

ANÁLISIS PARAGENÉTICO Y MICROTERMOMÉTRICO DE LAS MINERALIZACIONES AURO-ARGENTÍFERAS DEL DISTRITO MINERO SEGOVIA-REMEDIOS (DMSR): IMPLICACIONES PARA LA FUENTE Y NATURALEZA DE LOS FLUIDOS MINERALIZANTES

PARAGENETIC AND MICROTHERMOMETRIC ANALYSIS OF THE AU-AG ORES FROM THE SEGOVIA-REMEDIOS MINING DISTRICT (SRMD): IMPLICATIONS FOR THE SOURCE AND NATURE OF THE ORE-FORMING FLUIDS

JULIÁN DAVID MANCO P.

Ingeniero Geólogo, Minatura International LLC, jdmanco@gmail.com

JUAN CARLOS MOLANO M.

MSc., Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

OSWALDO ORDÓÑEZ CARMONA

PhD., Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

Recibido para evaluación: 27 Junio 2012 / Aceptación: 21 Septiembre: 2012 / Recibida Versión Final: 04 Diciembre 2012

RESUMEN: El distrito Minero Segovia-Remedios (DMSR) es uno de los distritos auríferos más grandes de Colombia por la cantidad de recursos generados y por la trayectoria y reconocimiento que le ha dado a las explotaciones de oro en el Nordeste Antioqueño. El remarcado control estructural de las vetas del DMSR así como su localización espacial con respecto a la complejidad geológica de la zona, ha sugerido múltiples posibilidades para la procedencia de los fluidos mineralizantes. Según el presente trabajo, la paragénesis mineral global para muestras del DMSR en el área de la empresa Frontino Gold Mines (FGM), puede agruparse en tres estadios de precipitación, donde la mena auro-argentífera estaría asociada a una Fase II denominada (Mineralizante) la cual fue acompañada de grandes volúmenes de Galena + Esfalerita + Cuarzo y en menor cantidad de Pirita ± Calcopirita ± Pirrotina. En las muestras del DMSR se observan inclusiones fluidas principalmente bifásicas acuosas ($L_{H_2O}+V_{H_2O}$) las cuales poseen al menos tres asociaciones según su temperatura de homogenización y salinidad, el sistema salino dominante de las inclusiones fluidas es $H_2O+NaCl+CaCl_2$ sugiriendo una fuente de derivación magmática.

Palabras clave: Distrito Minero Segovia-Remedios, Batolito de Segovia, Frontino Gold Mines, Paragénesis Mineral, inclusiones fluidas.

ABSTRACT: The Segovia-Remedios Mining District is one of the largest Colombian Gold Fields because of the amount of mineral resources produced since the last century, and its recognition for gold mining exploitation in Northeast Antioquia. The remarkable structural control of lode deposits (besides the geological complexity or the location of the area) have conducted many researchers to suggest different evolution models to achieve real fluid sources. Based on microscopic relationships, a three-stage mineral paragenesis is proposed in this work, where Ag-Au ores precipitated in phase II (Mineralizing) accompanied by a big volume of sphalerite + galena + quartz with few quantities of pyrite ± chalcopyrite ± pyrrhotite. The DMSR samples exhibit bi-phase fluid inclusions ($L_{H_2O}+V_{H_2O}$) which have at least three different associations according to Th (Homogenization temperature) and salinity values. The saline system is $H_2O+NaCl+CaCl_2$ likely exhibit a magmatic source.

Key Words: Segovia-Remedios Mining District, Segovia Batholith, Frontino Gold Mines, Mineral Paragenesis, Fluid inclusions.

1. INTRODUCCIÓN

El Distrito Minero Segovia-Remedios (DMSR) se encuentra ubicado al nordeste de Antioquia, en el Flanco oriental de la cordillera Central de Colombia. Está conformado por depósitos vetiformes clasificados como depósitos de oro mesotermales cuya distribución está tectónicamente controlada (Ordóñez et al, 2005; Rusell, 1959; Tremlett, 1955), donde se definen al menos tres sistemas vetiformes principales (Sistema Silencio, Sistema Cogote y Sistema Vertical), y un sistema tardío denominado Sistema Providencia. Todos estos relacionados posiblemente a la creación y movimiento de la falla Otú-Pericos (Echeverry et al, 2009).

Aunque el DMSR es ampliamente conocido por la cantidad de recursos minerales producidos desde el tiempo de la colonia por la Compañía Frontino Gold Mines; en la bibliografía no existen estudios disponibles de microtermometría y microscopía mineral que permitan establecer los macro-estadios de precipitación mineral y las condiciones fisicoquímicas propias del fluido mineralizante.

En el presente estudio se entrega una propuesta de paragénesis mineral global para los depósitos explotados en el área de la Compañía Frontino Gold Mines así como la caracterización por medio del análisis en inclusiones fluidas de la temperatura de homogenización (Th), salinidad y sistema salino del(os) fluido(s) hidrotermal(es) responsable(s) de las mineralizaciones en este sector del distrito minero. Estos nuevos resultados contribuyen al entendimiento del ambiente de formación y una posible clasificación de este depósito.

2. GEOLOGÍA

2.1. Geología Regional (Figura 1a)

El contexto geológico de la región del DMSR está influenciado por la dinámica de la Falla Otú-Pericos la cual une dos dominios geológicos diferentes antes de finales del cretáceo, al occidente el Terreno Tahamí y en la parte oriental el Terreno Chibcha (Restrepo y Toussaint, 1988)

Sector Oriental (Terreno Chibcha): conformado por gneises cuarzosos, mármoles y anfibolitas pertenecientes

a la unidad “Gneises cuarzo-feldespáticos de la Serranía de San Lucas, probablemente de edad Precámbrica, intruidos por el Batolito de Segovia de edad Jurásica (Feininger, 1972).

Sector Occidental (Terreno Tahamí): compuesto por una secuencia de gneises feldespáticos, aluminicos y cuarzosos, mármoles y anfibolitas que junto a esquistos cuarzo-sericiticos y esquistos verdes pertenecen al denominado complejo Cajamarca (Maya y González, 1995), considerado de edad Permo-Triásica a Triásica (Restrepo et al, 1991., Ordóñez, 2001, Vinasco et al., 2006, Restrepo et al., 2011) el cual en inmediaciones del DMSR es intruido por los stocks de Santa Isabel y La Culebra de posible edad Cretácica (Ordóñez-Carmona et al, 2005).

2.2. Geología Local. (Figura 1b)

Los depósitos vetiformes que se explotan en el DMSR están encajados principalmente en el Batolito de Segovia, el cual es un cuerpo alargado en sentido nort-sur, que coincide con el sentido tectónico regional; tiene una longitud de 270 km. Este se encuentra constituido por principalmente por dioritas, con variaciones a diorita cuarzosa y a gabros horbléndicos (González, 2001).

3. PARAGÉNESIS MINERAL

METODOLOGÍA GENERAL: se colectaron 15 muestras en diferentes niveles de explotación de al menos 5 minas del DMSR pertenecientes al título minero de la compañía Frontino Gold Mines (Tabla 1). Se prepararon y analizaron 15 secciones delgadas pulidas y se utilizaron al menos 10 pulidos realizados por la Facultad de Minas en el año 2005. En base a lo observado, se propone estructurar la paragénesis mineral de los sistemas vetiformes en tres fases principales. (Pre-mineral, mineralizante y pos mineral),

haciendo alusión al orden relativo de precipitación de la mena Auro-Argentífera con respecto a los minerales de ganga (Figura 5). Las relaciones texturales relevantes encontradas en las muestras son mostradas en las (Figuras 3-6) y descritas a continuación:

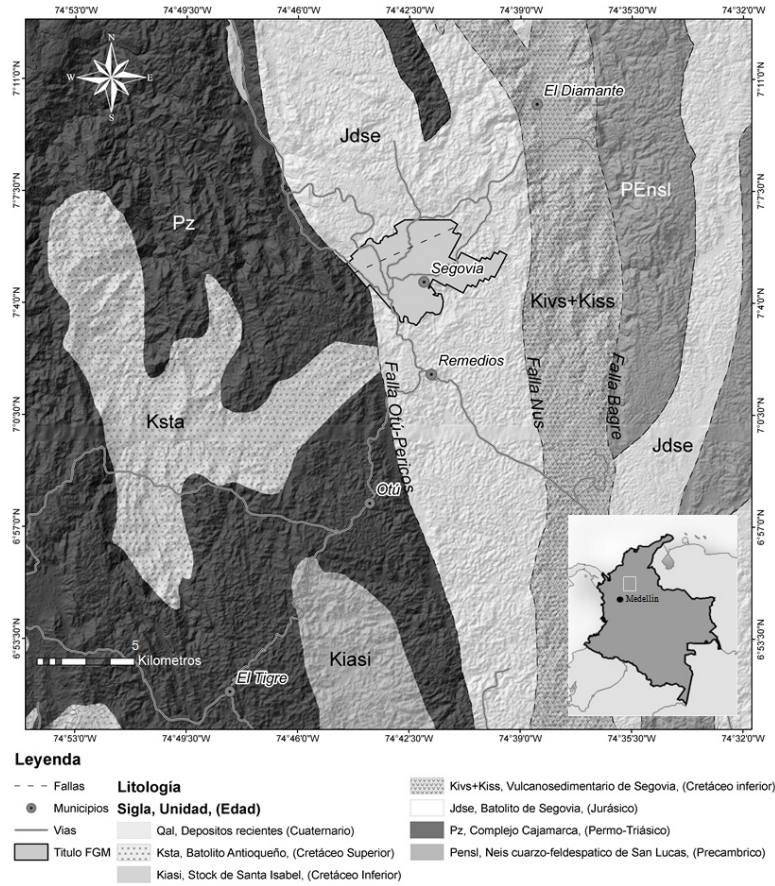


Figura 1a. Geología regional y localización del DMSR (Modificado de INGEOMINAS, 1999)

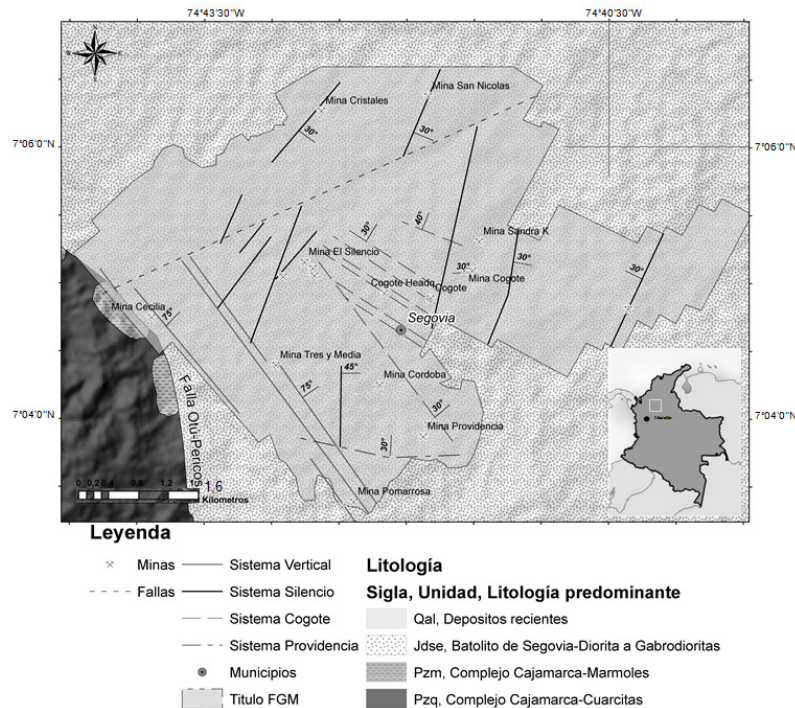


Figura 1b. Geología local del DMSR en el área de la FGM. Fuente: Compañía Frontino Gold Mines (FGM).

Tabla 1. Muestras colectadas y analizadas del DMSR.

ESTACIÓN		COORDENADAS (Datum Bogotá)		SISTEMA	REFERENCIA VETA	ANÁLISIS	FA Au (g/ton)
MUESTRA	REFERENCIA	Este (m)	Norte (m)				
S18-03	Mina Silencio Nivel 18	930211	1275063	Silencio	Veta Manto	Met-Petro- FA-IF	22.0
S18-04	Mina Silencio Nivel 18	930211	1275063	Silencio	Veta Manto Norte	Met-Petro-FA	156.0
S18-09	Mina Silencio Nivel 18	930211	1275063	Silencio	Veta Manto	Met-Petro-FA	Trazas
SK-01	Mina Sandra K Nivel 1	932596	1275344	Silencio	Veta Techo	Met-Petro-FA	Trazas
SK-02	Mina Sandra K Nivel 1	932596	1275344	Silencio	Veta Techo	Met-Petro-FA- SEM	Trazas
SK-09	Mina Sandra K Nivel 3	932596	1275344	Silencio	Veta Techo	Met-Petro-FA	Trazas
SK-10	Mina Sandra K Nivel 3	932596	1275344	Silencio	Veta Techo	Met-Petro-FA	5.0
Casas 1	Mina Cogote	932510	1274952	Cogote	Veta	Met-Petro-FA- SEM	Trazas
Casas 2	Mina Cogote	932510	1274952	Cogote	Veta	FA	9.3
Hilos 1	Mina Cogote	932510	1274952	Cogote	Veta	FA	80.0
Hilos 2	Mina Cogote	932510	1274952	Cogote	Veta	FA	46.0
7 de Julio	Mina Cogote	932510	1274952	Cogote	Veta	Met-Petro- FA-IF	Trazas
Patio	Mina Cogote	932510	1274952	Cogote	Veta	Met-Petro-FA	26.0
P-01	Mina Providencia Nivel 4	931832	1272692	Providencia	Veta Manga	Met-Petro- FA-IF	Trazas
P-06	Mina Providencia Nivel 9 1/2	931832	1272692	Providencia	Veta	Met-Petro-FA	8.0
PR-01	Mina Pomarrosa Nivel 5	930887	1271795	Vertical	Veta Izquierda	Met-Petro- FA-IF	13.0
LHS-123	Mina Marmajito (El Castillo)	931576	1273470	Cogote	Tomada UNAL	Met	ND
LHS-125	Mina Marmajito (El Castillo N8)	931576	1273470	Cogote	Tomada UNAL	Met	ND
LHS-71	Mina Tres y Media (Veta Sofia)	929725	1273494	Vertical	Tomada UNAL	Met-SEM	ND
LHS-75	Mina Tres y Media (Veta Sofia)	929725	1273494	Vertical	Tomada UNAL	Met	ND
LHS-134	Mina Cecilia	928724	1274774	Vertical	Tomada UNAL	Met-SEM	
LHS-36	Mina Providencia	931832	1272692	Providencia	Tomada UNAL	Met	ND
LHS-37	Mina Providencia	931832	1272692	Providencia	Tomada UNAL	Met	ND

Met: Metalografía; Petro: Petrografía; FA: Ensayo al Fuego; SEM: Microscopía Electrónica de Barrido; IF: Inclusiones Fluidas; ND: No Data

3.1. FASE I (Pre-mineral)

Para las muestras analizadas del DMSR se reconoce una primera fase de depositación compuesta de pirita + cuarzo? ± esfalerita.

- **Minerales desarrollados en la Fase I**

Pirita i: Corresponde a la fase de pirita predominante, la cual presenta cristales subhedrales a euhedrales

de tamaños máximos de 4-5 cm. Esta se observa principalmente microfracturada, rellena y embebida por cuarzo ii, esfalerita ii, galena y Au. ej. *Mina Cogote (Figura 2a)*, *Mina Cecilia (Figura 4a)*, *Mina Providencia (Figura 6a)*.

Cuarzo i: No se observan evidencias claras de la distribución primaria de este en las muestras analizadas, posiblemente remanentes se presenten como xenolitos?

embebidos en cuarzo ii, ej. *Mina Sandra K* (Figura 2b), o como fases de recrystalización que rellenan las fracturas simultáneamente generadas en la pirita i, ej. *Mina Cogote* (Figura 2b).

Esfalerita i: Presenta poca distribución en comparación con otras fases de esfalerita presentes en las muestras analizadas, sus tamaños varían entre 10-20 μm y se encuentra coexistiendo con pirita i y pirrotina, ej. *Veta Sofia-Mina Tres y Media* (Figura 4d).

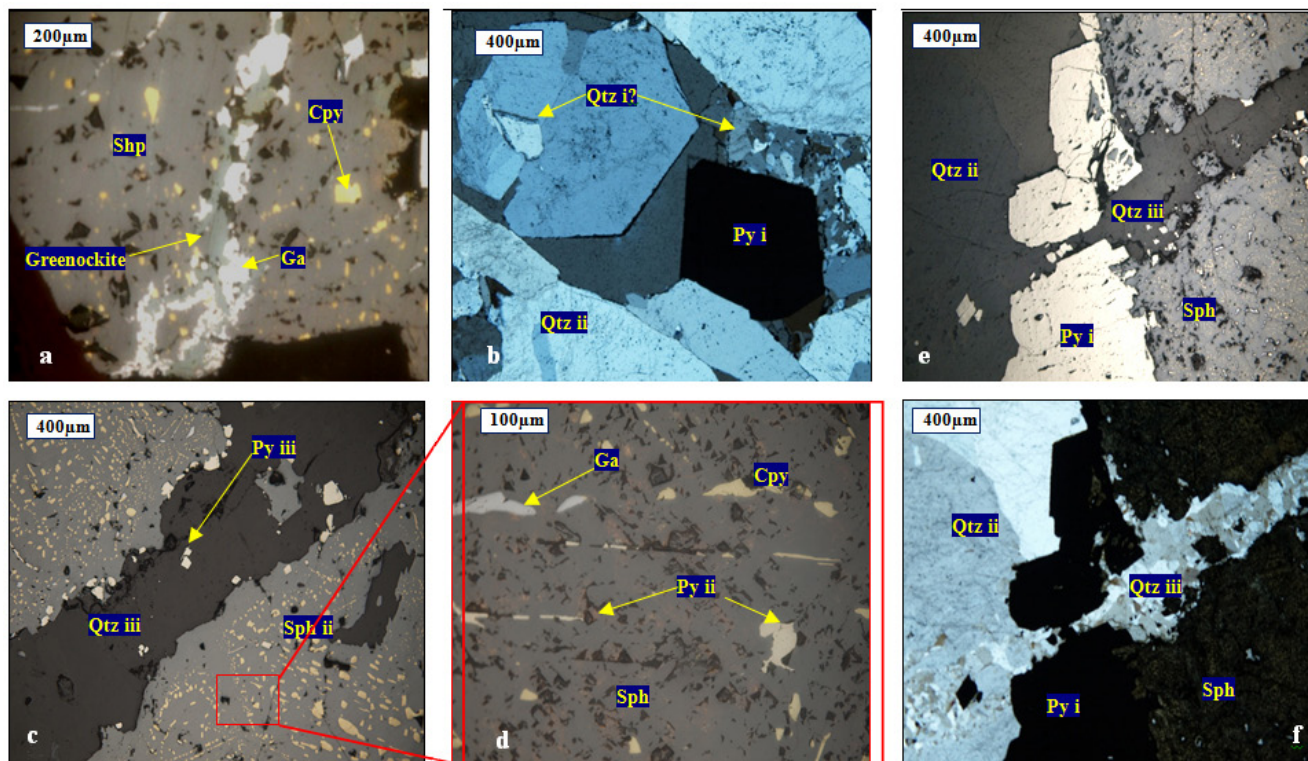


Figura 2. (a) Greenockita (CdS) remplazando Ga que exhibe texturas de corte en Shp-Mina Sandra K. (b) Qtz i? y Qtz ii embebiendo Pyi Mina Sandra K. (c) Textura disease de Cpy en Sph, vena de Qtziii cortando Sph -Mina El Silencio. (d) Shp intercreciendo con Pyii+Cpy+Ga- Mina El Silencio. (e) Microfotografía en luz reflejada de Qtz iii cortando Shp+Py i+Qtz ii. (f) Microfotografía en luz transmitida de Qtziii cortando Shp+Pyi+Qtzii- Mina El Silencio.

3.2. FASE II (Mineralizante).

Es la fase principal de depositación exhibida en las muestras del DMSR, la cual se discretizó en tres etapas de desarrollo para detallar su evolución. Tales etapas corresponden a estadios minerales casi sobrepuestos uno del otro que tuvieron lugar en esta misma fase.

- **Etapa (a):** En esta primera etapa tiene lugar un evento cataclástico-deformacional que generó el brechamiento de la pirita generada en la Fase I, así como la recrystalización de gran cantidad del cuarzo que se sugiere la acompañaba.

- **Etapa (b):** Precipitación de gran volumen de esfalerita + galena + cuarzo + calcopirita y cantidades menores de pirrotina \pm pirita \pm Greenockita (CdS) \pm hematita. Es la etapa importante ya que controló la ocurrencia de cantidades significativas Au (Electrum) + Ag (argentita).
- Etapa (c): Se desarrolla un evento de mediana distribución (hidrotermal??>cataclástico), el cual que genera la ocurrencia de Sericita+Clorita (SE+CT) y se produce la deformación en los minerales previamente formados; proceso que igualmente puede generar minerales como Greenockita (CdS).

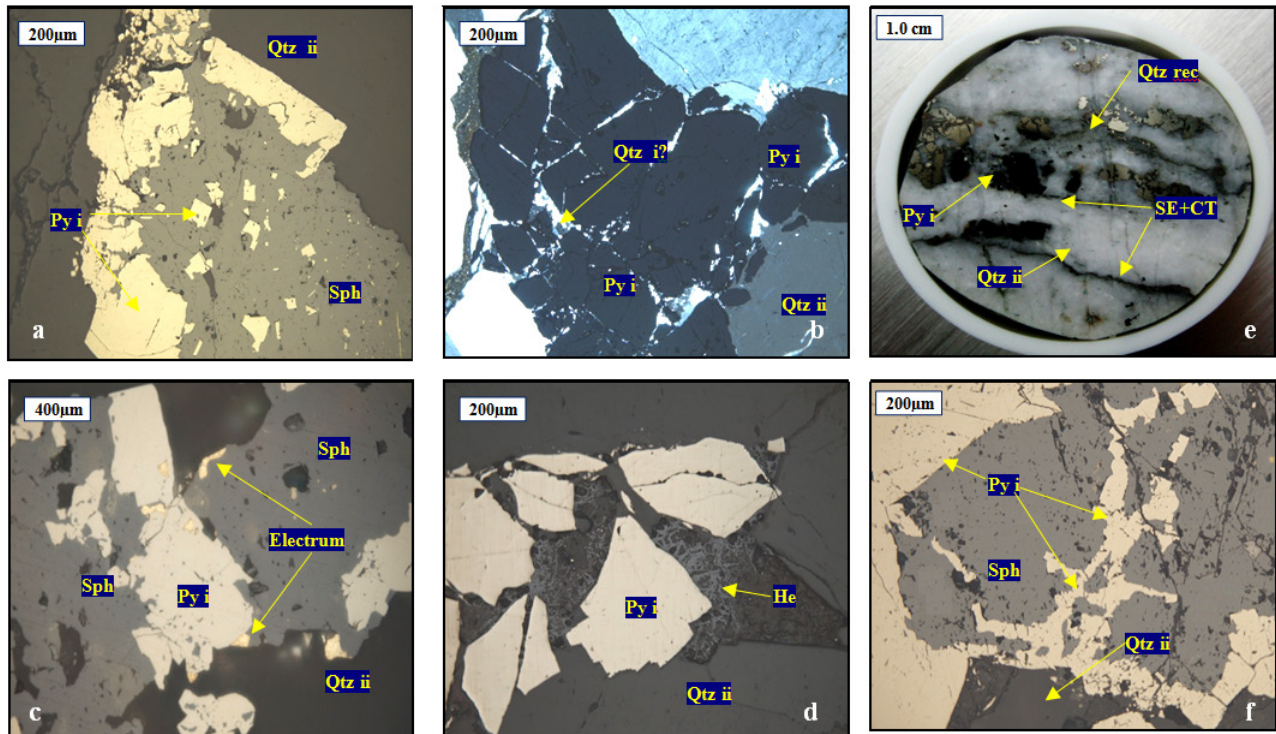


Figura 3. (a) Pyl cortada y embebida por Shp-Mina Cogote. (b) Microfotografía en luz transmitida de Qzi? de recrystalización acompañando Py i. (c) Au acompañado de Shp cortando Pyl-Mina Marmajito. (d) Hematita embebiendo Pyl-Mina Cogote, (e) Pulido de Py i+Qtz ii+SE+CT-Mina Marmajito (f) Reemplazamiento de Pyl por Shp-Mina Marmajito.

Minerales desarrollados en la Fase II.

Pirita ii: Con dimensiones de cristal (0.5 mm-1 μ m), distribución y volumen en muestra mucho menor comparado con pirita i. Presenta texturas de intercrecimiento simultáneo con esfalerita ii galena y calcopirita, ej. *Mina El Silencio* (Figura 2d), formado en algunos casos “trails” de inclusiones dentro de dichos minerales, ej. *Mina Providencia* (Figura 6b).

Esfalerita ii: Aparece embebiendo fragmentos de pirita i, ej. *Mina Tres y Media*, (Figura 4b), *Mina Providencia* (Figura 6d); así como con texturas de intercrecimiento simultáneo con pequeñas cantidades de pirita ii, galena y con significativas cantidades de Au (Electrum).

La Esfalerita exhibe una generalizada coetaneidad con la galena, sin embargo, aunque su coexistencia sea muy próxima, la galena sugiere ser de condiciones más tardías, al presentar en algunos casos relaciones de corte y remplazamiento de la esfalerita, ej. *Mina Sandra K* (Figura 2a). La esfalerita presenta exsoluciones de calcopirita e inclusiones de pirrotita formando típicas texturas “disease”, ej. *Mina Providencia* (Figura

6f). También se presenta con texturas de remplazo en la pirita i ej. *Mina Marmajito* (Figura 4f), *Mina providencia* (Figura 6e).

Galena: Presenta formas anhedrales de variable distribución con locales bordes de intercrecimiento mirmeckítico en contacto con esfalerita, ej. *Mina Providencia* (Figura 6c), lo cual sugiere una coexistencia o generación simultánea de ambas fases minerales. Al igual que la esfalerita ii, la galena se encuentra en asociación directa con oro, embebiendo y cortando la pirita i. ej. *Mina Tres y Media* (Figura 4a). La galena exhibe efectos de eventos dinámicos posteriores, ya que sus pits se encuentran deformados. Exhibe bordes parcialmente alterados a Anglesita (PbSO₄), ej. *Mina Tres y Media* (Figura 4c).

Cuarzo ii: Es la fase mineral predominante en las muestras analizadas, acompaña o intercrece con esfalerita ii, galena y pirita ii. Presenta texturas tanto de crecimiento primario, así como texturas secundarias producto de deformación y recrystalización que guían las distribución de sericita y clorita (SE+CT) ej. *Mina Poma Rosa* (Figura 4e).

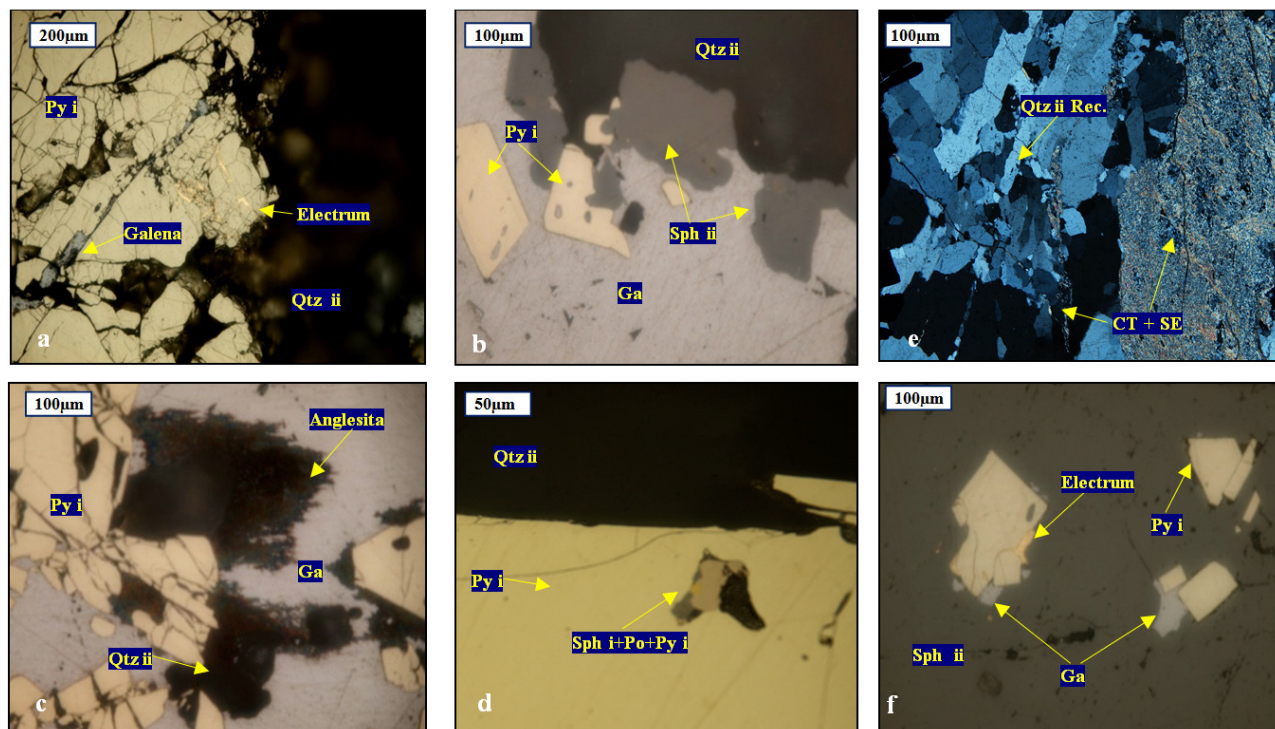


Figura 4. (a) Intercrecimiento de Ga+Qtz ii+Au cortando Py i-Mina Tres y Media, (b) Intercrecimiento de Ga+Shp ii+Qtz ii sobrecreciendo y embebiendo Py i -Mina Tres y Media. (c) Alteración supérgena en Galena (Anglesita). (d) Sphi+Po+Pyi -Mina Cecilia. (e) Microfotografía en luz transmitida donde se observa Qtz ii primario y de recrystalización controlando la distribución y ocurrencia de SE+CT, (f) Py i embebida en Shp ii y rellena por Ga+Au-Mina Cecilia.

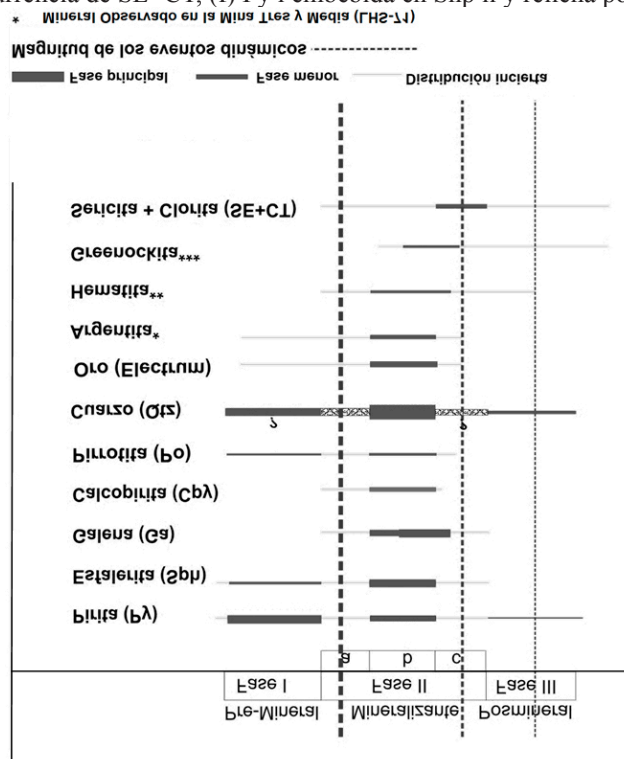


Figura 5. Paragénesis global de las mineralizaciones del DMSR.

Pirrotina: Se presenta principalmente como exoluciones en la esfalerita ii, aunque también coexiste con la esfalerita i y la pirita i

Oro: Se encuentra coexistiendo principalmente con esfalerita ii, cuarzo ii y galena, los cuales sobrecrecen y rellenan las fracturas de pirita i, ej. *Mina Marmajito* (Figura 4c), *Mina Cecilia* (Figura 4f). Es posible que exista pequeñas cantidades oro como inclusión en pirita i, el cual correspondería a un oro de precipitación temprana ó (Aui?), sin embargo, texturalmente no es muy clara ó remarcada tal coetaneidad.

En una de las muestras analizadas se identifico por primera vez para el DMSR, la presencia de un mineral de remplazamiento rico en azufre y cadmio posiblemente **Greenockita** (CdS), el cual se presenta

asociado con la galena, ej. *Mina Sandra K* (Figura 2a). Este usualmente aparece como mineral secundario generado por metamorfismo hidrotermal de condiciones mesotermiales sobre esfaleritas y pocas veces en galena (Tauson et al., 2007), lo que sugiere que la existencia coetánea con la galena tardi-generada alcanzó tales rangos de temperatura que permitió la concentración del Cadmio en algunos sectores.

3.3. FASE III (Pos-mineral)

En estadios mas tardíos de la evolución del sistema mineralógico se da la ocurrencia de al menos un evento hidrotermal de muy poco volumen y distribución el cual presenta contenidos variables de cuarzo+pirita y que no acompaña aparentemente ningún tipo de mineralización económica. ej. *Mina El Silencio* (Figura 2c, e, f)

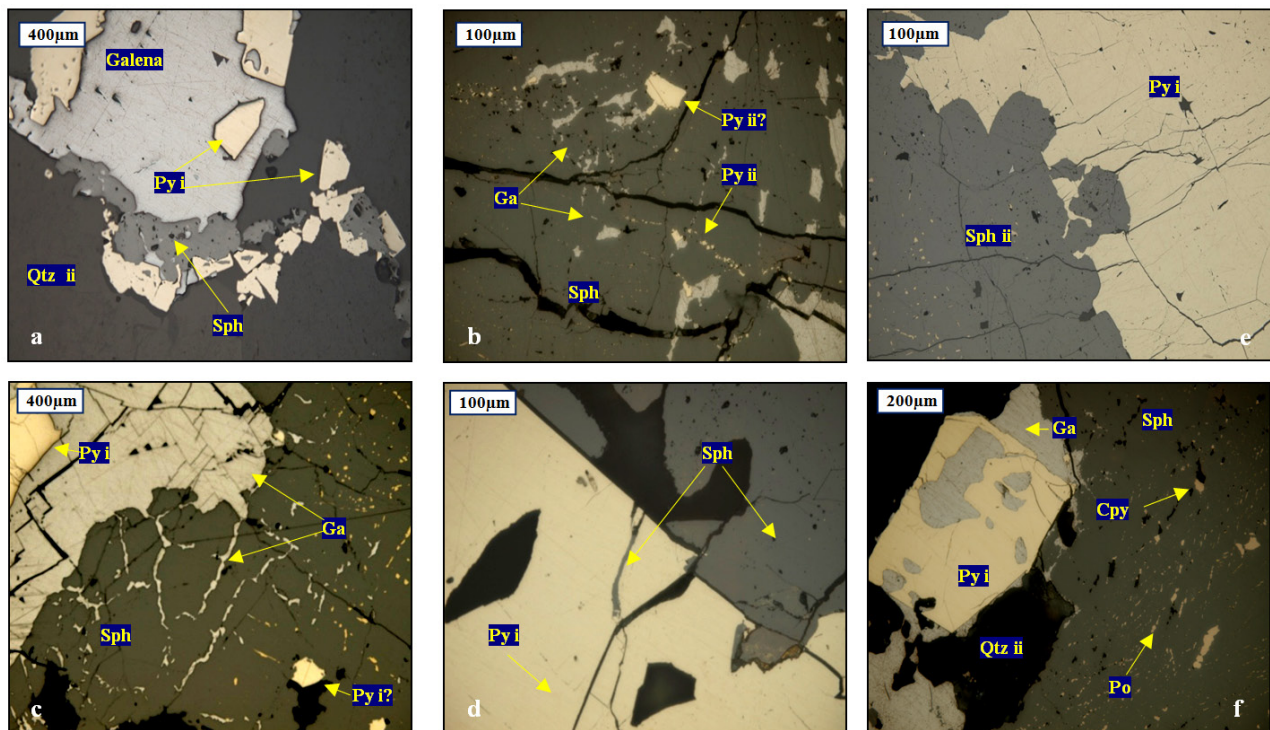


Figura 6. (a) Py i embebida por Ga+Qtz ii+Shp- Mina Providencia, (b) “Trails” de Py ii intercreciendo con Shp+Ga-Mina Providencia. (c) Intercrecimiento de Shp+Ga en textura Mirmekítica, (d) Relaciones de corte de Shp en Py i-Mina Providencia. (e) Texturas de avance de Shp en Py i. (f) Ga acompañada de Shp remplazando Py i, inclusiones-exoluciones de Po+Cpy en Shp.

4. MICROTERMOMETRÍA EN INCLUSIONES FLUIDAS

METODOLOGÍA GENERAL: Se seleccionó y preparó una muestra de cada uno de los sistemas vetiformes del DMSR que exhibieran (Qtz ii). En

total se prepararon y analizaron cuatro secciones delgadas doblemente pulidas, en los laboratorios de la Universidad Nacional Sede Bogotá y se corroboraron algunos datos microtermométricos en los laboratorios de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Para la microtermometría se usó una platina Limkam THMS 600 con un error de 1,15%, en un montaje sobre un Leitz Aristoplan con objetivos Meiji de 20X y 50X., que alcanza +600 °C en calentamiento y hasta -180 °C en enfriamiento.

El cálculo de salinidad se realizó utilizando la ecuación de Bodnar (1973):

$$\text{Salinidad}(\% \text{ wt NaCl equiv}) = 1.78 \times T_m - 0.0442 \times T_m^2 + 0.000557 \times T_m^3$$

4.1. Petrografía de inclusiones fluidas

Se identificó tres tipos principales de inclusiones fluidas en el sentido de Nash (1976)

4.1.1. Tipo La: Inclusiones de alta temperatura (Figura 8.a-c, en Negro). Son inclusiones bifásicas ($L_{H_2O} + V_{H_2O}$) a temperatura ambiente ($\sim 25^\circ\text{C}$), las cuales homogenizan a líquido a aproximadamente $390\text{-}430^\circ\text{C}$ (solo observada en dos muestras). Exhiben características de ser primarias por presentarse como unidades aisladas y de disposición tridimensional dentro de Qtz ii (Figura 7e-f). Tienen relación ($V_{H_2O}/V_{H_2O} + L_{H_2O}$) que varía entre 21-30% (Figura 8.b). Con formas irregulares y tamaños que van de 5-20 μm ; presentan además una T_m (Temperatura de fusión final del hielo) entre $-12,5^\circ\text{C}$ a -8°C correspondiente a una salinidad de 11,7% a 16,46% (wt % NaCl eq.)

4.1.2. Tipo Lb: Inclusiones de mediana a baja temperatura (Figura 8.a-c, gris alto y gris bajo), bifásicas con L_{H_2O} como fase predominante.

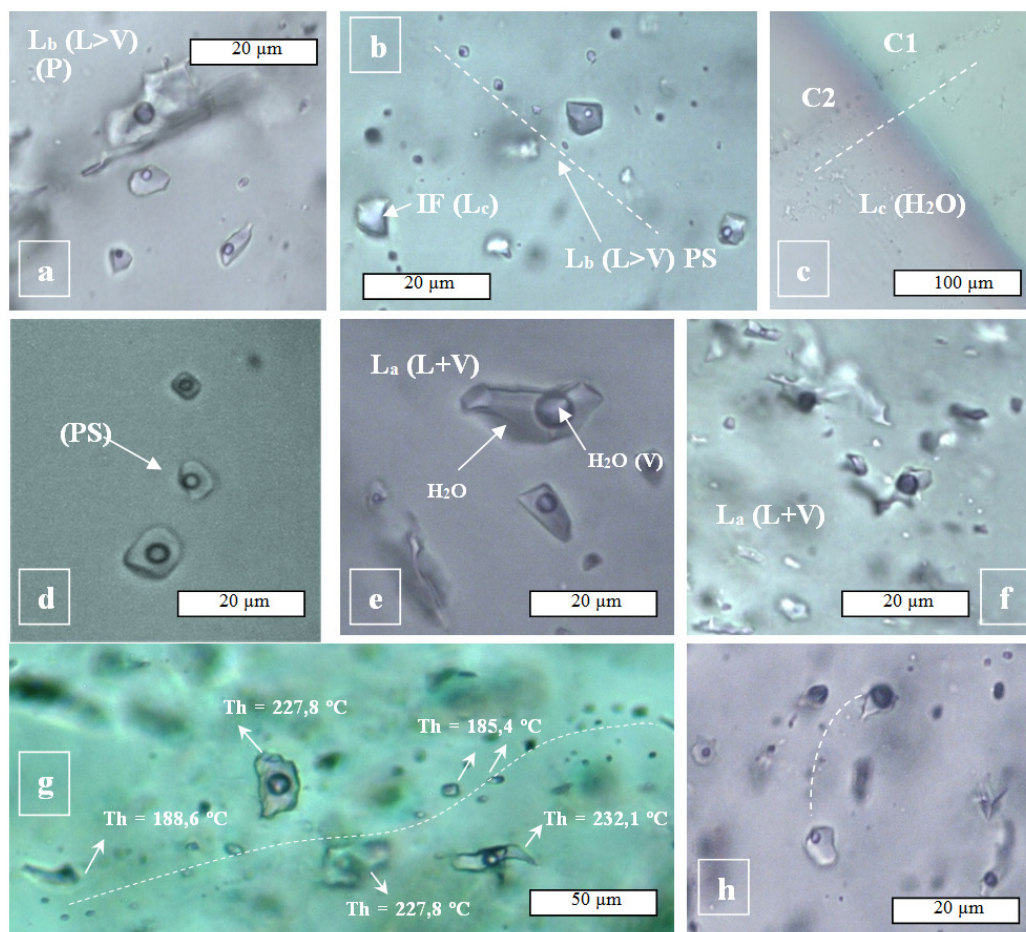


Figura 7. (a) Inclusiones primarias (P), no coplanares tipo (L>V), (b) IF pseudosecondarias coplanares e IF tipo L (secundarias), (c) IF tipo L (secundarias) atravesando el límite de Cristales (C1+C2), (d) IF PS (L>V) (Pseudosecondarias), (e) IF tipo La primarias acuosas (L+V), (f) IF tipo La primarias, irregulares, (g) Temperaturas de Homogenización (Th) para distintas IF en Qtz ii, donde se observan trails de IF secundarias, (h) Evidencias de necking down donde se presentan IF coplanares con relaciones (V/L) remarcadamente diferentes.

Son inclusiones fluidas posiblemente pseudosecundarias (PS) (Figura 7d), y también aparecen en unidades aisladas sin ninguna orientación, lo que podría sugerir su carácter primario (Figura 7a) este tipo de inclusiones se puede dividir en dos poblaciones:

Media temperatura: Inclusiones generalmente con salinidad alrededor de 10wt% NaCl equiv. las cuales homogenizan a liquido en un intervalo aproximado de $T_h = 250^{\circ}\text{C} - 320^{\circ}\text{C}$ (Figura 7a, gris alto) la relación $(V_{H_2O} / V_{H_2O} + L_{H_2O})$ varía entre 15% y 21% (Figura 7c,

gris alto). Presentan una $T_e = -52,6^{\circ}\text{C}$, correspondiente al sistema salino $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$.

Baja temperatura: Corresponde a la población de mayor distribución y ocurrencia en las muestras analizadas. Presentan una variación en la salinidad desde 2,2 wt% NaCl a 8 wt% NaCl, con un recurrencia mayor en 6,88 wt% NaCl (Figura 9d). Homogenizan a liquido en un intervalo aproximado de $T_h = 160 - 255^{\circ}\text{C}$ (Figura 8a, gris bajo), con recurrencia alrededor de 220°C , donde las temperaturas menores de 200°C , corresponden a inclusiones netamente secundarias.

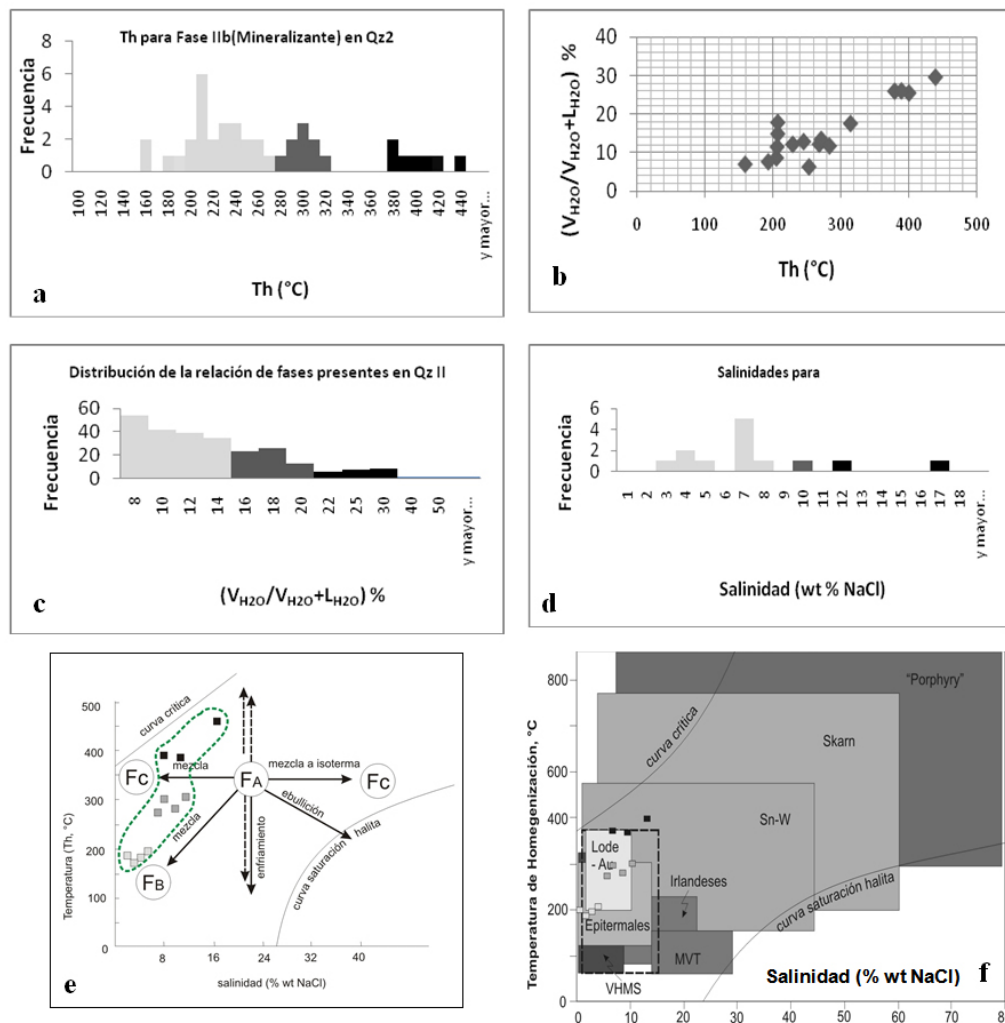


Figura 8. (a) Temperaturas de homogenización (T_h) registradas en Qtz ii, (b) Relación $(V_{H_2O}/V_{H_2O}+L_{H_2O})$ vs T_h obtenidas en inclusiones fluidas de Qtz ii. (c) Distribución de la relación $(V_{H_2O}/V_{H_2O}+L_{H_2O})$ en las inclusiones fluidas presentes en Qtz ii. (d) Valores de salinidad obtenidos para algunas muestras de Qtz ii. (e) Esquema interpretativo de las posibles trayectorias seguidas por los datos (Salinidad vs T_h) dependiendo del fenómeno dominante en el momento de formación de las inclusiones fluidas (Tomado de Velasco, 2004) (f) Distribución esquemática de las temperaturas de homogenización vs. Salinidad (% wt NaCl) de los principales yacimientos minerales. Los límites de los cuadros son aproximados para cada tipo de depósito (Tomado de Velasco 2004)

Presentan además una Te (Temperatura Eutéctica) alrededor de $-51,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, que corresponde al igual que en la población anterior, a un sistema salino $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$, con TFi (Fusión inicial) recurrente de la antarticitita en $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, y TFi de la Hidrohalita en $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que corrobora un contenido de sales adicional a NaCl, ya que la TFi de la hidrohalita normalmente se da alrededor de los $-21,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta población presenta una relación $(V_{\text{H}_2\text{O}}/V_{\text{H}_2\text{O}} + L_{\text{H}_2\text{O}})$ que va de 7% a 14%, (Figura 8c, gris bajo). Generalmente, se presentan formas irregulares y tamaños menores de 3 a 20 μm .

4.1.3. Tipo Lc: Inclusiones secundarias de fluidos posiblemente meteóricos de muy baja salinidad y temperatura, (Figura 7c).

4.2. Análisis y discusión de resultados

Los grupos de asociaciones definidas por temperatura de homogenización (Th), igualmente pueden ser discretizados y definidos al evaluar el porcentaje de volátiles $(V_{\text{H}_2\text{O}}/V_{\text{H}_2\text{O}} + L_{\text{H}_2\text{O}})$ ya que como se observa en la Figura 9b, existe una relación directa entre estas dos variables.

Al observar la amplia distribución de las temperaturas de homogenización obtenidas para Qtz ii, y su agrupación en tres notables asociaciones (alta, media y baja temperatura) se percibe que el cuarzo aquí analizado, no posee un único origen y en vez de esto corresponde al producto de la superposición de procesos, en algunos casos, difícil de disociar, incluyendo situaciones como las descritas a continuación que pueden generar error en los resultados:

- Dada la escala de análisis, existe la posibilidad que exista remanente de Qtz i? de difícil discretización con respecto al Qtz ii, contaminando los valores obtenidos para este último.
- El análisis microtermométrico aunque se realizó para inclusiones de aparente naturaleza primaria, inclusiones de tipo PS (pseudosecundarias) y tipo S (Secundarias) pudieron haber entrado en los análisis alterando la calidad de los datos obtenidos.

La distribución de datos microtermométricos obtenidos puede ser mejor explicado mediante un modelo de mezcla que involucra al menos dos fluidos, uno

caliente-salino y otro de menor temperatura y con salinidades cercanas a 0%. Con repentinos cambios en el “*mixing ratio*” ya que como se observa en un diagrama “Salinidad vs Th” (Fig. 9e), los datos no se encuentran sesgados y en vez de esto existe una distribución continua entre los valores de ambas propiedades.

La Figura 9f, representa la distribución esquemática de las temperaturas de homogenización vs. Salinidad presente en los principales yacimientos minerales. La distribución de los valores obtenidos para las muestras analizadas del DMSR, están dentro de los denominados “*lode deposits*”, con temperaturas predominantemente mesotermales y algunas menores de naturaleza epitermal.

5. CONCLUSIONES

La precipitación mineral de los depósitos vetiformes DMSR, se dio en al menos tres etapas. La mayor cantidad de Au+Ag se encuentra asociada a la etapa 2 ó “Fase Mineralizante” donde minerales como la pirita, formada y brechada en una etapa anterior, generó arreglos micro-estructurales que actuaron como barreras fisicoquímicas que permitieron la mayor precipitación del Oro, Plata y sulfuros.

En las inclusiones fluidas estudiadas para esta zona del DMSR, no se observan las fases comúnmente asociadas a un proceso de devolatización química generada por metamorfismo de bajo a medio grado (mayor mecanismo para la generación de fluidos metamórficos, Groves et al., 1988, Kerrich & Cassidy, 1994) y base para establecer una posible clasificación como Depósito de Oro Orogénico. Fluidos propios de esta naturaleza presentan un contenido de volátiles de $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ que varía entre 10%-25%, (Ridley & Diamond, 2000), por lo que no existiría correspondencia aparente con depósitos generados bajo estas condiciones con los estudiados para el DMSR.

El análisis de inclusiones fluidas y la ocurrencia de minerales como greenockita en alguna de las muestras, sugiere que las vetas del DMSR se habrían formado bajo condiciones principalmente mesotermales con una fuente de fluido magmática asociado a un sistema salino $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$, con temperaturas de homogenización (Th) que oscilan entre $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$,

con una relación de vapor de agua ($V_{H_2O}/(V_{H_2O}+L_{H_2O})$) entre 7%-30% y con valores de salinidad de 2,2% a 16,46% (wt % NaCl eq.). El fluido magmático muy posiblemente se asocio al mismo magma que género los diques de composición andesítica que aparecen controlando parte de las vetas en el DMSR. Estos diques tiene edades cercanas a 80 Ma y cronológicamente se pueden asociar con el magmatismo que genero parte del batolito Antioqueño, lo cual de ser comprobado, reorientaría las expectativas para el hallazgo de nuevos prospectos auríferos en esta región de Colombia, donde además de vetas pueden estar mineralizaciones del tipo *intrusion related*.

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa Frontino Gold Mines (FGM). Operadora minera del área en el momento que se colectaron las muestras. Al Grupo de investigación en Georrecursos, Minería y Medio Ambiente (GEMMA) y los laboratorios de Geología Económica, Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá y Universidad Industrial de Santander. El presente trabajo es parte del proyecto de investigación Modelo geológico-económico de los sistemas auríferos colombianos Fase 1: Nordeste Antioqueño y Sur de Bolívar financiado por COLCIENCIAS.

REFERENCIAS

- [1] Bodnar, R. J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solution. *Geochimica, Acta* 57, 683-684.
- [2] Echeverri, B., 2005. Metalogenia y evolución tectonomagmática del distrito minero Segovia-Remedios, primera aproximación. X Congreso Colombiano de Geología. Bogotá.
- [3] Echeverry, S., Cardenas, A., Ordóñez-Carmona, O., Muñoz, O., 2009. Aspectos estructurales y relaciones de algunos sistemas vetiformes del Distrito Minero Segovia-Remedios. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 26, 19-28.
- [4] Feininger, T. Barrero, D. Castro, N., 1972. Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (sub-zona II-B). *Boletín geológico*, Volumen XX, No. 2
- [5] González, H., 2001. Mapa geológico de Antioquia Escala 1:400.000. Memoria explicativa. Ingeominas. Bogotá.
- [6] Groves, D. I; Goldfarb, R.; et, al. 1998. Orogenic Gold Deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit. *Ore Geology Reviews*, Vol 13, 7-27.
- [7] Kerrich, R; Cassidy, K. 1994. Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation, Archean to present. *Ore Geology Reviews*, Vol 9, 263-310.
- [8] Maya, M; González, H. 1995. Unidades Litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. Informe Unidad Operativa Medellín, Ingeominas, 44-57.
- [9] Nash, J. T., 1976. Fluid-inclusion petrology--data from porphyry copper deposits and applications to exploration: A summary of new and published descriptions of fluid inclusions from 6 porphyry copper deposits and discussion of possible applications to exploration for copper deposits. U.S Geological Survey. Paper 907. Washington.
- [10] Ordóñez Carmona, O; Valencia, M; Álvarez, M. J; Sánchez, L. H; Castaño, L. C; Restrepo, J. J., et., al. 1991. Precisiones geocronológicas sobre el occidente colombiano. Simposio Sobre Magmatismo Andino y su marco tectónico. Manizales.
- [11] Restrepo, J. J., Toussaint, j. F., 1988. Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes* 11(3): pp.189-193
- [12] Restrepo J.J., Ordóñez-Carmona O., Armstrong R., Pimentel M.M. (2011). Triassic metamorphism in the northern part of the Tahami Terrane of the Central Cordillera of Colombia. *Journal of the South American Earth Sciences*. (*in press*)
- [13] Ridley et, al., 2000. Fluid Chemistry of Orogenic Lode Gold Deposits and Implications for Genetic Models. Special Publication Gold in Two Thousand, SEG Reviews Vol 13, pp 141-162
- [14] Rusell, 1959. Secuence of Fissures Frontino Area. Informe interno Frontino Gold Mines, Segovia, 2 P.
- [15] Tauson, V. L; et, al., 2007. Mechanisms and species of gold incorporation into crystals of cadmium, lead, and iron sulfides. Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the RAS.
- [16] Tremmler 1955. "The Fracture Pattern and Structural controls of ore localization at Frontino Gold Mines." Informe interno Frontino Gold Mines, Segovia, 15 .

[17] Velasco, F., 2004. Introducción al Estudio de las Inclusiones Fluidas. XXIII Curso Latinoamericano de Metalogénia, Mendoza, Argentina.

[18] Vinasco, C.J; et, al. 2006. Geochronological, isotopic, and geochemical data from

[19] Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 21, 355–371.