

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE YACIMIENTOS AURÍFEROS RUDIMENTARIAMENTE EXTRAIDOS CON MERCURIO EN ANTIOQUIA, COLOMBIA / MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF RUDIMENTARIAMENTE EXTRACTED AURIFIED YIELDS (GOLDFIELDS) WITH MERCURY IN ANTIOQUIA, COLOMBIA

Luver Echeverry V^a, Eugenia Araneda^b & Néstor Rojas R^a

^a Instituto de minerales CIMEX, Universidad Nacional de Colombia.

^b Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción.

E-mail: ljecheverryv@unal.edu.co

RESUMEN

El beneficio de yacimientos auríferos por métodos artesanales con mercurio plantea uno de los más difíciles retos ambientales y de salud pública tanto a nivel mundial como en nuestro país, Colombia ya que se estiman emisiones entre 50 y 100 toneladas de mercurio por año directamente asociadas a la minería artesanal de oro. En este trabajo se presenta la caracterización química y mineralógica de tres yacimientos auríferos ubicados en nordeste del departamento de Antioquia que actualmente son beneficiados artesanalmente con mercurio. El porcentaje de fases calculado de acuerdo al análisis por QEMSCAN® indica que las muestras provenientes de los yacimientos auríferos se encuentran formadas principalmente por cuarzo, feldespato y moscovita con otras fases menores también presentes. El oro presente en las muestras se caracterizó mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FE-SEM), se determinó que el oro se encuentra principalmente como nódulos nanoscópicos esparcidos en la pirita y la moscovita. Otra cantidad de oro se encuentra como electrum en partículas de varios micrones de tamaño, también se estableció que en las tres muestras se encuentra oro en la anatasa. Esta información es fundamental para proponer estudios de concentración gravimétrica y química además de métodos de lixiviación que permitan la extracción del oro sin la utilización de mercurio.

Palabras claves: contaminación con mercurio, minería artesanal, oro, Antioquia, Colombia.

ABSTRACT

The benefit of goldfields by artisanal methods with mercury poses one of the most difficult environmental challenges and public health in the northeast of Antioquia-Colombia, because emissions between 50 and 100 tons of mercury are estimated per year associated with artisanal gold mining. In this paper the chemical and mineralogical characterization of three goldfields in northeastern Antioquia presents, these deposits are currently benefited with mercury. The percentage of phases calculated according to analysis by QEMSCAN® indicates that the samples from the gold deposits are formed mainly by quartz, k-feldspar and muscovite with other minor phases also present. The gold present in these samples is determined using a field emission scanning electron microscope (FE-SEM) with Mineralogic Mining, it was determined that gold is mainly as nanoscopic nodules scattered in pyrite and muscovite, besides gold is also found as electrum in particles of several microns in size, also it provides that in the three samples gold is in anatase. This basic information will propose studies of gravimetric and chemical concentration besides leaching methods that allow the extraction of gold without using mercury.

Keywords: mercury pollution, artisanal mining, gold, Antioquia.

INTRODUCCIÓN

La minería del oro artesanal y en pequeña escala es una fuente importante de ingresos para los mineros, especialmente en comunidades y regiones rurales donde las alternativas económicas son sumamente limitadas (1). A nivel mundial este tipo de minería consume cerca de 1000 Ton/año de mercurio, lo cual es más del 30% del mercurio que se consume en el mundo (2). Las emisiones de mercurio al medio ambiente debido a la minería artesanal de oro tienen graves implicaciones en la salud de las personas y en el medio ambiente, actualmente existen de 10 a 15 millones de mineros artesanales y pequeños mineros dedicados a la extracción de oro en todo el mundo (3).

En las zonas mineras al nordeste de Antioquia–Colombia (ver Figura 1), la escala de contaminación por mercurio es alarmante, pues las actividades mineras se llevan a cabo sin asistencia técnica y de manera rudimentaria. El procesamiento del mineral aurífero de forma artesanal consiste en la adición de mercurio a todo el mineral que contiene el metal precioso y luego la mezcla de mercurio–mineral es molida en pequeños molinos de bolas conocidos como “cocos”, este proceso es denominado amalgamación del mineral, pero este proceso propicia pérdidas de mercurio en relaves y efluentes. Se estima que más de 100 toneladas de mercurio al año son emitidas por la minería artesanal de oro en Colombia (4)

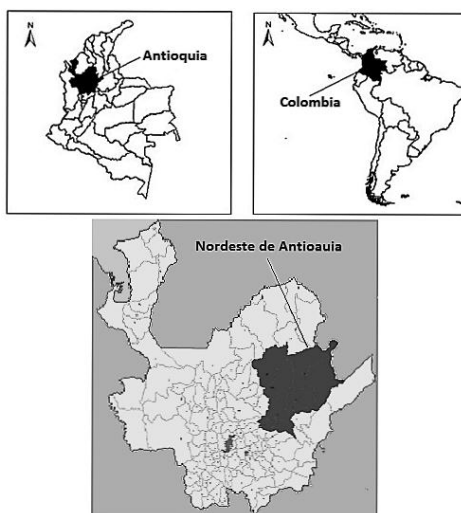


Figura 1: Procedencia del mineral en estudio

Es probable que Colombia sea la tercera mayor fuente de emisión de mercurio por minería artesanal de oro a nivel mundial, después de China que emite entre 240 a 650 toneladas de mercurio por año e Indonesia, cuya emisión de mercurio oscila entre 130 a 160 toneladas por año (4). Se propone que para mitigar las emisiones de mercurio causadas por la minería artesanal de oro se requiere tener una comprensión amplia en aspectos técnicos, como lo son las actividades de procesamiento y de la naturaleza geoquímica del mineral (5,6).

La caracterización de yacimientos debe ser parte fundamental en los estudios mineros modernos, pues en el campo del procesamiento de minerales auríferos constituye una herramienta útil en la definición y evaluación de procesos de beneficio, ya que una correcta caracterización puede evitar la realización de operaciones metalúrgicas inadecuadas, lo cual repercute en optimización de todo el proceso metalúrgico (7).

EXPERIMENTAL

Se seleccionaron tres yacimientos auríferos beneficiados artesanalmente con mercurio

ubicados en el nordeste del departamento de Antioquia–Colombia, estos yacimientos corresponden a la mina La campana (a), mina Asoplayon (b) y mina Valencia 2 (c), los cuales se presentan en la Figura 1.



Figura 1: Yacimientos auríferos seleccionados en el nordeste de Antioquia

Las muestras tomadas de cada uno de estos yacimientos fueron seleccionadas de diferentes frentes de explotación y mezcladas en cabeza de molienda, obteniendo así una muestra compuesta para su caracterización.

Con el fin de llevar a cabo una evaluación cuantitativa de las fases minerales presentes en las muestras, estas fueron analizadas con un sistema QEMSCAN® en el departamento de ingeniería metalúrgica de la universidad de Concepción-Chile y un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FE-SEM) de referencia Sigma 300 con Mineralogic Mining en el laboratorio de Zeiss en Cambridge-Inglaterra.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El porcentaje de fases calculado de acuerdo al análisis por QEMSCAN® se puede observar en la Tabla I, se determinó que las tres muestras se encuentran formadas principalmente por cuarzo, feldespato-k y moscovita con otras fases menores también presentes como piritita, biotita y albita, entre otras.

Considerando los bajos porcentajes de minerales cianicidas (Piritita, Pirrotina, Galena y Esfalerita) en las tres muestras es posible plantear procesos de lixiviación para la extracción de oro de estas menas.

Tabla I: Porcentaje de fases minerales en las tres muestras

	Muestra	(a)	(b)	(c)
Masa Mineral (%)	Cuarzo	32,89	47,91	59,31
	Feldespato - K	22,03	8,3	4,97
	Moscovita	21	16,51	15,09
	Feldespato - Albita	2,27	2,42	0,31
	Biotita	2,43	1,1	0,92
	Feldespato plagioclasa	-	0,89	0,37
	Caolinita	0,74	0,9	1
	Amphibolita	0,61	0,72	0,47
	Calcita	0,13	1,53	0,89
	Goethita	0,31	0,24	0,2
	Clorita	1,35	0,4	0,27
	Granate	0,28	0,18	0,11
	Pirita	6,15	9,9	4,97
	Pirrotina	0,24	0,58	0,27
	Galena	0,11	0,01	0,25
	Esfalerita	0,12	0,02	0,61
	Rutilo / Anatasa	0,57	0,37	0,21
	Otros	8,28	8,02	9,78

En Figuras 5 a 7 se muestran imágenes de falso color asociadas a un subgrupo de partículas ordenadas por área de un total de aproximadamente de 10000 partículas analizadas. En la Figura 5 se muestra las asociaciones minerales correspondientes a la muestra (a), se puede observar que el cuarzo y el feldespato-k son las fases mayoritarias, la pirita se encuentra asociada principalmente a cuarzo, moscovita y feldespato-k y ocasionalmente a clorita, anatasa y goethita, las pocas partículas de galena y pirrotina se encuentran asociadas a clorita, la esfalerita se encuentra asociada a moscovita y feldespato-k. En la Figura 6 se observan las asociaciones minerales de la muestra (b), es posible observar la abundancia de cuarzo en la muestra, el feldespato-k se encuentra asociado

principalmente a cuarzo y moscovita, la pirita se encuentra asociada mayoritariamente a cuarzo y moscovita y en algunas ocasiones a goethita, las pocas partículas de pirrotina detectadas se encuentran incrustadas en pirita, la anatasa está asociada a cuarzo, moscovita y feldespato-k. En la Figura 7 se puede observar las asociaciones minerales de la muestra (c), se observa que el cuarzo es la fase predominante en la muestra, el feldespato-k se encuentra asociado principalmente con cuarzo y moscovita, la pirita es el sulfuro predominante asociado principalmente a cuarzo, moscovita y pirrotina, la galena se encuentra asociada a clorita. La anata está asociada a cuarzo, la esfalerita se encuentra asociada principalmente a cuarzo y moscovita.

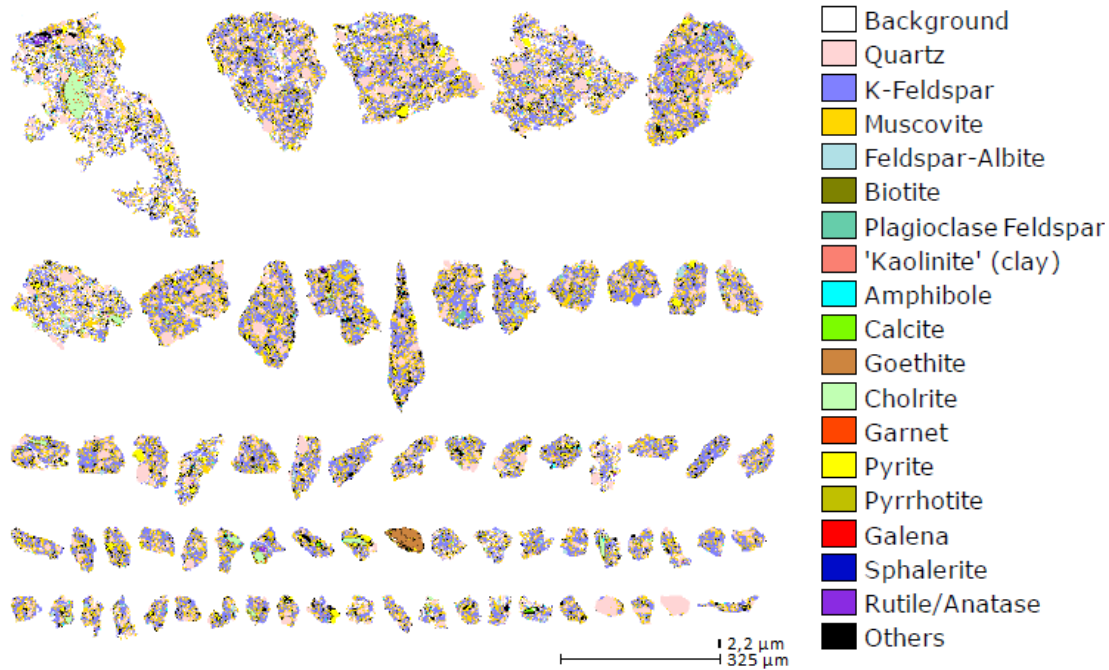


Figura 5: Imagen de falso color asociada a un subgrupo de partículas ordenadas por área. Muestra (a)

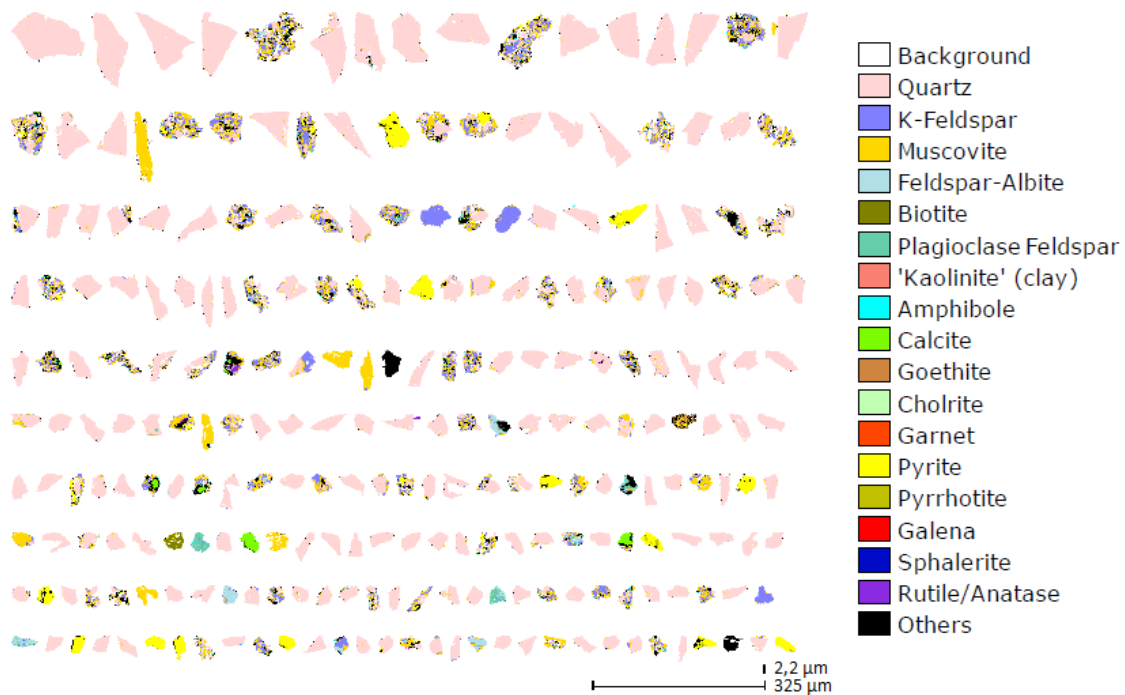


Figura 6: Imagen de falso color asociada a un subgrupo de partículas ordenadas por área. Muestra (b)

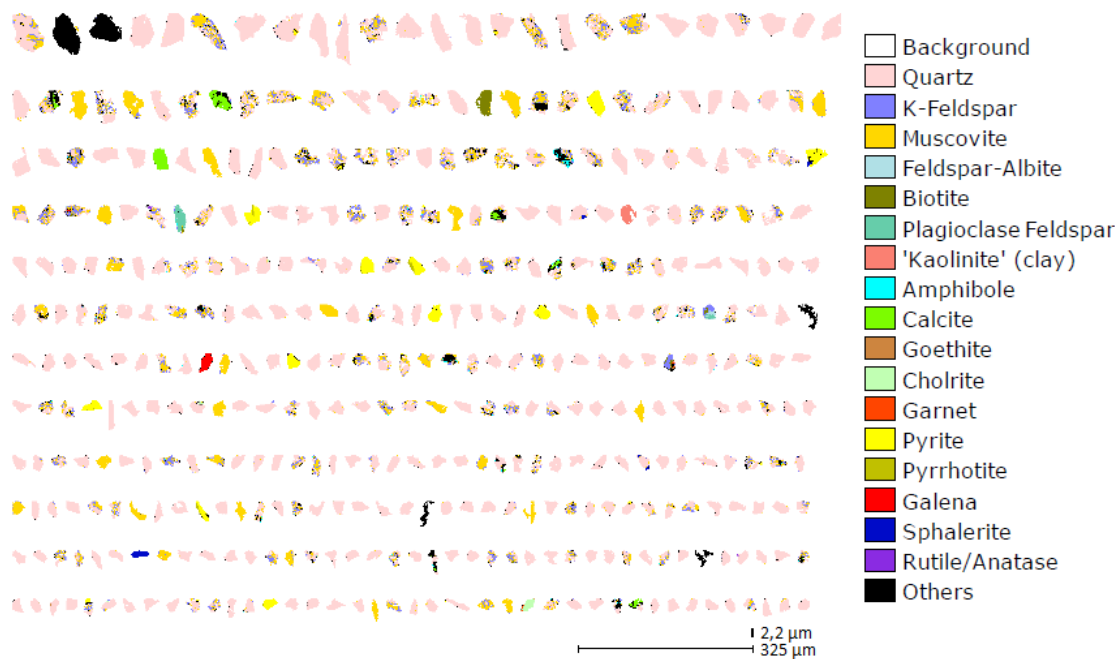


Figura 7: Imagen de falso color asociada a un subgrupo de partículas ordenadas por área. Muestra (c)

Se escogió un fragmento representativo de cada una de las muestras y se analizaron con el sistema automatizado de mineralogía “ZEISS Mineralogic Mining” para encontrar la distribución del oro. Al estudiar la distribución del oro en la muestra (a), se encuentra que: el 68.1% del oro se encuentra de forma

nodular en la moscovita. El 2% del oro se encuentra de forma nodular o constituyente en la anatasa. El 0.2% del oro se encuentra de forma nodular en la pirita (oro submicroscópico) y el 29.6% del oro se encuentra en el cuarzo en modo de electrum, como se puede observar en la Tabla II.

Tabla II: Distribución de oro y plata en las fases minerales de la muestra (a)

Mineral	Peso %	Ensayo (Ag) %	Distribución (Ag) %	Ensayo (Au) %	Distribución (Au) %
Muestra		6.15E-05		0.001	
Moscovita	70.6			0.001	68.1
Cuarzo	26.6	5.71E-05	92.8	0.0003	29.6
Anatasa (Au)	0.001			0.00002	2.0
Oro submicroscópico	0.00004			0.000002	0.2

El estudio de la distribución del oro en la muestra (b) revela que: El 85.3% del oro se encuentra de forma nodular en la moscovita. El 1.3% del oro se encuentra de forma nodular o constituyente en la anatasa. El 0.9% del oro se encuentra de forma nodular

o constitutiva en la dolomita. El 0.7% del oro se encuentra de forma nodular o constitutiva en la apatita. El 11.7% del oro se encuentra en el cuarzo en modo de electrum, como se puede observar en la Tabla III.

Tabla III: Distribución de oro y plata en las fases minerales de la muestra (b)

Mineral	Peso %	Ensayo (Ag) %	Distribución (Ag) %	Ensayo (Au) %	Distribución (Au) %
Muestra		1.60E-05		1.19E-03	
Moscovita	85.0			1.19E-03	85.3
Cuarzo	10.0	1.54E-05	95.9	1.19E-03	11.7
Anatasa (Au)	0.001			1.59E-05	1.3
Dolomita	0.6			1.07E-05	0.9
Apatita	1.5			8.90E-06	0.7
Ankerita	0.03			3.26E-07	0.03
Monticellita	0.01			8.29E-08	0.01

En la tabla 4 se presenta el estudio de la distribución del oro en la muestra (c), en esta se revela que: El 71.3% del oro se encuentra en forma de electrum, en partículas de 3µm de tamaño. El 14.5% del oro se encuentra en forma nodular como electrum en pirita. El

6.8% del oro se encuentra de forma nodular en moscovita. El 6% del oro se encuentra de forma nodular en cuarzo como electrum y El resto del oro se encuentra como oro o electrum nanoscopico asociado con varias fases minerales.

Tabla IV: Distribución de oro y plata en las fases minerales de la muestra (c)

Mineral	Peso %	Ensayo (Ag) %	Distribución (Ag) %	Ensayo (Au) %	Distribución (Au) %
Muestra		0.002		0.003	
Electrum	0.005	0.002	868.842	0.002	71.3
Oro submicroscópico	0.007	0.0002	94.411	0.0005	14.5
Moscovita	17.6			0.0002	6.8
Cuarzo	13.7	0.0001	27.633	0.0002	6.0
Feldespato-K	2.9			0.00003	1.1
Dolomita	0.2			0.000004	0.1
Serpentina	0.2	0.000001	0.0468	0.000003	0.1
Monacita	0.3	0.00001	0.2975	0.000001	0.04
Apatita	0.2			0.000001	0.04
siderofilita	0.05			0.000001	0.02
Ankerita	0.1			0.000001	0.02
Anatasa (Au)	0.00002			0.000001	0.02
Clinocloro	0.08	0.0000003	1.25E-02	0.0000003	0.01
Epidota	0.001			0.0000002	0.01
Monticellita	0.01			0.0000001	0.003

Teniendo en cuenta que estos resultados informan acerca de la presencia de oro libre y asociado a diferentes especies, se pueden realizar estudios de concentración gravimetrica y quimica ademas de metodos

de lixiviación que permitan la extracción del oro asociado a las diferentes fases minerales, para finalmente proponer una metodología de extracción sin la utilización de mercurio.

CONCLUSIONES

Las tres muestras se encuentran formadas principalmente por cuarzo, feldespato – k y moscovita con otras fases menores también presentes como pirita, biotita y albita, entre otras. En las muestras (a) y (b) el oro se presenta principalmente como nódulos nanoscopicos esparcidos en la pirita y la moscovita. En la muestra (c) el oro se presenta principalmente como electrum en partículas de varios micrones de tamaño. En las tres muestras se encuentra oro en anatasa. Considerando los bajos porcentajes de minerales cianicidas en las tres muestras es posible plantear procesos de lixiviación para la extracción de oro de estas menas.

BIBLIOGRAFIA

- Programa de las naciones unidas para el medio Ambiente. El uso del minería del oro artesanal y en pequeña escala. Programa las Nac Unidas para el medio Ambient [Internet]. 2008;20. Available from: [http://www.mesadedialogopermanente.org/Mesa_de_Dialogo_Permanente/Mesa_de_Dialogo_Permanente/documentos_files/MERCURIO EN LA MINERIA DEL ORO MODULO 3.pdf?](http://www.mesadedialogopermanente.org/Mesa_de_Dialogo_Permanente/Mesa_de_Dialogo_Permanente/documentos_files/MERCURIO_EN_LA_MINERIA_DEL_ORO_MODULO_3.pdf?)
- Swain EB, Jakus PM, Rice G, Lupi F, Maxson PA, Pacyna JM, et al. Socioeconomic Consequences of Mercury Use and Pollution. *AMBIO A J Hum Environ* [Internet]. 2007 Feb;36(1):45–61. Available from: [http://www.bioone.org/doi/abs/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[45:SCOMUA\]2.0.CO;2](http://www.bioone.org/doi/abs/10.1579/0044-7447(2007)36[45:SCOMUA]2.0.CO;2)
- Cordy P, Veiga MM, Salih I, Al-Saadi S, Console S, Garcia O, et al. Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Sci Total Environ* [Internet]. 2011 Dec;410–411:154–60. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711010059>
- Telmer K, Veiga MM. World emissions of mercury from small scale artisanal gold mining and the knowledge gaps about them. GMP Present Rome. 2008;
- Hilson G. Abatement of mercury pollution in the small-scale gold mining industry: Restructuring the policy and research agendas. *Sci Total Environ* [Internet]. 2006 Jun [cited 2014 Jun 20];362(1–3):1–14. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969705006819>
- Hilson G, Hilson CJ, Pardie S. Improving awareness of mercury pollution in small-scale gold mining communities: Challenges and ways forward in rural Ghana. *Environ Res* [Internet]. 2007 Feb [cited 2014 Jun 20];103(2):275–87. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935106002246>
- INGEOMINAS, JICA. Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas. 1st ed. Colombia;