

AUTORES

Raynel Alberto Herrera Molina

Jorge Luis Torres Zafrá

María Santa Cruz Pacheco

Xiomara Cazañas Díaz

Instituto de Geología y Paleontología,
Cuba, Vía Blanca No. 1002 y Carretera
Central. San Miguel del Padrón CP 11
000, La Habana, raynel@igp.minem.cu

RECIBIDO: FEBRERO, 2020

ACEPTADO: MAYO, 2020

COMPOSICIÓN DE LOS VMS MAFICO – SILICICLÁSTICOS DEL MUNICIPIO MANTUA, CUBA OCCIDENTAL

VMS MAFFIC – SILICICLASTIC COMPOSITION FROM MANTUA
MUNICIPALITY, WESTERN CUBA

RESUMEN

Como resultado de la recopilación y sistematización de la información procedente de informes geológicos inéditos existentes y de las más recientes investigaciones realizadas en el municipio Mantua por el IGP/SGC y la Empresa Geominera Pinar del Río, las que incluyeron la toma y análisis químico de muestras de afloramiento y pozos, así como la redescrición de secciones pulidas de archivo conservadas en el Departamento de Mineralogía y Petrografía del Instituto de Geología y Paleontología/ Servicio Geológico de Cuba (IGP/SGC), se ha obtenido un cuadro general de la mineralización de Cu - Co, acompañada por Au, Ag, In y Ge presente en los depósitos de sulfuros masivos conocidos en este municipio y de sus condiciones de formación. Como resultado, se realizó una reinterpretación de la evolución mineralógica de estos depósitos, revelándose, asimismo, la presencia de oro nativo en las menas pirítico - calcopiríticas del prospecto Unión - Juan Manuel. El estudio comparativo de la composición química de los dos principales depósitos metálicos puso de manifiesto la similitud existente entre sus menas, derivada de una génesis y evolución geológica común, la cual fundamenta las perspectivas para encontrar mineralización acompañante Au, Ag, Co y de elementos raros y dispersos de potencial interés económico.

Palabras clave: VMS, Mantua, metales raros y dispersos.

As a result of the compilation and systematization of the information from existing unpublished geological reports and the most recent investigations carried out in the Mantua municipality by the IGP-SGC and the Pinar del Río Geominera Company, which included the taking and chemical analysis of samples outcrop and wells, as well as the redescription of polished archival sections preserved in the Department of Mineralogy and Petrography of the Institute of Geology and Paleontology / Geological Service of Cuba (IGP / SGC), a general picture of Cu mineralization has been obtained - Co, accompanied by Au, Ag, In and Ge present in the massive sulphide deposits known in this municipality and their formation conditions. As a result, a reinterpretation of the mineralogical evolution of these deposits was carried out, also revealing the presence of native gold in the pyritic-chalcopyrite ores of the Unión-Juan Manuel prospect. The comparative study of the chemical composition of the two main metallic deposits revealed the similarity between their ores, derived from a common geological genesis and evolution, which supports the prospects for finding accompanying Au, Ag, Co and rare elements mineralization and dispersed of potential economic interest.

Keywords: VMS, Mantua, rare and scattered metals

ABSTRACT

El municipio Mantua se localiza en la parte más noroccidental de la provincia Pinar del Río, en el occidente de Cuba y tiene como vecinos a los municipios de Sandino, Guane y Minas de Matahambre, pertenecientes todos a la mencionada provincia (figura 1).

La metalogena de la Unidad Tectono - Estructural Guaniguánico se caracteriza por la presencia de tres modelos principales de de-

depósitos minerales: a) Zn - Pb - Ag Exhalativo - Sedimentario (subtipo Selwyn), b) VMS máfico - silicoclástico, portador de Cu - Co \pm Zn, Au y c) Cu \pm Ag \pm Co hospedado en sedimentos, a los que se adiciona el de vetas polimetálicas de Pb - Zn - Ag en secuencias silicoclásticas (Cazañas et al., 2017; Torres Zafra, Lavaut y Cazañas, 2017), siendo el segundo modelo de depósito metálico el predominante y más importante en el municipio Mantua.

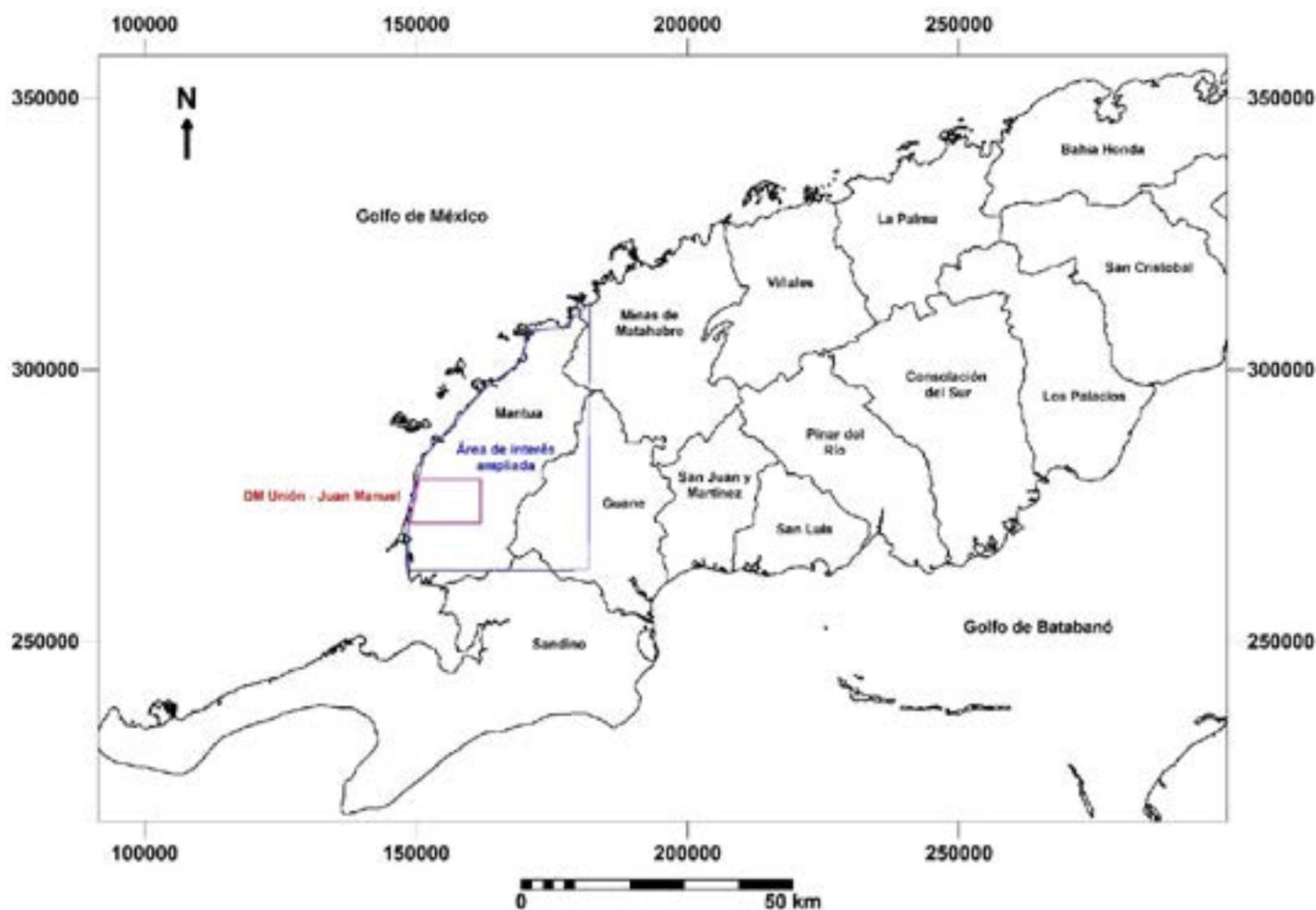


FIGURA 01.

Mapa de ubicación del municipio Mantua. En negro, fronteras intermunicipales, en rojo, el límite simplificado del distrito mineral Unión - Juan Manuel y en azul, el límite general del área objeto de estudio.

Los dos depósitos minerales metálicos más importantes del municipio Mantua, pertenecientes ambos al ya mencionado modelo, son el yacimiento Hierro Mantua y el prospecto Unión - Juan Manuel. En ambos los trabajos de prospección y exploración geológica llevados a cabo han reportado, además de Cu y Co, la presencia de Zn y, en bajas concentraciones, de metales raros y dispersos como Sr, Mo, Ge, In y el Sc, Ga, Nb e Y, además de Au y Ag. Igualmente contienen pequeñas cantidades de elementos del grupo del platino (EGP) y de elementos de las tierras raras (ETR). Las rocas encajantes, silicoclásticas y carbonatadas ricas en materia orgánica, contienen asimismo, anomalías geoquímicas de Cu, Pb, Zn, Co, Ag, Mo y Au. Ambos depósitos son de tamaño mediano, de acuerdo con la clasificación internacional por tamaños utilizada para la confección del Mapa Metalogénico de Centroamérica y el Caribe (en proceso de elaboración).

El grado de aflorabilidad en la parte llana del territorio objeto de estudio es baja y media en la parte colinosa del mismo. Los depósitos afectados por la erosión y el intemperismo presentan sombreros de hierro y zonas oxidadas, no siempre fáciles de identificar en el terreno debido al amplio desarrollo del manto de meteorización en la mayor parte de la región. El grado de complejidad geológica del territorio, en general, es alto, tanto por la presencia de estructuras plegadas como tectónicas de diferentes tipos y edades. A ello se agrega la heterogeneidad litológica de las formaciones Esperanza y San Cayetano y la ausencia en ambos de horizontes guías, con la excepción del Mb. Castellano, perteneciente a la segunda de las formaciones mencionadas, también presente dentro de los límites del territorio estudiado.

Este territorio, a su vez, cuenta con un elevado grado de estudio, que incluye la realización de dos levantamientos a escala 1:50 000, varios trabajos de búsqueda a escala 1:10 000 (aparte de las búsquedas acompañantes realizadas en el marco de los levantamientos), así como

una cantidad no pequeña de trabajos de prospección y exploración. En este sentido, Burov et al. (1986) señalaron que el grado de estudio de la Fm. Esperanza hasta los 50 m - 90 m de profundidad es bueno, por lo que las perspectivas para la mineralización metálica se concentran en la mineralización ciega situada a 100 m y más de profundidad.

Primeramente, se llevó a cabo una amplia revisión bibliográfica de los diversos trabajos geológicos realizados en el municipio Mantua, relacionados de un modo u otro con los depósitos minerales metálicos del territorio y su metalogenia. Esta revisión abarcó un total de 29 documentos geológicos, así como una tesis de maestría y una doctoral. A continuación, se procedió a la localización, selección y redescritión minerográfica y fotografiado de las secciones pulidas seleccionadas.

Como resultado del trabajo realizado, para el prospecto Unión - Juan Manuel fueron seleccionadas 40 secciones pulidas para su redescritión y fotografiado, una parte de las cuales tuvo que ser cortada y pulida nuevamente antes de examinarlas con el microscopio. Para el yacimiento Hierro Mantua se redescibieron otras 40 secciones. Para la manifestación Copales fueron redescritas 6 secciones pulidas.

Los resultados correspondientes al conjunto de 23 muestras tomadas por la Empresa Geominaera Pinar del Río fueron obtenidos del siguiente modo. Los elementos de las tierras raras (ETR), así como Co, Ni, Cu, Zn, Ge, Rb, Sr, In y Pb fueron determinados mediante fusión y fuente de plasma acoplada inductivamente con espectrometría de masa (ICP-MS), en tanto Sc, Ba, MnO, P₂O₅ fueron analizados mediante agua regia - fuente de plasma acoplada inductivamente con espectrometría de emisión atómica (ICP-OES). Los elementos de grupo del platino (EGP) y el Au fueron determinados por activación neutrónica. La Ag se determinó por dos vías: agua regia - ICP-OES y fusión - ICP-MS.

Para las muestras de afloramientos y pozos criollos tomadas en gossans, Au y Ag, fueron

determinados mediante agua regia – ICP-OES, en tanto Cu, Co, Bi, Sb, Pb y Zn se determinaron mediante digestión casi total y ICP-OES.

Geología regional

La Unidad Tectono-Estructural Guaniguanico, dentro de la cual se localiza el municipio Mantua, limita hacia el NW con las secuencias autóctonas del Mesozoico al Paleógeno Inferior del SE del Golfo de México, sobre las cuales está cabalgada. Por el S está limitada por la Falla Pinar, sistema tectónico transcurrente siniestro de larga vida que ha funcionado de diferentes formas en distintos períodos (Cofiño y Cáceres, 2001), que la separa de la Unidad Tectono-Estratigráfica San Diego de Los Baños. Por el SW es limitada en superficie por una cobertura de sedimentos plioceno-cuaternarios, reflejo de un conjunto de dislocaciones tectónicas recientes que la hundieron más al SW (Pérez et al., 2003). Testimonio de ello es que en el pozo Guane I, bajo la mencionada cobertura, que alcanza 220 m de profundidad, se hallaron filitas cuarzo-ericíticas, equivalentes de la Formación San Cayetano con bajo grado de metamorfismo. Más al Oeste, en el pozo Guanahacabibes, bajo 1000 m de cobertura, se cortaron similares filitas cuarzo-sericíticas (Pérez et al., 2003). De aquí se infiere que la Unidad Tectónica Guaniguanico se extiende más al WSW de Guane, hacia el Canal de Yucatán, bajo la capa de sedimentos jóvenes que la oculta. Por último, hacia el NE, es limitada por la falla Consolación del Norte, la cual la pone en contacto tectónico con el Cinturón Ofiolítico cubano, principalmente.

Este terreno está compuesto por secuencias silicoclásticas, silicoclástico-carbonatadas y carbonatadas de margen continental (sinrift y postrift). Presenta un magmatismo toleítico distensional en grado variable (desde moderado hasta ausente). Sus secuencias se extienden en el tiempo desde el Jurásico Inferior hasta el Cretácico Cenomaniano, llegando hasta el Turoniano en algunas localidades de la Sierra del Rosario. Ellas son generalmente ricas en ma-

teria orgánica, teniendo de 1 % hasta 35 % de sustancia carbonosa y de 1 % a 23,86 % de carbono orgánico total (COT). Estas secuencias se acumularon en ambientes predominantemente reductores, los cuales abarcan facies deposicionales emergidas y costeras, así como de aguas someras, moderadamente profundas y profundas. Ellas, en general, están afectadas por un metamorfismo regional poco intenso.

Los sedimentos silicoclásticos de sinrift del terreno Guaniguanico (Fm. San Cayetano) comenzaron a acumularse a principios del Jurásico Inferior en una cuenca intracontinental del súper continente Pangea, constituida y flanqueada por los bloques norteamericanos y sudamericanos. Esta sedimentación continuó durante la mayor parte del Jurásico, mientras la cuenca experimentaba un proceso de riftogénesis, el cual provocó la separación de las placas de América del Norte y América del Sur, formándose los correspondientes márgenes continentales. Los mencionados sedimentos se acumularon en ambiente aluvial, deltaico y costero. En el Oxfordiano, las facies sedimentarias pasaron a ser predominantemente costeras, como en el Miembro Castellano de la Fm. San Cayetano. A partir del Thitoniano, pasaron a predominar las facies de sedimentación marinas de aguas moderadamente profundas y profundas (postrift), aunque también con facies de aguas someras (Fm. Esperanza y otras). Del mismo modo, con el paso del tiempo, la sedimentación, esencialmente silicoclástica al principio, fue haciéndose más carbonatada, para ser esencialmente carbonatada en el Cretácico Inferior. La acumulación de sedimentos en las secuencias de margen continental representadas en el Terreno Guaniguanico concluyó en el Turoniano (García et al., 2003), cesando la apertura del Golfo de México y el ambiente tectónico extensional en el Neocomiano (Tenreyro, 2003). Lo anterior permite inferir que el evento metalogénico que dio origen a los depósitos de sulfuros metálicos de este terreno concluyó probablemente en la parte más baja del Cretácico Inferior, habiéndose iniciado en el Jurásico Inferior o Medio.

Es dentro del terreno Guaniguanico, en su porción aflorada más occidental, donde se localiza el municipio Mantua. Dentro de él, los mayores depósitos (Hierro Mantua y Unión - Juan Manuel) se ubican dentro de las secuencias integrantes de la Fm. Esperanza (J3th K1val), siendo esta unidad litoestratigráfica la más importante en el municipio Mantua por su carga mineral y cantidad de sectores perspectivas. A continuación, le sigue el Mb Castellanos (J2cal - J3ox) de la Fm. San Cayetano, donde se encuentran manifestaciones interesantes como Bartolo, Loma Colorada de Mantua y Crusellas. El tipo de mineralización metálica más abundante en el territorio objeto de estudio es la cupro-cobaltífera y la cuprífera. La parte indiferenciada de la Fm. San Cayetano (J1 - J3ox) es la más pobre en ocurrencias minerales, pero es también la formación menos estudiada del territorio desde este punto de vista, a pesar de lo cual contiene manifestaciones interesantes como Nuestra Señora de las Mercedes y Vertedero.

Depósitos minerales

Unión - Juan Manuel es un depósito que se extiende a lo largo de 7 km por el rumbo, el cual consta de tres sectores, que de E a W son: Unión II, Unión I y Juan Manuel. Las fronteras entre ellos son marcadas por fallas transversales que desplazan las zonas mineralizadas, por lo cual son más jóvenes que la mineralización. Los cuerpos minerales, 88 en total, son estratiformes, presentan yacencia suave, entre 0o y 35o y se distribuyen en dos o tres horizontes mineralizados situados uno debajo del otro, los que en algunos puntos han sido seguidas hasta 400 m por el buzamiento, sin poder ser contorneadas en la mayoría de los perfiles. El Co se asocia con la pirita y la mena es estratificada, con alternancia de capas de 1 - 2 mm de sulfuros masivos y calizas con sulfuros diseminados, lo cual se observa mejor en el sector Juan Manuel. Las menas también contienen impurezas pesadas (Ni, Cr, Mn, Ti, Ba), así como Ag, Ge y Ga. Las alteraciones hidrotermales, por

su parte, se propagan poco alrededor de los cuerpos minerales.

En el sector Unión II el contenido promedio de Cu es de 0,94 % y el de S de 19,20 %, con 0,5 g/t - 20 g/t de Ag. Los cuerpos minerales son ocho y están plegados junto con el medio encajante. Los cuerpos principales son el cuerpo mineral CM-1, el No 4 y el No 6. En superficie aflora un gossan de 450 m de longitud y 55 m de ancho, existiendo, además, otros cuatro más pequeños. Su espesor es variable y llega hasta 12,45 m, no siendo completa la oxidación de las menas.

El sector Unión I constituye la parte central del prospecto Unión - Juan Manuel y dentro de él se localiza la mina Unión, descubierta en 1840 y explotada entre 1853 y 1880. Contiene de 0,35 % a 6,67 % de Cu, de 14,74 % a 29,51 % de S y de 14,35 % a 36,17 % de Fe. Se compone de 54 cuerpos minerales distribuidos en tres horizontes. Los más importantes son el 9, 13 y 10 en el inferior, el 1, 3 y 11 en el medio y el 22 y el 23 en el superior.

El sector Juan Manuel, compuesto por 26 cuerpos minerales, contiene de 0,39 % a 1,91 % de Cu, de 20,25 % a 33,57 % de S. Los cuerpos están distribuidos en tres horizontes minerales. El medio y el inferior concuerdan con los de Unión I, no así el superior. En el nivel inferior de este sector el cuerpo más importante es el No. 6. En el nivel medio lo es el No. 4 y en el superior, el No. 17.

El contenido de Co en las menas se trata más adelante, mientras el de Zn en todo el prospecto oscila, en general, entre 0,1 % y 1 %.

Existen cuerpos minerales aflorantes en Unión II y en Juan Manuel que presentan gossans, los cuales pasan a menas primarias, con una zona de enriquecimiento secundario intermedia. La interceptación mineral más profunda hallada hasta el momento fue localizada entre 378 m y 397 m de profundidad. El más importante de los gossans tiene 450 m de longitud y 55 m de ancho, con un espesor que alcanza hasta 12,45 m, exis-

tiendo además otros 4 gossans más pequeños. En estas menas oxidadas se reporta entre 0,1 y 0,8 g/t de Au (Blanes y Vázquez, 1998). Asimismo, particularmente en su parte inferior, suelen contener entre 0,1 % y 0,26 % de Cu, lo que indica una oxidación incompleta de ellas.

El yacimiento Hierro Mantua está situado en una colina de 40,5 m de altura orientada en dirección al NE, en un bloque tectónico delimitado por dos ramas de la falla principal, en un pliegue sinclinal de 1300 m - 1500 m de largo y 100 m - 150 m de ancho, cuyo núcleo es de areniscas, siendo los flancos de calizas bituminosas arcillosas. La falla principal buza al NW con 40° - 50° bajo el cuerpo mineral principal, que yace en su flanco colgante. Hay un total de 5 cuerpos minerales, de los cuales el No. 1 (principal) contiene el 95 % de todos los recursos, siendo el único que aflora. Su forma, en el corte, semeja una V como resultado del plegamiento. Las fallas de rumbo NW lo dividen a su vez en 5 bloques. Su longitud es de 1300 m por el rumbo, con un espesor de 30 m - 60 m en su flanco SE, llegando a 80 en la zona de flexión, para disminuir rápidamente, hasta acuñarse, en su flanco NE. Contiene entre 0,15 y 4,95 % de Cu, de 14,88 a 21,82 % de S, 0,08 - 5,88 % (0,6 % promedio) de Zn, 0,019 - 0,034 % de Co, de 0,5 a 1,439 g/t de Au y de 5,3 a 8,9 g/t de Ag. Una parte de las menas contienen una mayor cantidad de Zn, promediando 1,576 % de Zn. Además, se reporta la presencia de 1,5 mg/kg de In promedio en 23 muestras en las que se estudió el contenido de elementos raros y dispersos, incluidos los elementos de las tierras raras (ETR) y los elementos del grupo de I platino (EGP).

Los otros 4 cuerpos minerales yacen en la zona de fracturación de la falla principal y consisten en lentes de hasta 100 m de longitud por el rumbo y 50 m - 100 m por el buzamiento. El contenido de Cu en ellos oscila entre 1 % y 3 %. Aquí se presentan contenidos de Au entre 0,30 g/t y 2,74 g/t.

El cuerpo No. 1 está oxidado en su parte su-

perior, extendiéndose la zona de oxidación hasta 20 m - 40 m de profundidad. Debajo hay una zona de enriquecimiento secundario bien desarrollada, que alcanza una profundidad de 100 m - 150 m. Las menas primarias son piríticas y pirítico - cupríferas, con 1,0 % - 1,5 % de Cu. En las menas de enriquecimiento secundario abunda pirita, habiendo siempre goethita. El principal mineral de Cu en ella es la calcosina, siendo frecuente su variedad róbica azul (digenita). Estas menas son principalmente diseminadas, apareciendo dentro de ellas lentes masivos de 3 m a 20 m de espesor, hasta 150 m por el rumbo y 100 m por el buzamiento. Las menas primarias aparecen en sus horizontes más profundos, siendo masivas y vetítico - diseminadas.

Todas estas menas tienen estructura masiva y diseminada, que a menudo se transforma en laminada fina, formada por bandas enriquecidas con calcopirita, esfalerita y pirita. Ella se destaca claramente por la sustitución de las asociaciones minerales antiguas por otras más jóvenes. Hay una buena difusión de las estructuras brechosas, cementada por sustancia menífera, alcanzando su mayor desarrollo en la zona de la falla principal.

Además del gossan del cuerpo 1, hay otros tres, uno de los cuales (el 2) es sustituido hacia abajo por menas sulfurosas. La profundidad alcanzada por estos varía de 15 m - 20 m hasta 50 m - 60 m, en dependencia del tipo de rocas encajantes, de la mena subyacente, del grado de debilidad tectónica y de la geomorfología. El material areno - arcilloso que los encaja tiene, en algunos sectores, manganización y fosfatización intensa. El contenido de Fe en los gossans varía de 35,52 % (el número 3) hasta 46,87 % (gossan del cuerpo 1), variando el contenido de P en los mismos entre 0,16 % y 0,53 %. Dentro de estas menas hay horizontes fosfatizados de 1,5 m a 2 m de espesor, con hasta 3,92 % de la masa de mena compuesta por turquesa (fosfato de Cu hidratado).

La zona mineralizada aurífera del gossan tiene

480 m por el rumbo y 70 m de ancho en superficie, con espesor medio de 17 m, oscilando el contenido de Au entre 0,49 g/t y 4,02 g/t y el de Ag entre 9,63 g/t y 17,47 g/t. En su parte inferior (entre 17 m y 35 m de profundidad), el gossan tiene muy poco oro.

En los flancos de la zona de oxidación hay sectores de rocas caolinitizadas con gran desarrollo de los fosfatos. La mena oxidada en general es masiva y compacta, excepto la de base hidromicácea, que es friable. Las diabasas sufren en la zona de oxidación una caolinitización intensa, hasta formar arcillas caolínicas compactas, con poca limonitización, e intensa silicificación.

La manifestación Copales se localiza a lo largo de una zona de trituración, tectónica, estando la más intensa, en una longitud de 400 m, en la zona donde la falla se bifurca y en su porción SW. Hacia el NE, por ambas ramificaciones la mineralización se hace más pobre, disminuyendo el grado de trituración y de alteración de las rocas. Los límites de los cuerpos minerales son difusos. Estos son 9 en total y de ellos se encuentran en la parte SW de la zona mineralizada. La zona de oxidación tiene 5 m - 10 m de espesor, no habiendo gossan ni zona de enriquecimiento secundario. Posee un contenido promedio de 1,04 % de Cu y 9 % de S, con 0,1 % - 1 % de Zn.

La manifestación Bartolo presenta en superficie tres zonas de abundante limonita con nidos de hematites, así como vetas y vetillas de cuarzo con limonita y barita, siendo las primeras las más abundantes. La primera de estas zonas (de SW a NE) tiene 850 m de largo y 50 m - 80 m de ancho, la segunda posee 570 m de longitud por el rumbo y 50 m - 80 m de ancho. Desplazada unos 80 m hacia el ESE con respecto a la dos anteriores por una falla de rumbo WSW, la tercera zona se extiende por unos 750 m más hacia en NE. Las tres zonas, incluida el área que separa la primera zona de la segunda, cubren una longitud total 2370 m de SW a NE. Cuatro pozos perforados aquí han localizado mena vetítico - diseminada

y masiva compuesta por pirita, magnetita, hematites, limonita y cuarzo, con 5 % a 26,8 % de S, hasta 1 % de Cu y de 0,01 hasta 0,54 % de Co.

MINERALOGÍA

Prospecto Unión – Juan Manuel

Como resultado de la redescrición de las secciones seleccionadas procedentes del prospecto Unión-Juan Manuel, se estableció que el mineral hipogénico fundamental es la pirita (figuras 2a, 2b, 3a y 3b), representada por diferentes variedades morfológicas, acompañada en menor proporción la calcopirita (figuras 4a y 4b) y más raramente por la marcasita, melnicovita, valerita, linneita, cubanita, esfalerita, enargita, bornita, magnetita y hematites. Es de destacar la presencia entre ellos del oro, reportado por primera vez como fase mineral en el sector Juan Manuel, el cual se presenta como raras partículas finas incluidas en la calcopirita, bordeando a la pirita o rellenando pequeñas fisuras en esta última (figuras 5a y 5b). Los minerales hipergénicos incluyen la calcosina, covellina cuprita, cobre nativo y la goethita.

La cubanita es poco frecuente y se ha observado en granos aislados y en contacto con la calcopirita. Este tipo de entrecrecimiento se ha interpretado como un producto de exsolución. Según Edwards (1954), a más de 4500C la calcopirita y calcopirrotita forman una solución sólida y al descender la temperatura, esta calcopirrotita se hace inestable y se transforma en cubanita (2350 C) o valerita (2250 C). Ocasionalmente, el exceso de FeS en la calcopirrotita, por encima de las necesidades de estos compuestos se precipita como pirrotita. Esto sugiere un pico máximo de temperatura de 4500 C a 5000 C.

Los resultados muestran que primero se formó la mena pirítica diseminada y masiva, acompañada por magnetita y hematites, y luego se añadió a ella la calcopirita y otros minerales primarios. Finalmente, en la tercera etapa se adicionaron los minerales hipergénicos de en-

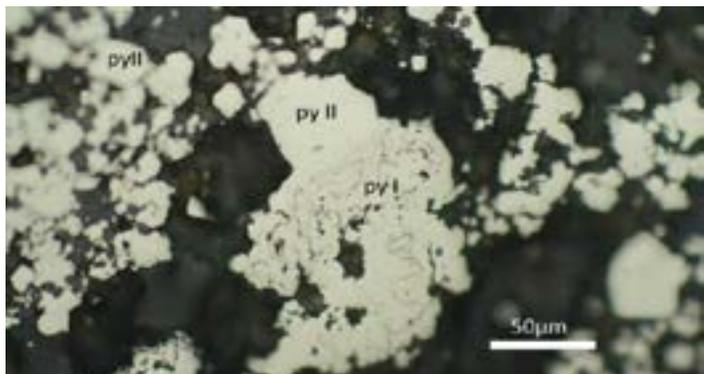
RESULTADOS

riquecimiento secundario y los propios de las menas oxidadas.

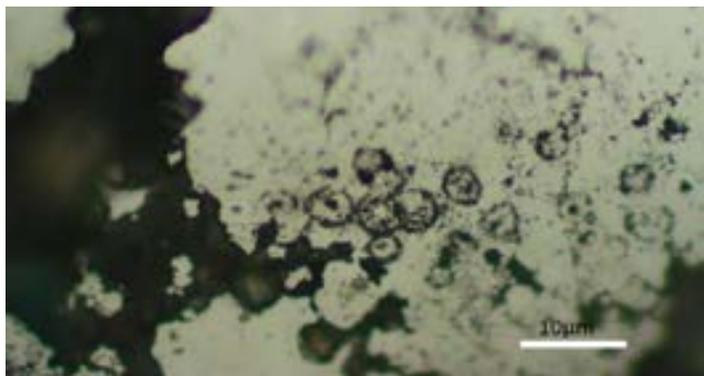
En cuanto a la composición química de la pirita, se ha reportado 1,5 % de Ni, de 0,04 % a 0,1 % de Pb, 3 mg/kg de Mo, de 40 mg/kg a 100 mg/kg de Ag, de 0,01 % a 0,04 % de Co, de 0,01 % a 0,1 % de Zn y de 0,001 % a 0,01 % de Cu en muestras de cristales ideomórficos grandes de pirita, tomadas en las paredes de la boca del pozo de mina antiguo Unión I (Nanian et al., 1972). Estos resultados indican que la pirita contiene Zn, Pb, Co y Ag, presentando, asimismo, pequeñas cantidades de Mo y Cu, todos como sustitutos isomórficos. En cuanto al Ni, el alto contenido determinado sugiere que este elemento es afín solo a la pirita bien desarrollada, pues su contenido medio en el depósito, es mucho más bajo.

FIGURA 02. A-B

Mineralogía Juan Manuel.



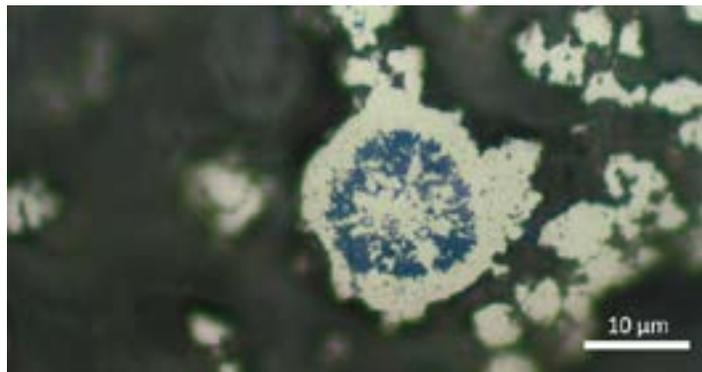
a) Pirita colomórfica (py I) en bandas concéntricas cohabitando con pirita recristalizada (py II).



b) Relictos de framboides en pirita colomórfica.

FIGURA 03. A-B

Mineralogía Juan Manuel.



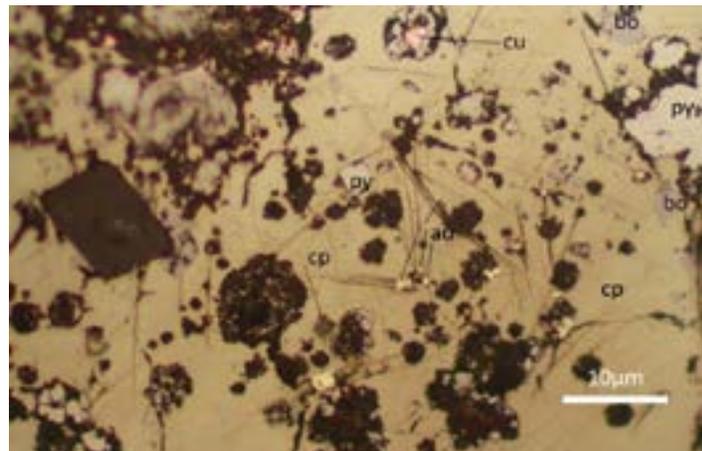
a) Framboide de pirita con covellina intersticial.



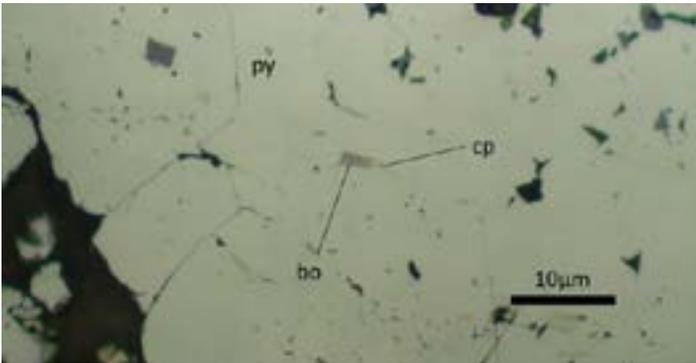
b) Pirita finamente granular (pirita esponjosa) con pirita recristalizada.

FIGURA 04. A-B

Mineralogía Juan Manuel.



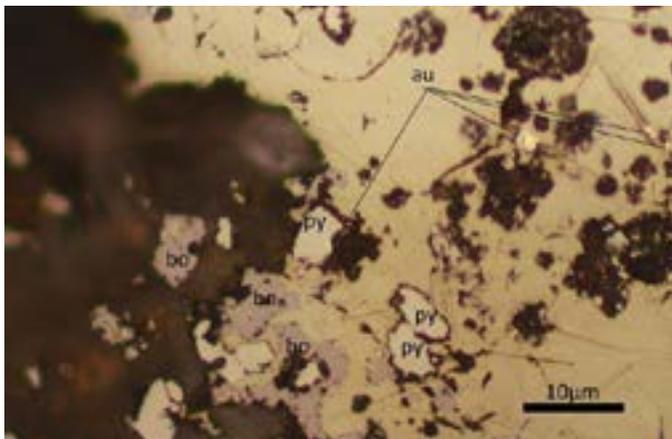
a) Calcopirita (cp) entrecrecida con bornita (bo) y pirita (py) relíctica, pequeñas inclusiones de oro y una insipiente alteración a cobre metálico.



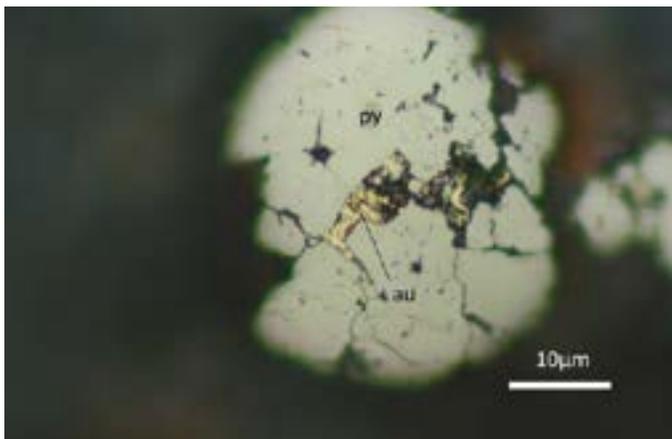
b) Entrecrecimiento de bornita (bo) con calcopirita (cp) incluida en pirita (py).

FIGURA 05. A-B

Oro en Juan Manuel.



a) Oro (au) incluido en la calcopirita (cp) y bordeando a la pirita (py), con bornita (bo) diseminada y entrecrecida con calcopirita (cp).



b) Oro (au) relleno de grietas y fracturas en pirita (py).

Yacimiento Hierro Mantua

Al igual que la mineralización del prospecto Unión - Juan Manuel, en el yacimiento Hierro Mantua existe una zonalidad vertical representada por tres tipos mineralógicos de menas: primarias, de enriquecimiento secundario y oxidadas, constituidas por más de 70 minerales (Muliukov, et al., 1969). Este depósito presenta una mineralización compleja por la variedad y la cantidad de fases mineralógicas reportadas, además de la presencia de los elementos acompañantes como el germanio, el galio y el cobalto. En el caso de los dos primeros, aparecen formando fases minerales representadas por reinerita, germanita y galita (?). En el caso del cobalto, sólo se reporta como inclusión isomórfica en la pirita (Muliukov et al., 1969). Hasta el momento no se ha reportado la presencia de ninguna fase mineralógica propia de este elemento.

De acuerdo con los trabajos anteriores (Muliukov y Guzmán, 1968; Muliukov y Guzmán, 1969; Kozulin et al., 1973; Matlock Hierro S. A., 1996b), el oro no fue identificado bajo el microscopio. Los autores anteriores citados supusieron que podía encontrarse como inclusiones muy finas (menos de 1 μm) dentro del cuarzo o en las menas, o como solución sólida en la pirita.

La etapa hipergénica está muy bien desarrollada en el yacimiento, representado por una amplia zona de oxidación y de enriquecimiento secundario, siendo los minerales presentes los siguientes: bornita, calcosina, covellina, siderita, limonita, goethita, lepidocrosita, melanterita, calamina, azurita, zincita, tenorita, halloysita, malaquita, cuprita, cobre nativo, turquesa, smithsonita, hidrogoethita, xauthosiderita, vavelita, vivianita, svanbergita, hinsdalita, monheimita, calcantita, florencita, piroilusita, psilomelano, delafosita, cerusita, bixbyita y asbolana. También hay una mineralización uranífera, representada por fosfatos acuosos y vanadatos (metaforbarnita y tinamunita).

RESULTADOS

En el yacimiento, la pirita es el sulfuro más abundante y sus texturas varían con el grado de cristalización. Dentro de las originales reconocibles de la mineralización primaria está la colofórmica (pirita I), que se muestra como relictos de la pirita framboidal, en ocasiones, entrecrecida con la melnicovita o con una de fase de dispersión fina constituida por la llamada “pirita esponjosa”. La pirita II refleja la deposición inicial a bajas temperaturas a partir de soluciones hidrotermales sobresaturadas en hierro y azufre, y la posterior recristalización, producto de la circulación subsecuente de fluidos calientes y/o por metamorfismo y/o procesos diagenéticos, dando como resultado la destrucción de las texturas iniciales y la formación de texturas más tardías. La pirita III se presenta en forma de finas vetillas, interceptando las variedades anteriores o en granos criptocristalinos rellenando los espacios de la mineralización precedente.

La esfalerita se presenta en diversas formas y etapas de sustitución por la calcopirita. La más precoz, con una distribución muy limitada, corresponde al entrecrecimiento conocido como textura de “calcopirita enferma” (esfalerita I) la cual contiene segregaciones finas de calcopirita dispuestas según grietas y planos de macas hacia los bordes de los granos, mientras la más distribuida (esfalerita II) forma agregados anhedrales incluidos o rellenando los espacios entre granos de pirita o diseminada en los minerales de ganga, en ocasiones bordeada por agregados anhedrales de calcopirita.

La calcopirita I se observa en forma de segregaciones submicroscópicas (calcopirita enferma). La calcopirita II es el sulfuro de mayor abundancia después de la pirita y se depositó en granos anhedrales después de la esfalerita II, con la cual se relaciona paragenéticamente, cementando los granos de pirita, pirrotina y esfalerita. En ocasiones, rellena por inyección plástica a los minerales que la preceden según grietas y fracturas.

Muliukov, et al. (1969) citan, además, la presencia de reinerita, germanita, galita (?), arse-

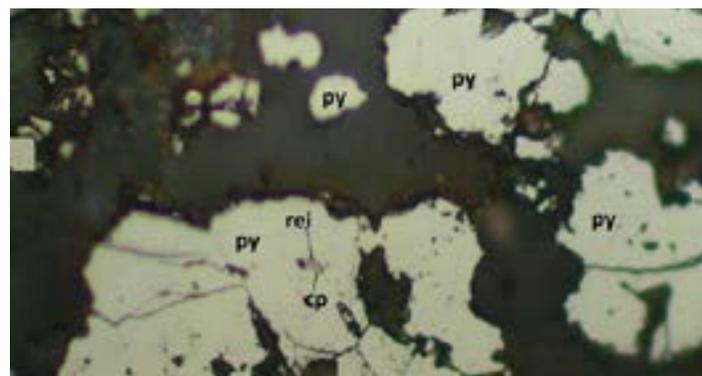
nopirita y tenantita, siendo la reinerita el más desarrollado de ellos. Aparece, por lo general, en forma de inclusión en pirita de granos laminares y tamaños finos de hasta 0,25 mm y con frecuencia forma entrecrecimientos con la calcopirita, situándose, por lo común en las partes periféricas de esta última (figura 6). Según Bessmertnaya, en Muliukov, et al. (1969), la reinerita presenta 6,5 % de Ge, 30,0 % de Cu y de 3,5 % Zn. Se analizó, además, la pirita en la cual está incluida y no se reporta contenido de Ge. La germanita fue observada en pequeños granos aislados y la galita (?), se observó como una inclusión en la esfalerita.

Como resultado de la interacción de fluidos meteóricos y los intensos procesos exógenos en la parte superficial, aparece el gossan. La composición mineral de este tipo de mena en el yacimiento es bastante compleja, representada en lo fundamental por calcosina, covellina, y más raramente, por digenita. Estos minerales sustituyen parcial o totalmente a la calcopirita y a la bornita según sus bordes y grietas y en ocasiones, forman granos anhedrales dispersos en los minerales de ganga.

Los minerales principales de las menas oxidadas son: hidróxidos de hierro, goethita, hidrogoethita, hematites, y malaquita. En general, predominan texturas de grano fino principalmente colofórmicas.

FIGURA 6.

Reinerita Hierro Mantua. Entrecrecimiento de reinerita (rei) con calcopirita (cp) incluido en pirita (py)



Manifestación Copales

De acuerdo con Podkameniy et al. (1971) los minerales metálicos más comunes en esta manifestación son pirita, calcopirita y pirrotita, en tanto la esfalerita, galena y cubanita aparecen con menos frecuencia. La mineralogía del depósito, según las redescpciones llevadas a cabo, está dominada por la pirita, en menor proporción por la esfalerita, calcopirita y pirrotita y más raramente, por la galena y la cubanita. Otros minerales metálicos, aparte de los sulfuros, son magnetita y hematites.

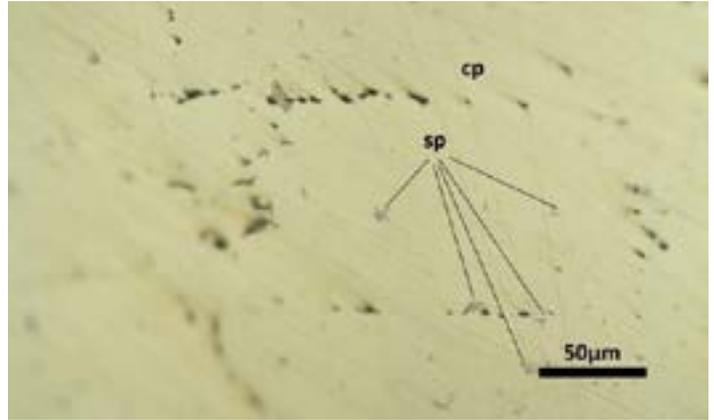
La característica morfológica y textural más destacada para este depósito es la presencia generalizada de pirita recrystalizada con textura de deformación muy cataclastizada, donde los porfiroblastos poseen formas euhedrales y subhedrales. En raros casos, se observan relictos de textura primaria colofórmica entrecrecida con pirita recrystalizada o con melnicovita y una pirita más tardía caracterizada por vetillas finas que interceptan o bordean los minerales que la anteceden.

En resumen, se destacan los siguientes rasgos texturales que permiten proponer la siguiente evolución de esta mineralización:

1. Vestigios de texturas primarias colofórmicas parcialmente recrystalizada y cataclastizada representada por la pirita.
2. Texturas de exsolución de pirrotita en esfalerita, de esfalerita en calcopirita en estrella (figura 7), ambas relacionadas con altas temperaturas de formación.
3. Textura de exsolución de cubanita en calcopirita, indicativa de un proceso no rápido de enfriamiento que, por lo tanto, sugiere un medio de deposición con comienzo a baja temperatura, pasando a temperaturas más altas, para terminar con un proceso de enfriamiento lento posterior, acompañado por episodios tectónicos.

FIGURA 7.

Mineralogía de Copales. Calcopirita (cp) con exsoluciones de esfalerita (sp) en estrella.



Bartolo

En la manifestación hay vetillas de pirita y de pirita y cuarzo, a veces con barita, con orientación variable, aunque predomina el buzamiento abrupto y con un espesor de 1 mm a 1 - 2 mm, raras veces hasta 3 cm - 4 cm. El segundo tipo de vetillas tiene estructura zonal, con cuarzo en la parte central y pirita en los bordes. La pirita es de cristales finos hasta gruesos. En otras intercepciones minerales la mena es pirítico-hematítica bandeada, El bandeamiento es producto de la alternancia de bandas piríticas y de magnetita y hematites, siendo las bandas de estas últimas tres veces más gruesas que las piríticas.

PRESENCIA DE METALES PRECIOSOS, RAROS Y DISPERSOS

Prospecto Unión – Juan Manuel

En 1998 fue entregado el informe compilativo “Proyecto Unión” de la AEI Holmer Gold Mines Limited - Geominera S.A (Blanes y Vázquez, 1998), el cual solo recoge un resumen de los conocimientos existentes hasta esa fecha acerca de las menas oxidadas de Unión – Juan Manuel y menciona la existencia de concentraciones reportadas de 0,5 g/t a 20 g/t de Ag. Al siguiente

año, Vázquez (1999) expuso los resultados del pequeño volumen de trabajo de muestreo (32 muestras de superficie y pozos criollos antiguos) realizado por esa asociación económica internacional en el área del Distrito Mineral Unión - Juan Manuel durante el año 1998.

Mientras las muestras de afloramientos tomadas en las menas oxidadas de Unión II dieron valores inferiores a 250 µg/kg, las diez muestras tomadas en pozos criollos antiguos encontrados en el sombrero de hierro (tabla 1) dieron resultados más interesantes.

Lo primero que se observa en la tabla 1 es que de las diez muestras solo tres presentaron con-

tenidos de Au de interés (más de 0,3 g/t), la más profunda del pozo criollo 2 y las dos primeras del pozo criollo 3. Vázquez (1999) encontró, como puede apreciarse en la tabla, cierta tendencia al aumento del contenido de Au con el incremento de la profundidad, siendo los valores más altos reportados en los mencionados pozos criollos de 0,81, 0,46 y 0,38 g/t de Au respectivamente. Por otra parte, para Unión I reportó valores entre 0,015 g/t y 0,41 g/t en muestras litogeoquímicas de superficie.

TABLA 01.

Resultados del muestreo realizado en menas oxidadas de Unión II (tomado de Vázquez, 1999). En negritas se señalan los valores de Au y Cu mayor interés.

Pozo Criollo	Intervalo (m)	Au (ppm)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	Co (ppm)	Bi (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
PC-1	0.0 - 1.0	95	-0.2	782	4.0	-2.0	-2.0	-0.2	2.0
	1.0 - 2.0	115	0.2	984	1.0	-2.0	-2.0	2.0	-2.0
	2.0 - 2.7	150	0.2	702	16	-2.0	4.0	26	14
PC-2	0.0 - 1.0	75	-0.2	1355	6.0	2.0	6.0	16	18
	1.0 - 2.0	50	1.0	2080	15	2.0	2.0	14	72
	2.0 - 3.0	60	0.2	1090	16	2.0	2.0	-2.0	8.0
	3.0 - 4.5	810	1.4	1195	13	2.0	6.0	12	16
PC-3	0.0 - 1.0	380	0.2	1950	4.0	-2.0	10	16	16
	1.0 - 2.0	460	-0.2	2670	-1.0	2.0	1.0	6.0	6.0
	2.0 - 3.0	200	-0.2	991	-1.0	-2.0	2.0	80	2.0

RESULTADOS

Aunque los resultados mineragráficos obtenidos por los autores del presente informe permiten confirmar la presencia de Au en las menas sulfurosas, ellos no brindan idea alguna acerca de cuál es su contenido en estas menas.

Otra cosa que puede observarse en la tabla 1 es la presencia en las muestras de contenidos fuertemente anómalos de Cu, en particular en las correspondientes a los pozos criollos PC - 2 y PC - 3, indicativo de que la oxidación de las menas en la parte inferior del sombrero de hierro, a semejanza de lo observado en el yacimiento Hierro Mantua, es incompleta. Otro elemento a destacar aquí es la aparente rela-

ción existente entre el contenido de Cu y el de Au, algo que el número limitado de resultados no permite argumentar mejor.

En cuanto al Co, para el sector Unión I, Nanian y sus colaboradores (1972) reportan, de acuerdo con resultados de análisis químico en muestras compósitas, entre 0,109 % y 0,142 % de Co en las menas piríticas masivas y entre 0,040 % y 0,168 % en las diseminadas. En las menas piritocalcopiríticas reportan entre 0,084 % y 0,139 % de Co (menas masivas) y entre 0,046 % y 0,124 % de Co (menas diseminadas). Señalan además, que el contenido de Ni oscila entre 0,07 % y 0,004 %. Para el sector Unión II, como resultado de los

RESULTADOS

trabajos de exploración (García et al., 1988) se determinó que el contenido medio de Co en los recursos identificados es de 0,132 %, en tanto para el sector Juan Manuel oscila entre 0,012 % y 0,079 % (García et al., 1990). El contenido de Co alcanza valores máximos de 0,322 % en Unión II, 0,290 % en Unión I y de 0,125 % en Juan Manuel.

Con relación a lo anterior es necesario señalar que hay una significativa cantidad de muestras tomadas durante los trabajos de exploración a los que no se les determinó en contenido de Co o solo fue determinado en muestras compuestas, por lo que hay varios cuerpos minerales con recursos identificados donde el contenido de este metal permanece desconocido.

El estudio de la distribución de los componentes útiles principales en Unión II (Torres Zafra et al, 2004), para el cual fueron utilizados los datos de Cu, S y Co procedentes de 144 muestras pertenecientes a 15 pozos del informe de exploración de García et al. (1988), reveló la existencia de una asociación entre S y Co, para la cual fue hallado un coeficiente de correlación de 0,648, así como la existencia de muy débiles relaciones entre S y Co con el Cu (coeficientes de correlación igual a 0,366 y 0,253 respectivamente). De todo esto se infiere que S y Co se precipitaron juntos en el sitio de deposición de mena, mientras que el Cu lo hizo aparte y posiblemente a partir de una fuente

distinta. En este sentido, Shigariev et al. (1975) argumentaron la segregación separada en el tiempo de Cu y S a partir del análisis estadístico de la relación entre la radiación gamma registrada en los pozos y el contenido de S y Cu en la mena, estableciendo que la acumulación de pirita no produjo redistribución de los elementos radiactivos, mientras que la de Cu sí estuvo acompañada por la migración de estos.

El examen de las curvas de variación de las concentraciones de Cu, S y Co en las intersecciones minerales cortadas por los pozos utilizados en el estudio confirma la relación entre Co y S (figuras 8, 9 y 10). Además, ellas muestran que los máximos de Cu coinciden a veces con los de S y en otras ocasiones lo hacen con los mínimos de este elemento o se sitúan en posiciones intermedias, lo cual apoya las inferencias arriba señaladas. Por otro lado, los mencionados gráficos indican la ausencia de bandeamiento químico de las menas en sentido estratigráfico, insinuándose solamente en algunos casos cierto bandeamiento, como sucede en los pozos 216 y 226 (Torres Zafra et al., 2004).

Como puede apreciarse en las figuras 8, 9 y 10, hay buena coincidencia entre los máximos de S y Co en los pozos 204 y 213, mientras que en el caso del pozo 210 esta coincidencia se observa en los dos primeros máximos, aunque no así en el caso del tercero, el ubicado a mayor profundidad.

RESULTADOS

RESULTADOS

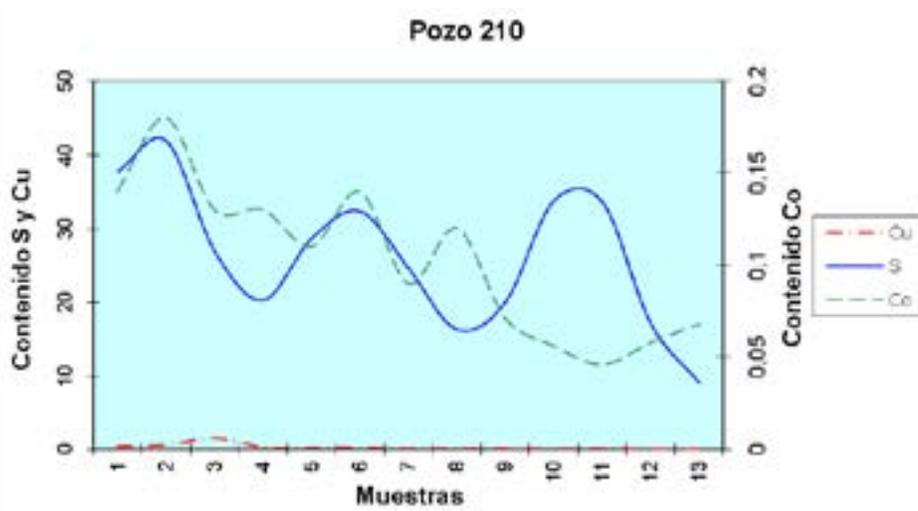


FIGURA 8.

Distribución vertical de S, Co y Cu en la mena interceptada por el pozo 210 de la exploración de Unión II.

FIGURA 9.

Distribución vertical de S, Co y Cu en la mena interceptada por el pozo 204 de la exploración de Unión II.

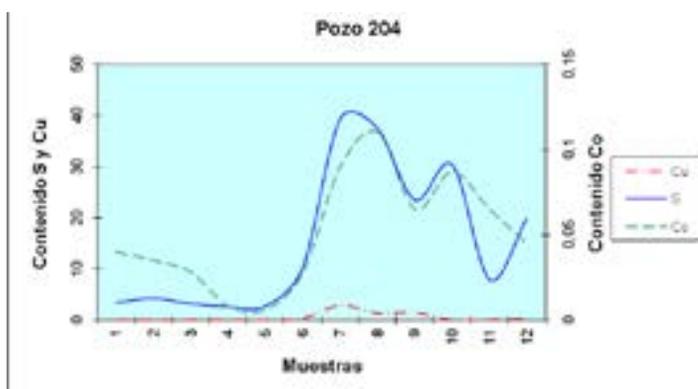
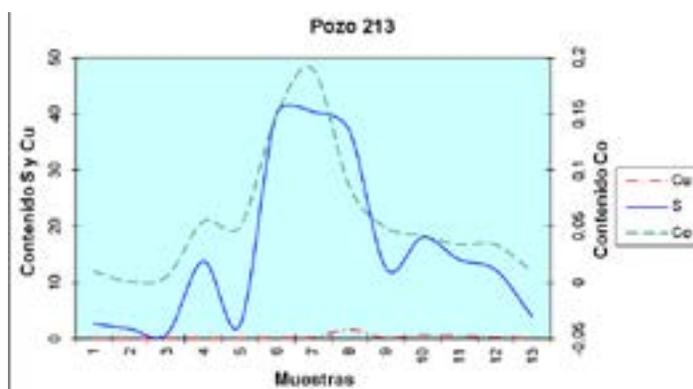


FIGURA 10.

Distribución vertical de S, Co y Cu en la mena interceptada por el pozo 213 de la exploración de Unión II.



Una muestra de afloramiento de mena oxidada correspondiente al gossan del sector Unión I, tomada por los autores durante una visita efectuada al prospecto Unión - Juan Manuel, además de presentar 0,32 % de Cu, reportó la presencia de 0,078 % de Co y 0,431 % de MnO, poniendo de relieve la conocida afinidad geoquímica existente en la zona de oxidación entre Mn y Co, en tanto su contenido de Cu confirma el carácter incompleto de la oxidación en estas menas.

Yacimiento Hierro Mantua

En la segunda mitad del año 2019, se recibieron de la Empresa Geominera Pinar del Río, los resultados correspondientes a un conjunto de 23 muestras representativas de los principales tipos de menas presentes en él. De ellos, tres referidos a las menas de enriquecimiento secundario, clasificadas en: menas parcialmente oxidadas (tipo 1), menas arcillosas (tipo 2) y sulfuros masivos (tipo 3). Las menas oxidadas supergénicas (gossan) fueron clasificadas en un cuarto tipo (tipo 12). A pesar de su carácter parcial, por el limitado número de muestras involucradas, esta constituye una información valiosa, la cual se analiza a continuación.

Mientras el contenido de Au en la parte aurífera del gossan de este depósito oscila entre

0,49 g/t y 4,02 g/t y el de Ag entre 9,63 g/t y 17,47 g/t, las menas de enriquecimiento secundario muestran buenos contenidos de Au, siendo el contenido promedio de las 23 muestras analizadas de 0,472 g/t de Au. El tipo de mena más rico en Au es la mena arcillosa, cuyas muestras presentan un contenido mínimo de 0,107 g/t de Au y uno máximo de 1,320 g/t y un promedio de 0,648 g/t. Las correspondientes a las menas del tipo parcialmente oxidadas contienen como promedio 0,510 g/t de Au y las que pertenecen las menas masivas presentan un promedio de 0,331 g/t de Au (tablas 2).

Para la plata, las muestras fueron analizadas por dos marchas analíticas distintas. A) Digestión con agua regia y análisis por ICP y 2) Fusión y análisis por espectrómetro de masa. En todos los casos, los resultados obtenidos por la segunda vía son inferiores a los de la primera. Los mejores resultados corresponden a la mena tipo 3, con 8,93 g/t de Ag promedio y a la mena tipo 2, con 7,50 g/t de Ag promedio por la primera vía y de 5,10 g/t y 6,37 g/t de Ag respectivamente, por la segunda vía.

Contenidos muy interesantes de In se reportan en las menas de los tipos 1 (de enriquecimiento secundario parcialmente oxidadas) 2 (de enriquecimiento secundario arcillosas) y

RESULTADOS

RESULTADOS

RESULTADOS

12 (oxidadas supergénicas). En las primeras, estas muestras reportan un contenido máximo de 14,5 mg/kg (ppm), pero los restantes valores de In para este tipo de mena, como se muestra en la tabla 2, son bajos. Para el segundo tipo de mena el contenido máximo es de 6,9 mg/kg de In y el promedio de 2,7 mg/kg de In. Para las menas oxidadas supergénicas, el contenido máximo es de 3,1 mg/kg y el promedio de 2,9 mg/kg de In. Los sulfuros masivos son los que menor contenido de este elemento presentan, con un promedio de 0,7 %, con un valor máximo de 1,4 mg/kg. Para todo el conjunto de muestras examinado el contenido promedio es de 1,5 mg/kg de In.

En las menas de los tipos 1 y 2 se presentan contenidos elevados de rubidio (Rb) con respecto a su contenido medio en la corteza continental, con contenidos máximos de 0,120 % y 0,121 % y promedios de 0,082 % y 0,043 % de Rb respectivamente. En las menas del tipo 2 este elemento es acompañado por el Sr, con

un contenido máximo de 0,83 % y un promedio de 0,140 % de Sr. Sin embargo, estos valores caen todos por debajo de lo que pudiera considerarse de interés económico. En cuanto al Ge, se reporta un valor máximo de 114 mg/kg, mientras los valores promedios para los diferentes tipos de mena no superan en ningún caso los 33 mg/kg. El promedio general de Ge es de 23 mg/kg, no muy distinto al obtenido por Podkamenny y Guzmán (1971), de 36,39 g/t de Ge. El aprovechamiento económico del Ge podría ser considerado si su contenido en el concentrado llegase a superar los 200 mg/kg. Por último, es necesario señalar que en la mena del tipo 1 se reporta un valor máximo interesante de 68 mg/kg de Sc, pero el promedio es de solo 13 mg/kg.

En la tabla 2 se presentan, en color rojo, las muestras con los resultados más interesantes, también destacados en este color. Su examen revela que, de las 23 muestras analizadas, 8 presentan 0,9 ppm de In o más, de las cuales

RESULTADOS

TABLA 2.

Muestras con contenidos interesantes de Cu y elementos acompañantes en el yacimiento Hierro Mantua. Todos los valores están expresados en ppm (mg/kg), excepto para el Au, el cual aparece en ppb (µg/kg).

Numero de muestra	La	Ce	Pt	Nd	Sumatoria ETR	Au	Ag 1	Ag 2	P2O5 %	Total S %	MnO %	Sc	Co	Cu	Zn	Ge	Rb	Sr	In	Ba	Pb
4	100	109	33,7	112	582,61	113	0,5	1	2,8	0,30	0,013	68	18	2720	130	30	< 2	578	14,5	810	4570
8	11,6	20,3	2,22	10,5	68,08	21,3	1,1	1,9	1,58	0,15	0,029	3	60	1590	4580	4	< 2	397	< 0,2	1442	63
16	23,9	49,9	6,03	24	127,53	167	0,8	1,2	0,13	8,23	0,129	9	151	2080	2770	15	73	93	0,5	1023	34
24	1,2	1,5	0,7	3	8,52	140	5,7	7,4	0,03	0,15	0,008	3	9	2990	50	40	< 2	3	0,4	16	102
26	1,7	2,4	0,33	1,3	6,49	992	5,4	5,1	0,04	0,37	0,01	2	5	5430	50	30	< 2	6	0,5	16	60
51	1,2	2,8	0,32	1,3	7,45	1150	10,2	11,8	0,12	1,11	0,022	2	3	20000	2400	2	1190	30	< 0,2	21	1200
63	0,9	2,3	0,26	1,2	6,43	981	10,3	11,9	0,12	1,14	0,019	2	3	19400	2410	2	1200	29	< 0,2	15	1310
10	23,4	47,3	4,9	10,4	112,36	1320	8,2	5,9	0,62	15,9	0,063	8	72	2990	290	40	72	106	1,3	4063	538
29	0,9	2,2	0,26	1,2	6,41	960	10,1	12,4	0,12	1,26	0,019	2	3	19500	2370	2	1210	29	< 0,2	16	1310
31	203	400	72,9	299	1210,93	194	1,6	1,5	0,7	12,2	0,064	35	37	16700	240	114	5	8300	2,2	2556	204
44	0,9	2,2	0,26	1,2	6,41	970	10	10,4	0,12	1,14	0,019	2	3	19000	2340	2	1200	28	< 0,2	16	1260
46	44,8	96,8	10,3	40,5	224,32	537	4,8	4,5	0,3	12,3	0,115	10	65	1390	750	3	77	63	< 0,2	316	220
53	1,5	4,3	1,01	6,8	23,68	107	1	1	0,53	15,9	0,009	7	143	5620	60	41	2	1177	6,9	254	12
61	0,3	0,7	0,09	0,3	1,9	262	6,8	8,9	0,13	0,22	0,008	< 1	2	1240	< 30	27	< 2	4	0,2	54	38
12	8,6	18,8	2,96	11,9	49,74	303	6,3	3,2	0,32	16,6	0,016	2	194	4080	2530	26	4	342	1,4	204	211
18	0,8	1,5	0,17	0,6	3,68	88,9	2,9	< 0,5	0,03	30,8	0,012	< 1	213	38900	60	5	< 2	14	< 0,2	2193	49
41	7,2	15,5	1,45	5,6	34,54	92,7	2,1	1,2	0,06	30,5	0,028	< 1	242	11700	40	31	9	50	0,8	240	71
49	8,3	13	1,57	6,7	31,26	233	8,6	< 0,5	0,12	46	0,023	< 1	110	42900	110	16	< 2	106	0,2	66	106
59	0,9	1,4	0,18	0,6	3,52	113	4,4	< 0,5	0,03	28,7	0,012	< 1	195	49500	90	12	< 2	16	0,3	21	62
63	3,5	5,6	0,45	1,5	12,58	1160	29,3	10,9	0,31	23,5	0,03	1	55	35500	170	19	< 2	29	0,9	306	3700
2	15,5	23,1	2,33	9,8	57,96	185	2,4	4	0,41	0,22	0,04	12	58	2990	2740	27	< 2	50	2,7	65	246
37	10,6	23,3	3,93	19,8	76,07	90,8	3,7	6,4	0,75	0,06	0,019	2	89	1610	5660	7	< 2	187	< 0,2	296	35
39	50,9	97,5	11,1	43	234,8	119	3,9	1,8	0,58	2,50	0,036	19	21	10000	1100	26	103	141	3,1	2676	102

5 contienen más de 2 ppm de In, incluida una, perteneciente a la mena tipo 1, con un valor huracanado de 14,5 ppm de In. Por otro lado, en ninguno de los cuatro tipos de mena se observa una asociación clara entre los contenidos de Zn e In. Tampoco hay relación alguna entre la concentración de Cu y la de In, aunque todos los valores significativos de In (igual o mayor que 0,9 mg/kg) se asocian a contenidos superiores a 0,2 % de Cu. Los altos contenidos de Rb y Sr observados en la tabla 2, en cambio, sí se asocian claramente con cantidades significativas de Zn y Pb.

Muy interesante resulta la muestra No 4 (mena tipo 1, parcialmente oxidada), la cual reporta los contenidos más anómalos de Sc (68 mg/kg) e In (14.5 mg/kg), con 2,6 % de P₂O₅, 0,272 % de Cu y 0,457 % de Pb, siendo el S total de solo 0,39 %. La muestra No 31, por su parte, presenta el segundo valor más alto de Sc (35 mg/kg) y 2,2 mg/kg de In, asociados a los valores más anómalos de ETR (ligeras) y de Sr reportado, (en ambos casos sin interés económico) así como al más anómalo de Ge (114 mg/kg). Aunque tiene un 12,2 % de S total, ella posee el más alto contenido de P₂O₅, de 6,7 %. Lo anterior sugiere que estos altos contenidos de Sc, In y ETR pueden estar relacionados con la presencia de minerales portadores de P

Los minerales portadores de P conocidos en Hierro Mantua son turquesa (fosfato de cobre hidratado), vavelita (fosfato hidratado de aluminio), sungbergita (fosfato de Sr) hinsdalita (fosfato de plomo), varisita y vivianita (Kozulin, Antoneev y Shulzhenko, 1973).

Los contenidos de Co reportados para el conjunto de 23 muestras recientemente analizadas son muy bajos, excepto en el caso de las muestras representativas de las menas del tipo 3, con un contenido promedio de 0,0168 % y un contenido máximo de 0,0242 % de Co. En 1996, sin embargo, la compañía Davy International en 1996, impulsada por los significativos valores de cobalto obtenidos durante las pruebas metalúrgicas llevadas a cabo por

Lakefield en 1995, llevó a cabo una estimación de los recursos de Co, realizada sobre la base de los análisis efectuados a las pulpas de las campañas de perforación de los años 1991, 1993 y 1995. Los recursos estimados de este metal se basan en 102 pozos (2578 análisis de cobalto). En total se formaron 688 compósitos de 6 m de longitud. Como resultado se obtuvo un contenido medio de 0,034 % de Co en menas con baja ley de Cu y 0,019 % de Co para las de alta ley de Cu (1178 t de Co).

Finalmente, como puede apreciarse en la tabla 2, en las menas del tipo 3 existe relación entre los altos contenidos de S total y los contenidos más elevados de Co, una regularidad también observada en el prospecto Unión - Juan Manuel.

Los contenidos de elementos de las tierras raras (ETR) en las menas del yacimiento Hierro Mantua, de acuerdo con los resultados del conjunto de muestras analizadas, solo son de interés geoquímico, tal como lo demuestra el valor de la mediana, tanto para todo el conjunto de muestras como para cada uno de los tipos de menas representadas (ver tabla 3). Las más abundantes son las más ligeras (La, Ce, Pr y Nd; ver tabla 2), las cuales constituyen la mayor parte del contenido de ETR en las menas, particularmente en las de los tipos 2 y 12.

Como puede observarse en las tablas 2 y 3, entre los cuatro tipos de mena presentes en el conjunto de muestras estudiado, el tipo 3 (sulfuros masivos de enriquecimiento secundario) es el de menor contenido de ETR. Mientras posee una mediana de Ce superior al de las menas de los tipos 1 y 2, este tipo de mena es el de menor contenido en los restantes ETR individuales, excepto el Lu, elemento que en todos los tipos de mena se presenta en contenidos insignificantes.

Por otro lado, la mena tipo 2 (arcillosa de enriquecimiento secundario), como puede apreciarse en la tabla 3, es la que presenta mayor contenido de ETR, tanto por el valor máximo como por el promedio y la mediana, estando la mayor parte concentrada en las ETR más lige-

RESULTADOS

ras (La, Ce, Pr y Nd), un comportamiento también observado en las menas de los tipos 1 y 12, y en menor medida en las del tipo 3.

En cuanto a los elementos del grupo del platino (EGP) se tiene que los contenidos reportados en estas muestras son igualmente solo de interés geoquímico. Al igual que en el caso de los ETR, los valores de la mediana, tanto para los elementos individuales como para la sumatoria de EGP, es claramente inferior a los correspondientes valores promedio, siendo esta diferencia menor en el

caso del Os y del Ir, los dos elementos que presentan menor contenido, tanto en todo el depósito como en cada uno de sus tipos de mena (tabla 4).

A nivel de todo el conjunto de muestras los elementos más abundantes, tanto por el promedio como por la mediana, son Pt, Ru y Pd. La mena del tipo 12 es la que reporta el contenido más alto de un elemento individual, con 36 ppb (µg/kg) de Ru, mientras el contenido más alto de Pt se reporta en la mena del tipo 3 (sulfuros masivos), con 23 ppb (µg/kg). Sin em-

RESULTADOS

TABLA 3.

Distribución del contenido de ETR en el yacimiento Hierro Mantua por tipo de mena. Los contenidos están expresados todos en ppm (mg/kg).

Parámetro	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Sumatoria ETR
Menas tipo 1 (mena de enriquecimiento secundario oxidada)															
Numero de muestras	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Minimo	0.90	1.50	0.26	1.20	0.20	0.02	0.20	0.05	0.10	0.05	0.05	0.02	0.05	0.02	6.43
Maximo	193.00	199.00	33.70	112.00	18.20	3.22	11.00	1.30	6.60	1.00	2.70	0.37	2.70	0.41	582.61
promedio	33.36	39.74	6.22	21.90	4.03	0.78	3.44	0.50	2.63	0.43	1.09	0.14	0.91	0.13	115.31
Desviacion estandar	65.65	67.05	11.38	37.58	6.07	1.07	3.93	0.54	2.72	0.44	1.09	0.14	0.94	0.14	195.48
Mediana	1.70	2.80	0.70	3.00	0.60	0.12	0.50	0.05	0.40	0.05	0.20	0.02	0.20	0.04	8.56
Menas tipo 2 (mena arcillosa de enriquecimiento secundario)															
Numero de muestras	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Minimo	0.30	0.70	0.09	0.30	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.05	0.02	1.80
Maximo	203.00	460.00	72.90	299.00	56.40	13.80	53.10	7.60	32.70	3.40	5.70	0.53	3.50	0.49	1210.93
promedio	39.26	87.50	12.82	52.49	10.21	2.48	9.66	1.39	6.46	0.85	1.84	0.20	1.24	0.17	226.56
Desviacion estandar	68.64	155.59	24.77	101.52	19.03	4.66	17.87	2.56	10.90	1.13	2.02	0.21	1.29	0.19	408.94
Mediana	1.50	4.30	1.01	6.80	2.60	0.71	3.20	0.40	1.90	0.30	0.60	0.05	0.30	0.02	23.69
Menas tipo 3 (sulfuros masivos, albergados en arenisca)															
Numero de muestras	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Minimo	0.80	1.40	0.17	0.60	0.10	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.05	0.02	3.57
Maximo	8.60	18.80	2.86	11.90	2.20	0.53	2.10	0.30	1.50	0.20	0.50	0.06	0.30	0.05	49.74
promedio	4.88	9.30	1.13	4.32	0.78	0.19	0.74	0.13	0.55	0.10	0.21	0.03	0.18	0.03	22.56
Desviacion estandar	3.30	6.82	0.97	4.01	0.74	0.18	0.71	0.09	0.53	0.07	0.18	0.02	0.13	0.01	17.20
Mediana	5.35	9.30	0.95	3.55	0.60	0.13	0.50	0.08	0.35	0.05	0.13	0.03	0.18	0.02	21.92
Menas tipo 12 (mena oxidada, gossan)															
Numero de muestras	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Minimo	10.60	23.10	2.93	9.80	1.70	0.39	1.10	0.20	1.10	0.20	0.80	0.12	0.90	0.14	57.98
Maximo	50.90	97.50	11.10	43.00	8.60	1.74	7.30	1.00	5.60	1.10	3.10	0.43	3.00	0.43	234.80
promedio	25.67	47.97	5.99	24.20	5.03	1.09	4.27	0.60	3.27	0.63	1.87	0.27	1.83	0.27	122.95
Desviacion estandar	17.95	35.03	3.64	13.91	2.82	0.55	2.53	0.33	1.84	0.37	0.95	0.13	0.87	0.12	79.43
Mediana	15.50	23.30	3.93	19.80	4.80	1.15	4.40	0.60	3.10	0.60	1.70	0.25	1.60	0.24	76.07
General															
Numero de muestras	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22
Minimo	0.30	0.70	0.09	0.30	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.05	0.02	1.80
Maximo	203.00	460.00	72.90	299.00	56.40	13.80	53.10	7.60	32.70	3.40	5.70	0.53	3.50	0.49	1210.93
promedio	19.16	40.52	5.65	23.05	4.60	1.09	4.45	0.66	3.22	0.48	1.14	0.14	0.91	0.13	105.21
Desviacion estandar	42.40	95.64	14.99	61.42	11.57	2.82	10.88	1.56	6.76	0.75	1.49	0.17	1.09	0.16	250.15
Mediana	5.35	9.30	1.23	5.65	1.00	0.24	0.95	0.15	0.70	0.13	0.35	0.04	0.30	0.03	27.47

bargo, la mediana indica que el Ru no se concentra preferencialmente en ningún tipo de mena. El platino, en cambio, se concentra más en las menas de los tipos 3 (sulfuros masivos) y 12 (menas oxidadas).

Dados los bajos contenidos presentes, la recuperación de los EGP, en virtud de su gran inercia química, solo sería posible si en algún paso del esquema tecnológico que se aplique a las menas, o en sus colas, estos se concentrasen fuertemente.

Parámetro	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Sumatoria EGP
Menas tipo 1							
Numero de muestras	7	7	7	7	7	7	7
Minimo	1,00	0,60	2,60	0,10	2,60	1,00	7,60
Maximo	1,00	0,50	25,00	0,30	22,00	0,00	40,80
promedio	1,00	0,50	5,71	0,13	6,07	2,20	15,70
Desviacion estandar	0,00	0,00	7,87	0,07	0,77	1,07	12,13
Mediana	1,00	0,50	2,50	0,10	2,50	2,00	0,60
Menas tipo 2							
Numero de muestras	7	7	7	7	7	7	7
Minimo	1,00	0,30	2,60	0,10	2,60	1,00	7,60
Maximo	1,00	0,50	2,50	1,80	13,00	11,00	27,80
promedio	1,00	0,47	2,60	0,69	6,86	6,11	16,66
Desviacion estandar	0,00	0,07	0,00	0,62	4,10	3,64	7,53
Mediana	1,00	0,60	2,60	0,10	2,60	6,00	13,60
Menas tipo 3							
Numero de muestras	0	0	0	0	0	0	0
Minimo	1,00	0,50	2,50	0,10	2,50	1,00	7,60
Maximo	1,00	0,50	2,50	5,50	23,00	12,00	40,70
promedio	1,00	0,50	2,60	2,97	9,17	4,83	20,97
Desviacion estandar	0,00	0,00	0,00	1,88	7,05	4,78	11,13
Mediana	1,00	0,50	2,60	2,66	7,60	2,00	17,10
Menas tipo 12							
Numero de muestras	3	3	3	3	3	3	3
Minimo	1,00	0,60	2,60	0,10	2,60	1,00	7,60
Maximo	1,00	0,50	30,00	0,00	12,00	17,00	53,00
promedio	1,00	0,60	13,67	0,40	8,17	7,67	31,40
Desviacion estandar	0,00	0,00	15,79	0,22	4,09	0,80	18,00
Mediana	1,00	0,50	2,50	0,50	10,00	5,00	33,60
General							
Numero de muestras	23	23	23	23	23	23	23
Minimo	1,00	0,30	2,60	0,10	2,60	1,00	7,60
Maximo	1,00	0,50	30,00	5,50	23,00	17,00	53,00
promedio	1,00	0,49	6,06	1,09	7,30	4,96	19,87
Desviacion estandar	0,00	0,04	8,22	1,57	0,08	4,58	12,94
Mediana	1,00	0,60	2,60	0,20	4,26	3,00	14,30

TABLA 4.

Distribución del contenido de EGP en el yacimiento Hierro Mantua por tipo de mena. Los contenidos están expresados todos en ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

DISCUSIÓN

El examen conjunto de los resultados del estudio mineralógico realizado en los depósitos Unión - Juan Manuel, Hierro Mantua y Copales, así como de su geología, permite obtener un cuadro general de sus características. Dentro de este cuadro, primeramente, se pasará a señalar los factores o aspectos que los diferencian y luego aquellos que ponen de relieve su similitud.

Los depósitos de sulfuros masivos de Cu - Co de la región objeto de estudio se diferencian entre sí por:

- Variedad de su composición mineralógica.
- Posición con relación al corte erosivo.
- Presencia de zona de alimentación.

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

La diversidad y complejidad de la mineralogía de los depósitos de sulfuros masivos presentes en el municipio Mantua guarda relación directa con el grado de desarrollo de la zona de enriquecimiento secundario, lo cual se relaciona a su vez con su contenido de Cu. A la luz de esto puede afirmarse que la presencia de menas de enriquecimiento secundario en el sector Unión I del prospecto Unión - Juan Manuel fue el origen del denuncio y ulterior explotación de la mina Unión entre 1853 y 1880. De acuerdo con Roque de Allende (1927), quien cita al ingeniero de minas Pedro Salterain y Legarra, de esta mina se extrajeron menas con cobre nativo, malaquita, azurita y otros minerales, alcanzándose una ley máxima del 14 % de Cu, señalando que, durante la explotación, por debajo de ellas se encontró mena de composición pirítico - calcopirítica. Igualmente plantea que las menas con 0,5 % - 3 % de Cu se beneficiaban por cementación y las de ley superior al 3 - 4 % de Cu lo eran por fundición.

Por la posición de los depósitos con respecto al nivel del corte erosivo pueden distinguirse tres casos:

- Depósitos completa o casi completamente oxidados (Brooklyn, Olga) indicativos de que una parte de las secuencias hospederas, y de los cuerpos minerales presentes en ellas, fueron eliminadas por la acción combinada del intemperismo y la erosión.
- Depósitos que se encuentran dentro del nivel erosivo (Hierro Mantua), caracterizados por el gran tamaño de su gossan.
- Los que se encuentran esencialmente por debajo del nivel de erosión (Unión - Juan Manuel), caracterizados por la presencia de gossans más bien pequeños.

Este rasgo, como se comprende fácilmente, regula la proporción entre menas oxidadas y primarias.

La existencia de zonas de alimentación (fallas que sirvieron de canal preferencial de migración de las soluciones hidrotermales mineralizadas) con pequeños cuerpos minerales piríticos y cu-

pro-piríticos ubicados en ellas, es conocida dentro de lo que históricamente se ha llamado “zona metalífera Hierro”, un área rectangular de 22 km de largo y 4,5 km de ancho, extendida de SW a NE por la parte norte del municipio Mantua. Es en los cuerpos minerales ubicados dentro de estas fallas donde se encuentra la mineralogía de más alta temperatura reportada para los sulfuros masivos de esta región, bien ejemplificada por la de la manifestación Copales.

Estas fallas están situadas por debajo de la zona de distribución de las menas estratiformes, tal como sucede en el yacimiento Hierro Mantua, cuyo cuerpo No 1 (contenedor del 95 % de sus recursos) se encuentra por encima, en el flanco colgante de la llamada Falla Principal, que buza al NW con 40 - 50 grados bajo el mencionado cuerpo mineral. Algo similar sucede en Copales, donde la mineralización estratiforme está ausente o fue ya del todo erosionada. Esta situación, aunque en forma diferente, también se presenta en la manifestación Las Mundy, ubicada en la parte SE del área de estudio, donde la zona de mineralización secante aparece interceptando las menas de yacencia concordante.

Mientras este tipo de zona mineralizada alojada en zonas de falla está presente en varias manifestaciones cercanas al yacimiento Hierro Mantua y, como ya se señaló, en la manifestación Las Mundy, su existencia no ha sido observada hasta ahora en el Distrito Mineral Unión - Juan Manuel. Ello sugiere la posible existencia de dos estilos de mineralización entre los sulfuros masivos de Mantua. Uno estratiforme con zona de alimentación asociada, ejemplificado por Hierro Mantua, y otro puramente estratiforme, ejemplificado por Unión - Juan Manuel. En esto, tal distinción sería semejante a la subdivisión de los depósitos del tipo SEDEX en proximales (como Castellano) y distales (como Santa Lucía).

Es de notar que la presencia de zonas de alimentación mineralizadas con Cu y pirita es un rasgo frecuente en los depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos de todos los tipos y que el mismo aparece también en los del tipo

DISCUSIÓN

exhalativo - sedimentario. En todo caso, por lo hasta ahora conocido, el aporte de los cuerpos minerales ubicados en estas zonas de alimentación a los recursos de Cu, Au y Ag del territorio de Mantua es poco significativo.

En cuanto a las similitudes, la primera radica en la génesis. La combinación de los resultados mineralógicos pretéritos y actuales y de la información geológica disponible brinda una imagen integral de la mineralogía de los depósitos de sulfuros masivos de Cu - Co ubicados en el municipio Mantua, de su distribución espacial y condiciones de formación. En este sentido, ellos permiten identificar tres etapas o fases más o menos bien definidas dentro del proceso de formación de las menas:

- Primera etapa: se desarrolló en un ambiente de baja temperatura, al iniciarse la convección hidrotermal resultante del incremento del gradiente geotérmico regional provocado por la penetración de las intrusiones máficas profundas. En esta primera fase se acumularon las menas piríticas, acompañadas por la formación de magnetita y hematites.

- Segunda etapa: se caracterizó por una elevación de la temperatura, la que alcanzó valores superiores a los 250 OC. Durante ella se precipitaron la calcopirita y todos los demás minerales hipogénicos presentes. Esta fase debió coincidir con el emplazamiento de la masa principal de los cuerpos intrusivos máficos someros concordantes con la secuencia sedimentaria hospedera de la mineralización. El oro se precipitó al final de esta fase, cuando, como resultado del agotamiento de la fuente de calor, la temperatura comenzó a descender.

- Tercera fase: se vincula con el desarrollo de los procesos de exhumación e intemperismo. Se caracteriza por la aparición de los minerales hipergénicos y la formación de las zonas de oxidación y de enriquecimiento secundario.

Con relación a las condiciones físico-químicas de formación de las menas sulfurosas primarias, la naturaleza ácida y reducida de los fluidos porta-

dores de metales es demostrada por la presencia de marcasita y enargita en Hierro Mantua y en Unión - Juan Manuel y de marcasita en Copales, Igualmente, la abundancia generalizada de materia orgánica sugiere el carácter reducido de las soluciones, lo cual es respaldado por la escasez de barita (Torres Zafra et al., 2004 y Torres Zafra, 2006). La cubanita (Unión - Juan Manuel y Copales) indica, por su parte, la presencia de un sistema de transporte sulfurado. Por otro lado, la presencia de las piritas cobaltíferas testimonia en favor de la existencia de condiciones anóxicas en el sitio de deposición de menas, por cuanto en estas condiciones (Large et al., 1999) el Co es absorbido fuertemente por el sulfuro de Fe, más que precipitado como fase mineral independiente. Estos cuatro criterios indican que los fluidos hidrotermales fueron reducidos y ácidos, lo que a su vez explica la presencia del Au en estas menas. En estas condiciones, pudo precipitarse también el Co procedente de las mencionadas rocas ígneas y de la pila sedimentaria atravesada por los fluidos hidrotermales que salían al lecho marino. Esto concuerda bien con la relación hallada entre S y Co.

Las determinaciones (8 en total) de 34S en piritas del sector Unión I dieron valores de 34S entre 7,5 ‰ y 11,5 ‰, indicadores de un proceso de reducción inorgánica del SO₄- a temperaturas superiores a los 250°C en presencia del Fe contenido en rocas máficas (García et al., 1989). Dada la generalizada vecindad entre menas de Cu - Co y cuerpos de rocas máficas en todo el territorio, esta conclusión puede considerarse válida para todos los depósitos de este tipo presentes dentro de él, por lo que las menas de todos estos depósitos son semejantes desde este punto de vista.

Adicionalmente, la zonalidad geoquímica vertical obtenida para el perfil 36 de Unión - Juan Manuel (7 pozos con 251 muestras) es: Ni-Mo-Cu-Zn-Co-Ag-Ba-Pb (de inframineral a supra-mineral). Esta zonalidad en realidad no es tal, pues solo se observa una pequeña diferenciación geoquímica de los elementos relacionados con la génesis del yacimiento. Los elementos

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

supraminerales, minerales e inframinerales se entremezclan, indicando la interacción de las soluciones magmáticas con agua marina fría, lo cual hace posible la presencia de Cu, Co, Pb, Zn y Ag. Por otro lado, el Mo, elemento característico de alta temperatura, se ubica en las rocas encajantes subyacentes y en la parte inferior del cuerpo mineral, indicando hacia donde se encontraba la fuente de calor. El Ba no es característico para la zona mineral (García et al., 1990), lo cual sugiere un ambiente deposicional con baja fugacidad de oxígeno, lo cual está en línea con la arriba inferida existencia de condiciones anóxicas en el sitio de deposición de menas.

En el prospecto Unión Juan Manuel, el cobalto en menas primarias aparece como sustitución isomórfica del Fe en la pirita. De acuerdo con Kozulin, Antoneev y Shulzhenko, (1973), lo mismo sucede en las menas primarias de Hierro Mantua.

Burov et al. (1986) señalaron que, de E a W, la productividad de los cuerpos minerales de Unión - Juan Manuel aumenta para el Cu y disminuye para el Co. Esto, como muestran los resultados del estudio mineralógico realizado por los autores, está relacionado con la temperatura de formación de las menas, que desciende progresivamente de Unión II a Juan Manuel. Ello sugiere que esta relación entre el Cu y el Co sea una regularidad común a todos los depósitos de Cu - Co del tipo VMS máfico - silicoclástico presentes en el municipio Mantua y territorios adyacentes.

Los resultados de la estimación de recursos de Co llevada a cabo en el año 1996 por la com-

pañía Davy International en Hierro Mantua (0,034 % de Co en menas con baja ley de Cu y 0,019 % de Co en menas con alta ley de Cu) indica que la conducta observada del contenido de Co con respecto al de Cu en el yacimiento Hierro Mantua es igual a la observada en el prospecto Unión - Juan Manuel. Lo anterior sugiere que esta regularidad puede ser válida para el resto de los depósitos de sulfuros masivos del tipo VMS máfico - silicoclástico presentes en el municipio Mantua, así como para los de este mismo tipo ubicados en el vecino municipio Minas de Matahambre.

Si se realiza una comparación de los contenidos de elementos raros y dispersos en el prospecto Unión - Juan Manuel con los presentes en el yacimiento Hierro Mantua (tabla 5), puede observarse que, a pesar del diferente grado de abundancia de las menas de enriquecimiento secundario y de las primarias, el contenido de la tabla 5 sugiere un comportamiento general semejante de las menas. Se aclara que, en la mencionada tabla, mientras los contenidos correspondientes a Hierro Mantua corresponden al promedio ponderado para todos los tipos de mena representadas en el conjunto de 23 muestras tomadas por la Empresa Geominera Pinar del Río, los señalados para Unión - Juan Manuel son la mitad del valor máximo reportado, con excepción del Co, cuya cifra es el promedio de los valores reportados (Nanian et al., 1972 y García et al., 1988). En el caso de los ETR, el valor indicado para Unión - Juan Manuel es el reportado para el Ce en Unión II por García et al. (1988).

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

TABLA 4.

Comparación de contenidos de elementos raros y dispersos.

Depósito	Co	V	Cr	Ga	Ge	In	Nb	Y	Mn	Ce
Hierro Mantua	0,0242	92	101	25	23	1,5	7	15	0,097	40,52
Unión - Juan Manuel	0,085	150	500	50	20	---	15	150	0,3	150

DISCUSIÓN

Además de los elementos raros y dispersos, en la tabla también se muestra el contenido de Mn y el de ETR. Como puede apreciarse, lo primero a destacar en la tabla 5 es que, en general, el prospecto Unión - Juan Manuel presenta un contenido de elementos trazas en las menas superior al presente en el yacimiento Hierro Mantua. Particularmente, se nota como tanto el contenido de Co como el de Mn son claramente más altos en el primero de los depósitos mencionados. En el caso de los elementos raros y dispersos se tiene que en el primero de los depósitos los contenidos reportados de Ga y Nb son más altos, mientras los de Ge son similares para ambos. En el caso de las ETR, los contenidos de Ce e Y son mayores en Unión - Juan Manuel, lo cual sugiere la existencia en este prospecto de contenidos más elevados de ETR en relación con los encontrados en el yacimiento Hierro Mantua.

En cuanto al In, no hay dato alguno reportado sobre su contenido en Unión - Juan Manuel. Al respecto, la semejanza entre ambos depósitos observable en la tabla 5, fundamentada en la similitud de ambiente geológico y génesis, sugiere la posible presencia de contenidos de interés de este valioso metal en este último depósito.

Otra similitud entre ambos depósitos está dada por el hecho de que en sus respectivos gossans, en particular en su parte inferior, la oxidación de la mena es incompleta, tal como lo demuestra los contenidos fuertemente anómalos de Cu -hasta 0,32 %- observados en el caso del prospecto Unión - Juan Manuel y de Cu y Zn (hasta 1,06 % y 0,56 % respectivamente) en el caso de Hierro Mantua. Esto último es confirmado por el análisis de las monofracciones de hidrogoethita e hidrohematites de este último depósito, las que contienen de 0,4 % a 1 % de Cu, probablemente asociado a una mezcla terrosa de tenorita-melaconita (Kozulin, Antoneev y Shulzhenko, 1973).

Todas estas similitudes confirman que ambos depósitos minerales tuvieron la misma génesis y pasaron por procesos de metalogénesis se-

mejantes, tal como cabe esperar en depósitos pertenecientes a un mismo modelo descriptivo - genético (VMS máfico - silicoclástico), a un mismo sistema mineral (cuenca distensiva del J - K1) y en un mismo ambiente geotectónico y deposicional (margen continental pasivo en transición de la etapa de synrift a la de deriva; es decir, en la fase pandeada).

El contenido medio de In en basaltos es de 0,22 mg/kg (Turekian y Wedepohl, 1961), el más elevado reportado para una litología, y supera ampliamente el contenido medio de este metal en la corteza (0,1 mg/kg, Levinson, 1974). Ello sugiere que los cuerpos de rocas ígneas máficas presentes en las inmediaciones del yacimiento Hierro Mantua constituyeron la fuente de aporte de este metal y, en consecuencia, que están genéticamente relacionados con este depósito. Como la vinculación genética y espacial entre cuerpos minerales y cuerpos de rocas máficas es un rasgo común en los depósitos de Cu - Co del municipio Mantua, propio del modelo de depósito al que ellos pertenecen, cabe entonces esperar en ellos la presencia de contenidos significativos de In.

Según Laznicka (2010), el In es recuperado comercialmente de menas de Zn con 1 mg/kg de In. En cuanto al Ge plantea que este se recupera de los concentrados de Zn y de Cu con contenidos superiores a 100 - 200 mg/kg. A la luz de esto, puede afirmarse que los contenidos de In reportados en el conjunto de muestras de Hierro Mantua aquí analizado, son de gran interés, por su potencial significado económico, en tanto los de Ge también pueden ser de interés. Algo similar puede ocurrir en el prospecto Unión - Juan Manuel y otros depósitos similares portadores de Cu y Co.

Los principales depósitos de sulfuros masivos de Cu - Co del municipio Mantua son similares desde el punto de vista genético y pertenecen a un mismo modelo: VMS máfico - silicoclástico, diferenciándose, en lo esencial, por su distinta posición espacial con respecto al nivel de oxidación - erosión. Es esta posición lo que

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONCLUSIONES

determina el tamaño de los gossans y la proporción entre menas oxidadas y sulfurosas.

La pirita es el mineral más abundante en las menas de Cu – Co existentes en el municipio Mantua, seguido por la calcopirita. El primero de ellos constituye el mineral portador de Co, el cual se presenta como sustitución isomórfica del Fe.

La presencia de Au en las menas sulfurosas, primarias y de enriquecimiento secundario es un rasgo común en los depósitos de Cu - Co del territorio estudiado, no limitado al yacimiento Hierro Mantua, como lo demostró la observación mineralógica directa de su presencia en las menas primarias del prospecto Unión - Juan Manuel.

Los resultados del estudio del contenido de metales en las menas de Hierro Mantua muestran que, además de Co, hay en ellos contenidos potencialmente económicos de Au, Ag, In y Ge, además de otros elementos, como los EGP, que pudieran ser de interés. Asimismo, la comparación de los contenidos de Co, V, Ga, Ge, Nb, ETR e Y reportados en Hierro Mantua y Unión – Juan Manuel muestran que ambas se comportan de modo similar a lo que a metales raros y dispersos y elementos de las tierras raras se refiere.

El magmatismo máfico de margen continental somero y profundo, asociado con la ruptura del súpercontinente Pangea, fue la fuente que aportó el Co, el In y al menos parte del Cu.

Los resultados del estudio del contenido de componentes útiles en Unión - Juan Manuel y en Hierro Mantua sugieren la existencia en las menas de una relación inversa entre el contenido de Cu y el de Co. Es posible que esta regularidad se extienda al resto de los depósitos tipo VMS máfico - silicoclásticos hospedados en la Fm. Esperanza (J3th K1val) dentro y fuera del municipio Mantua.

A, L. A. (1974). *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publishing Ltd. Calgary. Canada.

Allende, R. (1927). Yacimientos Minerales de la República de Cuba: Cobre. *Boletín de Minas* No 11.

Blanes, A. J., & Vázquez, M. (1998). Informe compilativo Proyecto Unión. Holmer Gold Mines Limited - Geominera S.A. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.

Burov, V., Martínez, D., Yusainov, Y., & Fernández, R. (1986). Informe de los trabajos de levantamiento geológico a escala 1:50 000 realizados en la parte occidental de la provincia de Pinar del Río en 1981-85. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.

Cazañas, X., Torres Zafra, J., Lavaut - Copa, W., Cobiella - Reguera, J., Capote, C., González, V., Núñez- Labañino, A. (2017). Memoria explicativa del Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1:250 000. La Habana. Edit. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. ISBN 978-959-7117-77-3.

Cofiño, C., & Cáceres, D. (2001). Particularidades estructurales del corte mesozoico y su relación con hidrocarburos en la Sierra del Rosario. *Memorias, Trabajos y Resúmenes*. (CD-ROOM). Edit. Centro Nacional de Información Geológica. ISBN 959-7117-10-X. La Habana.

Edwards, A. B. (1954). *Textures of the minerals and their significance*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Melbourne.

García, C. A. (1988). Informe sobre la ejecución de los trabajos del proyecto Exploración Orientativa del yacimiento de piedra y pirita cuprífera Unión II. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

García, C. A. (1989). Geología del Campo Mineral Unión y perspectiva de yacimientos sulfurosos en la Formación Esperanza. Resumen de la Tesis en opción al grado científico de candidato a doctor en ciencias geólogo – mineralógicas.

García, C. A. (1990). Informe de los trabajos de Exploración Orientativa para menas sulfurosas-cupríferas del Yacimiento Juan Manuel y el complemento de la Exploración Orientativa del yacimiento Unión. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana.

García, D. S. (2003). Generalización y actualización geológica de la provincia de Pinar del Río. Inédito, Instituto de Geología y Paleontología, La Habana.

Kozulin, V. A. (1973). Complemento del informe Yacimiento Hierro, confeccionado como resultado de los trabajos de exploración geológica realizados en este yacimiento en los años 1971-73 y del estado de reservas el 1 de marzo de 1973. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.

Large, J. D. (1999). A cobaltite – framboidal pyrite association from the Kupferschiefer: Possible implications for trace element behaviour during the earliest stages of diagenesis. *Mineralogical Magazine - Gran Bretaña*. Part 3 (418): 353 – 361

Laznicka, P. (2010). *Giant Metallic Deposits. Future Sources of Industrial Metals* (Vols. Second edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006)

Muliukov, E. M. (1968). Informe sobre los trabajos geológicos de exploración realizados en el yacimiento Hierro con el cálculo preliminar de reservas según estado para el 1 – VII – 68. Inédito.

Muliukov, E. M. (1969). Informe sobre los trabajos geológicos de exploración realizados en el yacimiento Hierro, con el cálculo preliminar de las reservas según su estado para el I-VII-69. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana.

Nanian, B. V. (1972). Informe con el cálculo de reservas de las menas pirítico-cupríferas del yacimiento Unión I en base a los trabajos de Exploración Geológica efectuados en los años 1967-1972. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.

Pérez, C. M. (2003). Algunas consideraciones acerca de la evolución tectónica del extremo occidental de Pinar del Río, Cuba. V Congreso Cubano de Geología y Minería. *Memorias Trabajos y Resúmenes (CD-ROOM)*. Edit. Centro Nacional de Información Geológica. ISBN 959-7117-11-8. La Habana.

Podkamenny, A. L. (1971). Informe Resultados de los trabajos de búsqueda y búsqueda-exploración en la región del yacimiento Hierro. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SA, M. H. (1996b). Proyecto Cobre Mantua. Informe anual 1995, 1996. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.

Shigariev, V. M. (1982). Informe sobre los resultados de los trabajos de búsqueda compleja a escala 1:10 000 en el campo mineral Unión y en el flanco nordeste del yacimiento Hierro, realizados en los años 1972 – 74. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana.

Tenreyro, R. (2003). Evolución geológica de sector sur del margen continental norteamericano. Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias Trabajos y Resúmenes. Edit. Centro Nacional de Información Geológica. (CD-ROOM). ISBN 959-7117-11-8. La Habana.

Torres - Zafra, J. L. (2004). Informe Reevaluación metalogénica del potencial de los recursos minerales de oro, plata y polimetálicos asociados en secuencias ricas en materia orgánica Pinar del Río. Inédito. Archivo del Instituto de Geología y Paleontología. La Habana.

Torres - Zafra, J. L. (2006). Regularidades metalogénicas de las secuencias ricas en materia orgánica del terreno Guaniguanico. Evaluación de su potencial polimetálico – precioso. Tesis de Maestría. Facultad de Geología y Mecánica. Universidad Hermanos Saínz Montes de Oca. Pinar del Río.

Torres - Zafra, J. L.-C. (n.d.). Modelos descriptivo – genéticos de depósitos metálicos para el mapa metalogénico a escala 1:250 000 de la República de Cuba. Edit. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. ISBN 978-959-7117-74-2.

Turekian, K. K. (1961). Distribution of the element in some major units of the Earth's crust. Geological Society of America Bulletin –US. 72: pp. 175 – 191.

Vázquez, M. (1999). Informe devolución de área CIG Unión. Inédito. Archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.