

GEOLOGÍA DE LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA FALLA OTÚ EN EL DISTRITO MINERO SEGOVIA-REMEDIOS

GEOLOGY OF THE INFLUENCE ZONE OF THE OTU FAULT IN THE SEGOVIA-REMEDIOS MINING DISTRICT

MILTON ÁLVAREZ GALINDEZ

Ingeniero Geólogo, Consorcio CCC-Porce III. siluro23@yahoo.com

OSWALDO ORDÓÑEZ CARMONA

Geólogo, Profesor Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. oswaldo.geologo@gmail.com

MAURICIO VALENCIA MARÍN

Geólogo, Consultor privado. mvalencia@kenter.com

ANTONIO ROMERO HERNÁNDEZ

Ingeniero de Minas, profesor Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. aromero@unalmed.edu.co

Recibido para revisar junio 28 de 2006, aceptado abril 28 de 2007, versión final junio 22 de 2007

RESUMEN: Se presenta la caracterización geológica y estructural de la zona de influencia de la falla Otú en jurisdicción del distrito minero Segovia-Remedios. Además, se proponen controles mecánicos para las mineralizaciones auríferas, que si bien son compatibles, en parte, con un modelo de depósitos de oro orogénico, dejan abiertas otras posibles interpretaciones.

PALABRAS CLAVE: Falla Otú, Distrito minero Segovia-Remedios, Batolito de Segovia, Río Pocuné

ABSTRACT: This paper presents the geological and structural characterization of the Otu fault influence zone in the Segovia-Remedios mining district. It also proposes the mechanical controls for gold mineralization in the area, which, even if they are in part consistent with a model of orogenic gold, allow other possible interpretations.

KEYWORDS: Otú fault, Segovia-Remedios mining district, Segovia batholith, Pocuné River.

1. INTRODUCCIÓN

En el Distrito Minero Segovia-Remedios (DMSR), la explotación aurífera se ha realizado por más de 150 años, desarrollada especialmente sobre vetas y secundariamente en aluviones y zonas de intemperismo. Sin embargo, durante este tiempo es muy poca, por no decir nula, la producción científica que dé cuenta de las características de este importante yacimiento, privando a la comunidad geológico-minera de los aspectos generales y particulares de este distrito, el cual podría llegar a ser un *World Class Deposit*.

La base cartográfica regional se encuentra en los trabajos de Feininger *et al.* (1972) y González (2001), quienes describen y definen las unidades presentes, así como las estructuras regionales relevantes, entre las que se destaca la falla Otú.

En el DMSR los esfuerzos investigativos se han enfocado en aspectos particulares de los yacimientos (Ramírez, 1985; Sierra, 1992) y más recientemente (Casas, 2005; Contreras, 2005), los cuales se desarrollan con base en su génesis y evolución, proponiendo un modelo en el que se clasifican como depósitos de oro orogénico.

En consecuencia, el origen, tiempo, asociación y potencial comprobable de los yacimientos

Auríferos permanece desconocido y es objetivo, a largo plazo, de un macro proyecto titulado "Metalogenia y evolución tectomagmática del DMSR y la Serranía de San Lucas", del cual también participan los autores del presente trabajo. Como parte de este proyecto se caracterizó un área aproximada de 36 km², la cual tiene como eje la falla de Otú, zona en donde se realizó la cartografía geológico-estructural y algunos análisis petrográficos. Con lo obtenido se discute brevemente sobre las ideas planteadas y la relación-asociación geología vs. depósitos minerales involucrados.

2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El Distrito Minero Segovia-Remedios (DMSR) está localizado al Nordeste de Antioquia, en el flanco oriental de la cordillera Central, a unos 200 Km. de Medellín. (Fig.1).

El contexto geológico del DMSR puede dividirse en dos sectores: oriental y occidental, separados por la falla Otú, la cual regionalmente conforma el sistema de fallas Otú-Pericos, considerado actualmente como un límite de terrenos, estando el sector oriental sobre el Terreno Chibcha y el sector occidental en el terreno Tahamí (Restrepo y Toussaint, 1988).

El sector oriental está conformado por gneises cuarzosos, mármoles y anfibolitas, de edad precámbrica (Ordóñez *et al.*, 1999), rocas intruidas por el Batolito de Segovia, de controversial edad Jurásica (Marvin 1968, en Feininger *et al.*, 1972).

El sector occidental está representado por una secuencia de gneises feldespáticos, aluminicos y cuarzosos, mármoles y anfibolitas, de edad desconocida, rocas que están intruidas por stocks ácidos e intermedios no diferenciados.

El dominio estructural está definido por la zona de falla Otú-Pericos (ZFOP). Se ha establecido una componente sinestrolateral dominante para esta estructura (Feininger *et al.*, 1972), conformada por patrones de fracturamiento con tendencia regional N-S a N10W, en la región de influencia del DMSR, e inflexiones locales N30W asociadas a los sectores económicamente más atractivos del distrito. Zonas discretas de deformación dúctil, constituidas por rocas

graníticas altamente cizalladas (e. g. batolito de Ibagué), anfibolitas y mármoles, son observadas a lo largo de la ZFOP, con un componente de transporte tectónico similar.

3. GEOLOGÍA LOCAL

Como se anotó en la sección previa, el distrito puede dividirse en dos sectores: oriental y occidental, separados por la ZFOP, cuyos basamentos metamórficos presentan una historia deformativa presumiblemente diferente. Aquí se describen las principales características petrográficas y estructurales de cada uno de los sectores.

3.1 Sector Oriental

El basamento metamórfico de este sector consta de tres unidades principales (Fig. 1):

-*Anfibolitas*, las cuales se componen de hornblenda parda, plagioclasa (An₅₅Ab₄₅) y biotita pardo rojiza, lo cual sugiere un alto contenido de TiO₂, compatible con condiciones de alta temperatura. En ésta se observa el desarrollo de una foliación tipo S.

-*Gneises cuarzosos*, compuestos por cuarzo y biotita parda, con un bandeo irregular, en los cuales se observa el desarrollo incipiente de un clivaje de crenulación en las márgenes de la zona de falla Otú.

-*Mármoles*: macroscópicamente presenta un color gris claro, compuesto esencialmente de calcita, e intercalado con bandas centimétricas de cuarcitas y gneises cuarzosos.

Las rocas metamórficas son intruidas por el batolito de Segovia, unidad en la cual se concentra la principal actividad económica del distrito. Las dimensiones de este cuerpo suman aproximadamente 700Km², con una forma elongada de tendencia general N-S. El batolito está compuesto por rocas que varían desde gabros piroxénicos hasta granitos, incluyendo andesitas y dacitas porfídicas, localizadas cerca de las minas San Nicolás y Cristales, lugares en los cuales se observa una relación intrusiva con metasedimentos (meta-arcillolitas y metacherts) de edad desconocida (Álvarez, 2005).

En el cañón del Río Pocuné, este cuerpo presenta un contacto intrusivo con anfibolitas, generando brechas y migmatitas de inyección (Fig.2a), características que son más compatibles con un nivel de emplazamiento medio a somero y no profundo, como se había considerado previamente en el área (Feininger *et al.*, 1972). En el batolito son observadas numerosas bandas de cizalla dúctiles de tendencia N-S y con

espesores que varían desde unos pocos hasta decenas de metros, estas aparecen tanto en los límites interpulsos de los cuerpos que lo componen como en rocas encajantes. Se observan relaciones intrusivas con cuerpos granodioríticos con ligera orientación al NE de Segovia, cerca de la hacienda el Nevado, en las riberas de la quebrada El Tigre (Álvarez, 2005).

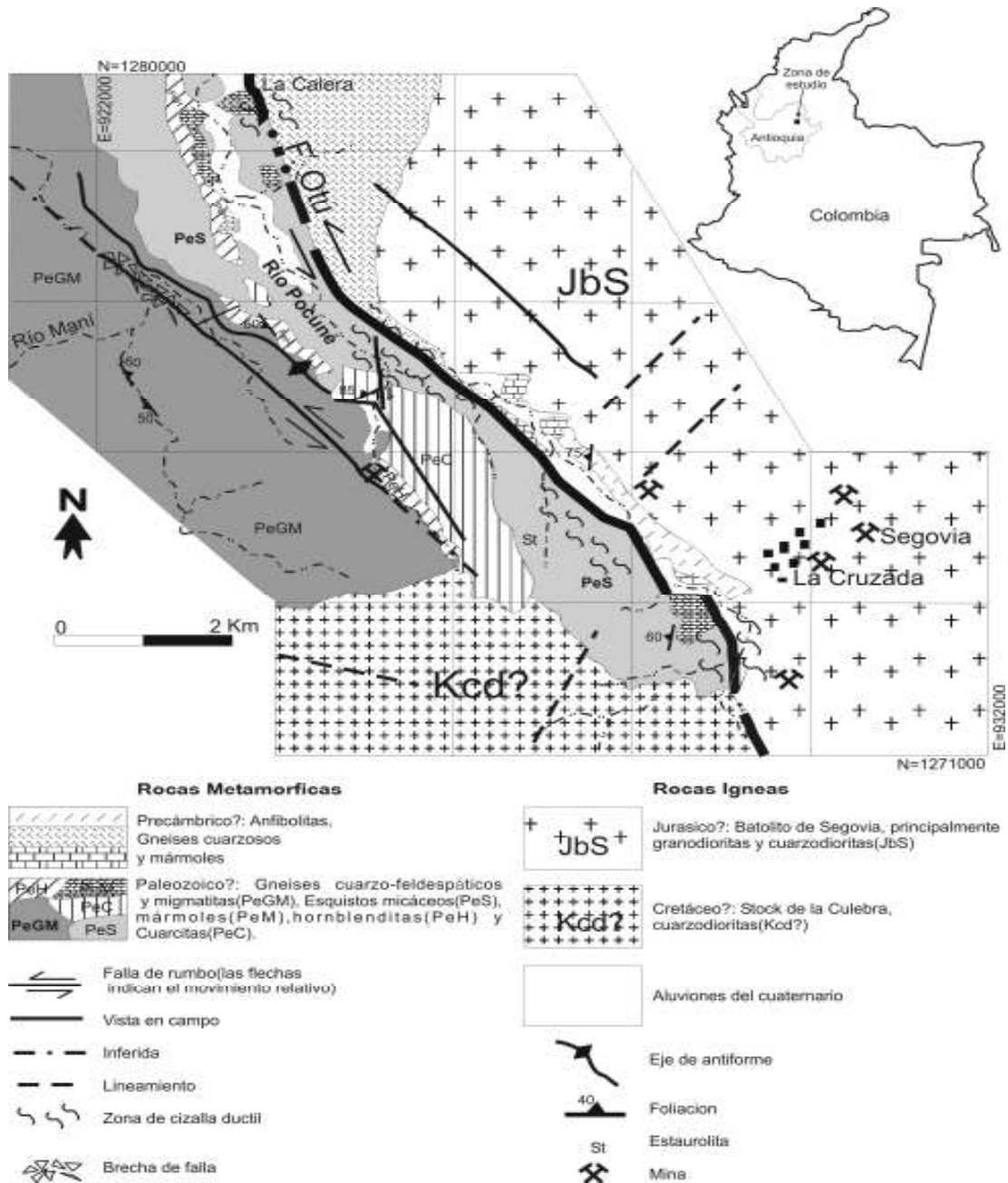


Figura 1. Mapa geológico del cañón del río Pocuné.
Figure 1. Pocuné River canyon's geological map.

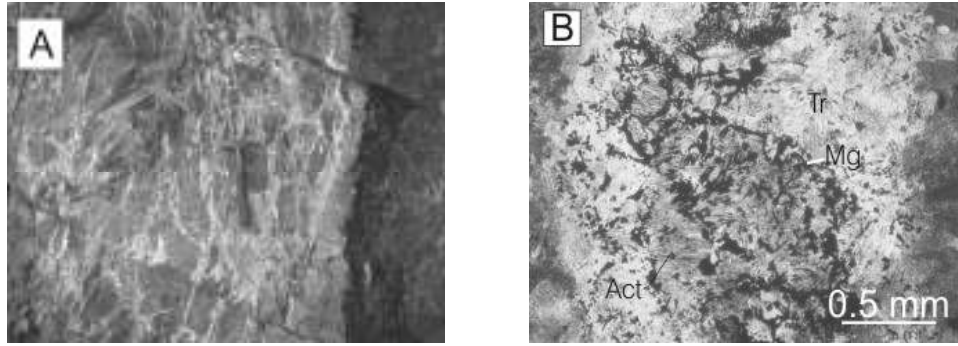


Figura 2. Aspectos geológicos del batolito de Segovia y rocas encajantes A). Migmatita de inyección en la carretera La Cruzada-Zaragoza. (E = 928311; N = 1274107). B) Corona de reacción alrededor de hornblenda, asociada a alteración deutérica, Mina Sandra K. (Act: actinolita; Tr: tremolita; Mg: magnetita).

Figure 2. Geological aspects of the Segovia batholith and the hosted rocks. A) Injection Migmatite, in the road La Cruzada-Zaragoza. (E = 928311; N = 1274107). B) Reaction rim surrounding a hornblende, related with a deuteric alteration, Sandra K mine (Act: actinolite; Tr: tremolite; Mg: magnetite).

Se tomaron muestras del batolito en sitios estratégicos y representativos con el propósito de corroborar la clasificación de este cuerpo. Microscópicamente las muestras analizadas corresponden a granodioritas y cuarzdioritas con textura fanerítica de grano medio cuyos valores modales pueden verse en la tabla 1. En

estas se observa sericitización de las plagioclasas y uralitización de los anfíboles, lo que sugiere una alteración deutérica, (Fig. 2b) relacionado a procesos de reacción entre el magma y los líquidos residuales, sin que ello indique una alteración hidrotermal generalizada en todo el cuerpo plutónico.

Tabla 1. Composición modal de muestras del Batolito de Segovia
Table 1. Modal composition of the Segovia Batholith samples

Muestra	Roca	Ubicación	Coordenadas		Composición mineralógica modal (%)					
			Latitud (N)	Longitud (W)	Q	A	P	Hb	Bi	Otros
MSK-2	Granodiorita	Mina Sandra K	07°05'19.3''	74°41'27.11'	19.6	13.9	44.9	11.9	9.5	0.2
MP-2	Granodiorita	Mina Providencia	07°03'3.8''	74°10'13.5''	21.1	11.6	49.9	9.9	2.2	5.3
RP-4	Melagranodiorita	Río Pocuné	07°03'58.6''	74°43'20.0''	13.5	6.3	40.1	25	15	0.1
CCZ-1	Cuarzdiorita	Vía Segovia-Zaragoza	07°04'38.08'	74°43'47.22'	33	1.1	59.3	6.6	-	-

Q: Cuarzo; A: Feldespato Potásico; P: Plagioclasa; Hb: Hornblenda; Bi: Biotita; Otros: Minerales de alteración, accesorios y opacos, anfíbol fibroso, clorita, epidota, apatito, etc.

3.2 Sector Occidental

Compuesto por rocas metamórficas con protolitos básicos, calcáreos, cuarzo-feldespáticos y pelíticos metamorfoseados en facies esquistos verde y anfíbolita, las cuales son intruidas por cuarzdioritas de edad desconocida (Fig. 1):

-Gneises y migmatitas, compuestas de cuarzo, K-feldespato, plagioclasa y biotita esencialmente. Estas rocas se encuentran intercaladas con algunas bandas decimétricas de anfíbolitas. Se observan afloramientos frescos y continuos a lo largo del río Maní y en algunos de sus tributarios, en los que es común encontrar bandas de biotita-turmalina intercaladas con

bandas de cuarzo-feldespato. Las migmatitas observadas presentan estructuras flebíticas y estromáticas (Fig. 3A y 3B), con leucosoma compuesto de cuarzo, feldespato y plagioclasa, y melanosoma de biotita, epidota y turmalina.

-*Esquistos micáceos*, compuestos de moscovita, cuarzo, grafito, y estauroлита como accesorio, mineral que aparece solamente en los tributarios de la margen izquierda del río Pocuné. Dicha asociación indica el comienzo de la facies anfibolita en las pelitas.

-*Hornblenditas*-localmente anfibolitas saussuríticas- se presentan en paquetes decamétricos con una fuerte lineación (Fig.3C). Se componen de hornblenda verde azul, con rutilo, epidota y clorita como accesorios. Un análisis semicuantitativo efectuado a ocho puntos en sección delgada representativa usando SEMEDX, en el laboratorio de microscopia electrónica de la universidad de Brasilia, muestra cantidades menores de plagioclasa (Figura 3D).

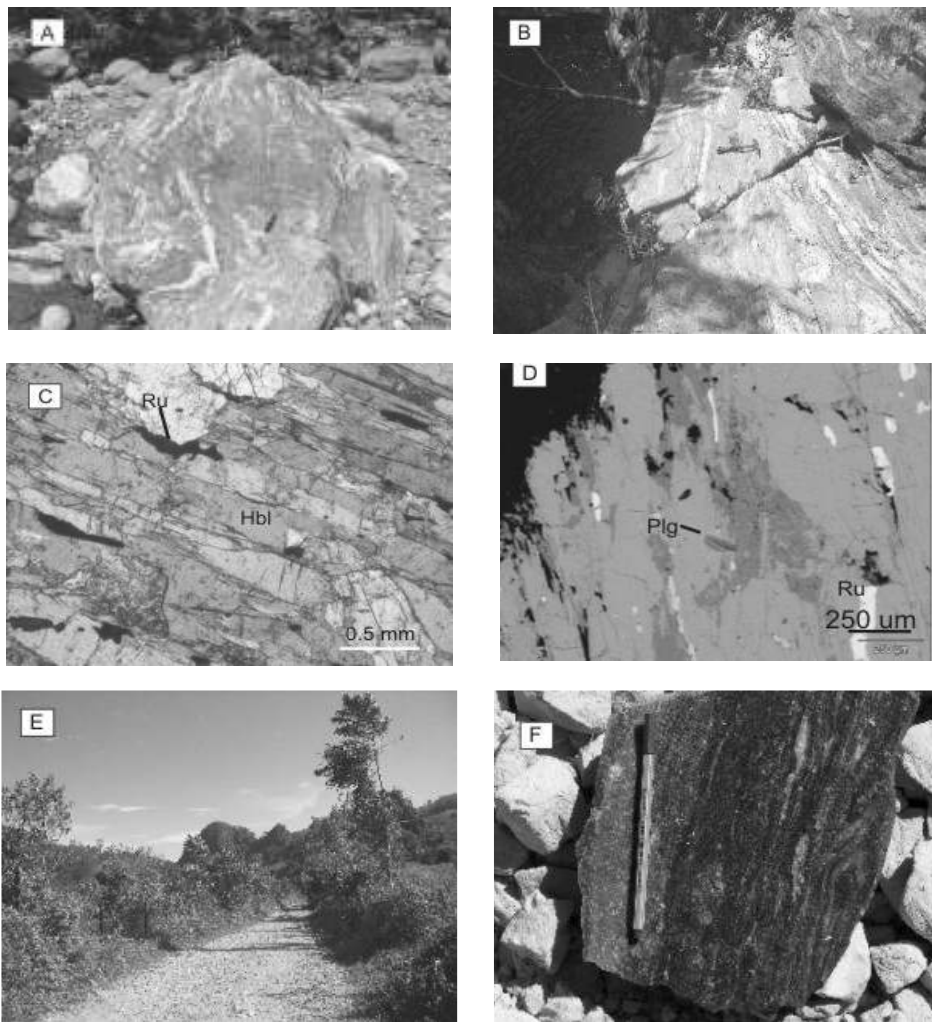


Figura 3. A y B. Migmatitas con estructura flebítica y estromática, respectivamente, en el río Maní (E = 922475; N = 1277294). C. Hornblendita exhibiendo una fuerte lineación del anfíbol, el mineral oscuro corresponde a rutilo (E = 923570; N = 1276888). D. Imagen SEM de una hornblendita. E. Geomorfología de los mármoles en inmediaciones de La Calera. F. Mármol con porfidoclastos tipo sigma, cantera la Calera. (E = 923487; N = 1279835). Hbl: Hornblenda. Ru: Rutilo. Plg: Plagioclasa.

Figure 3. A and B. Flebitic (A) and stromatic (B) structures of migmatites in the Mani river (E = 922475; N = 1277294). C. Hornblendite with a strong amphibole lineation, the dark mineral is rutile (E = 923570; N = 1276888). D. Hornblendite SEM image. E. Marbles geomorphology near La Calera. F. Marble with sigma type porphyroclasts, La Calera mine (E = 923487; N = 1279835). Hbl: hornblende, Ru: Rutile, Plg: Plagioclase.

-*Mármoles*, presentan un color gris oscuro. Se observan de forma restringida en el cañón del Río Pocuné, y se reconocen por rasgos característicos tipo cerros pepino (Fig. 3E). Estos cuerpos se encuentran intercalados con bandas de esquistos micáceos, esquistos cloríticos y cuarcitas.

-*Cuarcitas*, se observan a manera de lentes (Fig.1), con cantidades variables de grafito y micas. Estas no fueron analizadas en detalle.

-*Stock de La Culebra* (Ordóñez *et al.*, 2005), corresponde a un cuerpo de composición cuarzodiorítica, el cual intruye al conjunto metamórfico descrito. Este cuerpo exhibe textura fanerítica de grano medio, está compuesto por plagioclasa y cuarzo, y como máficos hornblenda y biotita. Son comunes las texturas de bahía y plagioclasas zonadas.

4. RASGOS ESTRUCTURALES

Continuando con la división mencionada en el apartado anterior, las principales características estructurales de ambos bloques se consideran por

separado. En el bloque occidental, las metamorfitas pasaron al menos por 3 fases deformativas penetrativas (Fig. 4), la primera, que generó la foliación principal, se conserva esporádicamente a modo de microlitones; la segunda, se caracteriza por un plegamiento apretado a isoclinal, NNW con vergencia al W, en la que se desarrolló una foliación de transposición dominante, la cual también ha sido documentada al sur del área de estudio, entre los corregimientos de Santa Isabel y Otú.

Localmente, y asociado a la Zona de Falla Otú, se desarrolla una tercera fase relacionada con el replegamiento de las rocas, con un patrón de interferencia de tipo 3 (Hatcher, 1995; Marshak y Mitra, 1988), que se manifiesta como una microcrenulación con clivaje de plano axial vertical que presenta una vergencia al Este.

Por su parte, en el sector oriental se observaron sólo dos fases deformativas, una primera que generó la foliación principal, y una segunda pobremente desarrollada, que corresponde a una microcrenulación con clivaje de plano axial vertical y vergencia al Este. Esta última fase es común a ambos conjuntos metamórficos, y se asocia a la ZFOP.

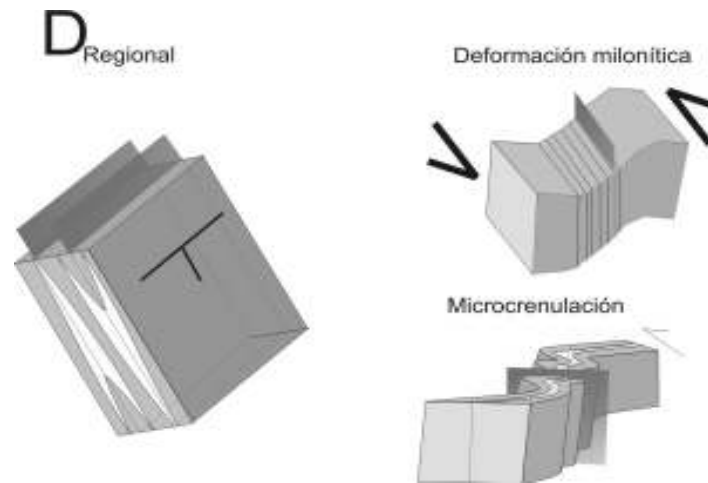


Figura 4. Fases deformativas en el bloque occidental, la foliación principal se encuentra plegada por un segundo evento deformativo. En el tercer evento, la deformación milonítica, asociada a la ZFOP, estuvo acompañada por el desarrollo de una microcrenulación, y bandas estrechas de milonitas.

Figure 4. Western block's deformative stage, the main foliation is affected by a second deformative event. The third event, a mylonitic deformation, related to the Otu-Pericos fault zone, was accompanied with the development of a microcrenulation and mylonitic thin bands.

Es importante anotar que la segunda fase observada en el conjunto occidental, probablemente no está presente en el bloque oriental, sin embargo, no existen relaciones geométricas contrastantes para la no correlación de ambas foliaciones.

5. LA ZONA DE FALLA OTÚ-PERICOS (ZFOP)

En el sector, la ZFOP aflora discontinuamente, afectando tanto a las rocas metamórficas como al batolito de Segovia (Fig. 5 A-C), mientras que

en los cuerpos plutónicos intermedios, e. g. La Culebra, no se pudieron definir evidencias de dicha deformación.

La zona de falla dúctil se caracteriza por el desarrollo de bandas discretas de milonitas, presencia de porfidoclastos tipo sigma (Fig. 3F), y pliegues de arrastre tipo S (Figs. 5A y 5B), los cuales presentan una cinemática con una componente dominante sinestrolateral y una componente inversa subordinada. Las condiciones de deformación se sitúan en las facies anfibolita (Passchier y Trouw, 1996), definido por el comportamiento dúctil del cuarzo y de los feldespatos en muestras analizadas del batolito de Segovia.

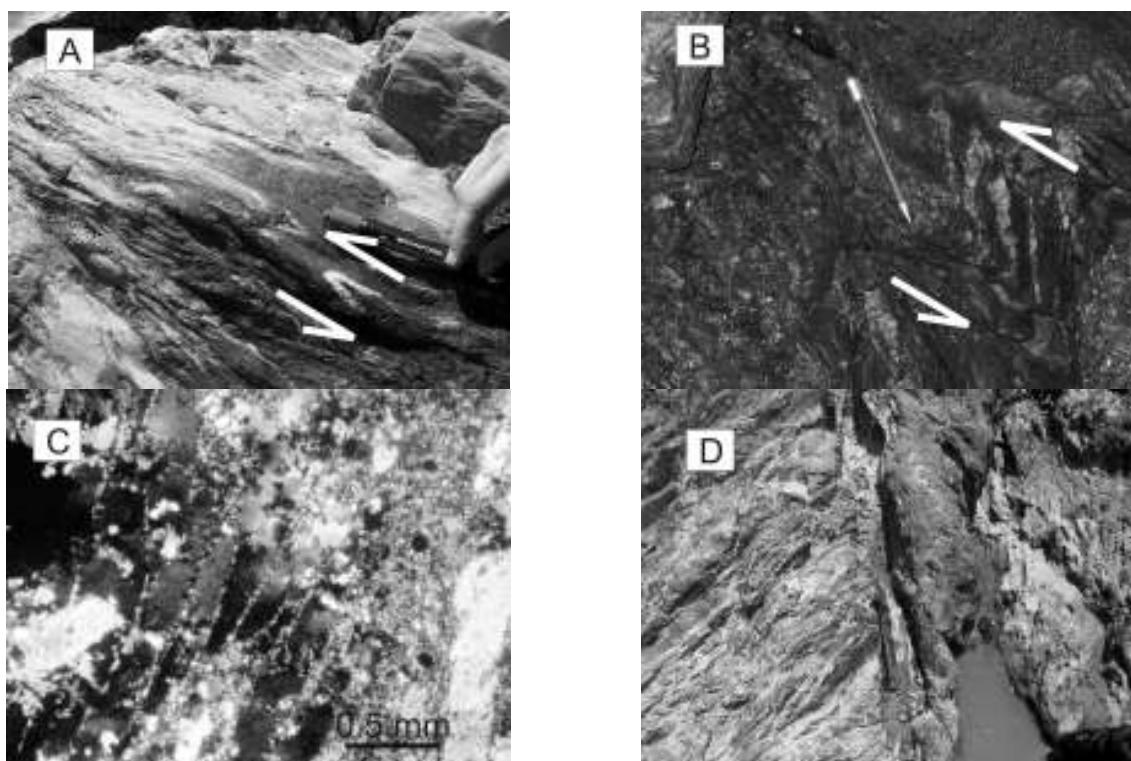


Figura 5. La zona de falla Otú, cañón del río Pocuné. Basamento metamórfico cizallado dúctilmente, mostrando pliegues de arrastre en S, A. Anfibolita (E = 925800; N = 1275705) y B. Esquisto micáceo. (E = 927565; N = 1274182). C. Bandas de deformación en cuarzo y feldespato potásico, en una protomilonita de cuarzdiorita (E = 929144; N = 1272831). D. superposición de la deformación frágil/dúctil (E = 925800; N = 1275705).

Figure 5. Otu fault zone, Pocune river canyon. Metamorphic basement with a ductile shear that shows a Type S drag folding. A. Amphibolite (E = 925800; N = 1275705) and B. Micaceous schist. (E = 927565; N = 1274182). C. Quartz and K-feldspar deformation bands in a protomylonite of quartzdiorite (E = 929144; N = 1272831). D. Superposed fragile/ductile deformation (E = 925800; N = 1275705).

Rasgos como, la presencia de *ribbons* en cuarzo y feldespatos (Fig. 5C), la recristalización dinámica en plagioclasas y estructuras *pinch & swell* en hornblenda, apoyan el grado metamórfico.

A esta deformación dúctil se ha sobrepuesto una deformación frágil (Fig. 5D), manifestada por abundantes bandas de deformación en cuarzo y la presencia de cataclitas y brechas de falla. Estas últimas se observan discontinuamente a lo largo del cañón del río Pocuné y sus tributarios. Estas zonas de falla frágiles a escala de afloramiento y mapas son interpretadas como estructuras Riedel de segundo orden, asociadas a la actividad de la ZFOP (Fig. 5D).

Para la ZFOP las fracturas tipo Riedel son agrupadas en tres conjuntos, discriminadas por orientación así: Fracturas de cizalla tipo **Y** (NW/verticales) con un sentido de desplazamiento sinistral; Fracturas de cizalla **R₁** (E-W/Verticales) con un cinemática sinistral y fracturas de cizalla **X** con disposición N-S/subvertical y desplazamientos dextrales. (Ordóñez-Carmona *et al.*, 2005).

6. GENERALIDADES DE LAS VETAS

En el DMSR, la minería aurífera es conocida desde tiempos coloniales, tanto del tipo aluvial como del vetiforme. La explotación ha sido muy activa en las rocas aflorantes en el bloque oriental de la ZFOP. No obstante, al oeste de esta falla, se han documentado, explorado y explotado otras manifestaciones vetiformes que cortan el basamento metamórfico.

Dichos depósitos se consideran como mesotermales con características de relleno de fisuras (Ramírez, 1985; Sierra, 1992), y se asocian a fases tardías del enfriamiento del magma que originó el batolito de Segovia (Feininger, *et al.*, 1973). Otros autores han hecho énfasis en el control estructural que tienen estos depósitos (Tremmler, 1955; Casas, 2005; Contreras, 2005; Ordóñez-Carmona *et al.*, 2005), proponiendo un modelo en el que estos depósitos se calificarían como de oro orogénico (Casas, 2005; Contreras, 2005; *sensu stricto* en el sentido de Groves *et al.*, 1998, Golfarb *et al.*, 2001).

Debe tenerse en cuenta que los depósitos orogénicos presentan una alta relación Au:Ag (Au>Ag), la cual es generalmente cercana a 10, y en casos excepcionales 1 a 1, razón por la cual a este tipo de depósitos comúnmente se le denomina “*Gold-only*”. Por el contrario en los yacimientos reportados en el distrito, la plata supera en varios órdenes de magnitud al oro (González, 2004).

No obstante, algunas vetas localizadas en cada uno de los bloques de la falla Otú exhiben características de un régimen de deformación dúctil-frágil a frágil de los depósitos de oro orogénico, tipo mesozonal/epizonal, con alta presión de fluidos (Ordóñez-Carmona *et al.*, 2005).

Las vetas principales tienen espesores medios superiores a 50cm, con zonas excepcionales de más de 4m (Mina El Silencio). En las vetas se observan macroscópicamente en orden de abundancia pirita, galena y ocasionalmente esfalerita que ocurren en venillas o hilos, bandeados, diseminados o masivos en una matriz especialmente de cuarzo lechoso. En las estructuras vetiformes más relevantes, los tenores históricos medios para Oro han sido superiores a 12 g/ton.

Estructuralmente, los rasgos presentes en los principales filones analizados sugieren un sistema de fallas y fracturas, preexistentes o precursoras, que comprende: una combinación simple de estructuras con mecánica tipo cizalla-extensional y extensional (*sensu stricto* Muehlberger, 1961; Pollard y Aydin, 1988, en Ordóñez-Carmona *et al.*, 2005), intercomunicadas por fracturas de cizalla con bajos desplazamientos (reactivaciones syn-mineralización), sobre las cuales en fases tardías o posteriormente se dieron las acumulaciones económicamente más atractivas.

Una dirección de esfuerzo compresivo NNW-SEE representaría el esfuerzo principal máximo al que pudieron ser sometidas los macizos rocosos, según los procesos de reactivación observados, al momento de la mineralización (Ordóñez-Carmona *et al.*, 2005). Este componente de esfuerzo principal es similar a deformaciones frágiles registradas en la ZFOP, sugiriendo una posible contemporaneidad entre estos procesos.

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las características observadas en cada uno de los bloques, (denominados oriental y occidental) permiten identificar que sus basamentos poseen diferencias en el grado metamórfico. El sector oriental contiene rocas de la parte alta de la facies anfíbolita, en tanto que el occidental exhibe mineralogías de las facies esquistos verde, y el grado de metamorfismo muestra un aumento general hacia el Occidente, alcanzando la parte media de la facies anfíbolita.

La historia deformativa de ambos bloques también difiere, encontrándose al menos tres fases principales en el occidental y dos en el oriental.

La dinámica de la intrusión del batolito de Segovia sólo muestra efectos térmicos en el bloque oriental, representado por brechas y migmatitas de inyección, y produciendo una ligera recristalización de minerales metamórficos. Al tiempo de la intrusión, el bloque occidental no pudo estar en su ubicación actual, dado que en el contacto se encuentran mármoles y rocas pelíticas, las cuales son muy reactivas y deberían mostrar efectos térmicos significativos.

Estas características muestran de forma macro la diferencia marcante que existe sobre ambos lados de la falla Otú, lo cual en esencia es compatible con la relación-asociación de esta estructura con un límite de terrenos como sugerido por Restrepo y Toussaint (1988).

Para esta falla, Feininger *et al.*, (1972) obtienen un desplazamiento lateral izquierdo de aproximadamente 66Km, basados en una supuesta correlación existente entre mármoles que se encuentran a ambos lados de la falla. Las unidades de mármoles representados por los afloramientos del Cerro Cabeza (La Calera-Remedios) y otros similares, localizados en la población de Puerto Nare, Suroriente del Departamento de Antioquia, sustentarían este desplazamiento.

Sin embargo, el reconocimiento de campo presentado en este estudio reporta la presencia de trazos de falla localizados al este del cerro Cabeza, localizándolo cinemáticamente en el flanco occidental de la ZFOP, cuya posición estructural refutaría el desplazamiento inferido

inicialmente, aspecto que queda como problema a resolver.

Si bien los depósitos localizados en el distrito parecen tener un fuerte control estructural, su clasificación como depósitos de oro orogénico (Casas, 2005; Contreras, 2005) debe ser analizada, ya que existen otras posibilidades para el desarrollo de vetas en regímenes compresivos (Sibson, 2004, Stephens *et al.*, 2004).

La combinación de los mecanismos cizalla-extensional y extensional, no son exclusivos de ambientes orogénicos, algunos *intrusión-related gold-deposits*, e.g TGB (abreviatura de *Tombstone Gold Belt*, Stephens *et al.*, 2004), exhiben un fuerte control estructural: Este podría ser el caso del DMSR.

Detallados estudios geocronológicos, termobarométricos y de inclusiones fluidas en las vetas y las rocas huésped, ayudarían a esclarecer la fuente de los fluidos hidrotermales, precisando si estos son magmáticos o metamórficos, las condiciones de presión y temperatura a las cuales se formaron, así como sus edades absolutas. Trabajo que está en plena fase de desarrollo por parte del grupo GEMMA de la Universidad Nacional, Sede Medellín.

Recientemente, parte de estos estudios, así como aportes más significativos, fueron desarrollados por Echeverri (2006), quien concluye que la mineralización corresponde a un sistema vetiforme de tipo orogénico epizonal, asociado probablemente con fluidos provenientes de una zona profunda en la corteza terrestre.

8. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo hace parte de dos proyectos de investigación (1) "Metamorfismo y magmatismo en el sector norte de la Cordillera Central" y (2) "Metalogenia y Evolución Tectono-Magmática del sector nororiental de la Cordillera Central y la parte sur de la Serranía de San Lucas en los departamentos de Antioquia y Bolívar", financiados por el DIME y DINAIN de la Universidad Nacional de Colombia. Se agradece a la empresa Frontino Gold Mines Ltda por el apoyo y confianza, así como a la Gobernación de Antioquia por la colaboración.

REFERENCIAS

- [1] ÁLVAREZ, M. Cartografía geológica de un sector localizado entre las quebradas San Nicolás y San Miguel, al NE de Segovia, Antioquia. Inédito. Facultad de Minas, Medellín 60 p. 2005.
- [2] CASAS, J. Control metalogénico y evolución geológica de las mineralizaciones auríferas del alto nordeste antioqueño. Tesis, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de minas. 2005.
- [3] CONTRERAS, G. Paragénesis mineral y consideraciones acerca del modelo evolutivo en el distrito minero Segovia-Remedios. Tesis, Universidad nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de minas. 2005.
- [4] FEININGER, T. BARRERO, D. CASTRO, N. Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (sub-zona II-B). Boletín geológico, Volumen XX, No. 2, 1972.
- [5] FEININGER, T. BARRERO, D. CASTRO, N.. Geology and mineral deposits of and area in the Departments of Antioquia and Caldas (subzone II B), Colombia. Ingeominas, Bogotá, pp 186-206.1973.
- [6] ECHEVERRI, B. Genesis and thermal history of gold mineralization in the Remedios-Segovia-Zaragoza Mining District of Northern Colombia. Tesis de Maestría. Universidad de Shimane. Japón, 2006.
- [7] GOLDFARB, R. J., GROVES, D., GARDOLL, S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. Ore geology reviews. Vol 18: 1-75, 2001.
- [8] GONZÁLEZ, H. Geología de la plancha 106 (Liberia). Escala 1:100.000. Ingeominas. Bogotá. pp 1-27.1992.
- [9] GONZÁLEZ, H. Mapa geológico de Antioquia Escala 1:400.000. Memoria explicativa. Ingeominas. Bogotá. 2001.
- [10] GONZALEZ, C. P. Representación Digital en 3D de Las Labores de Desarrollo de La Mina "El Silencio" en la Empresa Frontino Gold Mines Limited, Segovia, Antioquia. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín, 2004.
- [11] GROVES, D., GOLDFARB, R.J., GEBRE-MARIAM, M., HAGEMAN, S., ROBERT, S. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to their gold deposit types. Ore geology reviews. Vol 13: 7-27, 1998.
- [12] HATCHER, R.D. Structural Geology: principles, concepts and problems. Prentice-Hall, New Jersey, 1995.
- [13] MARSHAK, S. & MITRA, G.,. Basic methods of structural geology. Prentice-Hall, New Jersey, 1988.
- [14] ORDÓÑEZ-CARMONA, O., PIMENTEL, M. M., DE MORAES, R., RESTREPO, J. J. Rocas Grenvillianas en la región de Puerto Berrio – Antioquia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 23(87): 225-232. 1999.
- [15] ORDÓÑEZ-CARMONA, O., VALENCIA, M., ÁLVAREZ, M., SÁNCHEZ, L.H., CASTAÑO, L.C., ECHEVERRI, B. Metalogenia y evolución tectonomagmática del distrito minero Segovia-Remedios, primera aproximación. Memorias X Congreso Colombiano de Geología. Bogotá. Editorial Gente Nueva Ltda. p: 252, 2005.
- [16] PASSCHIER, C.W., TROUW, R. Microtectonics. Springer-Verlag. Berlín. 1996.
- [17] RAMÍREZ, G. Estudio geológico de la mina de oro providencia (Remedios-Antioquia) Tesis. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Minas, 1985.
- [18] RESTREPO, J. J., TOUSSAINT, J. F. Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. Episodes 11(3): 189-193, 1988.

[19] SIBSON, R. Controls on maximum overpressure defining conditions for mesozonal mineralisation. *Journal of structural geology*. Vol 26: 1127-1136, 2004.

[20] SIERRA, J.M. Propuesta de Estudio de la Mineralogía y de su Posible Relación con los Tenores de Oro de los Yacimientos de la Frontino Gold Mines en Segovia, Antioquia. Tesis. Escuela de ingeniería de Antioquia. Facultad de ingeniería geológica. Envigado. 1992.

[21] STEPHENS, J.R., MAIR, J.L., OLIVER, N., HART, C., BAKER, T. Structural and mechanical controls on intrusion-related deposits of the Tombstone Gold Belt, Canada, with comparisons with other vein-hosted ore-deposit types. *Journal of structural geology*. Vol 26: 1025-1041, 2004.

[22] REMLETT. "The Fracture Pattern and Structural controls of ore localization at Frontino Gold Mines." Informe interno Frontino Gold mines, Segovia, 15 P. 1955.