14,20

TABLA 5. Composición química de la zona mineral oxidada (pozo LH-96-187). Cuerpo L-2

Muestra	Intervalo (m)		Potencia	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ba (%)
	Desde	Hasta						
87461	0,00	1,00	1,00	34	0,05	0,33	0,10	0,05
87462	1,00	2,00	1,00	93	0,08	0,37	0,13	0,05
87463	2,00	2,50	0,50	41	0,05	0,85	0,10	0,05
87464	2,50	3,00	0,50	141	0,06	0,67	0,12	0,05
87465	3,00	4,00	1,00	62	0,1	0,44	0,12	0,05
87466	4,00	5,00	1,00	110	0,14	0,31	0,11	0,05
87467	5,00	6,00	1,00	141	0,16	0,29	0,09	0,05
87468	6,00	7,00	1,00	65	0,41	0,35	0,09	0,05
87469	7,00	8,35	1,35	66	0,13	0,34	0,14	3,50
87460	8,35	9,00	0,65	213	0,06	0,30	0,09	15,90
87461	9,00	10,00	1,10	41	0,04	0,42	0,08	3,50
87462	10,00	11,00	1,10	72	0,04	0,22	0,15	0,30
87463	11,00	12,00	1,10	106	0,04	0,38	0,10	0,20
87464	12,00	12,70	0,70	103	0,03	0,63	0,10	0,10
Promedio	0,00	12,70	12,70	90	0,09	0,39	0,11	1,53

TABLA 6. Comparación de la composición química de diferentes depósitos de plomo-zinc alojados en sedimentos

Depósito	Cu (%)	Composición química			
		Pb (%)	Zn (%)	Ag (%)	Zn/(Zn+Pb)
Loma de hierro*	0,005	1,74	3,94	451,58	0,66
Amistad, Cuba	0,79	1,64	8,00	32,00	0,83
Santa Lucía, Cuba	-	1,76	5,90	31,13	0,77
Broken Hill, Australia	0,20	11,30	9,80	175,00	0,46
Mt. Isa, Australia	0,06	7,10	6,10	180,00	0,46
Mc Arthur River, Australia	0,20	4,10	9,20	41,00	0,69
Tynagh, Irlanda	0,40	4,90	4,50	58,00	0,48
Silvermines, Irlanda	-	2,80	7,40	21,00	0,70
Rammelsberg, Alemania	1,00	9,00	19,00	103,00	0,68
Lady Loretta, Australia	-	6,70	18,10	109,00	0,73
Sullivan, Canadá	-	6,60	5,70	68,00	0,46

* Según los resultados analíticos del pozo de perforación LH-96-177.

La disminución de temperatura y el contacto con el agua de mar provocó cambios en la composición química de la salmuera expresados en la descomposición de los cloro-complejos, la reacción de los metales calcófilos (Fe, Cu, Pb, Zn, Ag) con el azufre para formar

diferentes sulfuros (pirita, marcasita, calcopirita, galena, esfalerita, acantita) y sulfosales (estefanita, rickardita), la precipitación de plata nativa y la formación de barita a expensas de la interacción del bario migrante en la solución hidrotermal y del sulfato existente en el agua de mar.

Las transformaciones hipergénicas ocurridas en el depósito Loma Hierro constituyen la última etapa de su evolución, manifestándose en cambios significativos en la composición química original de sus menas sulfurosas.

La oxidación de la pirita creó condiciones para la existencia de un medio ácido debido a la formación de ácido sulfúrico, lo cual resultó favorable para la lixiviación de diferentes metales (Pb, Zn, Ag, Cu). Los óxidos e hidróxidos de hierro se formaron en este período como resultado de la ocurrencia continua de los fenómenos de oxidación e hidrólisis.

Las soluciones meteorizantes removilizaron algunos componentes de origen marino atrapados en los poros de las rocas (cloruros y yoduros), los que contribuyeron decisivamente en la precipitación de la plata en forma de haluros (clorargirita y yodargirita).

CONCLUSIONES

El estudio geólogo-geoquímico-mineralógico del depósito argentífero Loma Hierro permite considerar que las menas sulfurosas de este depósito son el resultado de la descarga de soluciones hidrotermales en el fondo de una cuenca de sedimentación marina, en un ambiente reductor con una tendencia al incremento de las relaciones lo cual se expresa en su composición químico-mineralógica, texturas y estructuras.

La formación de este depósito mineral ocurrió simultáneamente con la deposición de secuencias terrígenas de la Formación San Cayetano (J^{13}_{ms}) en un ambiente de sedimentación deltaica típica de un margen continental pasivo.

La combinación de los movimientos tectónicos postorogénicos y de la acción de los agentes hipergénicos contribuyó a la oxidación casi total de las menas sulfurosas primarias.

La lixiviación del Pb, Zn y S, la formación de óxidos e hidróxidos de hierro, la transformación de algunos minerales de plata y la presencia de minerales residuales, han cambiado notablemente la composición química y mineralógica de la mena sulfurosa primaria, quedando solo unos pocos relictos de esta.

Los contenidos de plata de la mena sulfurosa primaria y de la mena oxidada son excepcionales para este tipo de depósito mineral en Cuba y el resto del mundo, lo cual le confiere un carácter único.

Las relaciones Zn/(Zn+Pb) de 0.66 de las menas sulfurosas son indicativas de un ambiente de deposición mineral con déficit de sulfuro en la salmuera original.

BIBLIOGRAFÍA

- HACEWSKI, G.: «Reconocimiento sedimentológico de la Formación San Cayetano: un margen continental acumulativo en el Jurásico de Cuba Occidental», en *Contribución a la geología de la provincia de Pinar del Río*, Editorial Científico-Técnica, Ciudad de La Habana, 1987, pp. 228-247.
- HERNÁNDEZ, G., J. GUERRA, y L.Y. KRUPIVA: «Minerales de plata en las menas polimetálicas del sector Francisco», en *Memorias IV Encuentro Científico Técnico de Geología*, Pinar del Río, 1988.
- JUVIT, V. y G. PENSON: «Informe preliminar sobre las limonitas de hierro en Pinar del Río», C.N.F.G., Pinar del Río, 1965.
- LARA, J., J. BLANES y N. KLEPKOV: «Informe sobre los resultados de la prospección preliminar de menas de cobre y polimetálicas a escala 1:10 000 entre los yacimientos Dora y Francisco», C.N.F.G., Pinar del Río, 1990.
- LARGE, D.E.: «Sediment-Hosted Massive Sulphide Lead-Zinc Deposit: An Empirical Model», en *Short Course Handbook*, vol. 9, May 1983, Victoria, Canadá, 1-25, 1983.
- MORIEL, A. y otros: *Geología y metalogenia de la provincia de Pinar del Río*, tomo II, Empresa Geomínica Pinar del Río, Ciudad de La Habana, 1980.
- PFEFFER, E.W.: «Informe sobre los depósitos de hierro en el área de la mina Francisco», C.N.F.G., Pinar del Río, 1960.
- POPLAVSKY, J.: «Informe sobre los resultados de los trabajos de búsqueda realizados en las menas cupríferas durante el período 1963-1966 en la parte noroeste de la provincia de Pinar del Río», C.N.F.G., Pinar del Río, 1966.
- VALDES E.L. y otros: «Cogenetic Sedex Zn-Pb and Stockwork Cu Ores, Western Cuba», en *Explor. Mining Geol.* 2 (4) :297-305, 1993.
- VOLOGIN, N., G. DOKHOPEVA y G. FRUNKINA: «Estructura geológica y minerales útiles de la parte noroeste de la provincia de Pinar del Río» (Informe de la brigada de búsqueda de levantamiento N°3 para los años 1961-1962), C.N.F.G., Pinar del Río, 1963. □