

# **GUÍAS PARA LA LOCALIZACIÓN DE METALES PRECIOSOS EN OFIOLITAS COLOMBIANAS. INFORME DE AVANCE PROYECTO CYTED XIII.1. OFIOLITAS: CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS Y PETROGRÁFICAS DEL YACIMIENTO DE NÍQUEL DE CERRO MATOSO**

**FRANKLIN ORTIZ B.**

*Profesor Titular Universidad Nacional de Colombia. fortiz@unalmed.edu.co*

Recibido para revisar 14 de Agosto de 2003, aceptado 7 de Noviembre de 2003, versión final 5 de Marzo de 2004

**RESUMEN:** En desarrollo de un programa iberoamericano de investigación aprobado por el CYTED, red Metales Preciosos, cuyo objetivo es establecer "guías de exploración que permitan localizar depósitos de Metales Preciosos, MP, (Au, Ag, Platinoides) en Ofiolitas " y en el cual participa el CIMEX y el ICNE, se ha acumulado información geológica, bibliográfica, de campo y laboratorio, que permite mostrar la importancia metalogénica que para Colombia tienen estos complejos de rocas máficas y ultramáficas. Algunos resultados preliminares muestran que la sola existencia de Metales Preciosos (MP) en algunas áreas del país, en unidades litológicas de las secuencias ofiolíticas tanto de su ambiente primario como secundario, justifica el que las entidades involucradas en la industria minera colombiana den una mirada hacia este ambiente geológico. Ejemplos de yacimientos en explotación, de ambiente primario y secundario, donde el oro y la plata son elementos de interés económico son el yacimiento de la mina El Roble (Sulfuros masivos) y el de Cerro Matoso (Lateritas) y por lo cual, especialmente del segundo, donde aún no se ha definido su posibilidad, se indican algunas particularidades y características geológicas que pueden servir de guías de exploración para estimar su verdadero potencial minero y para la eventual búsqueda en otras áreas del territorio donde se tengan cuerpos similares.

De la explotación minera que por más de 14 años se ha realizado en el yacimiento de níquel de Cerro Matoso, se tiene hoy acumulado una abundante información acerca de las características geológicas y mineralógicas del yacimiento. A pesar de ello, aún se desconocen aspectos relevantes acerca de su origen y el potencial en otros elementos de interés económico. En este trabajo se hace una síntesis sobre los diversos materiales constitutivos de la mineralización, su distribución, características petrográficas, mineralógicas y su composición química. En términos generales y de acuerdo con la terminología empleada rutinariamente en la mina, la columna del regolito laterítico del yacimiento está constituida, del techo hacia la base, por los siguientes materiales: Canga, laterita, saprolito café, saprolito verde, peridotita saprolitizada y peridotita. Sin embargo, es necesario evitar confusiones y ser cuidadoso con el uso de esta terminología en razón de que hay materiales que no encajan en tales términos. Se indican los materiales, sus características químicas y/o mineralógicas, y los nuevos minerales determinados (Chamosita, metales preciosos, etc.) dadas la gran importancia que tienen por sus implicaciones genéticas y económicas.

Algunos rasgos tectónicos y litológicos observados en dicho Depósito Mineral pueden servir para dar luces sobre el emplazamiento del cuerpo ultramáfico, fuente de la mineralización. Las particularidades en mención tienen que ver con deformaciones de carácter dúctil, dúctil-frágil y frágil, deformaciones que tuvieron un papel importante en la variabilidad de las asociaciones mineralógicas y de varios de los rasgos texturales y

estructurales del protolito. Ellas jugaron un papel condicionante en cuanto a la distribución de las zonas enriquecidas de los varios elementos de importancia económica detectados, por ejemplo el níquel. Las características petrográficas, mineralógicas, al igual que los rasgos estructurales, texturas y formas de presentación de las diversas unidades del depósito permiten establecer un modelo genético con repercusiones importantes para su futura explotación y exploración.

**PALABRAS CLAVES:** Ofiolita, Laterita, Metales Preciosos, Platinoides, Depósitos Minerales, Caracterización Mineralógica, Cerro Matoso

**SUMMARY:** In development of an Ibero-American program of investigation approved by the CYTED, Red XIII.1 precious Metals whose main objective is to "Define Geological exploration guides to locate deposits of precious Metals, PM, (Au, Ag, Platinoides) in Ophiolites" and in which participates the CIMEX and the ICNE, it has been accumulated abundant geologic, bibliographical, of field and laboratory information that it allows to show the metallogenic importance of the ophiolite complexes of Colombia. Some preliminary results show that the existence of Precious Metals (PM) in some areas of the country, in lithological units of the known ophiolite sequences, it is enough reason to justify entities involved in the industry mining Colombian give a look toward this particular geologic environment. Examples of specific locations in exploitation, of primary and secondary environments, where the gold and the silver are elements of economic interest are: the El Roble mine (massive sulfides) and Cerro Matoso (nickel Laterites). Specially the second one, where it has not still been defined their potentiality for PM, some particularities about its characteristic geological are indicated so it can be useful for exploration guides to estimate their true mining potential and for the eventual search in other areas of the territory where similar bodies exists.

On Cerro Matoso mine, exploitation for more than 14 years it has been carried out in this nickel ore deposit, it has been accumulated abundant information about the geologic and mineralogical characteristics of this location. In spite of it, outstanding aspects are still ignored about their origin and the potential in other elements of economic interest. In this work a synthesis is made on the diverse constituent materials of the mineralization, its distribution, petrographic characteristic, mineralogical and its chemical composition. In general terms and in accordance with the terminology used routinely in the mine, the column of the lateritic regolite of the location is constituted, from top toward the base, for the following materials: Canga, laterite, brown saprolite, green saprolite, saprolitic peridotite and peridotite. However, it is necessary to avoid confusions and careful being with the use of this terminology in reason that there are materials that don't fit in such terms. The materials, their chemical and/or mineralogical characteristics, and the new certain minerals are indicated (Chamosite, precious metals, etc.).

Some tectonic features and lithological observations in this Mineral Deposit can be good to give lights on the location of the ultramafic body and source of the mineralization. The particularities in mention have to do with deformations of ductile, ductile-fragile and fragile character, deformations that had an important paper in the variability of the mineralogical associations and of several of the textural and structural features of the protolite. They played a conditioning paper as for the distribution of the enriched areas of the several detected elements of economic importance, for example the nickel. The petrographic characteristic, mineralogical, the same as the structural features, textures and forms of presentation of the diverse units of the deposit allow to establish a genetic model with important repercussions for their future exploitation and exploration.

**KEY WORDS:** Ophiolite, Laterite, Ores, Mineralogical characterization

## 1. INTRODUCCIÓN

En el marco geográfico del occidente colombiano se viene llevando a cabo una investigación geológica para establecer las posibilidades de Depósitos Minerales de Metales Preciosos, MP, (Au, Ag, Elementos del Grupo del Pt -EGP) en secuencias ofiolíticas; se incluyen en este estudio las lateritas desarrolladas sobre las rocas ultramáficas. Un objetivo inicial ha sido seleccionar y determinar la presencia de blancos potenciales de metales preciosos en los complejos ofiolíticos; determinados éstos, establecer las guías geológicas que permitan la ubicación y distribución de los elementos importantes en las diversas unidades estratigráficas, estructurales y/o en el perfil de meteorización. Finalmente, elaborar un modelo evolutivo que permita explicar los procesos causantes de tales concentraciones y así determinar guías y metodologías de exploración que sean efectivas para cada área investigada.

La metalogénesis de las Ofiolitas y las lateritas en cuanto a la presencia de metales básicos (Cr, Ni, Co, Fe, Cu, etc.) es bien conocida, menos, relativamente, en cuanto a los metales nobles (Au/Ag y EGP). Una circunstancia muy particular de los países de la América tropical, como Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador es el de tener en sus territorios importantes áreas donde se presentan estos complejos con importantes cortezas de meteorización donde se da el desarrollo de perfiles de laterización con la presencia de mineralizaciones de Au, Ag y EGP, en algunos casos espacial y genéticamente, lo cual les confiere un potencial muy importante como un recurso mineral. En los últimos años, es mucho lo que se ha investigado sobre la distribución de los metales preciosos en el perfil laterítico por ejemplo en los complejos ofiolíticos, sobre rocas ígneas muy diversas y/o sobre mineralizaciones primarias. Como resultado de estas investigaciones es que se ha podido apreciar que los metales nobles suelen

encontrarse con preferencia asociados a los varios niveles u horizontes estratigráficos.

Es posible extraer información geológica y minera, al igual que los modelos conceptuales actualmente desarrollados en otros puntos del globo, a áreas de Centro y Suramérica con el Caribe. Por ejemplo, en Brasil, existen importantes yacimientos de Au en Lateritas de extensas exposiciones desarrolladas sobre rocas Proterozóicas que sufrieron transformaciones metamórficas pronunciadas durante el Ciclo Brasiliiano-Pan-Africano. En Cuba y Colombia muchas de las lateritas se han desarrollado sobre zonas de rocas ultramáficas ofiolíticas que se encuentra bien o poco alteradas, serpentinizadas y a menudo con efectos dinámicos intensos y alteración hidrotermal lo cual potencializa la presencia de Au y Ag en concentraciones primarias magmáticas y/o hidrotermales. Esto se evidencia mucho más con la presencia de cuerpos de cromita podiforme y la existencia de placeres aurífero-platiníferos que se han asociado a la erosión de las masas ultramáficas. Hay ejemplos en las ofiolitas de Moa (Cuba) donde se encuentran cuerpos serpentinizados y carbonatados, donde se han identificados varias lentes de listwanitas con anomalías de Au. De igual modo, en los complejos ultramáficos de Colombia se han encontrado zonas silicificadas, unidades de lateritas ricas en Ni, en las cuales investigaciones preliminares realizadas en el CIMEX indican la presencia de zonas potenciales con Au, Ag y EGP.

En la literatura geológica de Colombia se citan y conocen secuencias máficas y ultramáficas (Figuras 1 y 2), a menudo con el desarrollo de Lateritas, de edades y ambientes distintos, subordinadas a modelos de evolución particular y con estados sucesivos de laterizaciones a partir de diferentes tipos de roca parental. Muchas de estas ofiolitas, [exceptuando los estudios para platinoides en secuencias ultramáficas adelantados por el BGR en asociación con el INGEOMINAS en la región de Condoto

(Chocó), ver figura 1], no han sido aún estudiadas o no tienen suficiente detalle cartográfico, petroquímico y tectónico, y por tanto tampoco ha habido en ellas prospección

detaileda con miras a detectar concentraciones de metales nobles, Au-Ag y EGP.

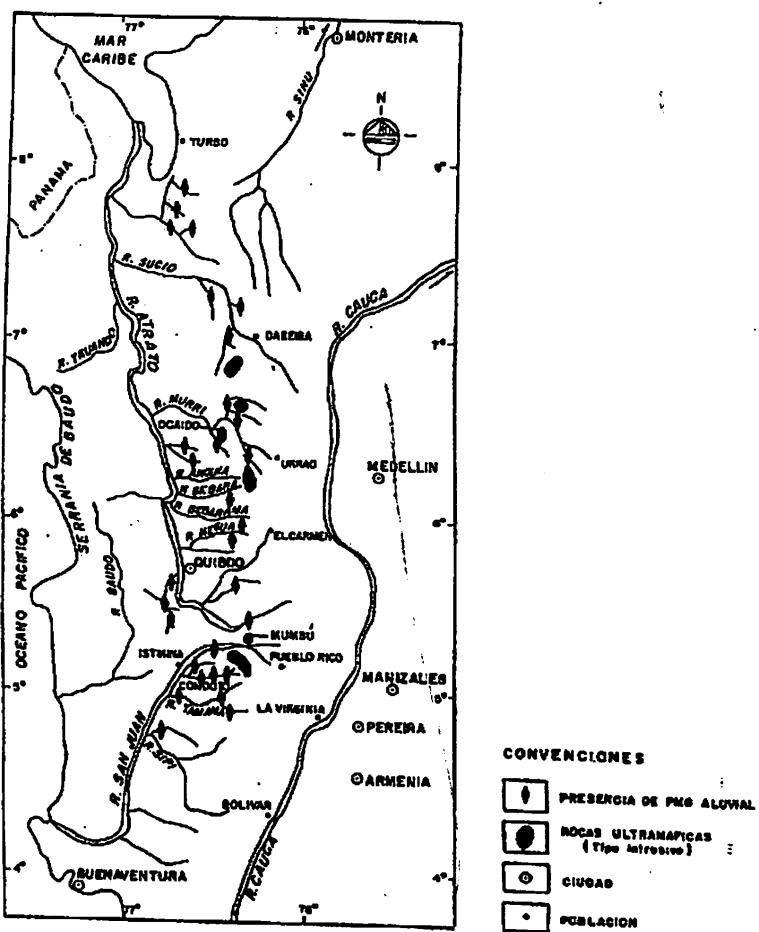


Figura 1: Localización de platino aluvial y de algunos cuerpos ultramárticos en la margen occidental de la Cordillera Occidental.

Figura 1. Localización de platino efuvial y de algunos cuerpos ultramárticos en la margen occidental de la Cordillera Occidental

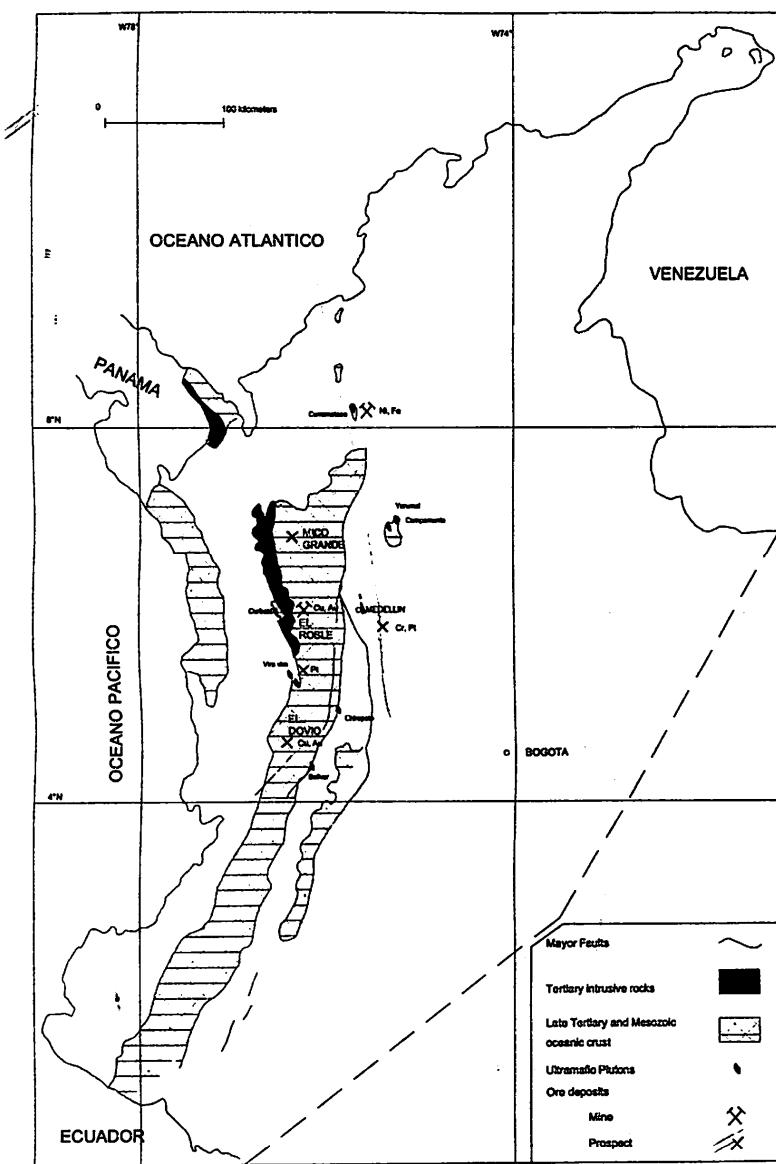


Figure 2. Ore deposits and ultramafic plutons associated with Mesozoic

Ophiolites of Colombia

### Figura 2. Sistema de fallas Cauca-Romeral con Ofiolitas asociadas

Un importante ejemplo es la explotación minera que por varios años se ha realizado en Cerro Matoso. Allí se ha puesto en evidencia abundante información geológica sobre las características litológicas, geoquímicas, mineralógicas del yacimiento de ferroronquel más importante del país. Un alto porcentaje

de esta información permanece en los archivos de la Empresa Cerro Matoso S.A.(CMSA), son de carácter reservado y por tanto sólo están disponibles cuando se divultan en foros, seminarios o congresos. Esto reduce la amplitud y profundidad con que se pudiera avanzar en muchos de los

aspectos mencionados, a pesar de lo cual se conocen muchas particularidades del yacimiento que lo hacen un excelente ejemplo como receptor de los metales preciosos y por lo tanto sirve al propósito de un llamado de atención hacia la exploración de los citados elementos en Colombia. Muchas de los aspectos aquí tratados, resumen información que proviene de revisiones bibliográficas publicadas, de estudios realizados por el suscripto a muestras recolectadas en una asesoría realizada por la Universidad en 1996, en ese momento con el objetivo de actualizar la caracterización mineralógica del yacimiento, pero que sirvieron de base para posteriores análisis en el marco de un programa de investigación Iberoamericano que cuenta con el apoyo de la Red Cyted (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) en el cual participa el CIMEX y el ICNE en la Sede de Medellín de la Universidad Nacional de Colombia.

Las muestras recuperadas fueron el resultado de tomar esquirlas de rocas en forma continua, a longitudes variables, en los cortes de algunos bancos en explotación, y de muestras de mano escogidas como representativas del material de cada unidad. El material recuperado en esquirlas posteriormente fue inicialmente llevado al laboratorio de preparación de la empresa Cerro Matoso Sa (CMSA) donde se secó, trituró, pulverizó y cuarteó de acuerdo con la rutina establecida en CMSA. Una porción se tomó para análisis químico de Ni, Fe, Cr, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO en los laboratorios de Cerro Matoso; otra porción del material recuperado se utilizó para realizar en él estudios de difractometría de rayos X y para la preparación y montaje de secciones delgadas y pulidas en el INGEOMINAS-Medellín y en el CIMEX. Parte del material recolectado ha sido analizado en laboratorios de la Universidad Phillips, Marburg (Alemania) y en el servicio Geológico de Portugal.

## 2. GEOLOGÍA

El yacimiento de Cerro Matoso se encuentra asociado a un cuerpo aislado de rocas

ultramáficas que esta formando parte del Complejo Ofiolítico del Cauca (Mejía y Durango, 1981-82). El ambiente geológico para estos complejos litológicos en Colombia es una amplia franja localizada en el occidente del país, parte en la cordillera occidental y en el límite entre ésta y la cordillera central. Este conjunto de rocas máficas y ultramáficas esta ubicado dentro del denominado sistema de fallas cauca-romeral (Fig. 2); sistema que presenta un estilo estructural de fallamiento intrincado y de convergencia variable dentro del cual hay una secuencia de estratigrafía incierta y fragmentos de corteza siática y simática de edades variables desde el Paleozoico hasta el Cretáceo. Es posible describir esta franja como una provincia tectónica específica. En los mapas de Terrenos Geológicos de Colombia es denominada como el Terreno Cauca-Romeral y en él se mezclan estructuralmente varias litologías que incluyen desde basaltos toleíticos, a veces con estructura en almohadilla, diabases y sedimentos marinos, gabros, peridotitas y anfibolitas hasta esquistos muy variados a menudo cubiertas por rocas sedimentarias Terciarias; también hay en este plutones calcoalcalinos e intrusivos subvolcánicos. Según Barrero, (1974), la zona de Falla Cauca-Romeral es la zona de convergencia de la corteza oceánica y la corteza continental. El sistema de Romeral se puede igualmente considerar como una importante provincia Metalogénica en la cual son varios los tipos de mineralización existentes, o predecibles de existir.

Al igual que en las rocas ultramáficas de Cerro Matoso, existen otros importantes cuerpos de ultramafitas con el desarrollo de lateritas con níquel (Planeta Rica, Uré, etc.) no necesariamente en explotación o se tienen otros elementos y minerales de importancia económica en los cuerpos máfico-ultramáficos, entre otros están: en las secuencias ultramáficas, depósitos de asbestos (Campamento), talco (Yarumal), cromita (Santa Elena), Magnesita y Olivino (Bolívar). También es importante indicar que en las secuencias de rocas volcánica-



sedimentarias pueden existir acumulaciones de sulfuros masivos auríferos en rocas basálticas o depósitos de manganeso (Santa Barbara); y de Oro diseminado o vetiforme de tipo hidrotermal (Marmato) asociado a las rocas subvolcánicas. Es importante resaltar que en esta provincia hay un gran potencial para el hallazgo de nuevos depósitos minerales similares a los ya mencionados.

En el caso específico del yacimiento de Cerro Matoso la mineralización se desarrolló sobre un cuerpo ultramáfico expuesto en forma de un cerro alargado, de unos 2.5 km. de largo por unos 1.7 km. de ancho con una altura de unos 200 m., sometido a un típico proceso de enriquecimiento supergénico por laterización. El protolito original y dominante es una harzburgita, en parte serpentinizada, a partir de la cual se desarrolló un perfil laterítico de espesor variable y donde se encuentran zonas de peridotita fresca, peridotita saprolitizada, saprolita, laterita y canga. La acumulación del níquel se desarrolló en varias de las zonas con un enriquecimiento variable en el contenido de níquel y de hierro.

### 3. CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO DE CERRO MATOSO

#### 3.1 RASGOS ESTRUCTURALES

Enmarcado el panorama de la geología regional y estructural en el cual se ha acentuado la relación estrecha del yacimiento al sistema Cauca-Romeral, anotaremos a continuación aspectos específicos que tienen que ver con las particularidades del área donde está la mina. Dos patrones generales de diaclasas y fallas han sido descritas dentro de las rocas ultramáficas en Cerro Matoso. Estos patrones se mencionan en varios de los estudios geológicos, en particular en los trabajos de Mejía y Durango (1981-82) y López-Rendón (1985, 1986); el primer patrón es asociado a un sistema de esfuerzos compresionales que ocurrió durante el emplazamiento del cuerpo ultramáfico contra la Paleofosa Romeral, el segundo es atribuido a esfuerzos compresionales durante la Orogenia Andina. Sin embargo, aun no se tiene un estudio estructural ni apropiado, ni

exhaustivo, pero de acuerdo a la cartografía detallada que en esa área se realizó es importante hacer notar estructuras que son evidentes en algunos de los frentes de explotación y con las cuales se pueden determinar aspectos genéticos diferentes de los tradicionalmente descritos para este yacimiento, estos rasgos observados son la existencia de estratificación ígnea, una zona de cizalla deformándola y estructuras frágiles con la presencia de taquilitas y mineralizaciones de origen hidrotermal, veamos un poco más acerca de estos rasgos:

##### 3.1.1 Estratificación ígnea

La seudo estratificación de las rocas protolitas de la laterita es bien definida por la una textura cumulo de piroxenos con cristales de hasta 1 mm. que se encontró en los niveles 112 (con rumbo N38°E/45°W), y 133, (con Rumbo N-S, 30°W). Su presencia es valiosa dado que esta seudoestratificación se puede utilizar para establecer la posición original de las rocas y dado que ella está afectada y desplazada por una deformación dúctil y frágil es posible proyectarla para determinar la posición primitiva de los otros elementos estructurales que se originaron en la zona de cizalla

##### 3.1.2 Zona de Cizalladura

Es una amplia deformación de cizallamiento que afectó las rocas protolíticas y se ve expuesta en los diferentes frentes actuales de explotación. Es una estructura de deformación dúctil a dúctil-fragil en la cual se aprecian poliedros de deformación, formas elipsoidales de las rocas de escala milimétrica a métrica. Como resultado del efecto continuo de la deformación dúctil se desarrollaron materiales miloníticos que dieron origen a una Taquilita. Hacia los nodos de los elipsoides de deformación se encuentra importantes zonas brechas y fracturas en enrejado, áreas de distensión de esfuerzos compresivos donde se dio la deposición de venas de garnierita, silice, carbonatos (magnesita, calcita y siderita) atribuidas a soluciones de tipo hidrotermal

que suelen acompañar estos procesos dinámico-térmicos.

### 3.1.3 Estructuras de deformación frágil

Los patrones estructurales mencionados por los autores arriba citados son el resultado de fallas y fracturas, de carácter frágil y de alivio de los esfuerzos que originaron la zona de cizalla, que tienen patrones dominantes N45°W y N30°E. Son notorios un fracturamiento ortogonal, la presencia de lisos y estrías de falla, planos curvados al igual que las zonas brechadas. En la zona de falla resaltan las numerosas venas rellenas, en varios períodos de apertura y deposición, de sílice coloidal, cuarzo, garnierita, calcita, magnesita, a veces dando nidos o zonas de enrejado.

La zona de cizalla aparece como el elemento estructural más importante en el cuerpo ultramáfico. Sus efectos estarían ligados a procesos muy profundos cuando se estaba dando la consolidación del magma ultramáfico; la deformación en un estado plástico, concomitante con la presencia de fluidos hidrotermales asociados a las fases distensivas, produciría la concentración de garnierita, cuarzo, calcita y magnesita en venas en aquellas áreas más permeables y coincidentes en muchos casos con los patrones estructurales de la deformación frágil. En algunos casos los nodos asociados a los poliedros de deformación dúctil son las áreas más receptivas para los enrejados y zonas brechadas que se encuentran en el cuerpo ultramáfico.

## 3.2 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS Y PETROGRÁFICAS

En los varios estudios geológicos previos que se tienen de la mina existe ya una descripción de las características, clasificación y caracterización del mineral del yacimiento de Cerro Matoso. Parámetros que se han utilizado incluyen diversos criterios en los cuales los aspectos petrográficos, los parámetros químicos, el análisis estadístico al igual que los rasgos texturales y físicos

(color, densidad, dureza), son de uso rutinario en la mina, (López, 1985 y varios informes internos, Mejía y Durango, 1981-1982, MDR, 1995). En base a estos criterios se han definido, cartografiado y clasificado los siguientes materiales: Peridotita (material parental), Peridotita saprolitizada, Saprolita superior y Saprolita inferior, Canga rojaparda y Canga negra, Limonita, Taquilita, y sedimentos. La clasificación se puede mejorar, especialmente si se combina con las particularidades mineralógicas. En la tabla 1 se resumen los principales minerales encontrados en los varios estudios realizados en Cerro Matoso; se indica la técnica de identificación.

De los diversos minerales que se encuentran en el yacimiento de Cerro Matoso sintetizados en la Tabla 1, es muy importante mencionar para el propósito de la investigación en proceso que se ha confirmado la presencia de oro y plata por dos métodos (Ensayo al fuego y Microscopía de Luz Reflejada) y con la separación de partículas visibles del oro. Estos elementos ocurren en el depósito en prácticamente todos los materiales en que se ha separado la corteza de meteorización. Se ha encontrado el oro con valores por debajo de 0.4 ppm en el protolito, valor que incrementa hasta el rango de ppm hacia arriba del perfil laterítico. Existen zonas dentro del depósito cuyo tenor promedio supera los 0.4 ppm y en ocasiones alcanza tenores de interés económico. Sin embargo, es importante anotar que los resultados obtenidos en varios laboratorios, nacionales y extranjeros, con técnicas analíticas similares, tienen grandes diferencias. La técnica analítica desarrollada en el CIMEX por la profesora Ana Cecilia Gaviria ha resultado hasta ahora, al leal saber y entender del autor, la que mejores y más confiables valores reporta, en particular para los distintos materiales que componen el yacimiento de Cerro Matoso. Se está investigando la implementación de una metodología analítica que permita determinar los contenidos de oro, lo más confiable posible, en los materiales lateríticos.

Tabla 1. Resumen de minerales identificados en Cerromatoso

| GRUPO               | MINERAL  | TIPO DE MATERIAL PORTADOR   | TECNICA DE ANALISIS  |
|---------------------|--|---|--|
| SULFUROS            | PIRITA<br>MILLERITA<br>PRODUCTOS INTERMEDIOS*  | CANGA (C)<br>CANGA (C)<br>CANGA (C)   | MICROSCOPÍA DE L.R.<br>MICROSCOPÍA DE L.R.<br>MICROSCOPÍA DE L.R.  |
| SILICATOS           | OLIVINO<br>ORTOPIROXENOS<br>SERPENTINA<br>SMECTITA<br>LIZARDITA-NI<br>CLORITA-NI<br>CHAMOSITA<br>GARNIERITA<br>PIMELITA-NI<br>SEPIOLITA-NI<br>NIMITA | PERIDOTITA, SAPROLITA (S)<br>PERIDOTITA, SAPROLITA<br>P, S, LATERITA (L), C<br>S, L, C<br>S, L, C<br>P, S, L, C<br>S, L, C<br>P, S, L, C (VENAS)<br>S, L, C<br>SAPROLITA, CANGA<br>SAPROLITA, CANGA | MICROSCOPÍA DE L.T.<br>MICROSCOPÍA DE L.T.<br>DIFRAC.-DTA<br>DIFRAC.-DTA<br>DIFRAC.-DTA<br>DIFRAC- MICROSCOPÍA<br>DIFRAC.-DTA<br>DIFRAC.-DTA<br>DIFRAC.-DTA<br>DIFRAC.-DTA |
| OXIDOS E HIDROXIDOS | CUARZO<br>SÍLICE CRIPTOCRIST.<br>MAGNETITA<br>MAGHEMITA<br>GOETHITA<br>LIMONITA (?)<br>CROMITA<br>PIROLUSITA   | VENAS<br>VENAS<br>P, S, L, C<br>LATERITA, CANGA<br>L, C<br>P, S, L, C<br>S, L, C  | MICROSCOPÍA DE L.R.<br>MACROSCÓPICA<br>MICROSCOPÍA DE L.R.<br>MICROSCOPÍA DE L.R.<br>MICROSCOPÍA DE L.R.<br>MICROSCOPÍA<br>MICROSCOPÍA DE L.R.<br>MICROSCOPÍA DE L.R.      |
| CARBONATOS          | MAGNESITA<br>CALCITA   | P, S, L, C<br>S, C, VENAS   | MICROSCOPÍA DE L.R.<br>MICROSCOPÍA DE L.T.   |
|                     | SIDERITA   | C, VENAS  | MICROSCOPÍA Y DIFRACTOMETRÍA   |
| ELEMENTOS           | ORO, PLATA   | P, S, L, C  | ENSAYO AL FUEGO,<br>MICROSCOPÍA DE L.R.  |

\* PRODUCTOS INTERMEDIOS CORRESPONDEN A SULFUROS DE HIERRO DEL GRUPO DE LA PIRITA

\* LA CANGA INDICADA EN ESTE CUADRO CORRESPONDE A LA UNIDAD COMO SE DESCRIBE EN EL TRABAJO

### 3.3 RASGOS MINERALÓGICOS DE IMPORTANCIA GENÉTICA

La CANGA resulta ser un importante guía para establecer algunos aspectos de la génesis del yacimiento. La **Canga**, en general, es un material de características líticas, es decir con

relativo endurecimiento, de alto contenido de hierro y en el cual no se aprecia rastro alguno, ni textural ni composicional, de la roca original. Este tipo de material en los estudios anteriores se ha tomado como la unidad más superior del perfil de la laterita de Cerro Matoso, sin embargo de acuerdo a la cartografía realizada

esta posición estratigráfica no es correcta. Este material aparece muy bien expuesto y se puede separar como unidad cartografiable, a la escala de la explotación de la mina, en varios niveles de ella, pero para efectos de la descripción típica haremos referencia a una excelente exposición en el nivel 119. Allí la canga se puede separar en al menos dos tipos diferentes de acuerdo a rasgos mineralógicos y texturales fácilmente identificables en el campo.

De acuerdo a la cartografía realizada la unidad se extiende como una manta o capa subhorizontal de varias decenas de metros. Se encuentra suprayaciendo a las unidades de peridotita saprolitizada, saprolita y taquilita en los niveles arriba indicado y es cubierta por laterita; su espesor es variable lateralmente aunque en promedio está alrededor de los 10 metros. Siguiendo criterios de campo (estructurales, texturales y mineralógicos), y tomando la polaridad de su forma de presentación, de la base hacia el techo, y de acuerdo a su composición mineralógica y química es posible separar la canga en dos: una, en la parte inferior, denominada *canga magnética*, por la presencia notoria de abundante magnetita, la otra es una *canga no magnética*, usualmente de color pardo a crema. Veamos en más detalle sus particularidades.

### 3.3.1 Canga magnética

La canga magnética se presenta como un material masivo de varios metros de espesor que exhibe cierto bandeo a la escala de afloramiento y de las muestras de mano. Esta unidad se podría subdividir por su color dominante y por la mineralogía del material en *canga magnética negra-verdosa* y *canga magnética parda*: la primera es de color verde oscuro con manchas rojizas expuesta hacia la base de la unidad, está compuesta dominante por los óxidos de hierro negros, cantidades menores de hidrosilicatos de magnesio, aluminio e hierro y en ella se encuentran sulfuros de hierro y goethita en cantidades muy subordinadas; esta subunidad oscura suele mostrar florescencias blancas a azulosas de sulfatos de níquel en los períodos secos que preceden a los días de lluvias; La segunda es típicamente de color pardo a pardo-rojiza, el óxido de hierro más

abundante es la goethita, contiene también magnetita y maghemita, e igualmente hay los hidrosilicatos de aluminio, magnesio, hierro; el color pardo rojizo es causado por el hierro férrico.

La primera subunidad es de color negro a verde oscuro en el afloramiento, variable con la humedad, y tonalidades de verde oscuro a negro, pardo rojizo a pardo amarillento. Es notorio que la muestra de mano tenga una apariencia de una roca masiva, muy densa, altamente magnética y con una textura de flujo laminar que a nivel de los afloramientos se traduce en bandas onduladas. En el afloramiento tipo son numerosas las concreciones negras metálicas burdamente redondeadas, a veces nodulares, de dimensiones centimétricas (hasta 3 cms.). Estas concreciones son en su gran mayoría de carácter magnético, aunque localmente, y en menor proporción, se encuentran formas nodulares alargadas no magnéticas.

En el estudio microscópico de la canga se pudo observar una típica textura coloidal de gran variedad mineralógica y con la presencia de especies coloidales en transición hacia especies cristalinas. La composición mineralógica de estos mineraloides es difícil de determinar aún con el uso de la difractometría de rayos X.. Hasta el momento se han identificado algunas especies mineralógicas cristalinas extremas que incluye una facie de óxidos y una facie de hidrosilicatos de aluminio, magnesio e hierro como las más abundantes, aunque también hay, en cantidades subordinadas, carbonatos y sulfuros. Identificación más precisa de cada uno de los minerales presentes requerirá de una investigación más avanzada.

En términos de los minerales definidos están: de los óxidos de hierro; magnetita, maghemita y goethita; de los hidrosilicatos de aluminio, hierro y magnesio, chamosita y clorita; de los sulfuros, pirita, millerita y productos intermedios de sulfuros de hierro; y de los carbonatos, siderita y magnesita.

Entre las dos subunidades hay un límite bien definido en el cual se encuentran las acumulaciones nodulares no magnéticas; estas son escasas y contienen siderita y sulfuros en bandas micróscopicas junto con restos de magnetita, su envoltura es de goethita. La

distribución espacial de los nódulos de magnetita y maghemita acompañado de los nódulos de siderita y pirita junto con la abundancia relativa de la goethita en las dos subunidades puede atribuirse a la transición o límite de un proceso de oxidación reducción, en las condiciones modernas, por el sometimiento de la unidad magnética a los agentes atmosféricos, este proceso parece estar ligado a las fluctuaciones en el nivel freático actual del cerro.

Algunos aspectos notorios y relacionados a la composición química de la unidad son los contenidos de hierro. Sus valores son los más altos encontrados en las diversas zonas definidas para el yacimiento; un límite arbitrario de 45% de Fe, como contenido mínimo para la canga magnética, parece funcionar bastante bien como método de identificación químico para este tipo de material. En principio, es bueno establecer que no debería confundirse este material con el que se ha definido como **laterita**, por el contrario parece ser más válido definir la canga magnética como un nuevo tipo de roca; las diferencias con los otros materiales se dan en su presentación física, la composición mineralógica y probablemente en aspectos químicos. Por ejemplo, si se compara el contenido de níquel con el de la laterita, en la canga el tenor de níquel es mucho mas alto y con connotaciones de tipo económico.

### 3.3.2 Canga parda no magnética

En esta categoría se considera la unidad que suprayace a la canga magnética. Como ella: se presenta en forma de una capa cartografiable a la escala del trabajo minero; consta de un material macizo, altamente ferruginoso, a veces bandeados a laminar, de apariencia lítica en el cual no hay rastros de las características texturales o composicionales de la roca original; y en ella se encuentran minerales del tipo chamosita, clorita, como minerales extremos de una facie de hidrosilicatos de aluminio, magnesio e hierro a menudo presentes con textura de gel. En determinados sitios está canga puede tener material ferruginoso muy endurecido de color rojo-parduzco a negro; de aspecto de costras, concrecionario, cavernoso y con abundancia de óxidos de manganeso.

Mineralógicamente el material es muy similar al presente en la canga magnética, su diferencia fundamental está en la ausencia dentro de esta unidad de los óxidos de hierro magnetita y maghemita. Aquí abunda la goethita, como el mineral extremo de una variedad de óxidos hidratados de hierro en estado de gel. En cuanto a los hidrosilicatos de aluminio, hierro y magnesio (variedades de clorita, chamosita) hay diversos productos similares, aún no definidos dada su forma de presentación en forma de gel, muy abundantes, de los cuales sólo se han identificado a la clorita y a la chamosita.

Al comparar la composición química de la canga magnética y la no magnética se encuentra que: los contenidos de Fe en la magnética superan al 45%, en la no magnética son menores; la unidad no magnética tiene contenidos superiores de  $\text{Al}_2\text{O}_3 (>20\%)$ , de  $\text{SiO}_2 (>15\%)$ , mientras que en la magnética los contenidos son sensiblemente menores. Sería interesante estudiar las implicaciones de la composición química en la caracterización de estas unidades ya que de acuerdo a los pocos análisis químicos disponibles existen claras diferencias y hay evidencias en la composición mineralógica que soportan esta suposición.

## 4. ALGUNAS IDEAS SOBRE LA GENE-SIS DEL YACIMIENTO

En la hipótesis general sobre el origen del yacimiento ha habido coincidencia en los diversos autores de que en apariencia el depósito tuvo un período relativamente amplio de formación. se ha planteado un origen del perfil laterítico que se iniciaría en las últimas etapas de la Orogenia Pre-Andina, a finales del Eoceno Tardío. El perfil de laterización y sus variabilidades en la distribución de los contenidos de níquel fueron más favorecidos y de mayor grosor en la zona noreste del cuerpo. Esto según los autores sería consecuencia de dos factores: el grado de serpentización, (a mayor una menor concentración de Ni), y un suave levantamiento con perturbaciones después de la Orogenia Andina del Mioceno tardío-Plioceno que hicieron posible la erosión del sector suroccidental.

En una interpretación involucrando aspectos de cartografía, de los nuevos aspectos aquí descritos, su origen sería el resultado de un proceso complejo de múltiples etapas. Es posible visualizar la génesis de Cerro Matoso como un proceso que estaría influenciado y condicionado desde el origen de las rocas ultramáficas. Bajo este panorama el proceso se iniciaría en el Cretáceo durante la consolidación y emplazamiento del cuerpo ultramáfico cuando se originaría una diferenciación magmática que originaría rocas diversas y estratificadas las cuales durante su emplazamiento de un nivel estructural profundo hacia niveles menores sufrirían los efectos de la deformación dúctil-frágil y el acompañamiento de la serpentización parcial de varias de sus unidades líticas al igual que la introducción de fluidos hidrotermales remanentes cuya consecuencia serían la formación de las numerosas venas de magnesita, garnierita y las zonas silíceas y calcáreas. Intimamente asociado al emplazamiento son los procesos orogénicos de levantamiento de la cordillera con el consecuente ascenso hacia superficie del cuerpo ultramáfico íntimamente manifiesto en los terrenos geológicos del sistema Cauca - Romeral. Ellos incluirían eventos compresivos y distensivos que se iniciaron con deformación dúctil continuaron con la frágil, a consecuencia del cual se da el desarrollo de zona de fallas y fracturamiento intenso que posibilitan en las rocas una mayor permeabilidad. Expuestas las rocas en superficie se iniciarían los procesos del intemperismo bajo condiciones geomorfológicas muy especiales, en un ambiente tropical que permita la alteración de las rocas ultramáficas, la formación de saprolitas y la laterización durante la cual habría el enriquecimiento de hierro, níquel y otros elementos valiosos.

La laterización posiblemente se dió desde el Terciario (Eoceno ?) en un entorno donde las condiciones eran muy especiales, en algunos pudo darse la influencia de un ambiente marino a transicional que permita explicar el que se originaran minerales como la chamosita, la magnetita y las texturas de gel que se encuentran en la canga magnética y no magnética aquí descritas. Esta marcada complejidad, influencia hidrotermal profunda como un control inicial y

luego los varios procesos de tectonismo y de laterización que permitieron el enriquecimiento de Ni requieren de un cuidadoso y detallado estudio para resolverla; dar respuestas a estos interrogantes es fundamental no solo para establecer y explicar la configuración particular del yacimiento de Cerro Matoso en relación a otros yacimientos descritos en la literatura geológica sino también por las implicaciones tan importantes en los aspectos económicos y en el avance de los futuros trabajos exploratorios.

## 5. IMPLICACIONES Y APLICABILIDAD A FUTURAS EXPLORACIONES

El desarrolla de venas en el yacimiento, con orientación o tendencias variables, seguramente obedece a una distribución condicionada y posiblemente predecible dentro del cuerpo niquelífero. Los minerales y asociaciones de los diferentes minerales tienen importantes implicaciones y efectos sobre la génesis, minería y beneficio del níquel en el depósito. En Matoso los minerales de relleno entre otros son garnierita, sílice opalina y cuarzo, calcita y magnesita.

A veces como en el caso de la magnesita, es un verdadero enrejado de venas que ocupan un porcentaje volumétrico relativamente importante ya que puede alcanzar en promedio un 15% del cuerpo rocoso. Por ejemplo, las venas de magnesita que se encuentran en el nivel 189, se extienden por varias decenas de metros (70 metros) y llegan a constituir, por sus dimensiones y volumen, un depósito de magnesita al interior del cuerpo de Cerro Matoso.

En el caso de las venas de garnierita; éstas marcan áreas de alta concentración de níquel dentro de las rocas frescas, persisten en las rocas saprolitizadas y son causantes de un incremento sustancial en el tenor de níquel de las rocas afectadas.

Finalmente si se considera a las venas con sílice, se aprecia su efecto negativo al dar una mayor dureza a los materiales que van a ser procesados y beneficiados, a menudo, con problemas adicionales durante el proceso metalúrgico por el incremento en los porcentajes de silice. Debido entonces a que las venas juegan un importante papel en la caracterización, minería, metalurgia

y en la génesis del yacimiento, su cartografía y delimitación debe ser realizada en forma continua durante la minería del depósito. En la modelación del yacimiento, la cartografía y delimitación de estas zonas puede servir para predecir comportamientos de las áreas que actualmente se encuentran en exploración.

## 6. CONCLUSIONES

La caracterización mineralógica, química y petrográfica realizada en Cerro Matoso confirma y mejora los resultados de los estudios previos. Se han mencionan nuevas especies minerales que por su posición estratigráfica tienen importantes repercusiones en la génesis del yacimiento. Tales son: chamosita y clorita; pirita y productos intermedios; magnetita y maghemita; siderita.

En relación a los minerales económicos se confirma la hipótesis sobre la presencia de metales preciosos, oro y plata, no sólo en el yacimiento de Cerro Matoso sino en otros cuerpos ultramáficos de las secuencias ofiolíticas en Colombia; con o sin la presencia de Lateritas, pero donde se aprecia la conjugación de procesos condicionantes para dar lugar a su concentración en las rocas ultramáficas.

Es importante indicar un rasgo notorio encontrado en las rocas del protolito, es la presencia de textura cumulativa y el desarrollo de estratificación de las unidades líticas. Esta estratificación ígnea es importante elemento estratigráfico que posibilita establecer aspectos genéticos y de emplazamiento de las masas ultramáficas. Junto con la determinación de esta particularidad ígnea se determinó una amplia zona de cizalladura, previa a la laterización, y afectando las rocas ultramáficas y la coexistencia en ella de venas en enrejado esta definiendo una deformación dúctil a frágil con implicaciones genéticas muy importantes.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo esta enmarcado dentro del proyecto "Desarrollo de guías de exploración por metales preciosos en Complejos Ofiolíticos" del CYTED

(Ciencia y Tecnología para el Desarrollo). El autor quiere dejar constancia de su agradecimiento por al Cyted y a la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo dado a la investigación que se viene adelantando.

## 8. REFERENCIAS

1. López R. J. 1985. Mineralogía de las menas de níquel en la laterita de Cerro Matoso, Córdoba, Colombia. Memorias VI Congreso Latinoamericano de Geología, Bogotá, Tomo II, pág. 113-152.
2. López R. J. 1985. Geología y aspectos genéticos de la laterita niquelífera de Cerro Matoso, Córdoba, Colombia. Memorias VI Congreso Latinoamericano de Geología, Bogotá, Tomo III, pág. 125-170.
3. López R. J. 1986. Geology, Mineralogy and Geochemistry of the Cerro Matoso nickeliferous laterite, Córdoba, Colombia. Thesis. MSc Colorado State University, Fort Springs Col.
4. López, R. J. Informes internos a Cerro Matoso sobre la caracterización mineralógica del yacimiento y el estudio geológico y mineralógico del cuerpo ultramáfico de Planeta Rica.
5. Mejía V. M. y Durango, J.R 1981-1982. Geología de las lateritas niquelíferas de Cerro matoso. Bol. de Geología, vol. 15, No. 29, UIS., p.117-123.
6. MDR (Mineral Resources Development, inc) 1995. Programa de remodelación del Yacimiento de níquel de Cerro Matoso. (Informe interno Cerro Matoso).
7. Ortiz, Franklin. 1996. Caracterización Mineralógica y Petrográfica del Yacimiento de Lateritas Niquelíferas de Cerro Matoso, Montelibano (Córdoba), (Informe interno Cerro Matoso) CIMEX.