

Minerales portadores de oro y plata en los gossans en explotación. Cuba



Gold and silver minerals in exploited gossans. Cuba

CU-ID: 2144/v13e05

✉ **Jesús Manuel López Kramer^{1*}, Higinio Pimentel Olivera², Marcelino Arce Blanco³**

RESUMEN: El análisis de la influencia en el proceso de beneficio de aspectos tales como el tamaño de las partículas del oro y la plata nativa, la presencia de otras formas mineralógicas que aportan oro y plata, así como algunos problemas detectados durante la investigación y evaluación de los gossan son objetivos de este trabajo. Se profundiza en las características físico químicas de un grupo de minerales con vista a su procesamiento posterior haciendo énfasis en los minerales portadores de oro y plata, potenciando el impacto que pudieran tener en la eficiencia de las plantas, aspecto que debe continuar investigándose para cada yacimiento en específico. Los resultados determinaron además del oro y plata nativos la existencia de otros minerales portadores de estos elementos. Se analizan sus interrelaciones con otros minerales (oxidados, sulfuros primarios, secundarios, minerales arcillosos), así como su ubicación en el perfil de meteorización. Entre las fuentes utilizadas además de la bibliografía que se cita se destaca la información inédita de archivo sobre la caracterización mineralógica y metalúrgica obtenida por las investigaciones del CIPIMM, resultados del grupo de mineralogía del IGP y empresas foráneas, además de los datos de los geólogos que trabajaron en las exploraciones. Se concluye que en los yacimientos en explotación clasificados como inmaduros no solamente aparecen oro y plata nativa, sino que se han determinado con regularidad otras formas mineralógicas portadoras de oro y plata, como el electrum, mezclas de oro - plata - cobre - mercurio, haluros y telururos.

Palabras clave: Gossan, oro nativo, minerales portadores, recuperación.

ABSTRACT: The objective of this study was to characterize the minerals in the gossans of four deposits in operation and to draw attention to their role in the efficiency parameters of the plants. Aspect that should continue to be investigated for each specific deposit. The results determined, in addition to the native gold and silver, the existence of other minerals that carry these elements. The characteristics of native gold and silver and these minerals are analyzed, such as their size, interrelations with other minerals (oxidized, primary and secondary sulfides, clay minerals), and their location in the weathering profile. Among the sources used in addition to the bibliography that is cited, the unpublished archival information on the mineralogical and metallurgical characterization obtained by the CIPIMM investigations, results of the IGP mineralogy group and foreign companies stands out, in addition to the data of the geologists who they worked on the scans. It is concluded that in the exploited deposits classified as immature, not only do native gold and silver appear, but that other mineralogical forms that carry gold and silver have been regularly determined, such as electrum, mixtures of gold - silver - copper - mercury, halides and tellurides.

Keywords: Gossan, native gold, recovery.

Recibido: 30/10/2012

Aprobado en su forma original: 25/04/2021

¹Instituto de Geología y Paleontología. IGP. Servicio Geológico de Cuba. Ave Vía Blanca No 1002, San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba.

²Empresa Geólogo Minera de Camagüey, Camagüey. Cuba.

³Empresa Geólogo Minera de Pinar del Río, Pinar de Río. Cuba.

*Correos electrónicos: kramer@igp.minem.cu, higiniopimentel1951@gmail.com, marcelo55.arce@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El oro y la plata pueden estar presentes en muy bajas concentraciones en las menas sulfurosas en depósitos de diferentes génesis. El proceso de enriquecimiento natural en el perfil de meteorización ocurre por la destrucción de los sulfuros y la liberación de estos. Este proceso se puede diferenciar en base a un grupo de factores y originarse los gossans maduros o inmaduros ([López-Kramer et al., 2021](#)), con características mineralógicas diferentes que influyen en los procesos de beneficio utilizados por Heap leaching (lixiviación en pilas) o CIL (lixiviación y adsorción en carbón en tanques agitados) utilizados en Cuba.

Clasificar un gossan como maduro o inmaduro, aunque no es precisamente lo que define la variante tecnológica ayudará a profundizar en su estudio e identificar los elementos negativos que pudieran influir en el proceso tecnológico. Este es un tema a tener en cuenta durante las investigaciones geológicas y tecnológicas para diseñar a tiempo las alternativas de variantes al proceso para cada depósito, que permita mejorar los indicadores.

La composición de las menas para el caso que se ejemplifica de los gossans inmaduros influyen en los resultados de la eficiencia y calidad del doré. Pero las menas constituyen sólo un factor entre muchos otros aspectos tecnológicos y operacionales que ocurren en cualquier planta de extracción de oro en dependencia del control de la operación, disciplina tecnológica.

El análisis de la influencia en el proceso de beneficio de aspectos tales como el tamaño de las partículas del oro y la plata nativa, la presencia de otras formas mineralógicas que aportan oro y plata, así como algunos problemas detectados durante la investigación y evaluación de los gossans son objetivos de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron como referencia para este análisis los informes de las investigaciones geológicas desarrolladas por las empresas del Grupo Empresarial Geominsal. Entre las fuentes utilizadas además de la bibliografía que se cita, se destaca la información inédita de archivo sobre la caracterización mineralógica y metalúrgica

obtenida por las investigaciones del Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), con la utilización de Scanning Electron Microscopy (Microscopía Electrónica de Barrido) SEM y Energy Dispersive Spectrometry (Espectrometría dispersiva de Energías), (espectrometría de Rayos X) EDS, resultados del grupo de mineralogía del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) y empresas foráneas, además de los datos de los geólogos que trabajaron en las exploraciones.

Se utilizaron los resultados de las investigaciones al microscopio electrónico mediante aumentos de 300X y superiores y bajo la luz reflejada en muestras de Golden Hill, Florencia, Lote Grande y Barita, para determinar la presencia de partículas de oro y plata, sus tamaños, interrelaciones y frecuencias.

Desde el punto de vista temático se utilizaron los trabajos de investigación y Desarrollo (I+D), así como los presentados en congresos y publicaciones del IGP, CIPIMM.

Como resultado de estos trabajos se muestran las figuras y en las tablas los resultados obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tamaño de las partículas del oro y la plata nativa, la presencia de otras formas mineralógicas que aportan oro y plata. [Smirnov V.I., 1982](#), subdivide las partículas de oro por su tamaño en 3 categorías de dimensiones: Oro macroscópico (mayor de 100 μm), microscópico (100 - 0.1 μm) y submicroscópico. ($\leq 0.1 \mu\text{m}$).

Campo mineral Golden Hill. Zona mineral Big Golden Hill

En ([Cabrera Díaz Ileana et al., 2017](#)), se detectó la presencia de una partícula de oro nativo libre de aproximadamente 81% de pureza y dimensiones de 1,3 μm por 0,9 μm . Respecto a la plata, se determinaron en 15 oportunidades. El mineral de plata que se encontró con mayor frecuencia fue la querargirita. También se encontró en su forma nativa y formando parte de la tungstita.

Aunque se observan escasos sulfuros primarios en el gossan, es la existencia en su parte inferior del perfil de oxidación de la nontronita que junto

a otros minerales arcillosos provocan el efecto de readsorción afectando la recuperación del oro en el proceso.

Yacimiento Florencia

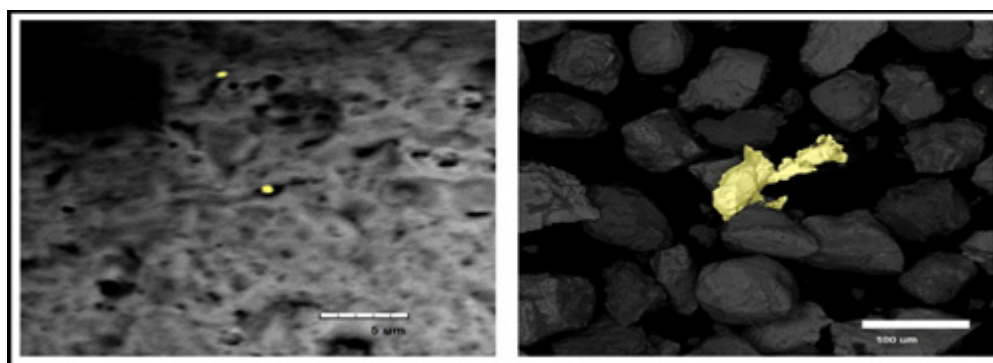
Se detectaron 41 partículas de oro nativo y electrum al microscopio electrónico. Respecto a las dimensiones de las partículas, se observaron variaciones de interés. Como promedio las partículas de oro en la zona Norte midieron 11.3 μm mientras que las de zona sur tuvieron 7.5 μm . En algunos casos las partículas de oro sobrepasaron las 40 μm mientras que en otros estuvieron por debajo de la micra. La [figura 1](#), muestra partículas representativas de ambos casos. En [Kramer \(1988\)](#), se destaca en las menas primarias la presencia de oro de alta pureza, así como todo un grupo de minerales de telurio portadores de oro y plata,

Conforme a los análisis realizados, se determinó la presencia tanto de plata nativa, amalgama de plata, querargirita y argentita, [figura 2](#).

No se observó presencia significativa de minerales de arsénico y mercurio en las muestras investigadas. Solo fue observada una partícula de arsenopirita y una de amalgama de plata.

La presencia de sulfuros en las menas. En la [tabla 1](#), se muestran los resultados de análisis químicos de los concentrados realizados durante los trabajos de Exploración Complementaria ([Eymil Romero Eligio et al., 2019](#)). En estos se aprecia que en algunas muestras el concentrado contiene cantidades importantes de sulfuros (se destacan los valores de azufre en rojo).

Atendiendo a los diferentes tipos de menas en el perfil inmaduro de Florencia, en las menas primarias el incremento de los sulfuros y la



Tomado de [Figueredo Frías M., y otros \(2019\)](#)

Figura 1. A la izquierda presencia de partículas de oro nativo de 500 y 600 (0,5 y 0,6 μm). A la derecha una partícula de oro nativo de 143 μm . microscopio electrónico mediante aumentos de 300X y superiores.

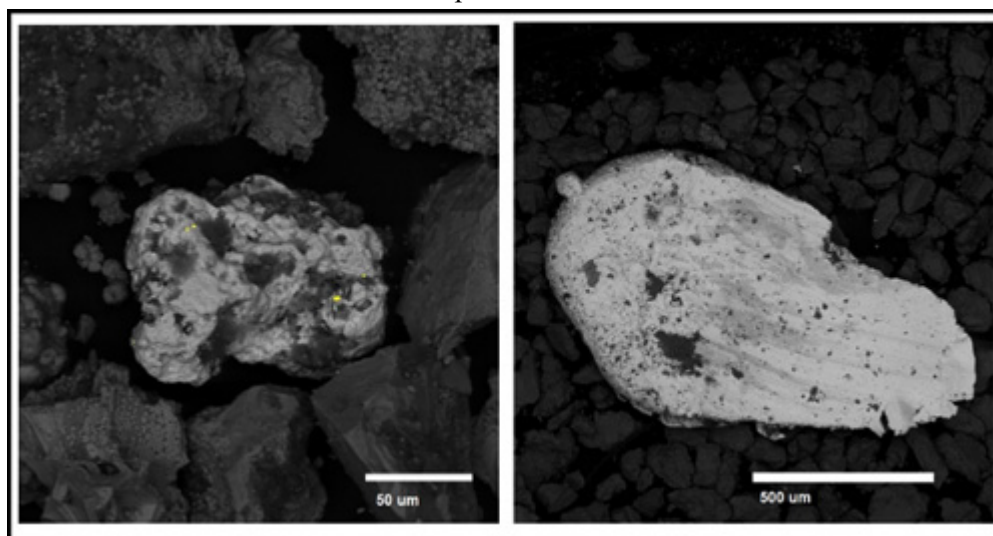


Figura 2. Ejemplos de la presencia de minerales de plata en las muestras investigadas. A la izquierda querargirita con partículas micrométricas de oro, a la derecha partícula de plata nativa.

disminución de los óxidos se aprecia en la tabla anterior por ejemplo en las muestras M 1061, M 1062 y M 1081. Es posible que algunas muestras, como la 1060, 1069, 1072 y 1074 pudieran ubicarse en la zona de transición, pero el resto parece ser puramente primarias. Por otra parte, en las muestras de las menas oxidadas se observa la disminución de los sulfuros y el incremento de los óxidos, es el caso por ejemplo de M 1067, M 1068 y M 1077. No tener en cuenta esto al mezclar las menas durante la explotación ocasiona bajas recuperaciones de oro.

Yacimiento Barita

En (Figueredo Frías M. et al., 2017), se detectaron 48 partículas de las cuales correspondieron 47 a oro nativo y solo una a electrum. Respecto a la composición química del oro, se trata de partículas de elevada pureza, donde el contenido de plata rara vez resulta significativo, sin llegar a más de un 15%, el espectro que se muestra a continuación [figura 3](#) ilustra dicho resultado.

Tabla 1. Composición química de los concentrados

Muestra	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Tipo de menas
1058	42.21	2.08	3.63	9.56	1.92	2.9	19.65	Oxidada
1059	38.04	1.28	2.1	6.33	0.84	1.52	16.92	Oxidada
1060	41.25	0.99	3.21	8.58	7.98	0.54	16.02	Sulfurosa
1061	29.06	1.03	2.35	5.44	20.37	2.88	24.8	Sulfurosa
1062	41.34	1.68	4.58	10	10.49	4.24	18.43	Sulfurosa
1067	35.2	-	0.43	5.11	0.01	-	40.35	Oxidada
1068	38.97	-	2.82	12.3	0.22	-	37.75	Oxidada
1069	40.86	1.55	3.71	6.85	5.81	3.28	22.02	Sulfurosa
1072	42.07	0.53	3.61	7.4	2.09	0.86	29.59	Oxidada
1074	43.39	2.64	4.15	9.5	3.79	5.52	11.81	Oxidada
1075	43.83	1.63	5.65	12.28	0.25	9.45	6.88	Oxidada
1076	43.94	1.76	5.99	11.64	0.06	10.22	6.74	Oxidada
1077	39.96	0.85	2.3	6.51	0.03	3.02	23.04	Oxidada
1078	46.37	2.4	6.83	12.96	0.14	9.42	8.82	Oxidada
1080	43.11	3.77	3.06	13.69	0.43	8.21	14.72	Oxidada
1081	19	0.97	0.77	2.5	35.87	1.88	33.86	Sulfurosa
1082	40.79	3.29	1.42	9.22	0.51	4.46	10.71	Oxidada

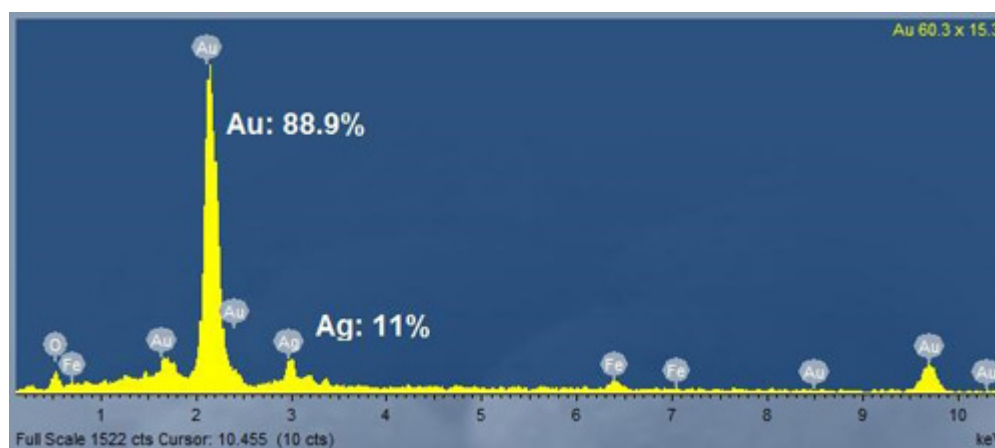


Figura 3. Espectro de una partícula de oro. Se aprecia el elevado contenido de oro que caracteriza a las partículas analizadas, no se tuvieron en cuenta los contenidos de hierro y oxígeno por corresponder al material circundante.

Con relación a la pureza del oro es necesario señalar que, en algunas partículas, además del contenido de plata se detectó presencia de cobre, mientras que en una partícula se detectó la presencia de un 18% de mercurio (amalgama).

Parte de la plata detectada se encontró en las propias partículas de oro, por lo que es difícil su separación en el proceso extractivo. También se detectó plata, aunque en pequeña medida, formando los minerales capgaronnita/iltisita, plata nativa, así como la yodargirita, que es un yoduro de plata. También se detectó la presencia de la mineral querargirita (un cloruro de plata).

Los resultados de la composición química promedio de las menas investigadas por el CIPIMM desde 1995 - 2017, muestran algunas regularidades. Los resultados que se comparan en la [tabla 2](#), pertenecen a muestras tomadas por diferentes metodologías. La que aparece como Joutel se corresponde con una muestra compósito representativa para todo el yacimiento y fue tomada a partir de testigos de perforación. Las dos muestras MT- I y MT-II fueron extraídas en la superficie antes del inicio de la explotación y la muestra TOB -1 de la cantera de explotación actual, esta muestra no se corresponde con un mineral oxidado de baja ley, sino a una típica zona mineral primaria de las menas sulfurosas con contenidos de oro interesantes.

Tabla 2. Variación de las menas estudiadas en profundidad. Tomado de ([Figueredo Frías M. et al., 2018](#))

Elemento	MT - 1	MT - 2	Joutel compósito	TOB-1
Au g/t	1,3	1.32	1.47	2.67
Ag g/t	5	5.5	9,7	< 5
S _T (%)	0.75	1.76	3.5	3,88

En la [tabla 2](#), se observa que los contenidos de Au y ST varían desde la superficie entre 1.3 - 1.32 g/t, y ST de 0,95 y 1,76 % respectivamente (MT- I y MT- II), incrementándose en profundidad Au 2.67 g/t y St 3.88 % para TOB -1. Esto motivado por la disminución de los

minerales oxidados con respecto al incremento de los sulfurosos en profundidad y es el indicador de la variación de las menas y su baja recuperación. Aquí el estudio tecnológico define la recuperación, con un compromiso económico entre consumo de reactivos y recuperación de Au y Ag.

Para el caso de que el oro se ubique dentro de la estructura de los sulfuros, es necesario destruirlos para liberarlo, o de lo contrario disminuye la eficiencia, pero si no es el caso, es necesario determinar el consumo de cianuros con la influencia de los cianicidas, para una adecuada y económica operación de extracción de Au y Ag.

Yacimiento Lote Grande

Los análisis mineralógicos desarrollados en el CIPIMM demostraron que en la composición de fases el mineral predominante es el cuarzo, altos contenido de minerales del grupo de los óxidos e hidróxidos de hierro amorfo, la magnetita y goethita y un por ciento significativo de sulfuros fundamentalmente pirita, calcopirita y en menor proporción la arsenopirita. La [tabla 3](#), muestra las características químicas de la muestra de mena oxidada MTI-1 en la que no se analizó la plata, ni se desarrollaron análisis por microsonda electrónica u otro que permitieran determinar otras fases mineralógicas.

Se encontraron 36 partículas de oro las cuales se presentan libres. Su pureza resultó alta (varía entre 90% - 82,4 %). La plata nativa una vez. Las dimensiones del oro oscilan entre 1.7um - 6,3 μm, (en una oportunidad una partícula alcanzó los 291 μm). En la [tabla 4](#), se muestran los minerales portadores de oro y plata determinados en los yacimientos estudiados.

En el gossan de Lote grande no se analizó la plata, ni se desarrollaron análisis por microsonda electrónica u otro que permitieran determinar otras fases mineralógicas.

Big Golden Hill es clasificado como Maduro.

El oro y la plata nativos en las paragénesis de los minerales oxidados.

Tabla 3. Características químicas de la muestra de mena oxidada MTI-1

Au (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn(%)	As (%)	St(%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
5.6	0.07	0.07	0.13	0.80	0.19	19.98	58.32	3.2

Tabla 4. Resumen de los minerales portadores de oro y plata determinados en los yacimientos estudiados

Yacimiento	Au nativo	electrum	Au - Ag- Hg	Ag nativa	Te de Au	Te de Ag	Haluros de Ag	Haluros/teluros
Lote Grande	x	x		x				
Golden Hill	x			x			x	querargirita, tungstita
Florencia	x	x	x	x	x	x	x	tungstita, petzita, hessita, otros)
Barita	x		x	x			x	capgaronnita/iltisita, yodargirita, querargirita

Nota. Lote Grande, Florencia y Barita son gossans clasificados como inmaduros.

El oro en esta paragénesis en yacimientos maduros está presente como oro nativo libre, extremadamente puro (99 - 97 % Au). Por lo que su recuperación por los métodos empleados de Heap Leaching o CIL no se dificulta (si no hay presencia de cianicidas, arcillas, etc.).

Como caso aparte desde el punto de vista de la recuperación tenemos que considerar al oro relacionado con el desarrollo de la zona de lixiviación superficial de los gossans que cubren los depósitos de sulfuros masivos en los que suele aparecer oro residual junto a goethita y hematites y/o removilizado y re precipitado muy finos.

En cuanto a la plata en las paragénesis de los minerales oxidados raramente se reporta de forma nativa. De ocurrir como soluciones solidas en las limonitas, la cianuración convencional pudiera no lixiviarlas y la recuperación de la plata de los minerales oxidados será baja.

Generalmente la relación Au/Ag en las menas es 1:2 a 1: 6, Aunque se han determinado regiones en las que es característica que la plata alcance una mayor relación (Castellano - Santa Lucia o en un mismo yacimiento por variaciones locales en diferentes zonas minerales de gossans inmaduros (Florencia Zonas Norte y Sur, Lote Grande).

La plata principalmente en forma de clorargirita (AgCl), y menos como AgBr, AgI

El tema de los haluros de Ag en gossan es muy relevante desde el punto de vista genético, tecnológico, y paleoclimático, teniendo en cuenta

su desarrollo en Cuba y República Dominicana, con condiciones geológicas similares como Cerro de Maimón en el que se destacan los haluros de plata y bajas recuperaciones.

Durante las investigaciones metalúrgicas del depósito argentífero de menas oxidadas Loma Hierro mayor gossans con plata de Cuba, Pinar del Rio en 1997, se confirmó por primera vez en las menas la presencia, de minerales del grupo de los haluros de plata (clorargirita y yodargirita) y su predominio en el aporte de la plata y la menor presencia de oro nativo y de sulfuros de plata (argentita/acantita).

La presencia de estos minerales puede tener implicaciones en la metalúrgica para la recuperación de la plata y el oro por los métodos clásicos. La presencia de minerales del grupo de los haluros de plata como yodargirita y otros Ag - haluros, pueden ser fácilmente lixiviados por los cianuros, pero si una parte importante de la plata ocurre como soluciones solidas en las limonitas o en sulfuros secundarios la cianuración convencional pudiera no lixiviarlas y la recuperación de la plata será baja.

Desde el punto de vista tecnológico, en la lixiviación convencional y agitación con cianuro en las soluciones cianuradas los haluros como la clorargirita, bromargirita y la yodargirita compiten con el oro por el cianuro lo que constituye un efecto negativo en cuanto a consumos y posibilidades de disolución del oro. En Loma Hierro se investigó para su recuperación el método hidrometalúrgico Lixiviación en tanques (*Bath leaching*).

En Cuba las investigaciones desarrolladas por (López Kramer *et al.*, 2018), destacan la presencia de minerales del grupo de los haluros en depósitos primarios y en varios gossans clasificados como maduros e inmaduros, resumiendo los resultados de 190 análisis positivos, con yodargirita, o clorargirita, o bromargirita a muestras tomadas de pozos de perforación, trincheras que representan tanto el gossan como la zona de transición menas oxidadas/sulfurosas. La [figura 4](#), muestra los depósitos investigados en los que se identificaron minerales del grupo de los haluros.

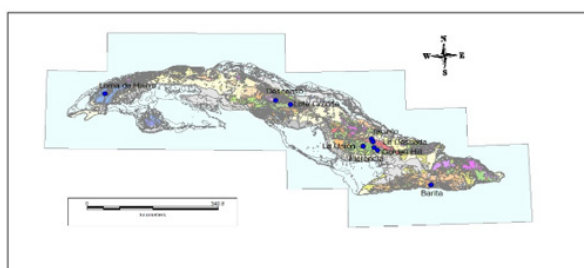


Figura 4. Ubicación de depósitos investigados con presencia de haluros. (Kramer, 1988)

En la [tabla 5](#), se muestran los minerales del grupo de los haluros identificados cualitativamente en los depósitos. Aunque esta determinación cualitativa no permite tener idea del estimado de los minerales para determinar su incidencia en la tecnología o no, es un indicador de su presencia por lo que se precisa continuar investigando.

Los minerales de Au - Ag - Te calaverita, hessita, petzita

Estos minerales del grupo de los teluros son característicos de las menas primarias, rara vez presentes en el gossans, pero su descomposición es fuente de oro y plata.

Para depósitos del Arco Volcánico Cretácico como Florencia, Iron Hill, Loma Jacinto, en los cuales los minerales de Au - Ag - Te, calaverita, hessita, petzita, etc., se han determinado en las menas primarias. En los concentrados del depósito Florencia (Kramer, 1988), determinó un aporte del 11 % del oro a partir de los teluros.

La oxidación de los teluros de oro y plata puede dar origen en la zona supergénica a oro o plata soluble u oro muy fino conteniendo algo de plata.

Características de los contenidos de oro y las fases minerales presentes

En los depósitos de oro el gossan inmaduro se caracteriza por las concentraciones anómalas altas en los contenidos de oro (2 - 6 g/t, Ej. Delita, Lote Grande, Florencia, Barita) y por su poca variación con respecto a las menas primarias o enriquecimiento en el perfil. Los contenidos de azufre en las menas permanecen altos debido a la oxidación parcial. La relación Au/ Ag regularmente es de 1: 3.

Los gossans inmaduros formados a partir de depósitos auríferos de diferentes génesis son en la actualidad los objetivos principales del procesamiento por las tecnologías existentes en Cuba. Se destacan por sus recursos y contenidos anómalos altos de Au con respecto al resto de los gossans, Delita, Lote Grande, Florencia y Barita. En la actualidad se encuentran en explotación Barita, Lote Grande y próximamente se incorpora Florencia. La [tabla 6](#), muestra los valores anómalos en los contenidos de oro para los yacimientos con gossans inmaduros.

En el perfil supergénico de varios depósitos clasificados como maduros (Kramer *et al.*, 2017, 2021), se observa la tendencia al predominio del oro nativo de media - alta pureza y la plata nativa

Tabla 5. Haluros identificados en los principales depósitos

Nombre	Elementos característicos	Bromargirita AgBr	Yodargirita AgI	Clorargirita AgCl
Loma Hierro	Ag, Au, Cu	X	X	X
Golden Hill. Big				
Golden Hill, Little y Three Hills	Cu - Au	X	X	X
Lote Grande	Au			X
Florencia	Au - Ag- Te - Bi	X	X	X
Oro Barita	Au- Cu	X	X	X

Tabla 6. Valores anómalos en los contenidos de oro en los yacimientos auríferos con gossans inmaduros.

Gossan Inmaduros	Au g/t	Observaciones
Delita	4,78	Explorado.
Lote Grande	5,69	lixiviación y adsorción en carbón en tanques agitados
Florencia	3.6	Lixiviación en pilas
Barita	1.43 - 2.67	lixiviación en pilas

como la principal forma mineralógica. Esto debido a la limpieza química natural generada por los ácidos que sufre el oro y la plata y la tendencia al incremento de su tamaño en profundidad. Más raramente se determina electrum, y otros minerales de plata, pero básicamente en los gossans inmaduros.

La diferencia en la composición de los minerales que aportan oro y plata en los perfiles supergénico para los gossans clasificados como inmaduros de Cuba se establece ya que en estos no solamente aparecen oro y plata nativa, sino que se han determinado con regularidad otras formas mineralógicas contenedoras de oro y plata, como el electrum y mezclas de oro - plata - cobre - mercurio, haluros y teluros. También son significativas las variaciones en la pureza del oro que en ocasiones aparece como oro nativo de alta - baja - media pureza en forma de oro libre. Con respecto a las asociaciones minerales del oro con frecuencia está dentro de la arsenopirita (en un rango de hasta 3150 ppb según [Concepción Pedro et al., 2019](#), con lollingita, pirita, y presumiblemente como oro invisible en todas las menas piríticas, aunque en muy bajas proporciones (< 500 ppb en pirita).

Investigaciones geológicas y evaluación de los gossan

Sin pretender elaborar una guía de exploraciones llama la atención a aspectos de las investigaciones geológicas y tecnológicas de los gossans.

La investigación de los gossan para descubrir mineralizaciones de sulfuros en zonas superficiales es una técnica que, por su relación coste - resultados, se emplea en prospección. Una primera aproximación ha de ser mediante un muestreo, que debe ser amplio debido a la gran variedad mineralógica y química que se puede dar en los gossan, y una cartografía detallada de

la zona, con especial atención a las características de relieve, erosión, estructuras, tamaño y continuidad de las zonas oxidadas, así como la presencia de minerales secundarios, carbonatos, sulfatos, además de goethita y hematites.

Uno de los factores que más ha influido en la no confirmación de reservas es el muestreo. Esto motivado por errores metodológicos: En los casos de utilizarse el muestreo por surcos, su ubicación por el rumbo de la veta, y los diferentes pesos de muestra, (peso adecuado de las muestras, pero en algunas de las partes se profundiza mucho, quizás debido a la presencia de rocas más blandas). Las zonas minerales tienen una gran disparidad en su dureza, y siempre existirá la tendencia a tomar más de las partes blandas, siendo imposible decir si eso se revierte en resultados demasiado altos o bajos.

Las características mineralógicas, texturales y geoquímicas de los gossan dependen del pH del medio, cuanto mayor es la acidez del medio, la preservación de texturas réplicas es más difícil y la lixiviación es mayor.

La geoquímica multielemental, que permita la correlación entre los distintos elementos presentes y la manipulación estadística, es bastante fiable, no solo para discriminar entre gossan y otros ironstone, sino también en bastantes ocasiones para conocer el tipo de mineralización primaria de la que provienen.

Durante la Prospección - Exploración la atención de los geólogos comúnmente se concentra en determinar los contenidos de oro y plata, sin prestar mucha atención a la presencia de los sulfuros primarios.

En la tecnología existen un grupo de factores en los gossans con un perfil de meteorización inmaduro que, aunque con altos contenidos de oro influyen negativamente en su recuperación estos son:

- La influencia de los minerales arcillosos. Sus incrementos ocasionan en las pilas durante la irrigación la baja permeabilidad de las soluciones en sectores de estas, encharcamiento y la creación de canales preferenciales evitando el contacto - disolución de los minerales.
- Los elementos cianicidas en sectores de los mismos, o su incremento en profundidad por la baja oxidación de las menas y el incremento de las menas sulfurosas. Los sulfuros, en dependencia de su solubilidad en cianuro, así como de los iones que aportan, son consumidores de cianuro, oxígeno y pueden generar películas delgadas en la superficie de los granos de oro restándoles solubilidad.

Ejemplos de esta situación los tenemos en los depósitos Florencia, Barita, Golden Hill, y Lote Grande, con un perfil de meteorización inmaduro. Particularmente esta situación negativa se destaca para las menas que son procesadas por la tecnología Heap leaching - Meryll Crowe y menos en las procesadas por CIL. Justamente la tecnología CIL está diseñada para eliminar el efecto pregg - robing causado por la presencia de arcillas en las menas y los consumos de cianuro y agitación se tienen en cuenta para garantizar la extracción económica de Au y Ag. En el caso de Heap leaching es más difícil el control, pero se realiza la peletización para evitar el efecto de canalización de las arcillas en el lote. Es decir, que los factores afectan negativamente, pero en el diseño de la planta se toman medidas mitigantes y durante la operación debe tenerse un estricto control tecnológico.

La interrelación entre la investigación geológica que concluyó y entregó el yacimiento y el trabajo del geólogo de minas junto al ingeniero de minas tiene que ser consecuente y continuo. La operación minera, así como la operación de mina - planta influye en los resultados. Se resalta como necesario el trabajo que debe hacer el geólogo de minas, para garantizar la organización y composición de tipos de minerales en el mineral a alimentar a la planta de procesamiento de los mismos.

Influencia de la mineralogía en las plantas

La recuperación total del oro en las plantas que actualmente operan, varía según los yacimientos, inclusive entre los diferentes cuerpos minerales.

En Oro Barita y Jobabo clasificados como gossans inmaduros la recuperación total históricamente ha variado entre el 30 % y raramente 50 %, ambos utilizan lotes con altura de 4 metros.

Según comunicación personal de Marcelo Arce, en Oro Mantua y en Oro Castellano, clasificados como gossans maduros, con lotes con altura de 4 metros, a pesar de contar con toda la logística, asesoría, reactivo, etc., solamente se logró un estimado del 50 - 52 % en la recuperación total. Esto motivado fundamentalmente a las características arcillosas de las menas. En Oro Castellano clasificado como gossans Maduro, con dificultades en la logística, piezas de repuesto, etc., se logró 50 % de recuperación total.

El mineral del yacimiento Santa Lucia clasificado como gossans Maduro se procesó en la planta Oro Castellano utilizando la misma infraestructura y tecnología, una vez concluida la operación con las menas de Castellano y del reciclaje de sus lotes agotados, pero con la diferencia en la altura de los lotes ya que en Castellano fue de 4 metros y en Santa Lucia 2 m. Al ser los lotes para Santa Lucia de menor altura se lograba una cinética más rápida que pudo influir en la precipitación de la plata a partir de otros minerales identificados en sus menas contenedores de plata y pobres en oro. El procesamiento de las menas de Santa Lucia catalogado como eficiente se obtuvo un doré con algo de oro, pero rico en plata.

CONCLUSIONES

1. En los yacimientos en explotación clasificados como inmaduros no solamente aparecen oro y plata nativa, sino que se han determinado con regularidad otras formas mineralógicas contenedoras de estos metales. Aunque la principal fuente de mineral valioso es el oro nativo de alta pureza y la plata nativa pudieran ser de interés otros minerales de oro y plata, entre los que se destacan el electrum, los teluros y los haluros.

2. La clasificación de los gossans en maduros o inmaduros pudieran facilitar la dirección inicial del estudio tecnológico que siempre tiene que estar basada en las características química y principalmente mineralógicas del depósito en estudio (contenido de oro, minerales portadores de oro en los cuales hay una fuerte influencia de la solubilidad y la cinética de disolución de los mismos en cianuro, asociaciones entre minerales de oro y entre éstos y las impurezas, tamaño de partículas de oro y de las impurezas su distribución y contenidos de las mismas (arcillas, cianicidas, entre otros).
3. Los gossans con oro y plata, aunque parecidos, no son iguales. Las características similares y sus diferencias se establecen a partir de su génesis, del desarrollo de los procesos supergénicos de cada tipo de depósito en cada ambiente geotectónico. Siendo sus propias características las que definirán las alternativas tecnológicas para el mejor diseño de procesamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera Díaz, Ileana, Toledo Sánchez, Carlos A. & Díaz Marrero, Mario. 2017. *Informe preliminar. Estudio mineralógico de 25 muestras litológicas de la zona de explotación del yacimiento oro Barita*. Informe de Investigación. La Habana: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM)
- Cabrera Díaz Ileana, Toledo Sánchez Carlos A., Díaz Marrero, Mario, Falcón, Aida & Roxana Trueba. 2017. *Investigación mineralógica de muestras seleccionadas del sector Big Golden Hill perteneciente al yacimiento Oro Golden Hill que componen la muestra tecnológica MT- BGH -1*. La Habana: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM)
- Concepción Pedro et al., 2019. *Informe Exploración Oro Lote Grande*. Archivo del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) Servicio Geológico de Cuba
- Eymil Romero E., Donet Carrillo P., Rodríguez Elías F., García Victoria, K. & Sánchez Figueredo R., 2019. Informe Final de la exploración complementaria de las menas oxidadas del yacimiento Oro Florencia
- Figueredo Frías M., Cabrera Díaz, I. & Toledo Sánchez, CA. 2018. Informe Estudio de agentes modificadores en el proceso de cianuración para el procesamiento de minerales aurocupríferos
- Figueredo Frías M. & otros. 2019. Informe: Investigación tecnológica de las menas del yacimiento Big Golden Hill y menas oxidadas de oro Florencia. Informe de Investigación. La Habana: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM)
- López - Kramer J. M., Pérez Mayo, H. & Rodríguez Romero M. 2019. "El Programa Nacional de Desarrollo de la Geología. 2013 - 2019. Principales resultados para oro". Geoinformativa, Vol. 12(No. 2): 32, ISSN: 2222-6621
- López - Kramer. M. J., Toledo Sánchez, Carlos A. & Echevarría Hernández T. B. 2019. Los haluros de plata en los gossans del archipiélago cubano. Consideración sobre sus fuentes, metalúrgica y climática. Fórum de Ciencia y Técnica. Instituto de Geología y Paleontología. La Habana, Cuba
- López- Kramer J. M. 1988. Composición sustancial y asociaciones mineralógicas de los yacimientos auríferos hidrotermales de Cuba. Tesis para la obtención del grado científico de Dr. C. Geólogo - Mineralógicas. En ruso. Instituto de Geología de los yacimientos minerales, mineralogía petrografía y geoquímica. IGEM. ACC URSS
- López Kramer J. M., 2019. "Clasificación de los Gossans con oro y plata del archipiélago cubano", *Fórum de Ciencia y Técnica 2019*, La Habana: Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba
- López Kramer J. M., Pimentel Olivera H, Blanco Arce M, Cruz Pacheco, M., Peñalver L. & Gallardo Eupierre E. 2021. Monografía. Los Gossans con oro y plata del archipiélago cubano." Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba. La Habana. Archivo IGP, en edición
- López Kramer J. M., Rodríguez Romero M., Alonso, José A., Capote Marrero Carbeny &

- González Castellano. 2017. "Proyección estratégica de las investigaciones geológicas para oro en el archipiélago cubano", Informe Final, La Habana: Archivo IGP. Servicio Geológico de Cuba
- López Kramer J. M., Rodríguez Romero M., Arce Blanco M., Blanes Arce J. A. & Eupierre Gallardo E. 2018. Los gossans con oro y plata del archipiélago cubano. Parecidos, pero no iguales. IV Congreso Internacional de Minería y Metalurgia MINEMERAL2018, Memorias: Varadero, Cuba
- Pimentel H. O. 2017. Informe Final Exploración Complementaria BGH. Archivo IGP
- Pimentel, H. O., Rodríguez F. E. & Sánchez. R. F. 2018. Informe Final de la Exploración Detallada de las menas oxidadas de Big Golden Hill. Empresa Geominera Camagüey, Inédito, Archivo IGP, Cuba
- Smirnov V.I, 1982. Geología de los yacimientos minerales. Editorial MIR. Moscú

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)