

Mina la Bramadora: una mineralización de Au de tipo
Mesotermal

Franklin Ortiz B. *

Luis Alejandro López **

RESUMEN

El yacimiento de la mina la Bramadora, en la sección de la Unión, consiste en un sistema de vetas de tendencia general este-oeste y buzamientos bastante inclinados que se hallan alojadas en esquistos sericiticos y sericitico-grafitosos.

Las vetas han sido emplazadas a lo largo de una amplia zona de cizalla dentro de fracturas extensionales formadas por la presión lateral que produjo la estructura plegada en la región; fallamientos posteriores de dirección general norte-sur han producido en los filones desplazamientos dextrales escalonados.

Pirita, arsenopirita, galena y esfalerita son los principales constituyentes metálicos; hay cantidades menores de jamesonita, calcopirita, pirrotina y estibina acompañados de oro libre. Los minerales de ganga están representados basicamente por cuarzo, calcita y schelita con sericita y apatito como accesorios. En la zona de la Unión se ha encontrado también estibina, aunque su relación a las vetas en explotación aún no es clara; aparentemente se encuentra relacionada a otro evento mineralizante.

Las asociaciones mineralógicas identificadas indican la ocurrencia de las siguientes secuencias paragenéticas: 1) pirita + arsenopirita + cuarzo; 2) pirita + arsenopirita + galena + esfalerita + calcopirita + pirrotina + oro + marcasita(?) + cuarzo + sericita + apatito; 3) jamesonita + millerita(?) + cuarzo; y 4) calcita + pirita. Falta la clarificación de la situación paragenética de la scheelita y la estibina.

Algunos de los rasgos geológicos y geoquímicos del depósito parecen coincidir con las características típicas de los depósitos de oro mesotermal.

ABSTRACT.

The Bramadora is an historical gold and silver mine in which steeply-dipping quartz veins have been mined at several locations within carbonaceous and sericitic schists.

Mineralized veins occur along a wide shearing zone in which quartz and sulfides are filling extensional fractures of eastern-western trend. Pyrite, arsenopyrite, galena and sphalerite are the more abundant sulfides; jamesonite, chalcopyrite, pyrrhotite and stibnite occur in minor amounts. Free gold and silver are the precious metals recovered. Quartz is the dominant constituent of the vein together with calcite; also scheelite has been found in the veins.

* Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia.
Facultad de Ciencias, A.A. 3840, Medellín.

** Geólogo, Minas La Bramadora.

INTRODUCCION

La mina La Bramadora es uno de los más antiguos distritos mineros para extracción de oro y plata en Colombia. Se halla ubicada unos 100 kms. al norte de Medellín y en la jurisdicción de los Municipios de Guadalupe, Amalfi y Anorí (Fig. 1); allí se accede por la carretera que de Medellín conduce a Anorí, mediante un recorrido de 135 Km. Existe en este sitio una pequeña operación de minería y beneficio para recuperación de oro libre y de concentrados de sulfuros de Zn-Pb enriquecidos en oro y plata.

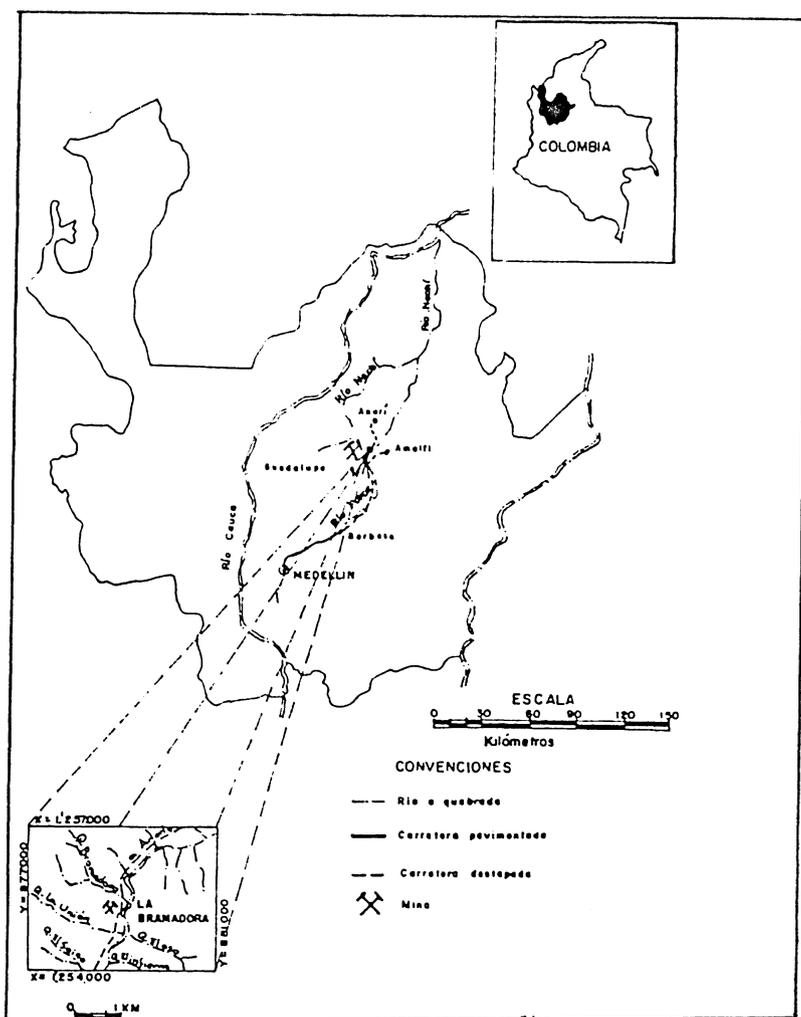


Fig. 1. Mapa de Localización área de la Mina La Bramadora

Las operaciones mineras en Bramadora datan desde unos 120 años atrás; desde ese momento ha habido una activa y antitécnica exploración y explotación minera sin que se haya definido su verdadero potencial como un depósito de oro y de los otros metales allí existentes. De esos estudios previos se pueden mencionar los siguientes:

- Bourmon (1940?), indica la existencia de fracturas filonianas encajadas en micaesquitos y talcoesquistos, en las que abundan pirita y arsenopirita, con galena y trazas infinitesimales de cobre, acompañadas de oro (en estado libre y combinado con la pirita), en una ganga de cuarzo;

- Hall et al, en 1970, anotan que en La Bramadora hay "una serie de vetas de cuarzo subparalelas, subverticales y de dirección norte-sur y estovercas que ocurren concordantes con la foliación de metalimolitas cuarzografíticas y de estratificación delgada del grupo Valdivia". Estos autores atribuyen la formación del yacimiento a la depositación de fluidos hidrotermales remanentes del Batolito Antioqueño;

- Suescún, en 1977, indica que en La Bramadora existe una mineralización "consistente en una ganga de cuarzo lechoso con alto tenor de plata nativa, sulfuros argentíferos y pirita portadora de oro y plata" en tres filones principales, paralelos, con tendencia regional este-oeste y buzamiento subvertical, acompañados de venillas también paralelas y singenéticas; y una segunda paragénesis con una mineralización de sulfuros masivos de Fe, Cu, Pb, Zn, algo de As y posiblemente Sb, muy ricos en Au y Ag, depositados mesotermalmente por fluidos hidrotermales remanentes en la parte superior del Batolito Antioqueño";

- Oquendo (1979) diferencia en el área de Guadalupe y Bramadora dos tipos de ocurrencias minerales: filoniana y de sulfuros masivos; la filoniana es subdividida en subtipo Machete y Bramadora. Caracteriza al subtipo Bramadora como mesotermal en el cual se da la presencia de filones cuarzoso con aspecto brechoide y tendencia general noroeste, encajados en esquistos grafitosos sericiticos;
- La Kennecott Minerals Co. (1982) realiza una evaluación del distrito de La Bramadora y establece la existencia de al menos siete vetas principales.

En 1987, los autores del presente trabajo, a través de un contrato de asesoría que la Universidad Nacional suscribió con la mina La Bramadora, iniciaron una serie de actividades conducentes a orientar las exploraciones sistemáticas en el conocimiento del depósito. De los objetivos de esta asesoría formó parte integral el trabajo de grado de uno de los autores (López, 1988) y los resultados del presente artículo; trabajos que estuvieron centrados basicamente en el conocimiento del sector de La Unión. En estas exploraciones se obtuvieron la mayor parte de las muestras y la información de campo para los objetivos específicos del estudio.

El propósito de este artículo es documentar las asociaciones mineralógicas y la secuencia paragenética encontradas en el yacimiento y definir las restricciones que éstas dan en establecer el origen y las condiciones de formación del depósito.

Para la determinación de estas asociaciones fueron seleccionadas y estudiadas 18 secciones delgadas y 16 secciones pulidas. Su análisis se llevo a cabo en los

laboratorios de la Universidad Nacional en Medellín, aunque adicionalmente se hizo necesario el hacer uso del difractor de rayos X, existente en la regional del INGEOMINAS en Medellín, para la determinación precisa de algunas especies minerales previamente encontradas en las secciones pulidas.

MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La unidad litológica más antigua en la región consiste de rocas metamórficas del grupo Valdivia a las cuales se les ha asignado una edad Paleozoica (Hall et al, 1972). Suprayace a la unidad metamórfica flujos de basalto espilitizado, intruidos por cuerpos de gabbro, sobre los cuales descansa o se intercala la Formación San Pablo. Esta secuencia volcano-sedimentaria se considera de edad Cretácica inferior.

Un fuerte plegamiento afectó las rocas metamórficas y las rocas volcánico-sedimentarias Cretácicas; los ejes de los pliegues tienen una orientación predominante norte-sur a norte-noroeste. En estas rocas ocurren también una serie de fallas paralelas de rumbo noroeste, denominadas fallas de intrusión, que al parecer corresponden a fallas regionales reactivadas por la intrusión del Batolito Antioqueño (Feininger et al, 1972; Feininger y Botero, 1982).

GEOLOGIA LOCAL

El marco litológico local (Fig.2) está dado por la presencia de esquistos, metabasaltos y la cuarzodiorita del Batolito Antioqueño; varios diques de dacita de dimensiones

cartografiados sólo a la escala del mapeo de socavones son resaltadas por su importancia dentro de las características del depósito.

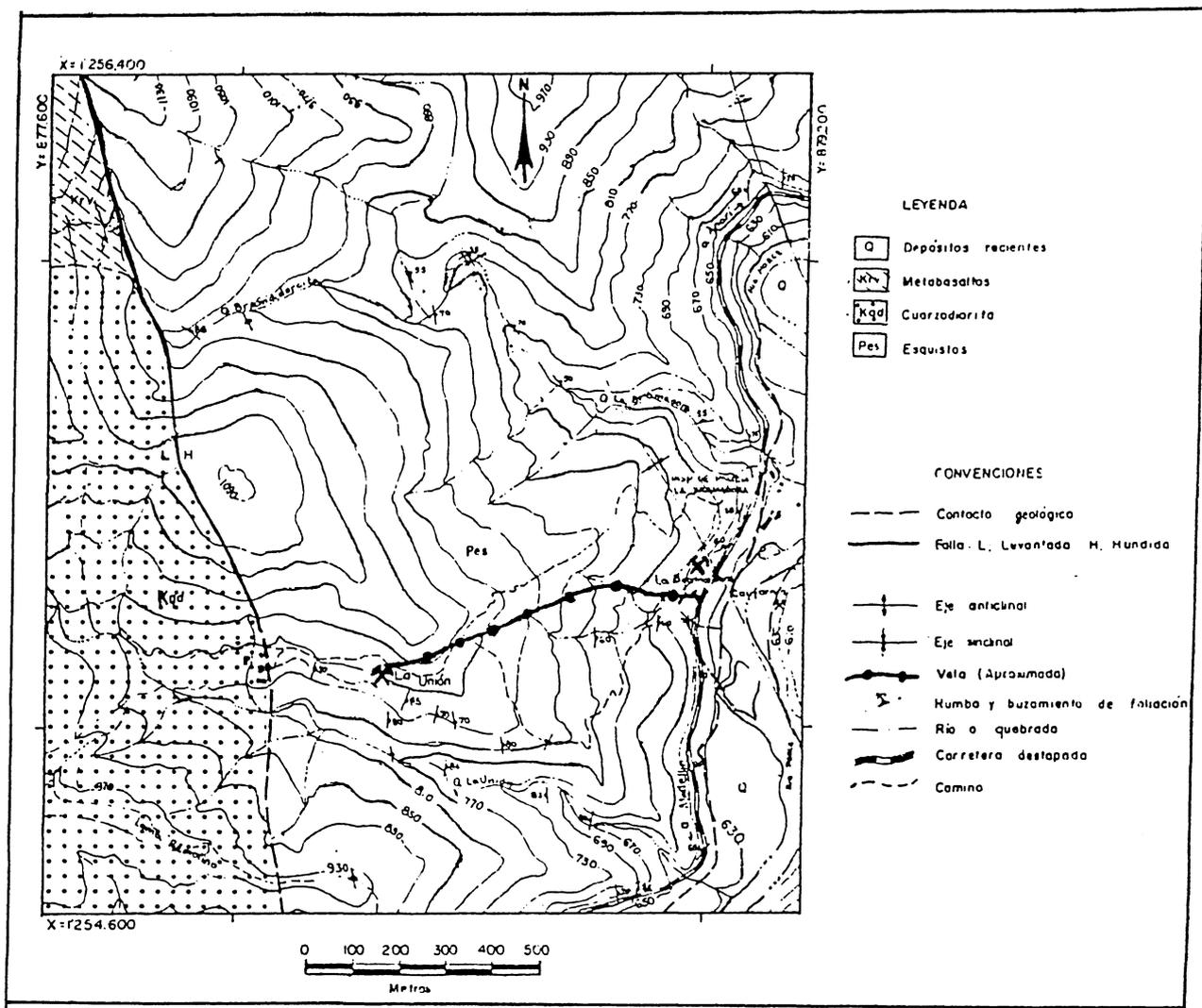


Fig.2. Geología Local y ubicación de la mineralización.

Esquistos.

Los esquistos ocupan las partes central y oriental de la zona, están representados en el área por un conjunto de esquistos sericíticos y sericítico-grafitoso intercalados

que tienen, en muestra de mano, una coloración variable desde verde grisácea a verde oscura en los primeros y de gris oscuro a negro en los segundos. Sus constituyentes esenciales son, en orden de abundancia, sericita, cuarzo, moscovita, clorita, y grafito; como accesorio se encuentra apat circón, plagioclasa (albita), turmalina, pirita y calcita. En afloramientos es frecuente la ocurrencia de lentes de cuarzo concordantes con la foliación, localmente puede alcanzar espesores de hasta 30 cm. En los sitios en explotación son abundantes las venillas y pequeños lentes, de 0.5 a 2.0 cms. de espesor, paralelos a la foliación.

Existen también venillas de cuarzo cortando la foliación perpendicularmente; en ellas hay inclusiones laminares y/o lenticulares del esquisto y pequeñas cantidades de pirita, esporádicamente galena, a menudo acumulada hacia los bordes de las venillas. Estas venillas generalmente son mas abundantes y posteriores a las que siguen la foliación, y muchas veces presentan desplazamientos inversos escalonados de hasta 5 cm. Pueden alcanzar de un 5 al 15% por metro en los afloramientos; en los trabajos subterráneos parece incrementarse en la vecindades de los filones, llegándose a encontrar, en algunos sitios, franjas de 0.5 a 1.5 metros de ancho.

El rumbo de estas venillas es en general paralelo a los filones pero casi siempre buzan en sentido contrario a ellos. Ensayos realizados por la Kennecott (1982) indican que estas venillas son generalmente estériles en valores.

La composición mineralógica de los esquistos muestra la ocurrencia de asociaciones minerales características de las facies esquisto verde, lo que esta de acuerdo con lo manifestado por Feininger et al (1972), y Hall et al (1972).

Metabasaltos

Ocurren en una pequeña franja en el extremo noroeste del área de estudio, hacia la parte alta de la quebrada Bramadorcita. Son rocas finogranulares, masivas, holocristalinas, de color verde oscuro a verde grisáceo; tiene una composición predominante espilitica, con actinolita, plagioclasa y epidota como constituyentes principales y cuarzo diseminado en granos finos y en cantidades mínimas.

Cuarzodiorita del batolito antioqueño.

La unidad cuarzodiorítica aflora en la parte occidental del área de la Bramadora. La roca típica es de color blanco, moteada de negro, con una textura medio a gruesogranular; su composición general es cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, hornblenda, biotita y accesorios. El contacto de esta unidad con las rocas metamórficas es neto y claramente discordante.

Aunque Hall et al (1972) reportan la existencia de una aureola de contacto de 500 a 2000 m. a lo largo del borde norte del Batolito Antioqueño, lo cual según estos autores originó la transformación de los esquistos en cornubianas, los efectos térmicos no son visibles en la zona de la Bramadora; si los hay son de ocurrencia restringida y de extensión métrica.

Diques dacíticos.

Una serie de diques dacíticos, de tendencia general nor-noroeste y espesor variable desde unos pocos centímetros hasta 20 m., son conocidos en la mina con el nombre de

"churumbelos". Estos diques cortan los esquistos, pero son cortados por los filones. Uno de los diques existentes es interesante porque encajona una serie de vetas subparalelas, de 2 a 10 cm. de espesor y tendencia noroeste que han sido explotadas en el llamado trabajo de churumbelo. Los contactos de los diques con el esquisto son tajantes, frecuentemente fallados y parecen seguir la foliación ocasionando cizallamiento y endurecimiento del esquisto.

Macroscópicamente la dacita es de color verde gris a blanquesino, masiva, con una textura que varía desde totalmente afanítica hasta claramente porfídica, que se acentúa con el grado de alteración de la roca. Es común en esta roca diseminación de piritita (<1%) y trazas de galena, así como también el que se encuentren venillas de cuarzo hasta de 1 cm. de espesor.

Estructuras

Prevalecen en el sector fallamientos de tendencias este-oeste y norte-sur. Las fallas de tendencia este-oeste tienen buzamientos fuertes (subverticales a verticales); son anteriores a la mineralización, pero su sentido de movimiento se desconoce. Las fallas de dirección general norte-sur, variando de N15°W a N15°E, tienen buzamientos mayores de 70° tanto al este como al oeste y en su mayoría de un movimiento dextral inverso; son fallas posteriores a la mineralización. A lo largo de estas fallas se observan en los esquistos zonas de cizallamiento y milonitización hasta de 5 m. de ancho.

Parece existir una amplia zona de cizalla en el área cuya magnitud y geometría requieren de un estudio estructural muy

detallado para su completa definición, su existencia y por supuesto la de la mineralización, con la cual tiene una estrecha asociación. De probarse esta característica, ella se puede tomar como un rasgo geológico ubicuo para definir al depósito como de tipo Mesotermal. En este aspecto la investigación apenas se ha iniciado, pero se considera que es de gran importancia si se quiere definir en su verdadera magnitud el verdadero potencial minero del área de Bramadora. Como se verá en el siguiente numeral muchos de las características que se describen de la mineralización explotada en la Unión demuestran que hay efectos de una deformación dúctil; por ejemplo, a ella se puede atribuir la amplia zona de milonitización y las formas en "huevo" y lenticulares que presentan las vetas en explotación.

CARACTERISTICAS DE LA MINERALIZACION

Existen tres sectores en el área de la mina donde se han adelantado las labores de extracción (son conocidos como La Bramadora, La Unión y California) que tomados en conjunto conforman un sistema de vetas que se extienden en el sentido de rumbo por unos 1000 metros, y hacia profundidad por 300 metros (Fig. 2). En la actualidad los trabajos mineros de explotación se hallan restringidos al sector de la Unión en donde hay tres niveles separados 45 metros entre el superior y el más inferior.

En este sector se labora en una zona de mineralización conocida por 200 metros en el sentido del rumbo y 80 metros en el sentido del buzamiento. La mineralización consiste en una veta principal y dos bandas brechoides discontinuas que

están encajadas en esquistos sericíticos y sericítico-grafitosos; las vetas tienen una tendencia aproximada este-oeste, con buzamientos fuertes (60° - 90°) variables tanto al norte como al sur. La tendencia general de la zona mineralizada es por lo tanto aproximadamente perpendicular a la dirección norte-sur dominante en la foliación de los esquistos.

Una nota de actualización debe darse aquí; durante estudios iniciales de exploración con taladro que se iniciaron en 1991, realizados desde el nivel 3 en la Unión, se cortaron 3 franjas de mineralización cuyas características son marcadamente diferentes a las antes mencionadas. Estas nuevas mineralizaciones consisten en franjas, de 1 a 4 metros de espesor, de sulfuros masivos concordantes y alternas con la foliación de esquistos cloríticos. Los sulfuros son de grano muy fino, pero se pueden distinguir macroscópicamente pirrotina (40%) y calcopirita (40%). En los análisis químicos iniciales de los núcleos se han encontrado valores de oro de 0.5 a 12 gr/ton y 7% de Zn. La exploración en la actualidad está suspendida y aún no es posible presentar la relación con respecto a las mineralizaciones que se están describiendo.

El espesor de la veta principal va desde 10 cm. hasta 1.2 m., aunque localmente por pinchamiento puede disminuir hasta 1.2 cm.

La mineralización principal consta en general de una masa tabular de cuarzo lechoso acompañado de calcita, sulfuros y scheelita que suele presentar pedazos lenticulares y/o tabulares de la roca de caja; los sulfuros (acompañados de oro libre) están distribuidos en las vetas en delgadas bandas

a manera de cintas de 0.2 a 0.3 cms. de ancho, paralelas a las paredes, y en concentraciones irregulares en forma y tamaño.

Algunos cuerpos lenticulares de brechas mineralizadas van paralelos a las vetas; son cuerpos que tienen dimensiones longitudinales de 5 a 20 metros y un espesor máximo de 1 metro. Se localizan siempre hacia el respaldo superior de la veta principal; se han reconocido dos tipos de brechas, una de las cuales parece ser contemporánea con el de la veta principal (brecha I) y la otra conteniendo fragmentos de la veta principal y de la brecha I (brecha II).

La mineralización está alojada a lo largo de fracturas preexistentes, en parte es el relleno de zonas brechadas (caso de las brechas mineralizadas) y en parte el simple relleno de fisuras abiertas (caso de los filones cuarzosos). Las fajas brechoides, como ya se dijo, son de forma lenticular; las vetas mayores muestran una forma más regular y tabular, aunque muy locamente pasen a zonas de venillas hasta de 2 cm. de espesor entrelazadas, con sus contactos con la roca de caja bien definidos.

Normalmente la fallas de tendencia este-oeste que afectan a los esquistos constituyen los límites de los respaldos superior y/o inferior de los filones y de las brechas mineralizadas. Estos respaldos son paredes lisas en las cuales, por lo general, se suele presentar una delgada faja de material arcilloso (salbanda) de color gris verdoso a negro de 1-10 cm. de ancho.

Estas fallas son de edad y desplazamiento incierto con respecto a la mineralización, aunque se estableció que a lo

largo de ellas han ocurrido movimientos durante las etapas intra y postmineralización que han dado lugar a las texturas brechosas y a pinchamientos de los filones tanto en el rumbo como en el buzamiento hasta el punto de hacerlos aparecer en ocasiones como una serie de fragmentos lenticulares (lentejones) de dimensiones variables separados por tramos de falla dentro de la estructura. También han originado la superposición de segmentos mineralizados, en especie de "huevos", que llegan a alcanzar espesores aparentes hasta de 3 metros.

Composición Mineralógica.

La heterogeneidad composicional es una característica de la mineralización estudiada; una gran variedad de sulfuros, acompañadas de oro, ocurre en las vetas. Los sulfuros son finogranulares a gruesogranulares y macroscópicamente es posible reconocer piritita, arsenopiritita, esfalerita, galena y pirrotina, ocasionalmente jamesonita, y muy raras veces calcopiritita; en promedio ellos constituyen un 5% del volumen de las vetas. Su contenido varía a lo largo del rumbo y con el buzamiento de modo que a veces las vetas tienen zonas estériles en minerales metálicos en su apariencia visual. En un tramo de una de las vetas se ha encontrado también estibina, pero su situación paragenética aún está por definirse.

Un componente dominante de la ganga es el cuarzo, en general, representa más del 80% de las vetas. Este cuarzo normalmente ocurre en formas masiva y con un aspecto lechoso. En menor cantidad, pero localmente en porcentaje bastante alto, se presenta calcita, comunmente relleno de fisuras en las masas cuarzosas; a veces se observa en cristales romboédricos bien

formados, en venillas de hasta 2 cm. de espesor que atraviezan tanto a las vetas como a la roca de caja. Parece haber una cierta tendencia de este mineral a acumularse en mayor cantidad hacia el respaldo superior de los filones. Scheelita es otro mineral de ganga que se ha encontrado; su importancia y volumén en Bramadora aún no se ha definido.

PARAGENESIS

Las relaciones texturales y las asociaciones de minerales determinadas en el trabajo petrográfico indican la ocurrencia de cuatro intervalos de depositación. Es conveniente aclarar aquí que, como los procesos de formación de una veta normalmente no son el resultado de una sola etapa, la secuencia paragenética completa puede involucrar traslapes en la depositación de los minerales tanto en espacio como en tiempo.

La secuencia de deposición de los minerales (Fig. 3) en el yacimiento estudiado es esencialmente como sigue:

- Una primera fase donde se dió el emplazamiento de abundante pirita I y arsenopirita I acompañadas de cuarzo, asociación que se manifiesta en bandas compuestas predominantemente por ambos sulfuros. El hecho de que en las secciones pulidas analizadas se observó arsenopirita primaria rodeando y reemplazando a pirita primaria en dichas bandas es indicativo de la depositación un poco más tardía de aquella.

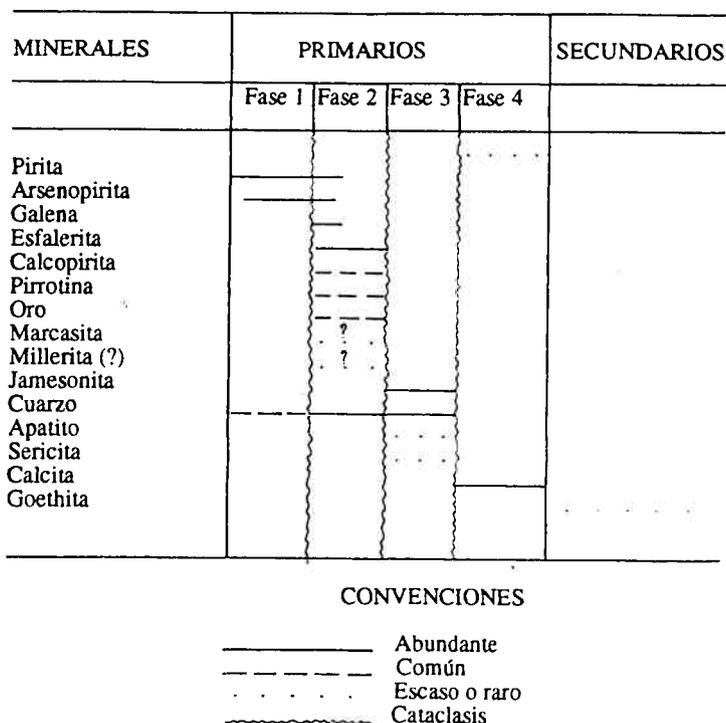


Fig. 3. Secuencia Paragenética La Bramadora.

- Esta etapa fué seguida por una fuerte cataclasis con fracturamiento y trituración de los sulfuros, la cual produjo brechamiento en algunos sectores de las zonas mineralizadas.

- El segundo evento mineralizante se inicia con la depositación temprana de arsenopirita II en íntima asociación con pirita II, lo cual está indicado por la presencia de cristales idiomórficos de arsenopirita con poco o ningún fracturamiento tanto en las bandas con pirita como en la diseminada en el cuarzo, los cuales estan a veces rodeados por pirita II. Un poco más tarde tuvo lugar la formación de galena ya que ésta reemplaza a la pirita II.

Estos minerales fueron seguidos por la introducción de esfalerita, calcopirita y pirrotina simultáneamente; los dos ultimos, al menos en parte, probablemente como productos de exsolución. Durante este período ocurrió el emplazamiento del oro en estrecha relación con galena y esfalerita, lo que

explica la esterilidad general del oro en los valores encontrados por la Kennecott en las venillas de cuarzo que cortan la foliación de los esquistos y en las cuales sólo se reconoció la existencia aislada de pirita, pero no de galena y esfalerita. La depositación de cuarzo fue aquí muy abundante y estuvo acompañada de algo de sericita y apatito.

Un segundo fenómeno cataclástico (?) afectó a la mineralización durante o después de esta fase produciendo brechamiento al parecer de ocurrencia bastante localizada (formación de la brecha II). Microscópicamente la cataclasis se manifiesta en el fracturamiento de pirita II y arsenopirita I, una particularidad de estos minerales, sin embargo, en los otros minerales metálicos hay un comportamiento mecánico diferente y el efecto es de tipo dúctil. Por ejemplo, en la esfalerita se ha observado una textura fluidal.

La tercera fase comprende la introducción de jamesonita junto con cuarzo; el cuarzo está cementando los fragmentos de la brecha II y rodeando a los sulfuros en la veta principal. Finalmente, tiene lugar la depositación de calcita rellenando espacios abiertos y reemplazando varios de los minerales antecedentes.

Un último evento de deformación está representado por los fallamientos métricos de tipo dextral que afecta a la mineralización. Los efectos de deformación se advierten claramente en el cuarzo, este mineral en sección delgada muestra extinción ondulatoria, desarrollo de subgranos y bordes de granos suturados, láminas de deformación y zonas de poligonización incipiente atravesando granos mayores.

En condiciones superficiales aparecen minerales de oxidación como la goethita.

DISCUSION SOBRE LA GENESIS DEL DEPOSITO

El punto más crítico en la explicación de la génesis de un yacimiento lo constituye la identificación de la fuente de las soluciones mineralizadoras. Existen pocas dudas acerca de que este tipo de menas se ha formado por depositación a partir de soluciones hidrotermales en fisuras abiertas y en sistemas de fracturas.

En general se ha considerado que los depósitos filonianos localizados en la periferia del batolito Antioqueño se han formado a partir de fluidos hidrotermales remanentes de la intrusión de dicho cuerpo (Guarín, 1970; Hall et al, 1970; Suescún, 1977; Oquendo, 1979) a causa de su relación espacio tiempo con las rocas encajonantes. No obstante, hay algunas consideraciones que apuntan hacia una explicación metalogenética diferente del yacimiento según la cual el contenido metálico de la mena se ha derivado en parte de fluidos originados por la deshidratación de las rocas huespedes circundantes, es decir, de las rocas metamórficas, tal y como sugieren Boyle (1969) y Saager y Bianconi (1971) para depósitos de características similares.

En este caso, el intrusivo habría actuado como una fuente de calor poniendo en circulación las aguas meteóricas o connatas atrapadas en rocas sepultadas bajo la superficie terrestre, en un movimiento de tipo convectivo; estas aguas metamórficas se combinarían con volátiles liberados por el intrusivo y causarían la lixiviación y movilización de sulfuros junto con oro, plata y otros elementos diseminados en las rocas

circundantes para luego migrar hacia zonas de dilatación donde se depositan en forma de vetas. Además, como sostiene Boyle (1969), no hay necesidad de transportar sílice una gran distancia en soluciones hidrotermales para formar el cuarzo de las vetas ya que ella es liberada en grandes cantidades de las rocas encajonantes en la medida que son atacadas por el agua, CO_2 y otros volátiles y transferida a las zonas dilatantes locales donde cristaliza como cuarzo.

Inclinarse por una cualquiera de las dos explicaciones anteriores resulta un tanto difícil ya que en ambos casos la mineralización puede originarse por agentes transportadores similares y ocurrir bajo idénticas condiciones de presión y temperatura.

Adicional a los dos modelos anteriores y de acuerdo a los resultados preliminares que se insinúan en este estudio, sobre la existencia de una íntima asociación a una zona de cizalla, se podría sugerir un tercer modelo para el origen del depósito involucrando la evolución química de aguas meteóricas que penetrarían las rocas a profundidades dentro de un régimen transicional dúctil-frágil. Esta situación puede ocurrir a profundidades de cerca de unos 12 a 15 kms. y a temperaturas de unos 350°C a 450°C (Sibson, 1986).

No hay en el momento investigaciones de inclusiones fluidas, ni de isótopos que permitan documentar al menos alguna consistencia con uno u otro modelo para el depósito de Bramadora, en estas circunstancias debe apelarse a utilizar los criterios básicos que nos entrega la petrología de las rocas encajonantes y las texturas de las menas.

Las asociaciones mineralógicas identificadas en el desarrollo

del presente estudio, en articulación con los datos obtenidos por diversos investigadores en el campo de los depósitos minerales, proporcionan indicios útiles para la clasificación genética del yacimiento.

Aunque la arsenopirita y la pirrotina se consideran a menudo como minerales de alta temperatura (asi lo expresa Ramdohr, 1969), se sabe que "que la pirrotina puede existir de forma monoclinica y hexagonal, y las condiciones de depositación pueden variar ampliamente" (Park y MacDiarmid, 1975, p. 216). La pirrotina monoclinica, por ejemplo, tiene un rango superior a la estabilidad de 254°C, mientras que el rango de estabilidad de la pirrotina hexagonal está comprendido principalmente entre 308°C y 1190°C, aunque también se extiende a temperaturas menores (Craig y Scott, 1974).

La presencia de calcopirita (y pirrotina) en forma de abundantes inclusiones cristalográficamente orientadas o distribuidas al azar en esfalerita, fenómeno común en el yacimiento de la La Unión, se atribuye usualmente a exsolución durante el enfriamiento de las menas después de su emplazamiento. Sin embargo, como se desprende de los resultados experimentales obtenidos por Wiggins y Craig (1980) y Hutchinson y Scott (1981), la exsolución de calcopirita en esfalerita en cantidades significativas no es posible a menos de que las temperaturas estén por encima de 500°C. La ocurrencia de tales temperaturas se descarta en el depósito estudiado debido a la presencia del par mineral pirita-arsenopirita, para el cual se ha determinado una temperatura máxima de estabilidad de 491°C (Clark, 1960; Craig y Vaughan, 1981).

En el llamado filón de la plata, en la sección de la Bramadora (cota 612), se presenta plata nativa (Suescún, 1977; Oquendo, 1979; Kennecott Minerals co., 1982), la cual, según Garcés (1984) aparece por primera vez en los depósitos Mesotermiales.

Por otra parte, a decir de Park y MacDiarmid (1975) la jamesonita se encuentra usualmente en depósitos mesotermiales, coincidiendo en ello con Chang y Bevet (1973) en que "los sulfoantimoniuros de plomo están esencialmente restringidos a depósitos meso y epitermales".

Las anteriores consideraciones referentes a los aspectos mineralógicos reforzados por los rasgos macroscópicos de la mineralización, como son la forma tabular de los filones, los respaldos frecuentemente lisos, el predominio del relleno, y la textura bandeada del filón son la particularidades más comunes de los depósitos mesotermiales.

Se tiene entonces que las características del yacimiento son predominantemente del tipo mesotermal, formado, según la clasificación de Lindgren (Park y Macdiarmid, 1975, Tabla 8-3), a profundidades intermedias y presión alta, y en un grado de temperatura de 200 a 300°C, aunque el inicio y el final de la deposición de la mena pueden haber traspasado estos límites. En todo caso, las máximas condiciones de P-T de mineralización están sugeridas por las asociaciones minerales de facies esquisto verde que están presentes en las rocas metamórficas del área. Las estimaciones generalmente aceptadas de límites de temperatura del metamorfismo de facies esquisto verde son 400 a 550°C (Liou, 1971; Liou et al, 1974; Winkler, 1978); la estabilidad superior de clorita coexistiendo con albita en las rocas de pared adyacentes a las vetas indican, de acuerdo con Liou et al (1974), que las

temperaturas no exceden los 475°C, lo que no difiere mucho del tope de 491°C fijado por la presencia de la asociación pirita-arsenopirita en la mineralogía del yacimiento.

CONCLUSIONES

La mineralización de La Bramadora está encajada en esquistos sericíticos y sericítico-grafitosos del Grupo Valdivia aledaños al Batolito Antioqueño, los cuales están atravesados por una serie de diques dacíticos aproximadamente paralelos y fuertemente sericitizados.

La zona mineralizada está constituida por vetas de tendencia general este-oeste y buzamientos fuertes, y ocurre en grietas de tensión formadas en un campo de esfuerzo compresional aproximadamente perpendicular a los ejes del plegamiento, y en menor escala siguiendo el contacto entre el esquisto y los diques, mostrando una preferencia por asociarse con la parte grafitosa del conjunto de esquistos. El control estructural de la mineralización es una guía fundamental en la búsqueda de la continuación de las vetas conocidas y en la programación de labores exploratorias en el área.

Las vetas están compuestas principalmente de cuarzo, con cantidades subordinadas de calcita y scheelita, pirita, arsenopirita, galena, esfalerita, jamesonita, pirrotina y estibina. El oro está asociado principalmente con esfalerita y galena o en estado libre.

Las asociaciones minerales y las relaciones texturales entre los distintos minerales y las características de las rocas

hospedes de la mineralización indican que el depósito puede ser de tipo Mesotermal. Su origen puede atribuirse a fluidos hidrotermales remanentes de la intrusión del Batolito Antioqueño, al producto de la deshidratación de las rocas metamórficas circundantes, y aún a fluidos movilizados por el calor generado en zonas de deformación de la transición dúctil-frágil en el interior de la corteza.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue realizado con el aporte económico de la Sociedad Ordinaria de Minas La Bramadora, esta ayuda es muy agradecida por los autores.

REFERENCIAS

- BOURMON, 1940(?). Estudio sobre las minas de La Bramadora (extracto), Medellín, Inf. privado, 10 p.
- BOYLE, R. 1969. Hydrothermal transport and deposition of gold: Econ. Geol. 64: 112-115.
- CLARK, L.A., 1960. The Fe-As-S sistem: Phase relations and aplicaciones: Econ. Geol. 55: 1345-1381, 1631-1652.
- CRAIG, J. and SCOTT, S., 1974. Sulfide Phase equilibria, in Ribble, P.H., ed., Sufide Mineralogy: Min. Soc. Am, Short Course Notes, 1.
- CRAIG, J. and VAUGHAM, D., 1981. Ore microscopy and ore petrography: New York, Jhon Wiley and sons, 404p.

CHANG, L. and BEVET, J., 1973. Lead sulphosalt minerals: crystal structures, stability relations and paragenesis Minerals Sci. Eng. 5: 181-191.

FEININGER, T., BARRERO, D. y CASTRO, N. 1972. Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Subzona IIB): Bol. Geol. XX, No. 2, 173p.

FEININGER, T., y BOTERO, G. 1982. The antioquian batholith, Colombia: Ingeominas, Pub. esp. No 12, 50 p.

GARCES, H. 1984. Geología Económica de los Yacimientos Minerales, 1: Génesis mineral y métodos de exploración: Medellín, Ed. Clave, 156p.

GUARIN, G. 1970. Ocurrencias minerales de los municipios de Guadalupe, Carolina y Gómez Plata: Ingeominas, inf. 1574, p 1-28.

HALL, R.B., FEININGER, T., BARRERO, D., RICO, H. y ALVAREZ, J., 1970. Recursos Minerales de parte de los Dptos. de Antioquia y Caldas: Bol. Geol. XVIII, No.2, 90p.

HALL, R.B., ALVAREZ, J., y RICO, H. 1972. Geología de parte de los Dptos. de Antioquia y Caldas (Subzona IIA): Bol. Geol. XX, No. 1, 85p.

HUTCHINSON, M. and SCOTT, S. 1981. Sphalerite geobarometry in the Cu-Fe-Zn-S sistem: Econ. Geol. 76: 143-153.

KENNECOTT MINERALS COMPANY, 1982. Evaluation of the Bramadora silver-gold district, Antioquia, Colombia: Medellín, private report, 54 p.

LIU, J.G. 1971. Synthesis and stability relations of prehnite, $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$: Am. Min. 56: 507-531.

LIU, J.G., KUNIYOSHI, S and ITO, K., 1974. Experimental studies of the phase relations between greenschist and amphibolite in a basaltic system: Am. Jour. Sci., 274: 613-632.

OQUENDO, G. 1979. Estudio geológico de las mineralizaciones en el área Guadalupe-Bramadora: Tesis, Fac. de Minas, Medellín, 171p.

PARK, C. and MacDIARMID, R., 1975. Ore Deposits: San Francisco, W.H. Freeman and Co., 530p.

RAMDHOR, P. 1969. The ore minerals and their intergrowths: Oxford, pergamon press Ltd., 1174p.

SAAGER, R. and BIANCONI, F. 1971. The Mount Nansen gold-silver deposit, Yukon territory, Canada: Min. Dep. 6 :209-224.

SIBSON, R. H. 1986. Earthquakes and Lineament infrastructure Royal Soc. London, Philos. Trans., A317: 63-79.

SUESCUN, D. 1977. Concepto geológico-minero sobre la mina La Bramadora, inf. privado, 17p.

WIGGINS, L. and CRAIG, J., 1980. Reconnaissance of the Cu-Fe-Zn-S system: sphalerite phase relationships: Econ. Geol., 75: 742-752.

WINKLER, H. 1978. Petrogénesis de rocas metamórficas: Madrid, H. Blume, 346 p.