

Evaluación Geológica, Geoquímica y Génesis de la zona de exclusión en Marmato Caldas - Colombia

Roberto Vargas Cuervo, Geólogo, MSc. Profesor. USCO. E-mail: rovarg@usco.edu.co.

Jimmy Fernández Lamus, Ing. Petróleos, MSc. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia.

Director de tesis. E-mail: fernandezj@unal.edu.co.

Resumen

El histórico y conocido Distrito Minero de Marmato el cual ha sido explotado exhaustivamente desde tiempos Precolombinos, se encuentra localizado, dentro de la unidad Geomorfológica Cauca Patia y su posición geográfica esta bajo la influencia del sistema de fallas del Cauca, con dirección N-S predominantemente, la cual hace parte del sistema de fallas de Romeral afectando el piedemonte de la cordillera occidental. El área hace parte del terreno Cauca - Romeral presentándose una diversidad de rocas en composición y origen.

En el yacimiento aurífero de Marmato dentro de la Zona de Exclusión la roca receptora de la mineralización corresponde a la unidad litológica del porfido Dacítico (Nad) controlada por una combinación de fallas y fracturas y relleno de venas principalmente de sulfuros. Las zonas mineralizadas están asociadas a fallas distensivas y relleno de fracturas con diseminaciones vetiformes a través de las rocas, en forma de estovercas y su variación en el rumbo se debe a efectos tectónicos post-mineralización.

La depositación de los minerales de mena y ganga en la zona de Marmato ocurre en tres fases las cuales identifican un mineral predominante así: Etapa temprana con pirita (Py1), intermedia con esfalerita y la tardía con pirita (Py2) y carbonatos. La mineralización económica de este distrito (Au-Ag) se ha concentrado por lo general en las asociaciones paragenéticas tempranas y tardías.

La alteración hidrotermal en la Zona de Exclusión corresponde a la alteración fílica o sericitica que es la que mas predomina en el área de estudio y es producida por la alteración de plagioclasas y ferromagnesianos y domina en principalmente hacia el nivel inferior y se encuentra restringida a distancias no mayores de 2 metros de las zonas mineralizadas. La alteración propílica es caracterizada por la presencia de epidota y/o clorita, comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita. De acuerdo a las características metalogenicas geoquímicas, de la alteración hidrotermal y sus asociaciones minerales el yacimiento de la Zona de Exclusión de Marmato se ubica dentro de los llamados depósitos epitermales de intermedia sulfuración.

Introducción

El objetivo de este trabajo es el de caracterizar los rasgos mineralógico-geoquímicos y paragenéticos, así como también la mineralogía de interés económico de los yacimientos hidrotermales de media y baja temperatura de la zona de exclusión del denominado distrito aurífero de Marmato Caldas Colombia. Se realizaron una serie de trabajos de cartografía geológica y se colectaron 355 muestras para desarrollar diferentes análisis: petrográficos, metalogénicos, difracción de Rayos X, espectrometría infrarroja (PIMA) y microscopía electrónica de barrido.

Las observaciones realizadas en sitios aledaños al área de estudio, insinúan lineamientos estructurales locales y regionales, los cuales corresponderían a un fracturamiento que genera el patrón estructural que controla la mineralización. Asociadas a las zonas mineralizadas que están rellenando fracturas, fallas y fisuras en el pórfido del Stock de Marmato, se presentan zonas de alteración hidrotermal.

La mineralización en el distrito de Marmato tiene características especiales que lo hacen un depósito geológicamente particular. No se presentan las vetas típicas de cuarzo aurífero, la presencia de sílice en las zonas mineralizadas es muy baja, la ganga la constituye el mineral calcita en forma masiva y localmente formando una amplia variedad de drusas, los minerales metálicos se presentan como sulfuros, tipo esfalerita alta en hierro denominada marmatita, pirita, calcopirita y en menor cantidad pirrotina.

Pese a la gran cantidad de trabajos que de manera puntual se han realizado en áreas aledañas al municipio de Marmato y dentro de este, orientados principalmente a la caracterización Geológica, Mineralógica, Petrográfica y Metalogénica no se ha definido claramente el origen del depósito auro-argentífero y su relación con la tectónica regional. Con este trabajo se pretende redefinir el origen del depósito metálico de Marmato en relación a un entorno tectónico regional.

Localización

El área del presente trabajo se ubica hacia el sector noroccidental del Departamento de Caldas, en el flanco oriental de la cordillera occidental, vertiente izquierda del río Cauca, zona urbana del municipio de Marmato, cubriendo un área aproximada de 18 kilómetros cuadrados en superficie localizada en la plancha topográfica 186 IV A del IGAC.

El Ministerio de Minas por intermedio de MINERCOL definió sobre un polígono una zona de reserva sobre la parte alta del área de Marmato, denominándola "Zona de Exclusión", dividida en el **Nivel Inferior**, definido como el límite entre Mineros Nacionales y la cota 1363 m.s.n.m. **Nivel Intermedio** entre las cotas 1363 y 1500 m.s.n.m. y **Nivel Superior** entre las cotas 1500 y 1600 m.s.n.m.. en donde laboran desde hace más de 80 años cerca de 300 mineros en forma artesanal y muy pocos en forma técnica, sobre los trabajos antiguos de minería dejados por los Ingleses.



Marco Geológico

El área del Distrito aurífero argentífero de Marmato está íntimamente asociado al borde continental de la Placa Suramericana y a su contacto con el terreno aloctono, denominado Arco del Chocó de afinidad Oceánica; su litología corresponde a una serie de rocas de tipo basaltos en forma de cuñas imbricadas tectónicamente, e intruidas por diferentes pulsos magmáticos, formando un típico Melange, así también cuencas sedimentarias intramontañas se generaron y posteriormente fueron llenadas por sedimentos continentales de las formaciones Amaga y Combia.



Figura 1. Imagen del modelo de elevación del Cauca medio.

En forma general en el área estudiada afloran rocas metamórficas de posible edad cretácea, porfidos dacíticos neógenos y depósitos cuaternarios y recientes.

El marco de referencia estructural está dado por dos sistemas de fallas de carácter regional y de gran importancia en la evaluación geotectónica de los Andes Septentrionales las cuales son el sistema de fallas de Romeral al oriente (SFR) de edad aptiano albiano (Geotec 2003) y el sistema de fallas de Garrapatas Murindo Mistrato (SGM) al occidente y de edad oligoceno. El sector enmarcado entre estos dos sistemas de falla corresponde a la cuenca del Cauca, con un basamento oceánico y un relleno sedimentario que data del oligoceno.

Con el objetivo de tener una visión más amplia de la geología regional relacionada directa o indirectamente con el área de Marmato se realizó una integración cartográfica de las planchas 186 - 187, 205 - 206, a escala 1:100.000 editadas por el Ingeominas. Así también se realizó una codificación con una nomenclatura estratigráfica para las unidades litológicas más prominentes debido a las numerosas denominaciones locales, que presentan los mapas de Ingeominas. Este trabajo fue apoyado con una visita de campo reconociendo las zonas mineras más importantes como también con el apoyo de imágenes de satélite y un modelo de elevación. (Véase figuras 1 y 2).



¹ GEOTEC. 2002, Comunicación verbal.

Evaluación Geológica, Geoquímica y Génesis de la zona de exclusión en Marmato Caldas - Colombia

La unidad de esquistos presentes corresponden a dos escamas xenolíticas localizadas en el techo del cuerpo ígneo; el primer cuerpo tiene una longitud de unos 150 mt en dirección E-W y una amplitud máxima de 35 mt localizado en la cresta del alto del burro. El otro cuerpo se presenta hacia el norte del área en la vereda Echandia.

Los porfidos dacíticos son las rocas más extendidas e importantes de área estudiada, pues constituyen la roca hospedante de la mineralización aurífera; la forma del cuerpo litológico es alargada en dirección aproximada norte sur y paralela a las estructuras regionales y es intrusivo en rocas sedimentarias de la formación Amaga. Macroscópicamente son rocas de color gris verdoso, cuando están frescas, observándose en los trabajos subterráneos, principalmente en las cruzadas de las minas hacia las zonas mineralizadas, en forma general la roca es de color blanquecino a amarillo y localmente con coloraciones rojizas generadas por oxidación.

Generalmente los porfidos dacíticos en superficie son friables y deslenables y de peso ligero, forman suelos residuales de color gris a amarillo ladrillo en los que se conserva la estructura de la roca original, estas características se atribuyen a la alteración hidrotermal que afecta a estas rocas.

Las rocas andesíticas presentan una estructura maciza, compactas y son de color gris verdoso a claro en roca fresca, cuando la roca se meteoriza forma un saprofito arcilloso de color amarillo a pardo, en el que sobresalen numerosas manchas blanquecinas que corresponden a los residuos de las plagioclasas.

Los reconocimientos e interpretaciones de este trabajo presumen que el cambio de fases andesíticas y dacíticas pueden indicar diferentes alturas de cristalización de un mismo evento intrusivo en donde la fase dominante es la dacítica y las variaciones en la composición local del magma original genera variaciones petrográficas pero con las mismas raíces geoquímicas (Gran Colombia 1995)².

En el área correspondiente a la Zona de Exclusión se presentan depósitos cuaternarios representados por acumulaciones coluviales, asociadas a las

quebradas que cortan el área como también derrumbes y depósitos antrópicos asociados a las quebradas Pantanos, Cascabel, Canalón de la Iglesia y Marmato como producto de arrastre de materiales provenientes de la minería.

PROCESOS DE MINERALIZACIÓN

Las características estructurales de la Zona de Exclusión descritas en este trabajo para el área de Marmato y después de su procesamiento estadístico determinan que el 63% de las vetas tienen un rumbo N40-60W con inclinaciones altas hacia el NE, estas mineralizaciones son las que presentan un mejor tenor de oro. Así también el 24% poseen rumbos de N10-20W con inclinaciones hacia el SW. El 13% restante pertenece a un tercer sistema de mineralización con rumbos N40-60E con inclinaciones hacia el SE.

La distribución espacial en sentido lateral de las vetas mineralizadas en Marmato fueron descritas desde finales del siglo XVIII por la empresa Canadiense Mining Enterprises Corporación y acogida posteriormente por Garcés, H. y Alvarez. En general se divide el área de Marmato en tres grupos: Norte representadas por el sistema de vetas de Santa Inés y el sistema de vetas Porvenir la zona central representadas por el sistema de vetas Aguaceral y Mellizos y la zona sur con el sistema de vetas de Cascabel y Conancos.

Mineralización de los cuerpos de Mena y Ganga

La identificación y descripción de los minerales de Mena de la Zona de Exclusión de Marmato fueron realizadas a partir del reconocimiento y cartografía geológica de los túneles de las minas, la recopilación bibliográfica, la realización y descripción secciones pulidas; como también la identificación de treinta puntos de microscopía electrónica. En general los minerales corresponden principalmente a pirita, pirrotina esfalerita, arsenopirita, calcopirita, oro, plata, galena, sulfosales de plata, marcasita y polibasita. Los minerales de ganga presentes corresponden a cuarzo, calcita y clorita principalmente.

²GRAN COLOMBIA REOSURSES. 1995. Informe interno.

La pirrotina se presenta en forma de cristales subhedrales a anhedrales de tamaño medio y comúnmente como mineral esquelético dentro de pirita Py1 la cual reemplaza desde el borde hacia el centro y menormente en los planos de clivaje, también se observa la esfalerita sustituyendo a la pirrotina y a algunos minerales de alteración como en venas de calcita.

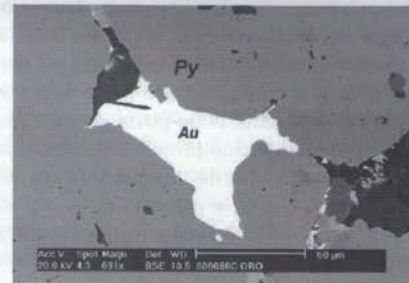
La pirita es el mineral más abundante en las vetas mineralizadas y constituye más del 80% de los minerales presentes en las zonas de mena, también se presenta en forma de venillas milimétricas y en forma diseminada (puntos y nidos) en las rocas dacíticas frescas aledañas a las vetas. La pirita uno (Py1) depositada en el primer evento posteriormente a la depositación de pirrotina, ya que la Py1 reemplaza y envuelve a la pirrotina, la Py1 se presenta normalmente en cristales medios a gruesos; de formas cúbicas, pseudocúbicas y cristales anhedrales, algunos con unión triple, se observan aisladamente microglobulos de oro dentro de la pirita.

La Galena se presenta en forma de cristales subeuhedrales a anhedrales de granulación fina, ocupando intersticios dentro de Py1 como también con textura de remplazamiento desde los bordes hacia el núcleo de la Py1 (M1069199352), también se muestra asociada a las plata y sulfosales de bismuto.

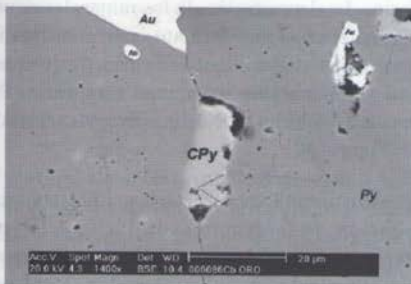
La esfalerita dentro de los minerales de mena es el segundo en abundancia después de la Py1, ocurre generalmente como agregados masivos pero también como cristales individuales subeuhedrales a anhedrales; se presenta en forma de bandas hacia los bordes de los filones, intercrecida y asociada a las bandas de pirita. De acuerdo a las observaciones realizadas en las secciones pulidas se determina para la esfalerita que su máxima depositación ocurre en la etapa intermedia con presencia de una mínima cantidad de cristales al final de la etapa temprana.



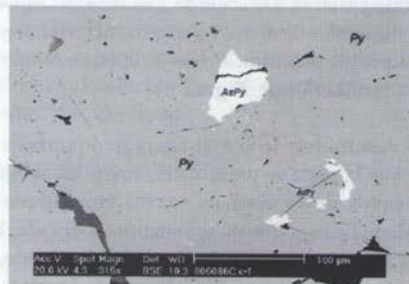
A



B



C



D

Figura 3. IGM 806086 Mina la Suspira. **A.** Esfalerita dentro de pirita, galena argentífera, sales de bismuto y oro dentro de pirita. **B.** Oro dentro de Py1. **C.** Oro en granos micrométricos dentro de Py1, calcopirita y trazas de plata. **D.** Arsenopirita dentro de pirita.

La arsenopirita se presenta principalmente hacia la parte baja del sistema y se encuentra intercrecida y remplazando a pirita¹, como también ocupando espacios entre cristales de pirita en contactos rectos. De acuerdo a su relación espacial con la pirita se determina su depositación en la parte final de la etapa temprana y al inicio de la etapa intermedia de la paragenesis mineral. (Véase figura 3).

La calcopirita se manifiesta como mineral accesorio de los minerales de mena, en formas anhedrales y de granulación media a fina, asociada a la pirita sustituyéndola en sus bordes y espacios intracrystalinos; también ocurre intercrecida con esfalerita y a manera de microglóbulos en esta. Igualmente es común la presencia de calcopirita en la ganga rellenando fracturas finas en cuarzo y calcita así como en forma de puntos y nidos entre los feldspatos sericitizados.

El oro se presenta como oro libre y oro electrum, también como mineral accesorio en todos los sectores de la Zona de Exclusión de Marmato asociado principalmente a los segmentos vetiformes por donde se presenta la mineralización. De igual forma está asociado a venillas rellenas de pirita en roca fresca parcialmente con alteración propflica y determinado por geoquímica en zonas de muestreo de cruzadas. En forma general el oro se presenta de granulación muy fina de tamaño micrométrico y no es observado fácilmente en secciones pulidas. Comúnmente el oro se presenta a manera de microglóbulos dentro de pirita y galena; además entre planos de contacto de pirita y calcopirita y dentro de los minerales de ganga con calcita y cuarzo. De acuerdo a su relación espacial con los minerales de mena y ganga se determina para el oro pulsos de depositación desde la etapa temprana hasta la tardía. (Véase Figura 3).

De los resultados de los análisis geoquímicos se deduce que la plata se presenta en todos los sectores muestreados de la zona de exclusión, aunque en secciones pulidas no fue directamente observada. Los análisis realizados por intermedio del método de microscopía electrónica muestran que la plata se presenta intercrecida con galena y dentro de

esfalerita, como también asociada a polibasita dentro de los planos de clivaje de la pirita (Py1), igualmente está asociada a sales de bismuto.

Los minerales de ganga observados para las zonas mineralizadas corresponden principalmente a calcita, cuarzo y clorita y esporádicamente a sulfatos de yeso intermezclados en la roca de caja muy alterada hidrotermalmente. La calcita es el mineral de ganga más abundante se presenta como material cementante y microcristalino asociado a la Py1, esfalerita, galena y calcopirita como también rellenando microfracturas y dentro de los planos de clivaje de estos minerales. Esta asociación manifiesta para la calcita un evento de depositación continuo desde la etapa temprana hasta la etapa tardía.

El cuarzo se presenta como mineral secundario en la ganga, de presenta de formas euhedrales a anhedrales, localmente se observa en agregados policristalinos con textura de mosaico, también rellenando venillas en Py1 y en esfalerita, asociado con calcita y clorita.

Secuencia Paragenética

El diagrama de la secuencia paragenética de la Zona de Exclusión es el resultado de la observación y análisis de las secciones delgadas, pulidas, microscopía electrónica y control de campo en los túneles a lo largo de las zonas mineralizadas. Así también fue realizada una recopilación bibliográfica de los diferentes estudios paragenéticos efectuados en el área de Marmato en trabajos con interés académico³, investigativo y económico. La depositación de los minerales de mena y ganga en la zona de Marmato ocurre en tres fases principales, las cuales identifican principalmente un mineral predominante así: etapa temprana (Py1), intermedia (esfalerita) y tardía. (Py2 y carbonatos). (Véase Figura 4).

La etapa temprana es caracterizada por abundante depositación de la denominada Pirita 1 (Py1) de carácter cristalino y de tamaños gruesos a finos de formas euhedrales y subeuhedrales, localmente pseudocúbicas formando vetas masivas, venas y

³DÍAZ, P. 2002. Composição Isotópica e Idade Das Mineralizações de Au Epitermal do Distrito Mineiro de Marmato, Noroeste de Colômbia. UNIVERSIDAD DE SÃO PAULO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS.

venillas en las zonas mineralizadas, en las zonas de alteración y ganga se presentan en forma de venas y venillas de espesores variables. En las rocas dacíticas de caja también hay presencia de pirita en formas cristalinas pseudocúbicas y en puntos y nidos diseminada en toda la roca con porcentajes variables, también es común a lo largo de los planos de diaclasas formando delgadas películas. La pirrotina en menor proporción que la Py1 es el primer sulfuro en precipitar en esta etapa, se presenta como mineral accesorio en la pirita, dentro de sus planos de clivaje e intercrecida con ella. La depositación de la pirrotina finaliza en la parte media de la etapa temprana. El oro comienza su depositación hacia la mitad de la etapa temprana presentándose en los planos de clivaje de la Py1 y en forma de microglobulos en Py1. La galena comienza a precipitar al final de esta etapa y se encuentra asociada a la plata indicando también el comienzo de la depositación de esta. La arsenopirita contemporánea con la pirita inicia su depositación hacia la mitad de la etapa temprana siendo de mayor concentración hacia el final y continuando en la etapa intermedia. Se presenta intercrecida con Py1 y a lo largo de los contactos entre cristales de pirita. (Véase Figura 4).

La etapa Intermedia es caracterizada por el dominio de la esfalerita y el decrecimiento en la depositación de la pirita. En reconocimientos de campo se observa en las zonas mineralizadas bandas uniformes de esfalerita en los bordes de las vetas y hacia el centro concentración de pirita. En las secciones pulidas se presentan como agregados cristalinos intercrecidos con pirita como también asociada a la calcopirita la cual tiene su mayor desarrollo en esta etapa. La arsenopirita se encuentra en esta etapa asociada a la calcopirita. El oro se encuentra presente en toda la etapa intermedia en menor proporción asociado a esfalerita, calcopirita y pirita1.

En la etapa tardía según Bedoya* 1989 hacia la culminación de la etapa intermedia se presenta un evento tectónico el cual modifica las condiciones del fluido mineralizante conduciendo a un brechamiento del sistema mineralizado. En este trabajo se observaron algunos indicios de este

evento manifestado por fracturamiento de minerales con pequeños desplazamientos, como también a nivel macroscópico la presencia de pequeñas fallas distensivas que desplazan localmente vetas de pirita 1 y esfalerita. Mineralógicamente esta etapa se caracteriza por la precipitación de la pirita 2 (Py2) y mayor desarrollo en la depositación de carbonatos; la calcita es el mineral de ganga más abundante, se observa localmente en forma cristalina muy fina asociada a la Py1, esfalerita, galena y calcopirita entre otros. También es común su presencia como material de relleno en forma de venas y venillas como en forma pelicular en las paredes de las diaclasas y como material cementante en zonas de falla. La pirita 2 (Py2) es uno de los minerales característicos de la etapa tardía y se presenta en forma granular fina a muy fina bordeando la Py1, asociada a la ganga y con textura penetrativa en Py1, esfalerita, galena, etc.

Finalmente se encuentran los minerales formados por procesos de oxidación y alteración supergénica de sulfuros. Los procesos más comunes son la alteración de pirita y calcopirita a calcosina y bornita. La alteración de estos sulfuros primarios comienza en los bordes del cristal, fracturas y/o planos de exfoliación. Los sulfuros secundarios como calcosina han sido destruidos en su gran mayoría generando óxidos e hidróxidos de hierro como goethita y hematita. El oro liberado en la destrucción de los minerales primarios, se ha encontrado como elemento nativo en las zonas oxidadas con goethita.

Para la zona de Marmato es muy común la presencia de un Gossans ferruginoso sobre la superficie y dentro de algunos túneles de color rojizo fuerte el cual es explotado por grupos de mineros y recibe el nombre de "Colorado".

Alteración Hidrotermal

De acuerdo a lo observado la alteración sericitica es la que más predomina en el área de estudio y es producida por la alteración de plagioclasas y ferromagnesianos. La alteración sericitica fuerte

* LOPEZ-RENDON J. E. e BEDOYA O. G. 1989. Geología, mineralogía e aspectos genéticos de las minas La Palma y La Negra, distrito minero de Marmato. Memorias, V Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga, Tomo I: 561-588.

domina en proporción alta principalmente hacia el nivel inferior y se encuentra restringida a distancias no mayores de 2 metros de las zonas mineralizadas y sobreimpuestas a otro tipo de alteraciones haciendo difícil su cartografía. Así también dentro de esta unidad

pueden presentarse diferencias en asociaciones mineralógicas como son la de sericita-cuarzo y sericita-carbonatos siendo mas común esta última y dominando mas hacia la parte baja del sistema y hacia el sector norte en las vetas de Porvenir y Santa Inés.

MINERAL	I (TEMPRANA)	II (Intermediaria)	III (Tardia)	IV Supergénica
Pirita	██████████	-----	-----	
Esfalerita		██████████		
Calcopirita		-----	-----	
Galena		██████████	-----	
Pirrotita	██████████			
Arsenopirita	-----	-----		
Plata	-----	-----	-----	
Oro	-----	-----	-----	
Cuarzo	██████████	██████████	██████████	
Calcita	-----	-----	██████████	
Clorita			██████████	
Marcasita			-----	
Goethita				██████████
Hematita				-----
Argilomineral				██████████
ABUNDANCIA RELATIVA				
Muy Abundante:		██████████		
Poco Abundante:		-----		
Ocasional		-----		

Figura 4. Secuencia Paragenética.

Las plagioclasas se encuentran fuertemente seritizadas dejando localmente relictos de su estructura cristalina primaria, los máficos de tipo hornblendas y biotitas se encuentran alterados generando sericita y clorita. Hacia las vetas del sector sur y la parte alta del sistema se hace mas notoria la alteración de los fenocristales de plagioclasas de los porfidos dacíticos a una alteración sericitica fuerte con un dominio de la asociación sericita cuarzo sobre impuesta a la alteración propflica. En varios sectores del nivel superior y principalmente en el sistema de vetas del sur se observó la alteración sericitica moderada a débil con asociaciones sericita cuarzo y sericita carbonatos. En este tipo de alteración la plagioclasa esta parcialmente alterada a sericita en sus bordes y planos de clivaje, cuarzo secundario se encuentra asociado a la sericita y dentro de la matriz.

La alteración sericitica débil puede ser también observada a lo largo de las cruzadas y zonas mineralizadas con delgadas venillas de pirita.

La alteración propflica es caracterizada por la presencia de epidota y/o clorita, comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita. Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal, por esta razón esta alteración es la más extendida en la zona de estudio siendo sobreimpuesta en las zonas proximales a la mineralización por la alteración filica o sericitica fuerte. En los análisis petrográficos se observó este tipo de alteración proveniente principalmente de los minerales máficos: hornblenda y biotita sustituidos por clorita, calcita generalmente

4 Ingeniería y Región

a lo largo de los planos de clivaje y maclas. También es común encontrar la alteración propilica como poco pervasiva donde la alteración se limita a las vecindades de las fracturas por donde circuló el fluido, pero las partes masivas de las rocas están inalteradas. La calcita es el mineral más abundante asociado a este tipo de alteración y comúnmente relacionado con clorita, se presenta tanto en los fenocristales porfiríticos de la dacita compuestos por plagioclasas y hornblendas como también en la matriz. En las plagioclasas la calcita esta comúnmente asociada a sericita presentándose en sus bordes.

En rocas parcialmente frescas cortadas en las cruzadas de las minas y retiradas hasta 50 metros de las zonas mineralizadas centrales se observó los minerales máficos alterados principalmente a clorita y minerales de arcilla, mientras en zonas cercanas a la mineralización es más común la presencia de la asociación clorita-epidota.

De acuerdo a lo observado en la Zona de Exclusión el proceso de silificación es mas notorio hacia la parte alta del sistema en los niveles medio y superior, comúnmente se sobreimpone a otro tipo de alteraciones como la sericitica fuerte, y propilica. Generalmente las zonas silificadas también están asociadas a brechas tectónicas y a rocas muy fracturadas, pero en general no es continua y se extiende centimetricamente hasta unos pocos metros a lado y lado de las zonas mineralizadas. En general el cuarzo es microcristalino de carácter secundario y comúnmente con extinción ondulante y se presenta rellenando intersticios dentro de los fenocristales de plagioclasas y en forma de venillas delgadas.

Génesis

Los yacimientos epitermales de metales preciosos se forman, en un rango de bajas temperaturas (50-300°C), en asociación con manifestaciones volcánicas tipo aparato central, calderas, cuerpos hipoabisales o campos geotérmicos. Son yacimientos de baja ley y se clasifican en tres tipos: 1) sulfato ácido o alta sulfuración; 2) sericita-adularia o baja sulfuración; 3) Intermedia sulfuración ricos en Ag y Zn⁵.

Los miembros del extremo de baja sulfuración son depósitos que contienen piritita, pirotilita, arsenopiritita y alto hierro. Esfalerita en contraste a piritita enargarita- luzonita- típicas de depósitos de alta sulfuración. Un subgrupo poco descrito en la literatura reciente son los depósitos de intermedia sulfuración caracterizados por contener Piritita, esfalerita ferrica (marmatita), galena, pirrotina, arsenopiritita, calcopiritita, y sulfosales.

Los depósitos de estado de sulfuración intermedia son ricos en plata (Ag) y metales básicos, comparados a los miembros ricos en oro de los depósitos de baja sulfuración, mas comúnmente reflejando variaciones de salinidad. Existen texturas minerales características y ensamblajes asociados con depósitos epitermales y acoplados con inclusiones fluidas que indican que la mayoría de los depósitos de baja, intermedia y alta sulfuración se forman en un grupo de temperatura de cerca de 160° a 300°C. Este intervalo de temperatura corresponde a una profundidad de cerca de 50 a 700m, respectivamente, dada la común evidencia de evaporación con zonas de oro epitermal. La ebullición es el proceso que más favorece la precipitación de metales complejos bisulfídicos como el oro. Este proceso y el rápido enfriamiento consiguiente también resulta en muchas características relacionadas, como la depositación de minerales de ganga de calcita, clorita en los depósitos de intermedia y baja sulfuración y la formación de corrientes de agua que crean una avanzada alteración argilica en mantos en tanto depósitos de alta y baja sulfuración.

La integración de los datos geológicos, petrográficos, metalogénicos y geoquímicos obtenidos en la realización de este trabajo indican que el distrito minero de Marmato corresponde a un depósito epitermal de intermedia sulfuración caracterizado por Contener mayor contenido de sulfuros que el alta y baja sulfuración. Presenta abundante Zn (esfalerita), plomo subordinado y piritita. Posee una relación de Ag/Au, de 10:1 con alto contenido de plata.

Los análisis de inclusiones salinas muestran un rango entre 5-10 wt% de NaCl.

⁵ Hedenquist W. Arribas, A. 2000. SEG Vol. 13. Exploration for epithermal gold deposits.

En forma general y según la correlación de los datos producidos por el PIMA se concluye que de acuerdo a las características de la alteración hidrotermal y sus asociaciones minerales el yacimiento de la Zona de Exclusión de Marmato se ubica dentro de los llamados depósitos epitermales de baja sulfuración, aunque de acuerdo al análisis realizado y correlacionándolo con la información más reciente publicada este diagrama puede ser modificado incluyendo el concepto de intermedia sulfuración.

MODELO GENÉTICO DE LAS MINERALIZACIONES AURÍFERAS DE LA ZONA DE EXCLUSION EN MARMATO CALDAS

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN GENERAL
Ambiente tectónico	Márgenes convergentes de las placas de Nazca y suramericana con un componente oblicuo por la colisión del arco de Panamá- Chocó, con el NW de América del sur. Generando una tectónica distensiva
Formación de Magma	Originado en el Manto formado por la subducción de la placa de Nazca con la placa suramericana
Ascenso de Magmas	Ascenso rápido de los magmas a niveles de la corteza superior, controlado por el sistema de fallas de Cauca-Romeral. Emplazado en un ambiente tectónico distensional
Ubicación del Magma	Corteza superior
Tipo de Magmatismo	Calcoalcálico a Toleítico
Roca Encajante	Porfido, Dacítico-andesítico
Edad del Stock de Marmato	6.3+- 0.7Ma
Sistema hidrotermal	Originado por el enfriamiento magmático en la etapa volátil asociado al sistema activo de fallas de Romeral
Duración del sistema hidrotermal	Un intervalo entre 6.3+- 0.7Ma y 5.6+-06 Ma (700 mil años)
Tipo de fluidos	Mezcla de fluidos magmáticos a meteoricos
Temperatura de los fluidos	260 a 310°C
Alteración hidrotermal	Filica (sericita carbonatos) propilica (clorita epidota), argilica
Zona de alteración	Extensa alteración propilica y angosta e irregular zona filica
Minerales claves de alteración	Sericita- illita -calcita . Clorita
PH de fluidos	Intermedia, 5-6
Control de la mineralización	Estructural, fallas y diaclasas distensionales con orientación NNW a E_W, formados en un ambiente distensional
Estructura	Relleno de espacios abiertos formando bandas de pirita y esfalerita
Minerales económicos	Oro y plata
Minerales de Mena	Pirita, esfalerita, galena, pirrotina, arsenopirita, calcopirita, oro electrum, plata, polibasita, sulfosales de bismuto
Minerales de ganga	Calcita, cuarzo, clorita
Paragenesis	Pirrotina___ Py1___Arsenopirita___Oro___ Galena ___ Esfalerita___ Calcopirita___ Py2___ Ganga
Carácter de los fluidos	Baja salinidad, aguas meteoricas en posible interacción con fluidos magmaticos
Geoquímica	Anomalias de Cu,Pb, Zn, As, Bi
CLASIFICACIÓN	DEPÓSITO EPITERMAL DE ORO Y PLATA DE INTERMEDIA SULFURACIÓN

Referencias Bibliográficas

1. BEDOYA, O. G. 1998. Geology, hydrothermal alteration, paragenetic sequence and fluid inclusion analysis of La Maruja Level, Marmato District, Caldas Department, Colombia. Thesis of Master of Science, Colorado State University, Fort Collins Colorado, EU, 165p.
2. BUENAVENTURA R. e ZULUAGA M. 1980. Mineralización Auro-argentífera en la zona de Echandia, Marmato Caldas Grancolombia Reosurses Ltda.
3. BUENAVENTURA, J. A. 1997. Mineralización auro-argentífera en la zona de Echandia (Marmato Caldas). Informe final, Grancolombia Resources Ltda, Santa Fé de Bogotá, 32p.
4. CEDIEL, F., F. ETAYO, AND C. CÁCERES, 1994, Facies Distribution and Tectonic Setting through the Phanerozoic of Colombia, Geotec Ltd., Bogotá. (17 time-slices / Maps in scale 1:2,000,000), Editor: INGEOMINAS.
5. CEDIEL, F. AND C. CÁCERES, 2000, Geological Map of Colombia, 1: 2,000,000, Geotec Ltda., Bogotá, Third Edition, digital format with legend and tectono-stratigraphic chart.
6. CEDIEL, F., SHAW, R.P., AND CÁCERES, C. 2002. in press, Tectonic assembly of the Northern Andean Block in The circum-gulf of Mexico and Caribbean region: plate tectonics, basin formation and hydrocarbon habitats, American Association of Petroleum Geologists's Memoir.
7. HEDENQUIST W. ARRIBAS, A . 2000. SEG Exploration for epithermal gold deposits. Vol. 13.
8. LOPEZ-RENDON J.E. e BEDOYA O.G. 1989. Geología, mineralogía e aspectos genéticos de las minas La Palma y La Negra, distrito minero de Marmato. Memorias, V Congreso Colombiano de Geología, Bucaramanga, Tomo I: 561-588.
9. VARGAS. R, 1997 Geología muestreo y mapeos de detalle de los trabajos subterráneos del área de La Llanada-Sotomayor, prospectos El Páramo, El Canadá, La Palmera, Las Golondrinas, El Huilque, para oro, toma de muestras, cartografía. Nariño, Colombia. Barro Blanco.