

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA INTEGRAL DE POZOS DE UNA VETA PERTENECIENTE A UN DEPÓSITO AURÍFERO DE LA PROVINCIA DE CAMAGÜEY



<http://open.to/a/skCso>

MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF WELLS FROM AN AURIFEROUS DEPOSIT OF CAMAGÜEY PROVINCE

Greter González¹, Enrique C. Piñero Pérez², Carlos A. Toledo Sánchez¹, Ileana Cabrera Díaz¹, Marcela Figueredo Frías¹, Roxana Trueba Gaetano¹, Mario Díaz Marrero¹

RESUMEN: En el trabajo realizado en la segunda etapa de caracterización mineralógica de una veta aurífera, se contemplan resultados de varias salidas al campo, donde fueron seleccionadas diferentes muestras, las cuales son representativas para sus respectivos pozos de perforación, resumiéndolos en un total de 37 pozos con 86 muestras, aportándose información de interés dada su ubicación espacial. En el informe del trabajo se resumen, para su posterior comparación, datos mineralógicos de las muestras tales como su color, textura, consistencia, elementos y minerales formadores y accesorios, así como el grado de pureza que presenta el oro, sus dimensiones y otras características con impacto tecnológico. Esta información fue aportada tanto a partir del trabajo de terreno como por el uso de técnicas de Microscopía Óptica y Electrónica y diferentes análisis químicos. Se persigue como objetivo final establecer las características de clasificación para una mejor comprensión del cuerpo mineral y su potencial comportamiento en un proceso tecnológico, atendiendo la forma en que el oro se manifiesta y los minerales asociados a él.

Palabras clave: Caracterización Mineralógica, Microscopio Electrónico de Barrido, menas auríferas.

ABSTRACT: In the second stage of the mineralogical characterization of an auriferous vein, there were obtained results from several labor area visited, where different selected candidates were sampled, which are representatives from respective perforation wells, it can be summarized in a total of 37 wells with 86 samples. It was possible to get interesting information from the different places. In this report are compiled, for their later comparison, samples characteristic like color, texture, consistency, chemical composition and forming and accessory minerals, as well as gold purity, size and other characteristics with technological impact. This information was obtained from simple observation and by the use of light and electron microscopy as well as different analytical techniques. It was possible to get a better understanding of the mineral body and its potential behavior in a technological process. Attention was approached to the way in which gold particles appear and its mineral associations

Key Words: Mineralogical characterization, Scanning Electron Microscope, auriferous ores.

Recibido: 23/04/2018

Aprobado en su forma original: 09/09/2018

¹Centro Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, CIPIMM, Carretera Varona No.12028, km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba, CP 10800, isora@cipimm.minem.cu

²Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este, Km 5 ½ Camagüey, Cuba.

INTRODUCCIÓN

El Sistema Vetítico Oro Jacinto como es conocido lo forman 10 vetas, las principales son: Vetas Beatriz, El Limón Nuevo y Sur de Elena; se encuentra ubicado al SE de la Loma Jacinto, en la Provincia de Camagüey. Las investigaciones geológicas anteriormente realizadas tuvieron un carácter regional y sólo en casos aislados tuvieron como objetivo la búsqueda de yacimientos metálicos. Donde se fijó atención en la zona de la Loma Jacinto como posible contenedora de mineralización metálica, teniendo en cuenta la presencia de amplias zonas de rocas alteradas caracterizadas entonces como “cuarcitas secundarias”. Las vetas Beatriz, El Limón Nuevo y Sur de Elena se encuentran desarrolladas dentro de la sección del Arco de Islas del Cretácico superior, que ocupa más del 70% del área, representada por lava brecha andesito - dacítica, psamítica - aglomerática hasta de bloques, color verde - grisáceo, escasas lavas andesito - dacíticas, tobas de granulometría media - fina que aparecen como capas de pequeños espesores; en general se encuentran más o menos propilitizadas y tectonizadas, llegando a marcar brechas de color verde, sin mineralización que llegan a alcanzar un amplio desarrollo. Las rocas intrusivas han afectado toda la secuencia, caracterizadas por granodioritas, granitos biotíticos - hornbléndicos y diques de diorita que se aprecian en la porción S - SE del Sector, con un escaso desarrollo. Las alteraciones hidrotermales han afectado las rocas originando zonas de alteración argilítica y propilíticas a las cuales pueden asociarse los sistemas de vetas epitermales de metales preciosos como en el caso de las Vetas Beatriz, Sur de Elena, El Limón, etc. Los principales índices y criterios de la mineralización han sido los afloramientos de la mineralización y las zonas de alteración.

El trabajo realizado hasta el momento corresponde a la segunda etapa de caracterización mineralógica del Proyecto “Oro Jacinto”, específicamente la veta Sur de Elena, donde profundizar en el estudio mineralógico es el objetivo fundamental, se realiza un inventario de las fases presentes para su comparación, abarcando información mineralógica de las muestras, minerales formadores y accesorios, el

grado de pureza que presenta el oro, y sus dimensiones. Para esto fue necesario la aplicación de los estudios de Microscopía Electrónica de Barrido, más señalamientos y criterios característicos de los especialistas con la finalidad de englobar similitudes o diferencias que las clasifiquen de una mejor manera y obtener una distribución idónea del cuerpo mineral, en la profundidad en que se encuentra y aparte del oro para un mejor aprovechamiento del depósito, definir la toma de decisiones respecto a una tecnología rentable para la instalación de una planta con una vida útil prolongada asunto de gran importancia para la Economía Nacional el incremento de recursos y reservas de oro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación y Descripción de las muestras

Las muestras se recibieron en el CIPIMM (86 total), para dar comienzo a las investigaciones geológicas de la segunda etapa de estudio de la veta Sur de Elena, en este caso pertenecientes a las perforaciones de los pozos realizados hasta el momento. De esta cantidad recibida por sus características tanto físicas como químicas se seleccionaron 24 muestras, algunas de las cuales preliminarmente se les realizaron diferentes ensayos entre ellos Análisis Térmico Diferencial (ATD) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

Equipo de Análisis Térmico Diferencial

Los termogramas simultáneos CDB-TG-DITG, se obtuvieron en un equipo *NETZSCH*, modelo *STA 449 F3*. Los termogramas simultáneos de Análisis Térmico Diferencial (DTA) y Termogravimetría (TG), se obtuvieron en un equipo de la firma alemana *NETZSCH*, modelo *STA 449 F3*, empleando para ello los siguientes parámetros de operación:

Los datos de las curvas Análisis Térmico Diferencial (DTA) y termogravimétricas (TG), se convirtieron en termogramas continuos con el empleo del programa “*Proteus*” para el procesamiento de datos de Análisis Térmico, en su versión 5.2.1/07.04.2001, el cual suministra el fabricante del equipo, compatible a su vez con Windows para Office, obteniéndose además por esta misma vía los termogramas DITG de la primera velocidad de cambio de masa (dm/dt).

Los resultados de por cientos de pérdidas de masa así como los termogramas que se logran, se muestran en los correspondientes anexos gráficos. El error del análisis cuantitativo TG que se reporta es del $\pm 2.00 \%$.

Microscopía Electrónica de Barrido con Analizador de Rayos X

Las imágenes y espectros realizados se obtuvieron mediante el empleo de un microscopio marca TESCAN, modelo 5130 SB y un analizador de rayos X de la marca OXFORD INSTRUMENTS modelo INCA 350, se trabajó bajo las condiciones siguientes:

Las imágenes de microscopía electrónica se procesaron mediante el software VEGA TC versión 1 y los microanálisis de rayos X mediante el software INCA ENERGY. Para las identificaciones de fases minerales se utilizó la información acumulada durante años con el uso de estas técnicas sobre la base de minerales conocidos, la suministrada por las listas de minerales de la IMA y la información de la base de datos internacional RRUFF, de acceso libre en INTERNET.

Preparación y Descripción de las muestras

Se comenzó con una descripción macroscópica y los materiales recibieron diferentes grados de preparación fundamentalmente: molienda (bajo 1mm), homogenización-cuarteo y la separación de 25 gramos (de 10 muestras de las 24) para la realización de análisis de medios densos acción que facilita investigar por otros métodos como es Microscopia Electronica de Barrido.

Equipo de Análisis Térmico Diferencial

Mediante la aplicación de las técnicas TG y DITG se obtuvieron los termogramas de 3 Muestras procedentes del yacimiento Sur de Elena. (Ver [Figuras 1, 2 y 3.](#))

En los termogramas analizados se identifican fases como Goethita ([Fig. 2.](#)) con un efecto endotérmico a los 258°C de temperatura, figura también la arcilla Montmorillonita con contenidos de 16% en la M-9 y 6% en las M-17 y M-25 ([Fig. 1, 2 y 3](#)), en las 3 muestras se evidencia la presencia de la fase Clorita en un 4%, 3% y 1% respectivamente, además en la M-17 se determinó un 38% en contenido de la fase Illita y en las muestras M-9 y M-25 se

Régimen de calentamiento	Dinámico
Masa de muestras	Se consignan en los termogramas
Masa del material de referencia	60.20 mg (Al_2O_3)
Tipo de crisoles	Al_2O_3 (tamaño estándar)
Material del horno	SiC (T.amb. - 1500°C)
Gas utilizado en la cámara de calentamiento	Aire
Flujo del gas protector de la termobalanza	20.0 ml/min (Ar)
Velocidad de calentamiento	10.0 K /min
Sensibilidad de la termobalanza	0.001 mg - 35.0 g
Sensibilidad de las curvas DSC y TG	-0.001 - 5000 $\mu\text{V/mg}$
Tiempo total de medición	1h 37 min y 10 seg
Rango de temperatura de trabajo	24-1000°C

El microscopio	
Detectores	De electrones secundarios y retro-dispersados
Voltaje de aceleración	20 Kv
Distancia de trabajo	23 mm
Corriente del haz	En posición 8
Inclinación de platina	0 grados
El microanálisis	
Tiempo de procesamiento	PT 5
Tiempo de adquisición	60 s (tiempo vivo)
Área barrida	Rectangular, inscrita

identificó sobre los 823°C y 795°C la fase calcita con contenidos de 21% y 16% respectivamente de la fase en las muestras.

A continuación en la [Tabla 2](#) se reportan los resultados del análisis Termogravimétrico, según curva TG. Para cada Termograma, se determinó cuantitativamente el contenido en % a partir de pérdida de masa correspondientes a las fases identificadas.

Termogramas

En el termograma se evidencia entre 100°C y 200°C picos endotérmicos característicos de la deshidratación (por la pérdida de humedad) y del agua libre de intercapas de la fase arcillosa montmorillonita, de la que ocurre posteriormente sobre los 544°C la deshidroxilación endoeffecto característico de la formación de la fase amorfa meta-montmorillonita.

Tabla 1. Resultados obtenidos por medios densos de las muestras.

Pozos	Números de Muestras	Fracción Pesada(gramos)	Fracción Ligera(gramos)
ESE - 8	20	0.18	24.82
ESE - 17	7	1.39	23.61
	8	1.60	23.4
	9	0.51	24.49
ESE - 69	25	0.34	24.66
	26	0.47	24.53
	27	0.35	24.65
ESE - 70	11	0.01	24.99
	14	0.12	24.88
ESE - 71	17	0.06	24.94

Tabla 2. Resultados del análisis Termogravimétrico de las muestras del yacimiento Sur de Elena

Pozos	Muestras	Goethita (%)	Montmorillonita (%)	Clorita (%)	Illita (%)	Calcita (%)
ESE-17 (cabeza)	9	-	16	4	-	21
ESE-71 (cabeza)	17	1	6	3	38	-
ESE-69 (cabeza)	25	-	6	1	-	16

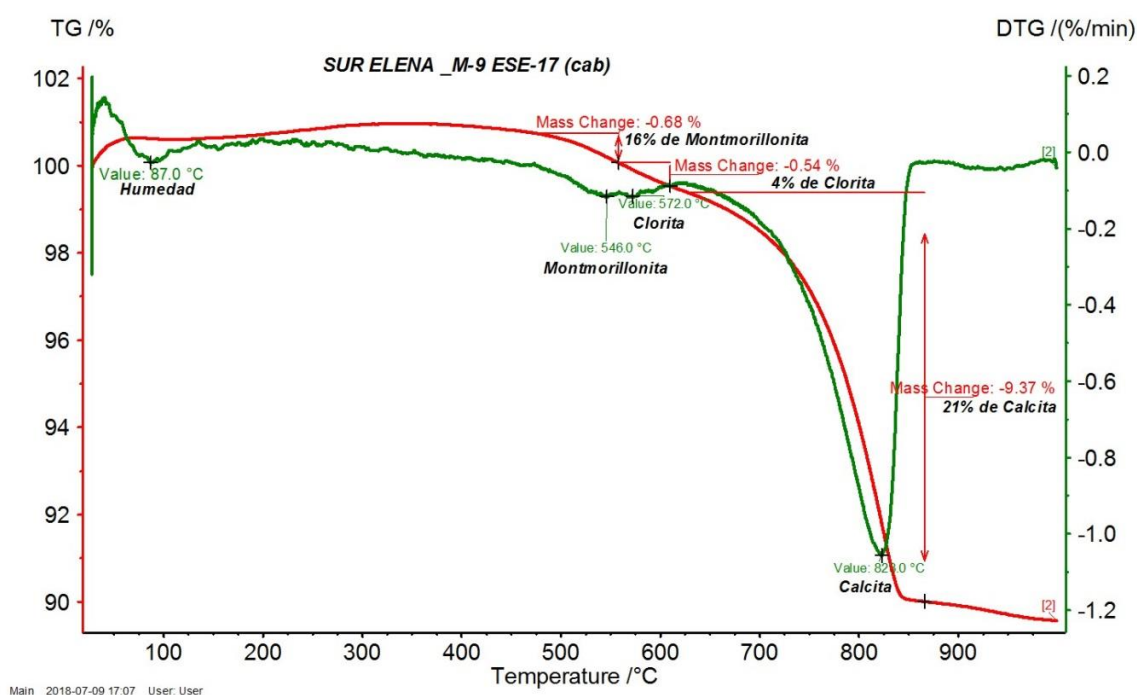


Figura 1. Termograma TG - D1TG de Yacimiento Sur de Elena (M-9).

Microscopía Electrónica de Barrido con Analizador de Rayos X

Con vistas a determinar la composición química general de las 10 muestras que se investigan, porciones de las mismas se sometieron a un análisis de espectrometría de rayos X mediante el microscopio electrónico. Los resultados obtenidos se observan en la tabla siguiente:

Continuando la investigación, se realizaron concentrados en líquidos densos a las 10

muestras antes referidas, con vistas a determinar tanto su composición general como mineralógica. La composición general de los concentrados se muestra en la tabla siguiente:

Como se infiere de las dos tablas anteriores, las muestras M 7, M 8, M 25, M 26 y M 27 presentan altos contenidos de sulfuros, detectándose el elemento sulfuro incluso en las muestras analizadas de forma directa (Tabla III), lo que se incrementa significativamente en los concentrados (Tabla IV). Los minerales de calcio predominan en las muestras M 9, M 20, M 25 y

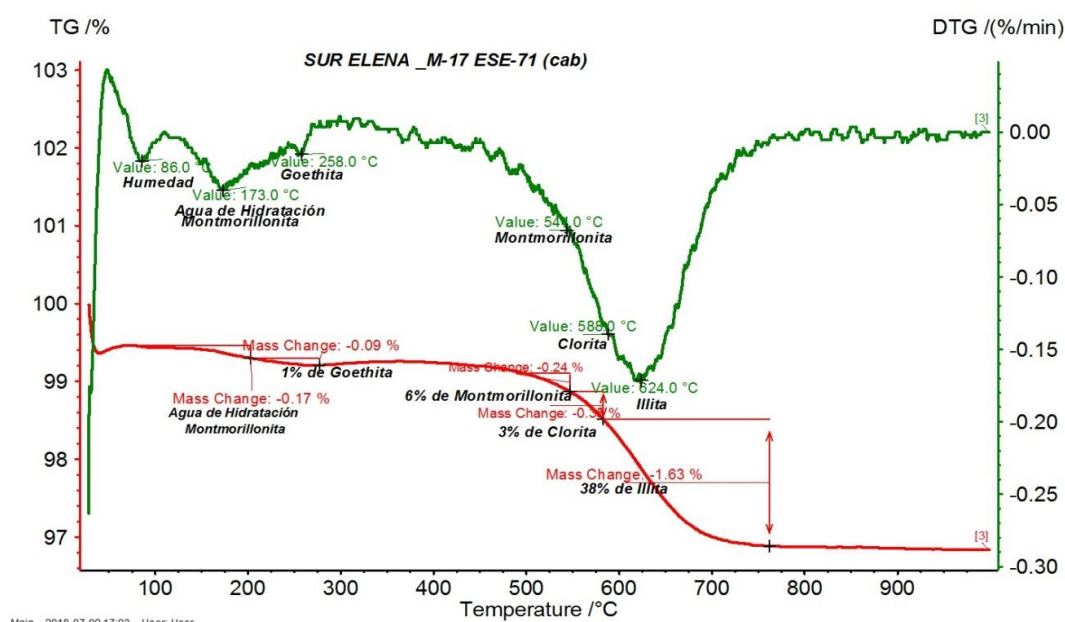


Figura 2. Termograma TG - D1TG de Yacimiento Sur de Elena (M-17).

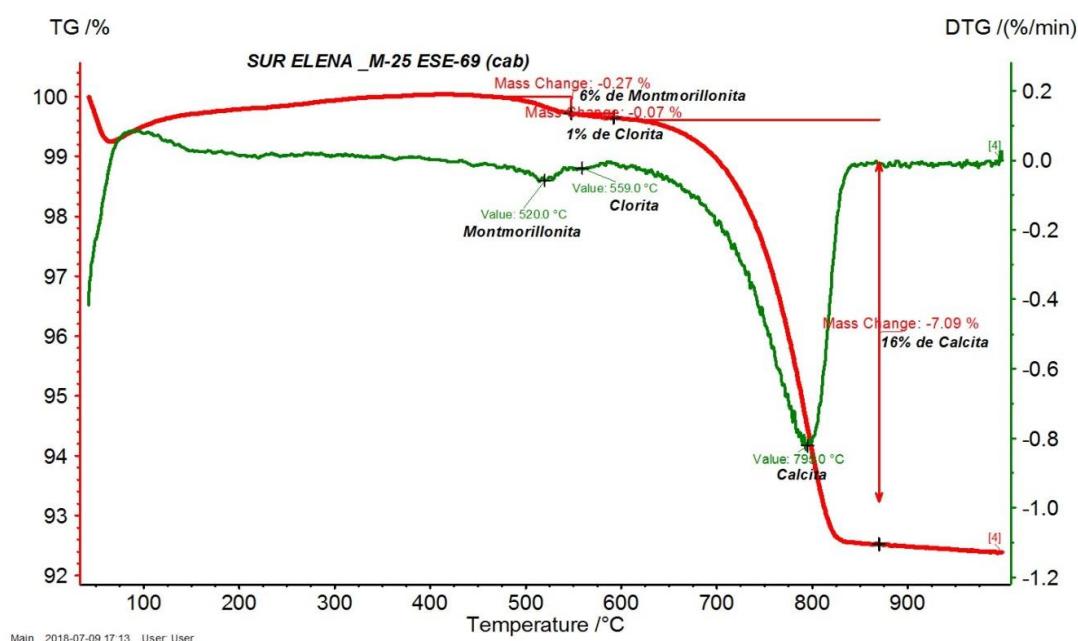


Figura 3. Termograma TG - D1TG de Yacimiento Sur de Elena (M-25).

Tabla 3. Composición Química General de las 10 muestras que se investigan.

No.	Muestras	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
1	M 7		53.27		0.18	8.53	30.11	1.04	4.37	0.76	0.42	1.31
2	M 8		53.53	0.11	0.24	9.28	28.37	0.97	4.32	1.91	0.27	1.01
3	M 9		52.36	0.65	0.97	9.32	21.33		1.72	9.96	0.26	3.44
4	M 11	2.09	52.53	1.18	1.11	7.85	25.93		4.63	1.02	0.21	3.44
5	M 14	2.85	52.06		0.25	9.17	30.04		4.42			1.2
6	M17		55.58	0.14	0.13	13.83	26.97		6.43		0.24	1.65
7	M 20	1.55	56.5	0.44	0.43	3.13	19.3		1.99	14.68	0.26	1.71
8	M 25	3.2	55.45	0.02	0.41	2.81	26.24	0.17	0.64	9.94	0	1.14
9	M 26		55.11	0.08	0.58	2.71	33.04	0.4	0.46	5.94	0.11	1.58
10	M 27		54.22	0.08	0.71	5.61	31.72	0.58	2.08	3.13	0.11	1.76

Tabla 4. Composición Química General de los concentrados de las 10 muestras.

No.	Muestras	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
1	M 7	27.35	26.96			2.28	5.82	18.4	0.9	0.66		17.63
2	M 8	0.43	40.97			7.1	14.95	16.93	2.84	1.33		15.45
3	M 9	24.93	46.51	0.48	0.86	4.91	10.8		0.68	7.2	0.66	2.97
4	M 11	30.98	41.7	0.38	0.7	3.58	8.06		0.88	1.17	2.1	10.14
5	M 14	15.54	50.13			6.69	23.21		2.72			1.71
6	M17	36.11	40.64		0.21	4.77	8.88		2.22		2.5	4.16
7	M 20	26.3	42.42	0.5	0.8	5.02	11.43	0.84	1.17	4.84	0.34	6.34
8	M 25	14.48	34.67			2.79	10.33	15.83	0.58	3.98		16.97
9	M 26	34.57	31.75			2.06	7.8	10.48	0.29	1.53		11.01
10	M 27	38.08	32.32			2.01	8.15	8.44	0.77	0.7		9.21

Tabla 5. Principales Minerales detectados en los 10 concentrados de las muestras.

No.	Mineral	7	8	9	11	14	17	20	25	26	27
1	baritina			x	x		x	x	x	x	
2	calcopirita			x				x			
3	circón				x		x				
4	cobre			x		x					
5	cuarzo	x			x	x					
6	feldespatofk	x	x	x	x	x	x	x			x
7	fluorapatito			x				x			
8	galena	x		x		x		x	x	x	x
9	hessita		x								
10	óxido de Fe			x	x	x	x	x	x	x	
11	óxido de Pb			x	x	x	x	x			
12	plata				x		x				
13	pirita	x	x	x		x			x	x	x
14	pirrotina	x	x	x				x			
15	querargirita		x								
16	rutilo						x	x			

M 26, lo cual se refleja tanto en los análisis de material directo como en los concentrados. De igual forma se observa, sobre todo en los concentrados, que los niveles más altos de azufre coinciden por lo general con los niveles más bajos de oxígeno, lo que guarda relación con el grado de oxidación de las muestras. Es necesario resaltar que las lecturas del elemento carbono, particularmente para los concentrados, resultaron alteradas por el porta muestras.

Con vistas a determinar la composición mineralógica predominante en los concentrados, se realizaron análisis puntuales. Los resultados obtenidos se observan en la tabla siguiente, los números en los encabezados de las columnas corresponden al número de cada muestra.

Las Figuras que se presentan a continuación ilustran la presencia de algunos de los minerales descritos, los cuales fueron observados directamente en porciones de rocas antes de ser procesadas.

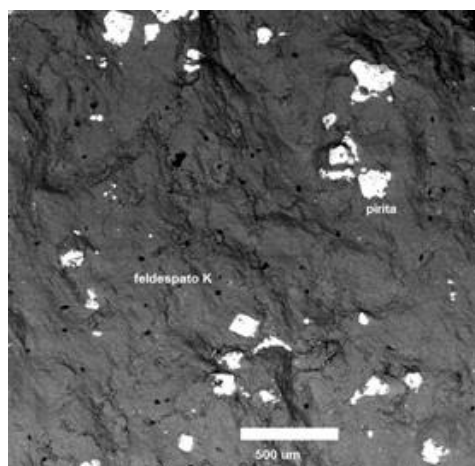


Figura 4. Se observa la presencia de feldespato de potasio y pirita en una porción de la muestra M 8.

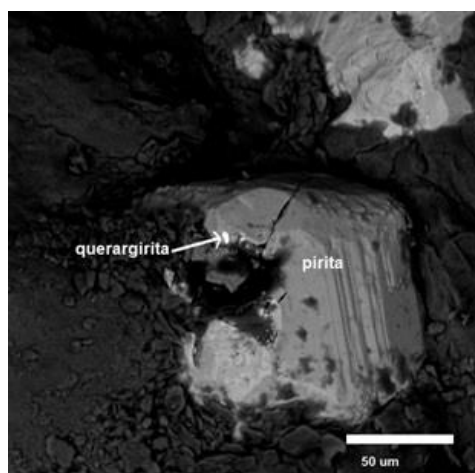


Figura 5. Presencia de partícula de querargirita sobre pirita en la muestra M 8.

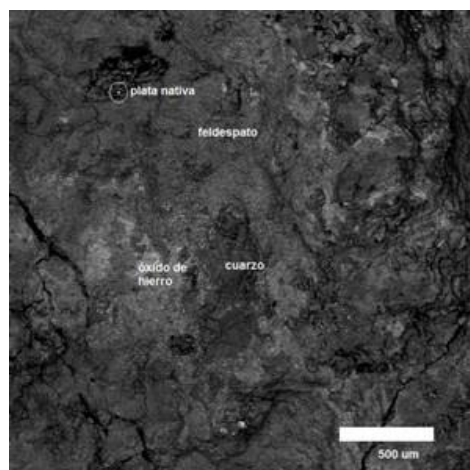


Figura 6. Presencia de plata nativa, feldespato de potasio, cuarzo y óxido de hierro en la muestra M 11.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis se llega a las siguientes.

CONCLUSIONES

1. Por los resultados arrojados en los termogramas del Equipo de Análisis Térmico Diferencial es notable un aumento de los contenidos de calcita y arcilla, en comparación con las otras vetas próximas.
2. De los análisis realizados a los concentrados, los principales resultados de interés fueron que se detectó la hessita (teluro de plata), el circón, la bastnasita (tierra rara) y plata con algo de cobre.
3. Los principales minerales formadores observados fueron el feldespato de potasio, el cuarzo, el fluorapatito y una pequeña cantidad de rutilo, así como montmorillonita, illita y calcita en algunas de las muestras.
4. Los principales minerales accesorios fueron la galena, la pirita y la baritina. También se detectaron, pero en poca cantidad, la calcopirita, los óxidos de hierro y la pirrotina.
5. En las primeras muestras analizadas el oro no ha sido detectado, por lo que es necesario dar continuidad a los estudios con vistas a confirmar posibles diferencias de concentración de este elemento, en las zonas más profundas, respecto a las superficiales donde su presencia está confirmada.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams M.D., B.A. Wills, 2005. *Advances in Gold Ore Processing. Developments in Mineral Processing 15*. Series Editor, Elsevier B.V.
- Betejtin, A. 1970. *Curso de mineralogía*. 2. Ed. MIR, Moscú: 500 (en español).
- Cabrera I. et al. 2017. S.C.T. Informe de la Caracterización Mineralógica al depósito Big Golden Hill. CIPIMM La Habana 7 pp.
- Cabrera I. et al. 2018. S.C.T. Informe de la Caracterización de 2 muestras de Three Hill y 1 de Little Hill. CIPIMM La Habana 7p.
- Celep O., V. Serbest, 2015, Characterization of an iron oxy/hydroxide (gossan type) bearing refractory gold and silver ore by diagnostic leaching. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, Vol. 25; 1286-1297p.
- CNMNC, International Mineralogical Association, September 2016, The New IMA List of Minerals, <http://www.ima.com>.
- Coetzee L.L.; S.J. Theron; G.J. Martin; J.D. Van Der Merwe and T.A. Stanek. 2011, *Modern Gold Deportment and its Application to Industry*. SGS Mineral Services, Technical Paper 2011-04, 12.
- Pinto Chaves A., M. Veiga. 2006, *Studying Gold Ores: Mineralogy, Cyanidation, Toxicity and Environmental Issues*. Universidad de Sao Paulo, Escola Politécnica, Dept. Engenharia de Minas, PMI 5003
- SGS, 2014. *Cyanidation Technologies*. Mining Cyanidation Technologies. <http://www.sgs.co.tz/en/mining/metallurgy-and-process-design/cyanidation-technologies>.
- Sistema de Clasificación de las rocas cubanas. Grupo de autores. Instituto de Geología y Paleontología.
- Van der Berg R., 2000. *Inhibition of the Pregrobbing Phenomenon in Gold Ores*. Department of Chemical Engineering of the Cape Technikon. Ed. F.W. Petersen.
- Zhou J.Y., L.J. Cabri. 2004, Cabri Consulting Inc., SGS Minerals Services, Technical Paper 2004-14, 1-5.

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/)