

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL YACIMIENTO LA TOSCA (VETAS, SANTANDER, COLOMBIA): IMPLICACIONES PARA EL PROCESAMIENTO MINERAL DE LAS MENAS AUROARGENTÍFERAS

García Ramírez, C.A.¹; Uribe Portilla, E.¹

RESUMEN

El yacimiento La Tosca está ubicado a 1 Km al NW del Municipio de Vetas (Santander-Colombia), geológicamente se localiza en el Macizo de Santander. Corresponde a un depósito hidrotermal de oro y plata, en el cual la dirección preferencial de la mineralización filoniana es N40W. El oro ocurre de forma libre, incluido o asociado a ilmenita, galena. Otros minerales de la mena son pirita, calcopirita, plata, pirrotina, magnetita. La roca encajante de la mineralización es un neis cuarzo-feldespático con biotita variando a neis biotítico-hornbléndico, presentando alteración filica a argílica. La ocurrencia del oro en forma libre o asociado en intercrecimientos simples a óxidos, así como la ausencia de minerales cianicidas determinan un buen comportamiento de la mena durante el procesamiento mineral.

Palabras claves: Yacimiento, oro, plata, hidrotermal, mena, beneficio

GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF LA TOSCA DEPOSIT (VETAS, SANTANDER, COLOMBIA): IMPLICATIONS FOR MINERAL PROCESSING OF GOLD-SILVER ORES

ABSTRACT

La Tosca, a gold-silver hydrothermal deposit is located 1 Km Northwest Vetas (Santander, Colombia) and geologically, it is part of the Santander Massif. Gold occurs as free grains, included or associated to ilmenite, galena and in veins with a preferred orientation N40W. Other ore minerals are pyrite, chalcopyrite, silver, pyrrhotite and magnetite. Wall rocks comprises quartzo-feldspathic and biotite-hornblende gneisses with argillic and phyllic alteration. High recoveries of gold-silver ores during mineral processing, are possible due to free occurrence of gold grains, simple intergrowths with ore minerals and absence of harmful minerals.

Key words: Deposit, gold, silver, hydrothermal, ore, mineral processing

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan los resultados de los estudios realizados en la Mina La Tosca, localizada a 1 Km al NW del Municipio de Vetas (Santander), considerado uno de los distritos auroargentíferos más importante del país.

En la mina La Tosca se realizó una cartografía geológica superficial y subterránea a escala 1:1000, acompañada de un muestreo de afloramientos, túneles,

tambores y clavadas con el fin de determinar las características composicionales, texturales y estructurales de los filones mineralizados, la roca encajante y la zona de alteración.

La mineralización auroargentífera en la mina La Tosca presenta las características de un depósito hidrotermal, que de acuerdo con la composición mineralógica de las menas, podría ser definido preliminarmente como epitermal de baja sulfidización.

¹Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, A.A. 678, Bucaramanga.
Correo electrónico: cgarcia@uis.edu.co

La información obtenida aporta elementos a tener en cuenta en la formulación de un modelo genético con amplia aplicación en la exploración y es información base para el procesamiento mineral de este tipo de menas.

El yacimiento La Tosca ha sido objeto de estudios geológicos y mineros, los cuales en su mayoría son trabajos inéditos consistentes en reportes presentados al Ministerio de Minas en diferentes épocas o tesis de pregrado. Se destacan entre otros, los trabajos relacionados con los sistemas de diaclasamiento como control de la mineralización (García y Rey, 1991); la composición de la mineralización, zona de alteración y roca encajante, así como el cálculo de reservas para los filones productivos (García y Uribe, 1999); y el procesamiento mineral de menas auroargentíferas llegando a conocer algunas propiedades tecnológicas de estas menas (López, 1999). Otros estudios realizados en minas de Vetas y California se encuentran relacionados en García, Uribe (2003).

METODOLOGÍA

La metodología de estudio consistió en un trabajo de campo mediante el cual, se realizó la cartografía geológica de superficie y subterránea a escala 1:1000 del yacimiento La Tosca, la cual estuvo acompañada de un muestreo sistemático en superficie, túneles y tambores cada 10 metros. En los túneles se muestrearon los filones por el método de la canaleta, la roca encajante y la zona de alteración.

Las muestras recolectadas fueron estudiadas en el estereomicroscopio y posteriormente seleccionadas para los ensayos al fuego, elaboración de secciones delgadas y pulidas. La zona de alteración se analizó mediante difracción de rayos X. Los estudios mineralógicos y petrográficos se realizaron en el Laboratorio de Geología en la sede Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander (UIS), usando microscopios marca Nikon, modelos labophot y optiphot de luz transmitida y reflejada respectivamente. Estos estudios permitieron determinar la composición mineralógica, las características texturales (forma, tamaño de grano, intercrecimientos) de las menas auroargentíferas y su roca encajante. Especial énfasis

se hizo en el estudio del oro, por ser este, el mineral de interés económico.

La zona de alteración se estudio mediante la difracción de rayos X en la Escuela de Química de la UIS, usando un difractorómetro marca Rigaku. Los ensayos al fuego para oro y plata (88 muestras) se realizaron mediante procedimiento estándar en la Escuela de Metalurgia de la UIS.

En total se recolectaron 238 muestras discriminadas así:

- Muestras de filón: 44 muestras en el túnel Salvación y 44 en el túnel Patera.
- Muestras del encajante en los túneles: 34 (túnel salvación); 41 (túnel Patera).
- Muestras de la zona de alteración en los túneles: 34 (túnel salvación); 41 (túnel Patera).
- Muestras de superficie: 48.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El yacimiento La Tosca se localiza en el Macizo de Santander, el cual esta conformado por un complejo de rocas metamórficas Precámbricas y Paleozoicas, rocas ígneas Mesozoicas y rocas sedimentarias post-Paleozoico Superior.

Las rocas más antiguas del Macizo de Santander son neises pelíticos, cuarzo-feldespáticos y máficos; anfíbolitas y migmatitas agrupados en la Unidad Neis de Bucaramanga, cuyo metamorfismo regional ha alcanzado las condiciones de facie anfíbolita, zona de la silimanita superior (García, Ríos, 2004). Suprayaciendo al Neis de Bucaramanga se encuentra la Formación Silgará, la cual consiste de esquistos pelíticos, máficos, calcáreos; cuarcitas; mármoles, filitas de edad Cámbrico-Ordovícica?. Estas rocas fueron me-tamorizadas, alcanzando la facie anfíbolita, zona de la silimanita inferior (García, Ríos, 2003).

Las rocas del Neis de Bucaramanga y la Formación Silgará fueron intruidas por el Ortoneis, compuesto de neises cuarzo-feldespáticos, pelíticos y anfíbolitas y presenta un grado de metamorfismo regional de facie anfíbolita, zona de la silimanita (García, Campos, 2000; García, Ríos, 2003; García, Ríos, 2004).

Diversos batolitos y plutones de composición granítica a diorítica fueron emplazados durante el Jura-Triásico. Con este evento magmático se relacionan también pequeños stocks de pórfido dacítico-andesítico y diques de basalto, diabasa y dacita.

El basamento ígneo-metamórfico del Macizo de Santander está inconformemente suprayacido por la Formación Floresta de edad Devónico Medio, la cual es inconformemente suprayacida por sedimentos clásticos y calcáreos de edad Carbonífero a Pérmico (Ward et al., 1973).

Depósitos glaciares, fluvio-glaciares de edad cuaternaria definen morfología de circos glaciares, morrenas laterales y terminales.

Las fallas de Bucaramanga - Santa Marta y Cucutilla son los rasgos estructurales más sobresalientes a nivel regional. La primera con rumbo SE-NW y la segunda con rumbo SW-NE.

GEOLOGÍA DE LA MINA LA TOSCA

LITOLOGÍA

La Mina la Tosca comprende un área de 0.77 Km², en ella afloran principalmente neises (Neis de Bucaramanga), granodiorita porfirítica, granodioritas, filones cuarzosos con sulfuros; depósitos fluvio-glaciares y coluviales de edad cuaternaria (FIGURAS 1,2). A continuación se describirán cada una de estas unidades.

NEIS DE BUCARAMANGA. Constituye aproximadamente el 65% del área de estudio. El Neis de Bucaramanga esta compuesto por neises cuarzo-feldespáticos con biotita variando composicionalmente a neises biotíticos y neises biotítico-hornbléndicos. Estas variaciones son de tipo mineralógico y por lo general se presentan a manera de alternancias, por lo cual no son cartografiables. Los mejores afloramientos de este tipo de litología la encontramos a lo largo de la carretera Vetás - el Volcán.

Neis cuarzo-feldespático con biotita

Son neises leucocráticos, con una estructura neisica típica, en la cual las bandas leucocráticas (cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico) se intercalan con

bandas de biotita, predominando las primeras en espesor y cantidad. La composición mineralógica de estos neises es:

Cuarzo (35%), plagioclasa (30%), biotita (15%), feldespato potásico (10%), opacos (5%), Circón (1%), epidota (1%), leucoxeno (1%). El cuarzo es xenoblástico, mientras que la plagioclasa y el feldespato K tienden a ser subidioblásticos. Los minerales secundarios son sericita (plagioclasa), clorita (biotita). Los minerales accesorios son circón, epidota, leucoxeno. La textura de esta roca es lepidogranoblástica, localmente mirmequítica.

La paragénesis cuarzo + plagioclasa + feldespato K + Biotita, indica un metamorfismo regional en condiciones de facie anfíbolita, zona de la sillimanita.

Neis hornbléndico-biotítico.

Neises melanocráticos, son rocas bandeadas con una estructura neisica típica, caracterizada por la intercalación de bandas melanocráticas y leucocráticas predominando las primeras de acuerdo con su espesor. La composición mineralógica de estos neises es:

Cuarzo (15%), plagioclasa (20%), biotita (40%), hornblenda (15%), apatito (5%), opacos (4%), esfena (1%). El cuarzo es subidioblástico a xenoblástico, asociado plagioclasa, hornblenda y biotita. Los cristales subidioblásticos de plagioclasa están fuertemente sericitizados. La biotita se presenta como individuos subidioblásticos, con contactos netos y rectos con plagioclasa y cuarzo. Los cristales subidioblásticos de hornblenda están siendo remplazados por una segunda generación de biotita. Los minerales accesorios son apatito y esfena.

La textura de la roca es lepidogranoblástica. La paragénesis hornblenda + biotita + plagioclasa + cuarzo indica que las condiciones de metamorfismo alcanzaron la zona de la sillimanita, facie anfíbolita.

GRANODIORITA PORFIRÍTICA. Se localiza al extremo este de la licencia de la Mina La Tosca y en inmediaciones de la quebrada Casa Vieja. Esta unidad se caracteriza por la siguiente composición: Cuarzo (40%-50%), plagioclasa (38%- 40%), feldespato K (5%-10%), biotita (5%-10%). Los minerales accesorios son: pirita, apatito, esfena, hornblenda, epidota, moscovita, circón.

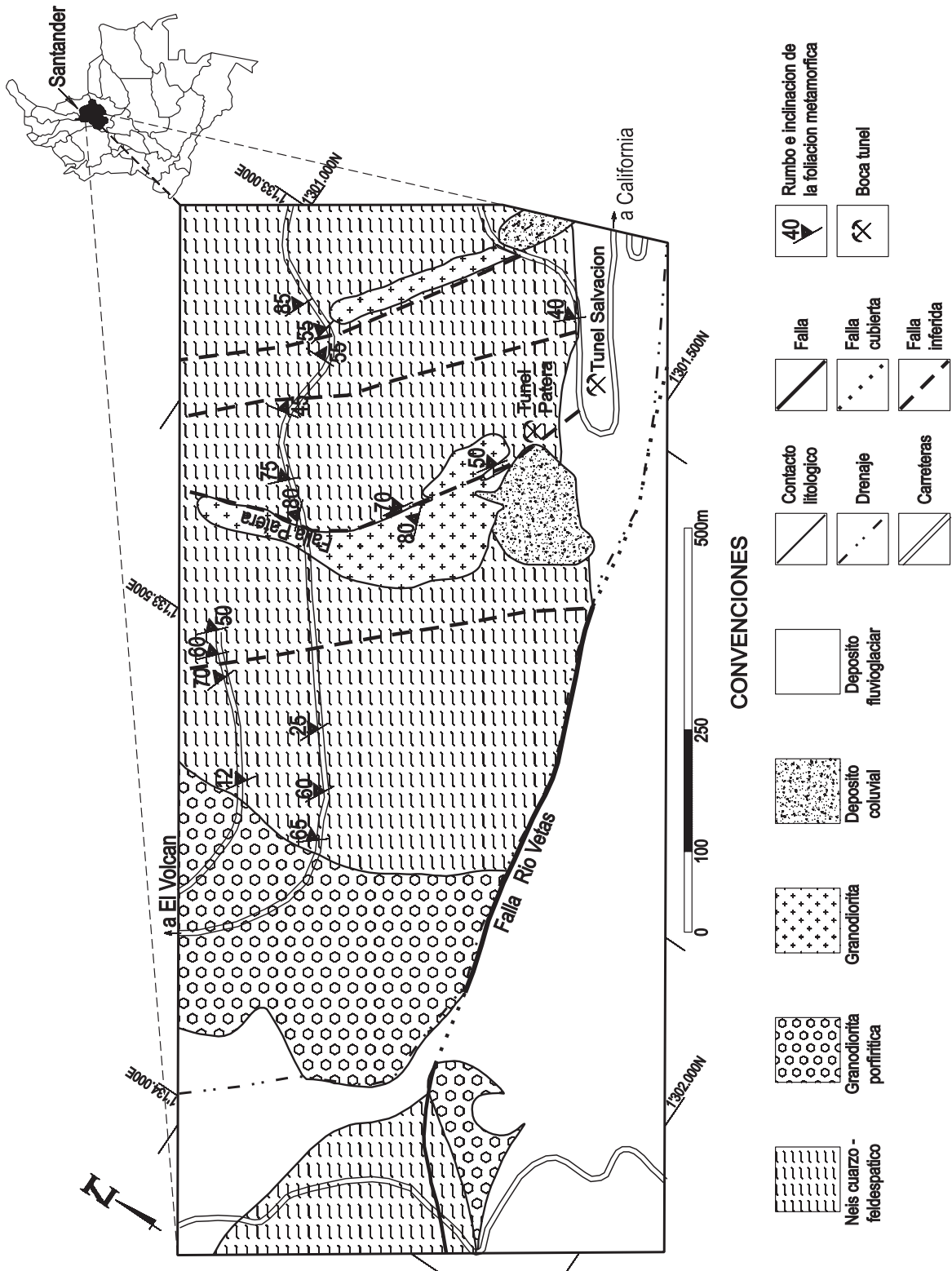


FIGURA 1. Mapa geológico superficial de la mina La Tosca

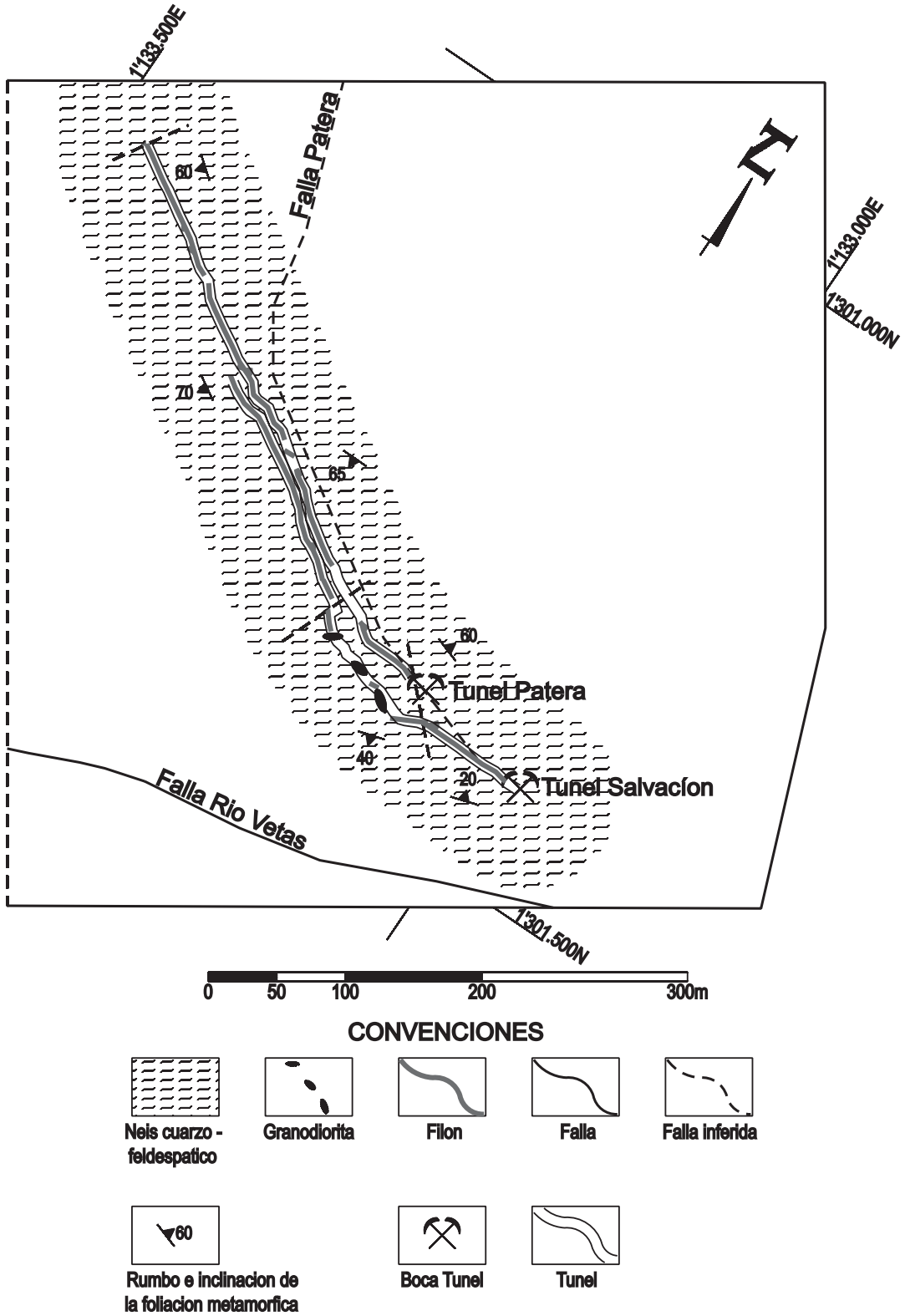


FIGURA 2. Mapa geológico subterráneo de la mina La Tosca

El cuarzo se presenta como fenocristales, en la matriz o rellenando fracturas. La plagioclasa se encuentra como fenocristales y en la matriz de la roca. Los fenocristales son euhedrales a subhedrales, distinguiéndose maclas polisintéticas y en codo, así como zonación. La plagioclasa de la matriz es afanítica. Ambos tipos de plagioclasa presentan sericitización. El feldespato K se encuentra principalmente en la matriz y localmente como fenocristales exhibiendo la macla de carsbald. La biotita ocurre como fenocristales y en la matriz, asociada a plagioclasa y cuarzo, con alteración cloritica.

Los minerales accesorios son: pirita, apatito, esfena, hornblenda, epidota, moscovita, circón. Esta unidad es correlacionable con los pórfidos descritos por Ward et al (1973), correspondientes a los cuerpos granodioríticos del Grupo Plutónico de Santander. El contacto de la granodiorita porfídica con las rocas del Neis de Bucaramanga es de carácter intrusivo.

GRANODIORITA. Los mejores afloramientos se localizan en inmediaciones de la quebrada Patera. Otros cuerpos de similar composición se localizan por la vía que comunica al campamento Mina Tosca con el Municipio de Vetas y en la vía Vetas - El Volcán a manera de diques de poco espesor cortando al Neis de Bucaramanga.

La composición consta de cuarzo (40-45%), plagioclasa (40%-50%), feldespato K (5-10%). Los minerales accesorios son biotita, pirita, hematita, moscovita, epidota, circón.

El cuarzo se presenta como cristales incoloros subhedrales a anhedrales. La plagioclasa es euhedral a subhedral con hábito tabular en contacto neto con el cuarzo. Las relaciones del cuarzo con la plagioclasa y el feldespato K dan lugar a texturas mirmequítica y grafica. Los cristales de feldespato K son subhedrales a anhedrales conservando parcialmente la macla en enrejado de la microclina y la de carsbald. El feldespato K esta alterado a caolinita.

La textura de esta roca es fanerítica, holocristalina, hipidiomórfica, con evidencias de brechamiento por circulación de fluidos.

Esta unidad presenta variaciones composicionales de rocas granodioríticas a tonalíticas. El contacto con las rocas del Neis de Bucaramanga es intrusivo.

DIQUES CUARZOSOS. Los hay mineralizados y no mineralizados. Los primeros corresponden a venas generalmente concordantes con la dirección de foliación del neis y con un espesor que varía entre 2 y 15 cms. Se observan principalmente en la carretera que conduce de Vetas al Volcán.

Los diques mineralizados se localizan en cercanías a la quebrada Patera con direcciones preferenciales N40W y espesores que varían entre 0.50m a 1m. Las mineralizaciones se caracterizan por la presencia de pirita, calcopirita, pirrotina, magnetita e ilmenita.

DEPOSITOS FLUVIOGLACIARES.

Representados en una morrena limitada entre la quebrada el Volcán y El Salado con una característica morfología de “Lomo de Elefante”, compuesta de gravas de composición neísica con tamaños que varían entre 10 y 6m, pésimamente seleccionados, soportados en una matriz arenosa. Otro depósito morrenico se localiza aguas arriba de la confluencia de la quebrada el Volcán y Casa Vieja.

Los depósitos fluvioglaciares se extienden a lo largo del valle del río Vetas compuestos por gravas y bloques soportados por matriz areno-conglomeratica.

DEPOSITOS COLUVIALES. Formados por cantos subangulares y de mediana esfericidad con tamaños que oscilan entre 5cm y 50 cm, no poseen orientación y preferencialmente de composición neísica y granodiorítica soportados en una matriz arenosa. Según Ward et al (1973) los depósitos fluvioglaciares y coluviales corresponden al período Pleistoceno-Holoceno.

ESTRUCTURAS DEL YACIMIENTO

Las estructuras geológicas más comunes en el área de estudio corresponden a fallas, lineaciones, foliaciones, diaclasas y pliegues (FIGURA 1).

FALLAS. Las principales direcciones de fallamiento tienen una orientación preferencial N45-55W y una

segunda dirección preferencial (la de mayor extensión regional) con dirección N85E controlando el curso de la Quebrada Casa Vieja.

Falla Río Vetas. Controla el curso de la quebrada Casa Vieja prolongándose en el Río Vetas. Tiene una dirección N80E, constituyendo la falla de mayor extensión. Enfrenta dos bloques constituidos de una parte por el Neis de Bucaramanga y la granodiorita porfirítica y el otro bloque por depósitos fluvio-glaciares y un retazo de la granodiorita porfirítica.

El lineamiento de la quebrada Casa Vieja y el Río Vetas, la presencia de deslizamientos y de brecha de falla son los criterios más importantes para su trazado. Esta estructura se puede clasificar como una falla vertical posiblemente con un desplazamiento de rumbo, en donde el bloque norte desciende frente al bloque sur.

Falla Patera. Falla con dirección N45-55W evidenciada en el lineamiento de la quebrada Patera, en el cambio de dirección del rumbo en el bandeamiento del Neis y en el hallazgo de filones de cuarzo mineralizados con sulfuros con esta misma dirección. Esta falla posiblemente corresponda a una falla de carácter vertical y es de suma importancia para el control de emplazamiento de los filones auroargentí-feros de los niveles de Salvación y Patera en la Mina La Tosca.

LINEAMIENTOS. Se presentan tres lineamientos asociados y paralelos a la dirección de la quebrada Patera con dirección preferencial N45W. Su trazado se fundamenta en criterios de tipo geomorfológico evidenciados por fotogeología y por la orientación lineal de las quebradas y la variación de los rumbos de la foliación del Neis de Bucaramanga.

PLIEGUES. En general en el área de trabajo no se constituyen pliegues amplios, sino deformaciones locales apretadas evidenciándose en los ligeros cambios de dirección en los rumbos de las foliaciones de N35-60W con inclinación preferencial regional al SW y localmente al SE. La continuidad de los plegamientos se ve interrumpida por los lineamientos y fracturas que controlan los drenajes esto en correspondencia con las variaciones de los rumbos e

inclinaciones obtenidas en los controles estructurales realizados a lado y lado de las quebradas.

FOLIACIÓN. Las foliaciones del neis cuarzo feldespático con intercalaciones de neis biotítico hornbléndico) es preferencialmente N35-60W con ángulos de inclinación entre 50 y 85 al SW y una segunda dirección de menor frecuencia es N10- 60E con buzamientos entre 80 y 85 al SE. La primera dirección coincide aproximadamente con la orientación preferencial de los fallamientos.

DIACLASAS. Constituyen el rasgo estructural más evidente del área de estudio, mostrando las siguientes direcciones preferenciales: 1) N35-80W con ángulos de inclinación entre 40 a 60 al NE; 2) N55-65E con buzamiento entre 55 a 60 al NW; 3) N10-30E con buzamiento entre 55 a 85 al NW. Cabe señalar que al primer grupo pertenecen las diaclasas de mayor frecuencia y coincide esta dirección con la de las venas y venillas mineralizadas con cuarzo, sulfuros, oro y plata. Lo anterior hace pensar que este grupo de diaclasas sea el conjunto o patrón estructural de dirección más frecuente de emplazamiento seguido por los fluidos mineralizantes.

MINERALIZACIÓN

Las características generales de los filones y sus tenores de Au y Ag se presentan en la TABLA 1.

La mineralización en la mina La Tosca consta de oro libre, oro asociado a sulfuros y óxidos (TABLA 2). El oro no siempre se observa a nivel microscópico, es por esto que en algunos casos solo se menciona en la descripción de la mineralización. A continuación se presentan las características mineralógicas y texturales de las menas auroargentíferas en cada uno de los filones.

TUNEL SALVACIÓN, FILÓN 1

El filón es de color gris claro variando a gris oscuro. Los minerales de la mena son oro, plata, pirita, ilmenita, calcopirita, pirrotina, marcasita. La ganga la constituyen cuarzo y plagioclasa.

Pirita (10%). Existen dos generaciones de pirita. La primera generación (pirita1) ocurre como individuos

TABLA 1. Características generales de los filones mineralizados de la mina La Tosca

TUNEL	FILON	LONGITUD (m)	RUMBO	BUZAMIENTO	ESPESOR (m)	Au* (gr/T)	Ag* (gr/T)
SALVACIÓN	1	80	N80E	S80E	0.68	1.05	4.66
SALVACIÓN	2	10	N65E	N40W	1.45	0.85	43.2
SALVACIÓN	3	200	N55W a N80W	N60E a N80E	1.20	2.67	13.5
PATERA	1	60	N70W a N80W	N50E a N65E	0.30	0.50	4.78
PATERA	2 Segmento 1	80	N50W	N60E a N70E	1.38	0.50	5.50
PATERA	2 Segmento 2	240	N50W a N70W	N60E a N75E	1.17	2.12	21.06

*Los contenidos de Au y Ag son el contenido medio en el filón.

anhedrales a subhedrales con inclusiones de calcopirita y pirrotina o como agregados granulares algunas veces fracturados con inclusiones de calcopirita, pirrotina e ilmenita o magnetita (FIGURA 4A, C, D) Esta asociada a la ilmenita y magnetita en contactos netos. La segunda generación de pirita (pirita2) se presenta como agregados granulares relleno de venillas. La ilmenita (2%) es mineral menor y se presenta como individuos subhedrales a euhedrales o como agregados granulares aislados. También se encuentra incluida en la pirita1.

La calcopirita y pirrotina son minerales accesorios (<1%), y se presentan incluidas en la pirita1, siendo la primera de forma alargada y la segunda en forma de gotas. La calcopirita rara vez se encuentra como cristales anhedralmente aislados en la roca.

El cuarzo (70%) ocurre como cristales incoloros formando agregados granulares de aspecto sacaroide o relleno de cavidades en la roca (segunda

generación). La plagioclasa (17%) está fuertemente sericitizada.

La roca encajante en este filón corresponde a un neis cuarzo-feldespático con botita, el cual está intercalado con neis biotítico hornbléndico. La alteración típica de la roca encajante es de tipo filico.

TUNEL SALVACIÓN, FILÓN 2

Los minerales de la mena son oro, plata, pirita y calcopirita, mientras que los de la ganga son cuarzo y plagioclasa.

Pirita (7%). Se presentan dos generaciones. La primera generación consiste en cristales euhedrales a subhedrales de hábito cúbico con tamaño de grano inferior a 0.5 m.m. La segunda generación son cristales de color amarillo pálido asociados a calcopirita y cuarzo relleno de fracturas. La calcopirita (2%) ocurre como agregados masivos relleno de fracturas, asociada a pirita.

TABLA 2. Composición de los filones mineralizados de la mina La Tosca

TÚNEL	FILÓN	MINERALES MENA	MINERALES GANGA	ROCA ENCAJANTE	ALTERACIÓN
SALVACIÓN	1	Oro, plata, pirita, ilmenita, calcopirita, pirrotina, marcasita.	Cuarzo y plagioclasa	Neis cuarzo feldespático con biotita	Filica
SALVACIÓN	2	Oro, plata, pirita y calcopirita,	Cuarzo y plagioclasa	Neis cuarzo feldespático con biotita	Filica
SALVACIÓN	3	Oro, plata, pirita, magnetita, ilmenita, galena, calcopirita, pirrotina, tetrahedrita, bornita, marcasita.	Cuarzo y plagioclasa	Neis cuarzo feldespático con biotita	Filica
PATERA	1	Oro, plata, pirita, pirrotina, molibdenita, ilmenita y calcopirita		Neis cuarzo feldespático con biotita	Filica
PATERA	2 Segmento 1	Oro, plata, pirita, ilmenita, calcopirita, pirrotina,	Cuarzo y plagioclasa	Neis cuarzo feldespático con biotita	Filica

El cuarzo (80%) se presenta en dos generaciones, la primera son cristales anhedrales diseminados. La segunda generación tiene un aspecto masivo de color gris rellenando venillas. La plagioclasa (11%) son cristales euhedrales a subhedrales de color blanco con tamaños entre 0.5 y 1 mm. y asociados al cuarzo y pirita.

La roca encajante de la mineralización es un neis cuarzo-feldespático con biotita, mientras que la alteración es filica.

TUNEL SALVACIÓN, FILÓN 3

El filón es de color gris verdoso a gris claro. Los minerales de la mena son oro, plata, pirita, magnetita, ilmenita, galena, calcopirita, pirrotina, tetrahedrita,

bornita, marcasita. Los minerales de la ganga: son cuarzo y plagioclasa.

Pirita (12%). Ocurre como dos generaciones siendo la primera, individuos euhedrales a subhedrales de hábito cúbico algunas veces brechados, otras veces presentan zonación. El tamaño de grano oscila entre 0.03 mm. y 1.5 mm. Presenta inclusiones de pirrotina y calcopirita con remplazamiento a covelina. La pirita esta asociada a magnetita e ilmenita en contactos netos, aunque algunas veces estos son irregulares. La segunda generación de pirita se presenta como agregados granulares a veces brechados los cuales rellenan fracturas.

Magnetita (4%). Individuos euhedrales a subhedrales rara vez anhedrales de hábito cúbico o como agregados

Caracterización Geológica y Mineralógica del
Yacimiento La Tosca (Vetas, Santander, Colombia): Implicaciones para el Procesamiento Mineral de las Minas Auroargentíferas

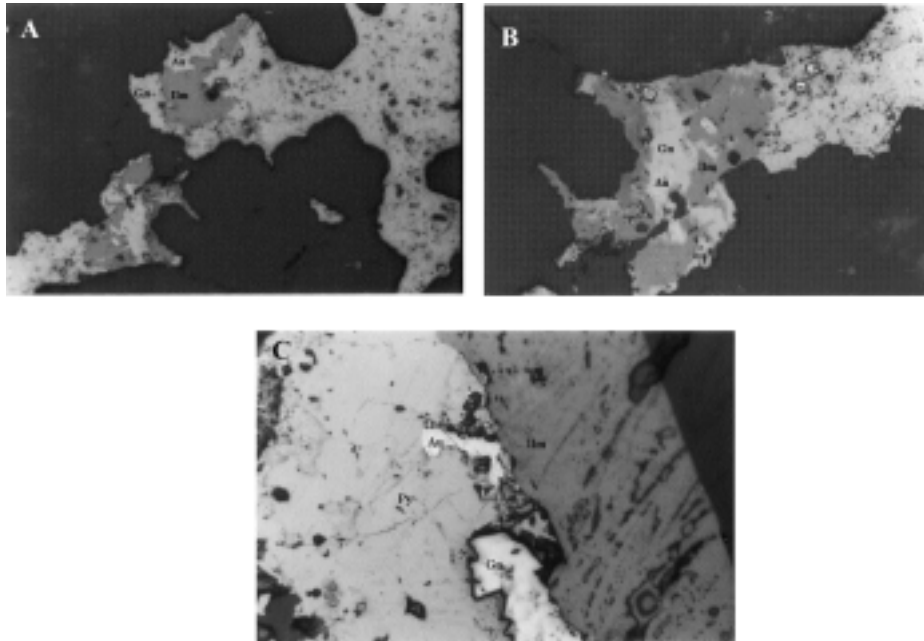


FIGURA 3. Ocurrencia del oro (Au) en la mina La Tosca.

A. Oro granular asociado a ilmenita (Ilm) en contacto neto; B. Detalle de un sector de A, mostrando la relación del oro con la ilmenita y galena (Gn); C. Oro incluido en pirita (Py) y en contacto con ilmenita. Nícoles paralelos. Aumentos: A, 20X; B, C, 40X.

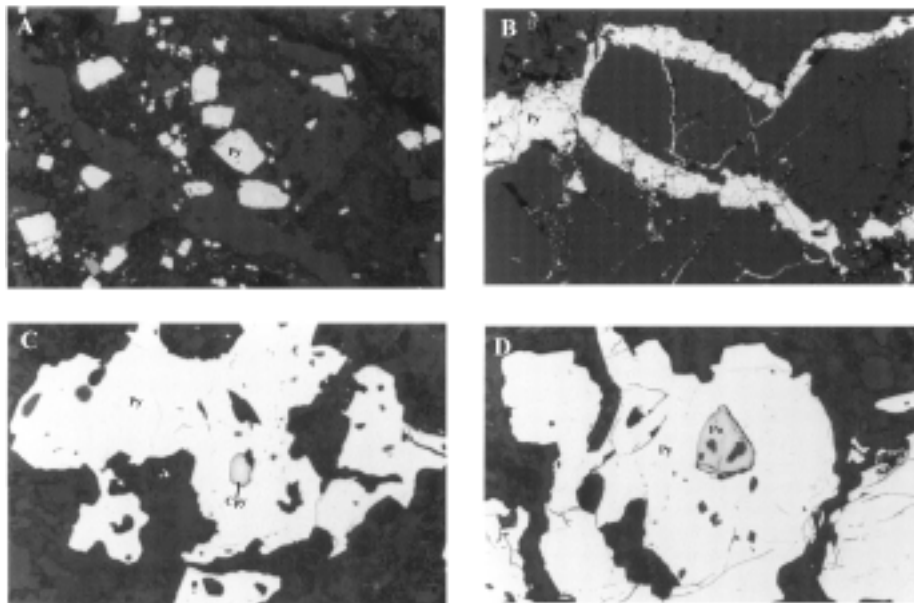


FIGURA 4. Ocurrencia de otros minerales de las menas en la mina La Tosca.

A. Cristales subhedrales a anhedrales de pirita (Py); B. Agregados granulares de pirita (Py) relleno de venillas; C. Calcopirita (Cpy) incluida en pirita (Py); D. Cristal de pirrotina (Po) anhedral incluida en pirita (Py). Nícoles paralelos. Aumentos: A, 20x; B, 10x; C y D, 40x.

granulares o alargados. La ilmenita (2%) ocurre como individuos aciculares o alargados y agregados granulares finos.

Los minerales accesorios de la mena son calcopirita, pirrotina, tetrahedrita, bornita y marcasita. La calcopirita (1%) son individuos anhedrales aislados o agregados granulares incluidos en la pirita 1 (1ª generación). La segunda generación se presenta como agregados rellenando fracturas. La pirrotina (<1%) ocurre como agregados o individuos anhedrales incluidos en la pirita 1; y la tetrahedrita (<1%) se presenta como individuos anhedrales esporádicos. Bornita (1%) se encuentra como cristales isométricos de color púrpura y cristales subhedrales. Finalmente, la marcasita (<1%) son cristales columnares de color amarillo pálido rellenando fracturas.

El cuarzo (71%) es el principal mineral de la ganga y se presenta en dos generaciones. La primera generación son agregados masivos de color blanco o lechoso y una segunda generación se presenta de color gris rellenando fracturas. La plagioclasa (10%) son cristales subhedrales a euhedrales de hábito tabular con grado medio a alto de alteración a sericitita.

La roca encajante es neis cuarzo-feldespático con biotita, localmente neis biotítico con alteración fílica.

TUNEL PATERA, FILÓN 1

Este filón es de color gris claro con una estructura brechoide. Los minerales de la mena son oro, plata, pirita, pirrotina, molibdenita, ilmenita y calcopirita. Cuarzo y plagioclasa constituyen la ganga.

Pirita (6.5%). La primera generación son cristales cúbicos diseminados de tamaño menor a 3 mm. Una segunda generación la constituyen agregados granulares rellenando fracturas. La pirrotina (2%) consiste en agregados granulares de color bronce y aspecto terroso en forma diseminada. La calcopirita (2%) ocurre como agregados masivos de color amarillo. Ilmenita (1.5%) como cristales de hábito laminar de color negro en forma diseminada.

El cuarzo (65%) se presenta como cristales anhedrales incoloros a ahumados, mientras que la plagioclasa (12%) son cristales subhedrales a anhedrales de color blanco y hábito tabular con grado medio a alto de alteración sericitica.

La roca encajante de este filón es un neis cuarzo-feldespático con biotita, el cual presenta alteración fílica.

TUNEL PATERA, FILÓN 2 (SEGMENTO 1)

Este es un filón de color gris y estructura brechoide a masiva, en el cual los minerales de la mena son oro, plata, pirita, ilmenita, calcopirita, pirrotina, tetrahedrita y cuprita y la ganga esta representada por cuarzo y plagioclasa.

Pirita (20%) ocurre como cristales euhedrales a subhedrales de hábito cúbico regularmente distribuidos o formando bandas con inclusiones de pirrotina, calcopirita e ilmenita, está asociada a la ilmenita. Una segunda generación ocurre como agregados masivos, algo fracturados que forman venillas. La ilmenita (2%) es mineral menor y consiste en agregados finos muy entrelazados entre si.

Los minerales accesorios son calcopirita (1.5%) como cristales anhedrales aislados, en contacto con la pirita 1, incluidos en ésta. La pirrotina (1%) son individuos anhedrales o isométricos incluidos en la pirita 1. La tetrahedrita (trazas) se encuentra como individuos anhedrales esporádicos. La cuprita (trazas) son individuos aislados asociados a la pirita 2.

El cuarzo (65%) son cristales incoloros subhedrales a anhedrales mientras la plagioclasa (10%) se dispone como cristales blancos subhedrales, alterados a epidota y minerales arcillosos.

La roca encajante consiste de una intercalación de neis cuarzo-feldespático con biotita y neis biotítico hornbléndico. Estos neises presentan alteración fílica a argílica. Mediante difracción de rayos X se determinaron los siguientes minerales en la zona de alteración: cuarzo, illita, moscovita, pirita, caolinita, esmectita, clorita.

TUNEL PATERA, FILÓN 2 (SEGMENTO 2)

Los minerales de la mena son oro, pirita, ilmenita, calcopirita, galena, pirrotina, magnetita, tetrahedrita. Minerales de la ganga comúnmente son cuarzo y plagioclasa.

Oro (<1%) se presenta como agregados granulares incluidos en la ilmenita o rodeando a este mineral en contacto neto con morfologías curvas a rectilíneas, así como incluido en pirita y asociado a galena. El

tamaño del oro varía entre 5 y 14 μ m. (FIGURA 3A, B, C).

La pirita (20%) ocurre como dos generaciones, la primera generación (pirita1) son individuos euhedrales a subhedrales de grano fino a medio o agregados granulares (FIGURA 4A), dispuestos en forma de bandas o regularmente distribuidas en la mena. En ocasiones se observa brechamiento en la pirita, así como inclusiones de calcopirita, pirrotina e ilmenita. La pirita esta asociada a ilmenita y magnetita en contactos netos. Los agregados brechoides de pirita están asociados a individuos laminares de ilmenita. La segunda generación son agregados granulares relleno de fracturas (FIGURA 4B).

La ilmenita (7%) se presenta como individuos laminares a aciculares uniformemente distribuidos en estrecha asociación con la calcopirita, magnetita y hematita, o como agregados finos en estrecho intercrecimiento entre si asociados a la pirita 1. La calcopirita (3.5%) son individuos anhedrales aislados o agregados asociados a ilmenita, magnetita y hematita. También se presenta incluida en la pirita 1. Una segunda generación corresponde a agregados granulares relleno de fracturas. La galena (4.5%) ocurre

como cristales subhedrales a anhedrales aislados o agregados asociados a ilmenita, magnetita y hematita o con calcopirita.

Los minerales accesorios son pirrotina, magnetita y tetrahedrita. La pirrotina (<1%) se presenta a manera de inclusión de forma anhedral en la pirita 1. La magnetita (2.5%) son individuos subhedrales a anhedrales aislados o asociados a ilmenita, calcopirita, galena o en intercrecimiento con la hematita. También se presenta como agregados granulares. Tetrahedrita (<1%) ocurre como cristales subhedrales a anhedrales aislados.

Los minerales de la ganga son cuarzo y plagioclasa. Del cuarzo (47%) se observan dos generaciones, la primera son cristales alargados o isométricos de carácter anhedral. La segunda generación se presenta a manera de drusas relleno de cavidades. La plagioclasa (15%) ocurre como cristales subhedrales a anhedrales de hábito tabular con grado medio a alto de alteración a minerales arcillosos o a epidota.

La roca encajante de la mineralización es un neis cuarzo-feldespático con biotita intercalado con neis biotítico-

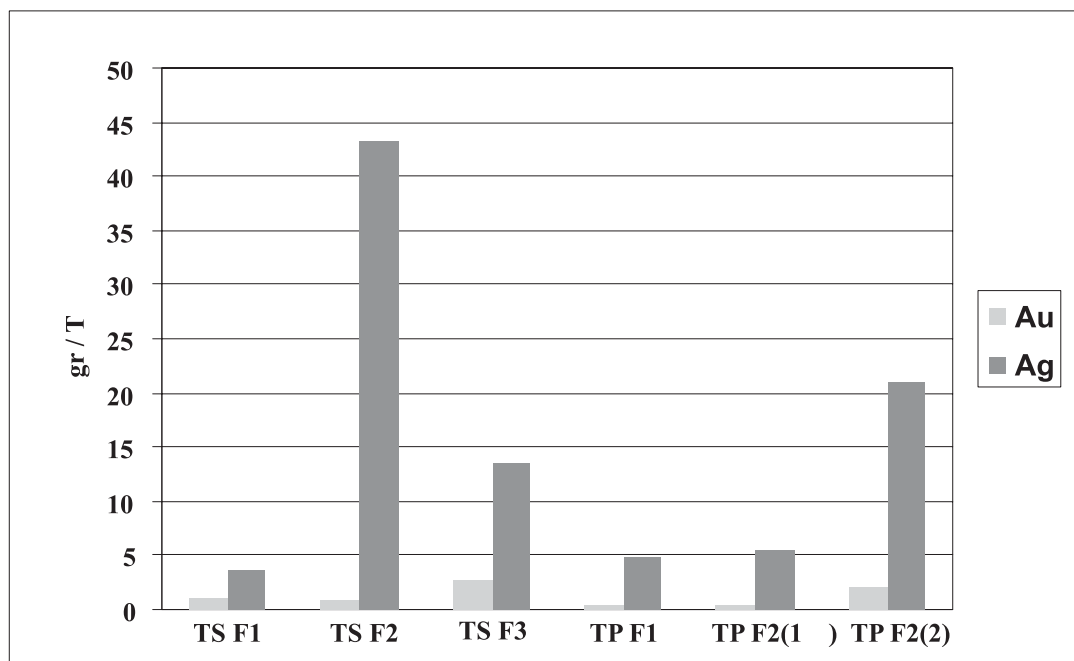


FIGURA 5. Distribución de los tenores de Au y Ag en la mina La Tosca

hornbléndico hacia el final del túnel. Estas rocas han sufrido una alteración de tipo filico a argilica.

En lo relacionado con la distribución de tenores de Au y Ag, la FIGURA 5 permite visualizar una marcada predominancia de la plata sobre el oro, manteniéndose esta relación invariable para todo el yacimiento. La relación Ag/Au en el depósito es alta. En las menas de los filones del túnel Salvación la relación Ag/Au es de 36.5, mientras que para las menas del túnel Patera es de 79. Los tenores de oro muestran un aumento en los filones 2 de los túneles Salvación y Patera.

CARACTERIZACIÓN DE LAS MENAS PARA LOS PROCESOS DE BENEFICIO

Desde el punto de vista composicional, la mineralización en la mina La Tosca muestra ligeras diferencias para los filones de los túneles Salvación y Patera. En los filones del túnel Salvación, la mena presenta un marcado predominio de los sulfuros principalmente pirita sobre los óxidos; estos últimos ocurren en pequeñas cantidades (< 4%), siendo el filón el que contiene la mayor cantidad de óxidos (magnetita, ilmenita).

En los filones del túnel Patera se muestra un aumento de la cantidad de óxidos, pero siguen predominando los sulfuros y entre estos, la pirita.

En las secciones pulidas analizadas se observó oro solamente en los filones del túnel Patera. El oro se presenta de forma libre o asociado a ilmenita de manera incluido o semincluido en este mineral o menos frecuentemente en zonas de contacto entre galena e ilmenita. Los contactos entre oro e ilmenita son netos con una morfología simple, algunas veces rectilíneos lo que define una fácil liberación con buena exposición a la solución cianurada.

En los casos, en los cuales, no se observó oro en sección pulida se recurrió a los datos obtenidos mediante la lixiviación de diagnóstico para menas de los filones del túnel Salvación. La lixiviación de diagnóstico mostró que el oro se encuentra libre (68%); asociado a silicatos (26.7%) y un 5.3% de oro, que no se pudo determinar su estado. En este

último caso, podría tratarse de oro libre atrapado por minerales arcillosos tipo illita.

El oro de la mina La Tosca es muy fino con tamaños variables entre 5 a 14 micras; no obstante lo anterior, los procesos de cianuración son efectivos para ese tamaño, dada la ausencia de minerales cianicidas y el alto grado de liberación de las partículas de oro; esto es corroborado por las pruebas de cianuración donde las mejores disoluciones de oro se obtuvieron para la fracción $-0.150+0.074$ mm.

La refractariedad de las menas es relativamente baja y esta se debe por lo visto a la ocurrencia del oro como inclusión en otros minerales, lo cual dificultaría la liberación y por consiguiente la exposición a la solución cianurada. En términos generales, la recuperación de oro en la mina La Tosca es en promedio de 76.5%

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La mineralización de la mina La Tosca muestra una marcada tendencia del predominio de sulfuros sobre óxidos; entre los sulfuros, la pirita es el mineral principal. De acuerdo con la relación Ag/Au, la mena es argentífera, aunque la plata se encuentra como inclusión química en los minerales de la mena, así como asociada al oro.

La composición de la mena se caracteriza por los bajos contenidos de minerales de cobre, lo cual, es característico para otras minas de la zona de Vetas. La mineralogía de la mena apunta a que el yacimiento La Tosca pueda ser considerado preliminarmente como un depósito de tipo epitermal de baja sulfidización, siendo necesarios estudios más concretos (isótopos estables, microtermometría de inclusiones fluidas, química mineral) para precisar este aspecto.

La caracterización de la mena para los procesos de beneficio basada en la ocurrencia, tamaño del oro y su relación con otros minerales, mostró que el comportamiento de la mena durante el procesamiento no debe generar grandes dificultades dada la fácil liberación del oro por el carácter simple de los intercrecimientos de este con la ilmenita y la ausencia de minerales cianicidas.

Se hace necesario, un seguimiento mas detallado a la acción que pudieran tener ciertos tipos de minerales arcillosos como la illita en el atrapamiento de finas partículas de oro, para menas con tamaño de grano fino de oro.

CONCLUSIONES

- Los filones mineralizados en la mina La Tosca tienen una dirección preferencial N40W.
- Los minerales de la mena son oro, pirita, ilmenita, calcopirita, galena, pirrotina, magnetita, tetrahedrita, marcasita, bornita. Minerales de la ganga comúnmente son cuarzo y plagioclasa.
- El oro ocurre de forma libre, incluido o asociado a ilmenita, galena. El tamaño del oro varía entre 5 y 14 mm.
- La roca encajante de la mineralización son generalmente neis cuarzo-feldespático con biotita variando a neis biotítico-hornbléndico. La alteración varía de filica a argílica.
- La ocurrencia, tamaño y relación del oro con otros minerales permite pronosticar un beneficio relativamente fácil para las menas del yacimiento La Tosca.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo financiero de la Gobernación de Santander y la Universidad Industrial de Santander a través del proyecto de investigación “Montaje de una planta piloto - demostrativa para el procesamiento de menas auroargentíferas. Fase II”, código 7446. A estas entidades y a las personas que participaron en este proyecto, los autores expresan los más sinceros agradecimientos. Igualmente, los autores agradecen la colaboración del Geólogo Alejandro Arias en la digitalización de los mapas de superficie y subterráneo; así como a dos revisores anónimos cuyas observaciones y sugerencias permitieron mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- García, W.; Rey, G. (1991). Análisis estructural y mineralógico de los yacimientos de oro y plata de la mina La Tosca. Tesis de Pregrado, Inédita. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología.

- García, C., Ríos, C. (1999). Metamorfismo y metalogenia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia. Informe final Proyecto de Investigación 1102-05-083-95 Colciencias-Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 191p.
- García, C., Uribe, E (1999). Montaje de una planta piloto - demostrativa para el procesamiento de menas auroargentíferas. Fase II. Informe Geológico y Mineralógico, Universidad Industrial de Santander, 145p
- García, C., Campos, N. (2000). Composición química y mineralogía de las biotitas metamórficas del sector central del Macizo de Santander, Colombia. Boletín de Geología UIS, Vol. 22, N° 37, pp. 18-27.
- García, C., Ríos, C. (2003). Tectonometamorphic evolution of the metamorphic rocks of Silgara Formation in the Southwest part of Santander Massif, Colombian Andes. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 16, pp. 133-154.
- García, C., Uribe, E. (2003). Los Delirios: Un yacimiento hidrotermal de oro y plata en la región de Vetas, Santander (Colombia). Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, Vol. 25, N° 40, pp. 91-103.
- García, C., Ríos, C. (2004). Occurrence and significance of the polymorphs of Al₂SiO₅ in metamorphic rocks of the Santander Massif, Eastern Cordillera (Colombian Andes). Boletín de Geología, Vol. 26, N.43, pp.23-38.
- López, M. (1999). La mineralogía de procesos y su aplicación en la cianuración de los minerales auroargentíferos. Tesis de Maestría, Inédita. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Metalúrgica, 194p.
- Uribe, E. (2000). La caracterización geológica-mineralógica como herramienta básica y esencial para la planificación de las explotaciones mineras Caso Municipio de Vetas. Monografía Especialización Inédita. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Química, 91p.
- Ward, D. et al (1973). Geología de los cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona, Departamentos de Santander y Norte de Santander. U.S. Geological Survey, Ingeominas. Boletín Geológico, Vol. XXI, N° 1-3.

Trabajo recibido: marzo 3 de 2006
Trabajo aceptado: noviembre 24 de 2006