



Anotaciones Geoquímicas para Exploración de Esmeraldas en la Región Muzo-Coscuez con Base en la Relación Na/K y Elementos Traza

JAIME E. MENDOZA PARADA

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 14490, Bogotá, Colombia

MENDOZA-PARADA, JAIME E. (1996): Anotaciones Geoquímicas para Exploración de Esmeraldas en la Región Muzo-Coscuez con Base en la Relación Na/K y Elementos Traza. - Geología Colombiana No. 21, p. 89-98, 2 Figs., Santa Fé de Bogotá.

Palabras Claves: Colombia, Esmeraldas, Geoquímica, Exploración geoquímica.

RESUMEN

Este estudio comprende el área noroccidental del cinturón esmeraldífero en la región Muzo-Coscuez, estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental de Colombia en el Departamento de Boyacá, conformado por sedimentitas de edad Cretáceo Inferior, afectadas estructuralmente por sistemas de fallas, fracturas acompañadas de eventos mineralizantes por migración de fluidos que al reaccionar con elementos cromóforos de la roca encajante dieron origen a la formación de esmeraldas.

La mineralización esmeraldífera se restringe estratigráficamente al nivel lutítico de facies calcáreo-carbonosa localizado hacia el techo de la Unidad de Lutitas Calcáreas y base de la Unidad de Lutitas Carbonosas pertenecientes a la Formación Paja, con asociación mineralógica de calcita romboédrica, pirita, albita y pirofillita, minerales de baja temperatura de formación, ocasionados por procesos post-magmáticos hidrotermales-neumatolíticos y fluidos originados de la roca encajante.

Geoquímicamente se establece que los procesos de albitización favorecen la formación de esmeraldas, mientras que el metasomatismo potásico relacionado a metamorfismo regional y efectos tectónicos dinámicos, inhibe la mineralización al generar temperaturas superiores.

El comportamiento de los elementos químicos presentes en el agua, sedimentos activos, suelos y rocas establece que la relación anómala de Na/K (mayor a 1.0) y aún las solas concentraciones anómalas de sodio y algunos elementos de tierras raras constituyen el mejor indicador a nivel regional y local para efectuar la exploración geoquímica.

SUMMARY

This study covers the northwestern area of the emerald belt in the Muzo-Coscuez District located in the western edge of the Eastern Cordillera of Colombia,

Departamento de Boyacá.

The study area includes sediments of Lower Cretaceous age, affected by fault systems and fractures which were accompanied by mineralizing events produced from fluid migration reacting with chromophores of the including rock, providing the emeralds origin.

The emerald mineralization is stratigraphically restricted to the shaly level of the carbonaceous-calcareous facies locked toward the top of Calcareous Shale member and base of the Carbonaceous Shale unit of Paja Formation. This shaly unit is mineralogically associated with rhombohedral calcite, pyrite, albite and pyrophyllite, which are minerals formed at low temperature conditions, as a result of post-magmatic hydrothermal-neumatolithic processes and fluids provided by the including rock.

Geochemically it is established that the albitization processes favor the emerald formation, meanwhile the potassic metasomatism related to regional metamorphism and dynamic tectonism inhibit the emerald mineralization as high temperatures are generated.

The best indicators at local and regional considerations to conduct the geochemical exploration for emeralds are the behavior of chemical elements present in the water, active sediments, soil and rocks where the anomalous concentration of Na/K are higher than 1. The high anomalous concentrations of sodium and some elements in rare earths constitute also excellent indicators to conduct geochemical exploration.

1. INTRODUCCION

La investigación realizada pretende aportar un mayor conocimiento científico sobre la mineralización esmeraldífera y establecer parámetros de exploración en otras regiones del país.

Geológicamente se enmarca dentro de una secuencia

de rocas sedimentarias, aquí descritas como unidades locales, pero comparada con la nomenclatura estratigráfica puede relacionarse con las Formaciones Rosablanca, Paja y Villeta Inferior, afectadas por fracturas de tipo distensivo por las cuales diferentes soluciones hidrotermales generaron la reacción de las rocas huésped para producir sectores localizados con mineralización esmeraldífera.

Geoquímicamente la investigación se fundamentó en la aplicación de las relaciones geoquímicas de estudios anteriores y mediante muestreo sistemático de rocas, suelos, sedimentos y aguas, se establecieron normas de exploración al aplicar la relación de Na y K, y los contenidos de Be, La, Ga, Mo y otros al correlacionarlos con los eventos genéticos y de alteración meteórica.

Las muestras recolectadas y especialmente las de suelo fueron previamente secadas al natural y desagregadas a mano eliminando materia orgánica y clastos de roca, se tamizaron a malla 60 y se atacaron con ácido fluorhídrico para análisis por absorción atómica de Na, K y Be en solución. Para los análisis espectrográficos de emisión, cada muestra se tamizó a malla 60, se pesaron 10 mg y agregaron 20 mg de grafito puro para el posterior quemado y creación del espectro, función realizada en el Laboratorio Químico de INGEOMINAS.

2. GENERALIDADES

2.1 Marco geográfico

El estudio se encuentra al occidente del Departamento de Boyacá, en jurisdicción de los municipios de Otanche al norte, Muzo y Quípama al sur, con una extensión aproximada de 100 Km² dentro del sector sureste de la denominada Zona de Reserva Nacional para esmeraldas de Muzo-Coscuez. Está incluida dentro de las planchas 189-II-B y D, escala 1: 25.000 (Fig. 1).

2.2. Marco geológico

Existen numerosas publicaciones geológicas (BEUS 1972; BÜRL 1956; HALL 1976; MEDINA 1970; ULLOA 1978 y otros) de carácter regional y local sobre el área en consideración; sin embargo, la mayoría de ellas son iterativas y presentan información generalizada y simplificada en cuanto a estratigrafía y a estructura se refiere.

No obstante, se dispone de varios estudios científicos (BEUS 1961, 1963; GELVEZ & VILLAMIZAR 1990; GIULIANI & RODRÍGUEZ 1990; KOSTERIN 1959; RINGARUD 1986; SCHWARZ 1987) sobre situaciones particulares de aspectos genéticos de la mineralización, geoquímica y mineralogía.

La ocurrencia hasta ahora conocida de esmeraldas en la Cordillera Oriental de Colombia está circunscrita a sedimentitas del Cretáceo Inferior a Medio, Formaciones Villeta y/o Paja. La composición eminentemente calcáreo-arcillosa de las rocas presentes, constituidas por lutitas calcáreas, carbonosas y silíceas, dificultan en extremo la separación de horizontes litológicos con excepción de la Formación Rosablanca (Hauteriviano-Barremiano), la cual aflora al noreste del área de estudio.

La dirección principal del plegamiento y fallamiento regional es noreste - suroeste, el cual corresponde con la tendencia estructural de la Cordillera Oriental, afectada por los lineamientos postulados por UJUETA (1.992), "Lineamiento Muzo" y "Lineamiento Gachalá", con orientación NO-SE que enmarcan y controlan la mineralización presente, el desplazamiento de estructuras, el levantamiento del bloque de la Fm. Rosablanca y la posibilidad de alguna actividad ígnea al norte de la quebrada Caco, explicada por un comportamiento geoquímico especial en ésta área (Fig. 2).

El principal rasgo tectónico lo constituye el anticlinal de La Chapa, enmarcado por estructuras sinclinales, afectadas a su vez por fracturas debidas a fuerzas comprensivas y distensivas: sinclinales de Muzo, Santa Helena, Otanche y Coscuez.

La falla del río Minero, de carácter regional, es de tipo compresional con buzamiento hacia el este y limita el área investigada al oriente.

Es notorio el predominio del fallamiento sobre el plegamiento. Se presentan tres tendencias principales de fallas y fracturas: NE-SW, NW-SE y ENE-WSW a E-W, las cuales han desarrollado un modelo de bloques y sub-bloques. Las fallas Itoco, Minero, Pava-Pisco-Calamaco y Guazo determinan el bloque mineralizado del sector de Muzo-Quípama; las fallas Pava-Pisco-Calamaco, Tapaz, Guazo-Miocá y Caco, limitan el bloque de mineralización en el sector de Coscuez.

3. ESTRATIGRAFIA

En la secuencia de rocas sedimentarias que aflora en el área, además de los depósitos cuaternarios, se diferencian 5 unidades litológicas de edad Cretáceo Inferior a Medio: Calizas (Kr), Lutitas Calcáreas (Kv1), Lutitas Carbonosas (Kv2), Lutitas Silíceas (Kv3), Lutitas y Limolitas (Kv4), relacionadas estratigráficamente con las Formaciones Rosablanca, Villeta y/o Paja.

3.1 Unidad de Calizas (Kr)

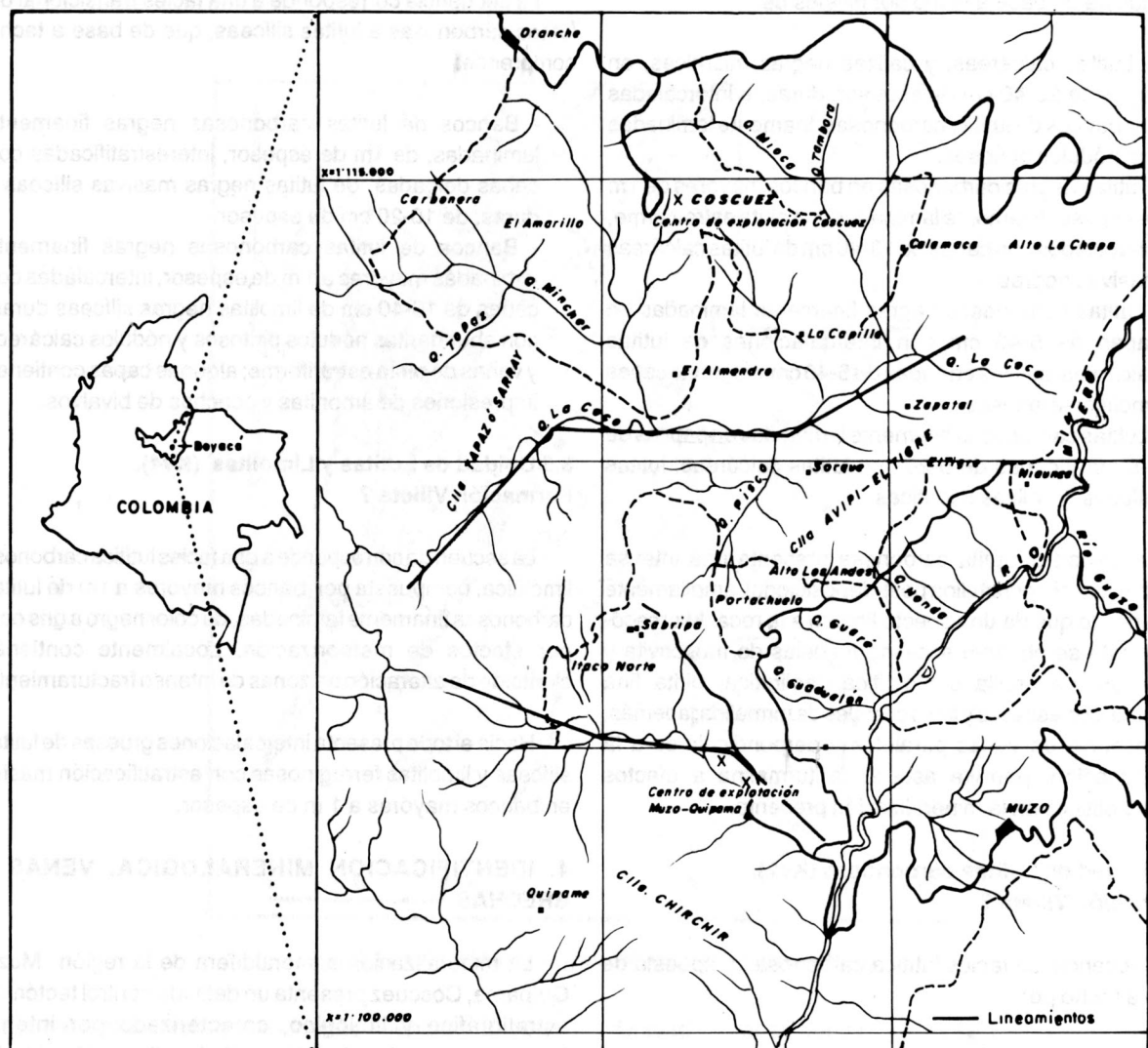


Fig. 1. Localización geográfica, sector Coscuez - Muzo. Escala 1:100.000.

Formación Rosablanca

La Unidad de Calizas define morfológicamente la cuchilla conformada por el alto de La Chapa, al NE y limitada tectónicamente al sur por la quebrada Caco. Está conformada por capas y estratos de 40-60 cm. de espesor, de calizas micríticas y microesparíticas duras, masivas, de color negro a café, localmente ferruginosas; en algunos sectores se presentan levemente dolomitizadas con intercalaciones delgadas de lutitas calcáreas y alteración neumatolítica e hidrotermal débil.

En análisis microscópico se observa abundante albita microcristalina que da aspecto limoso a la roca, aunque también hay cuarzo de aspecto detrítico (menos del 1%). Se observan cristallitos de turmalina rica en hierro (Dravita-

Chorlo) entre el carbonato, con remanentes de arcillas caolínificas indicando también lo incipiente de la recristalización pudiéndose hablar más bien de diagénesis alta con alguna influencia pneumatolítica (turmalina) e hidrotermal (albita).

Un orden de cristalización que se infiere en la caliza, sería: Caliza - Alteración hidrotermal - Albitización - Recristalización del carbonato - Dolomitización - Generación de turmalina - muscovita (influencia neumatolítica más acentuada) - Piritización.

3.2 Unidad de Lutitas calcáreas (Kv1). Formación Villeta. ?

Secuencia transicional de facies lutítica calcárea,

compuesta de base a techo por niveles de:

- Lutitas calcáreas, y calizas negras micríticas, en capas de 20-40 cm de espesor, duras, e intercaladas con bancos de lutitas carbonosas finamente laminadas con nódulos piritosos.
- Lutitas negras carbonosas en bancos mayores de 1 m de espesor finamente laminadas con piritita estratiforme, intercalados con capas de 10-40 cm de lutitas calcáreas masivas negras.
- Lutitas carbonosas negras finamente laminadas en capas de 5-40 cm con intercalaciones de lutitas calcáreas, calizas en capas de 5-40 cm y algunas capas limolítico-arenosas.
- Lutitas carbonosas finamente laminadas en capas de 2-5 cm y capas de 5-20 cm, lutitas calcáreas, lutitas silíceas y calizas micríticas.

La unidad de lutita carbonosa presenta una intensa albitización microcristalina post-deposicional, ampliamente dispersa, lo que da un aspecto limoso a la roca. Microscópicamente se observa escasas hojuelas de muscovita y "gránulos" de arcilla esmectítica caolínítica, piritita fina dispersa, con escasos y finos cristales de turmalina; además, la presencia de venas paralelas y perpendiculares a la estratificación, permite asociar la turmalina a efectos neumatolíticos en la mineralización presente.

3.3 Unidad de Lutitas carbonosas (Kv2). Formación Villeta ?

Secuencia de facies lutítica carbonosa compuesta de base a techo por:

- Nivel de lutitas carbonosas finamente laminadas, con estratificación fina a media y presencia de nódulos de centro hueco, piritosos y arenosos (silicificados). Presenta algunas intercalaciones de capas de limolitas y areniscas.
- Nivel de lutitas carbonosas finamente laminadas, estratificadas en bancos mayores de 1 m y lutitas levemente silíceas con laminación plana paralela discontinua, con nódulos piritosos y algunas capas con impresiones fósiles (amonitas).
- Nivel de lutitas carbonosas negras finamente laminadas y lutitas levemente silíceas, con laminación plana paralela discontinua en bancos de 1 m, con abundantes nódulos calcáreos, piritosos, y nódulos de mineralogía compleja (dolomita, calcita, siderita, piritita); hay presencia esporádica de capas de limolitas masivas de 10-40 cm.

3.4 Unidad de Lutitas silíceas (Kv3). Formación Villeta ?

La secuencia corresponde a una facies transicional de lutitas carbonosas a lutitas silíceas, que de base a techo comprende:

- Bancos de lutitas carbonosas negras finamente laminadas, de 1 m de espesor, interestratificadas con capas delgadas de lutitas negras masivas silíceas y duras, de 10-20 cm de espesor.
- Bancos de lutitas carbonosas negras finamente laminadas mayores a 1 m de espesor, intercaladas con capas de 10-40 cm de limolitas negras silíceas duras, con abundantes nódulos piritosos y nódulos calcáreos y venas de piritita estratiforme; algunas capas contienen impresiones de amonitas y conchas de bivalvos.

3.5 Unidad de Lutitas y Limolitas (Kv4). Formación Villeta ?

La secuencia corresponde a una facies lutítica carbonosa limolítica, compuesta por bancos mayores a 1 m de lutitas carbonosas finamente laminadas, de color negro a gris ocre por efectos de meteorización. Localmente contienen cloritoide de alteración en zonas de intenso fracturamiento.

Hacia el tope presenta intercalaciones gruesas de lutitas silíceas y limolitas ferruginosas con estratificación masiva en bancos mayores a 1 m de espesor.

4. IDENTIFICACION MINERALOGICA. VENAS Y BRECHAS

La mineralización esmeraldífera de la región Muzo-Quípama, Coscuez presenta un definido control tectónico, estratigráfico y litológico, caracterizado por intenso fracturamiento y brechamiento. Se localiza hacia el techo de la Unidad de Lutitas Calcáreas y en la parte inferior de la Unidad de Lutitas.

El análisis de estructuras mineralizadas establece dos posibilidades de orientación preferencial para el emplazamiento de las mineralizaciones entre Muzo-Quípama y Coscuez; las diaclasas mineralizadas con direcciones N40°-50°W y N10°-20°E corresponderían a fracturas paralelas a la dirección del esfuerzo máximo realizado, N18° ±10°E el cual a su vez sería también responsable de las fracturas de tensión (relajación) mineralizadas con dirección N50°-80°E.

Se identifican tres sistemas de venas y brechas mineralizadas:

1. El primer sistema presenta dos tipos de venas y brechas de forma irregular, con espesores que varían a lo

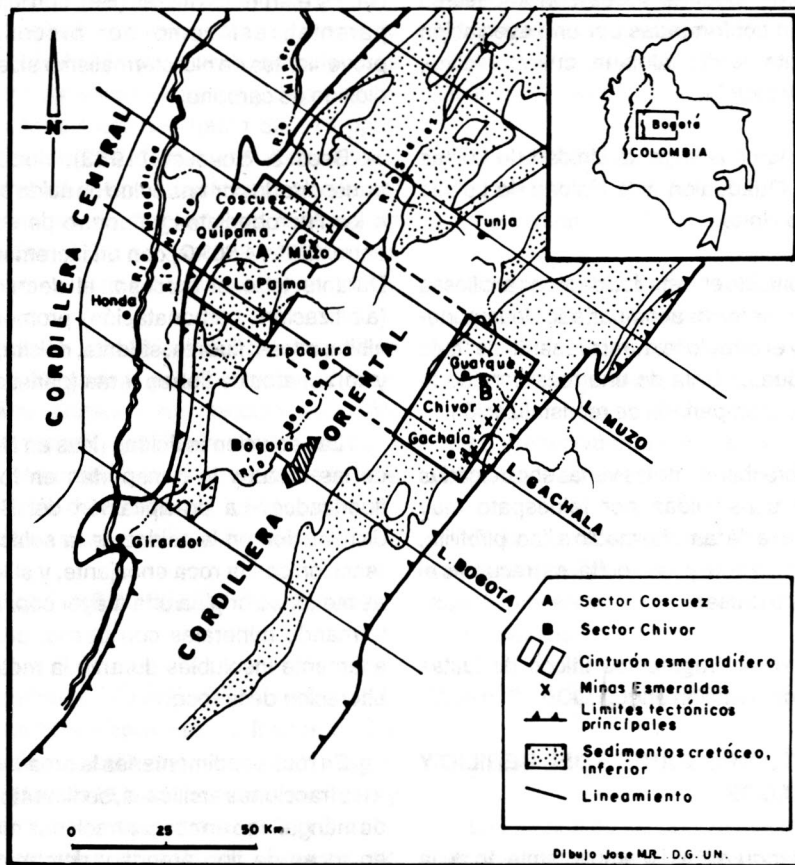


Fig. 2. Localización geológica del cinturón esmeraldífero.

largo del rumbo, pero generalmente menores de 40 cm, ubicados en las regiones de minas de Quipama y Coscuez.

a - Venas de calcita romboédrica común con pirita en forma dodecaédrica, octaédrica y cúbica.

b - Venas calcáreas irregulares, constituidas por calcita variedad "granizo", descrita por RUBIANO (1985), calcita acicular escalenoédrica, calcita romboédrica común, calcita fibrosa, pirita cúbica, octaédrica y dodecaédrica, marcasita, albita, fluorita, parisita, cuarzo hialino, pirofilita y esmeralda. No siempre se encuentra la asociación mineralógica completa, así como tampoco la presencia de esmeralda la controla ésta paragénesis.

La roca encajante para estos dos tipos de venas lo constituye las Lutitas Calcáreas y la base de Lutitas Carbonosas. Se presenta claramente cizallada y brechada indicando un marcado control tectónico; se puede catalogar la mineralización como vetas de relleno, denominada

"Unidad de capas buenas" (SCHEIBE 1.916).

2. El segundo sistema de venas ocurre dentro de las unidades estratigráficas suprayacentes a la Unidad de Lutitas Calcáreas (Kv1).

Se trata de venas cuarzo-feldespáticas con un espesor que sobrepasa algunas veces 1 m; el cuarzo se presenta en variedades hialino y lechoso; el feldespato se halla casi siempre caolinizado en asociación con pirita masiva, muscovita, alofana, marcasita y pirofilita.

La disposición de estas venas y brechas varía de acuerdo con el diaclasamiento local; así, al NE de Quipama se orientan preferencialmente N40°W y N70°W - EW, mientras que al NW se disponen aproximadamente N20°E y N20°W.

3. El tercer sistema de venas y brechas se ubica en el

sector de Itoco Norte y hacia la parte media de la quebrada Guadualón.

Estas venas ocurren algunas veces con espesores mayores a 1 m y están conformadas por una asociación mineralógica de siderita, barita, alofana, cuarzo hialino, calcopirita, malaquita y azurita.

La roca encajante la constituye la Unidad de Lutitas Carbonosas (Kv2) en Guadualón y la Unidad de Lutitas Silíceas (Kv3) en Itoco Norte.

La presencia de cloritoide en este tipo de rocas arcillosas indica metamorfismo dinámico; acompañado de la generación de filosilicatos y el arreglo textural presente de "flujo ondulante" confirma que se trata de una roca con fuerte deformación dinámica acompañada de recristalización.

En zonas de fuerte brechamiento las venas son delgadas y mineralógicamente constituidas por feldespato muy alterado, cristales de pirita de tamaño medio a fino, pirofilita, alofana, localmente con azurita y malaquita; es frecuente el cuarzo hialino formando drusas.

Las brechas presentan fragmentos líticos de lutitas carbonosas negras, con partición angular.

5. COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO DEL BERILIO Y ELEMENTOS ASOCIADOS

La característica geoquímica del emplazamiento de la mineralización en ésta parte del cinturón esmeraldífero colombiano, depende de las condiciones genéticas de los fluidos mineralizantes, de la disposición geológica estructural y de la composición de las rocas huésped; juegan un papel importante la cantidad de elementos químicos presentes, las condiciones físico-químicas causantes de su movilidad, los efectos postmagmáticos, los procesos de alteración hidrotermal y el metasomatismo originado por la interacción entre los fluidos mineralizantes y la roca encajante, que permitió el aporte o rechazo de los iones para la formación mineral presente.

El comportamiento del berilio durante los procesos magmáticos y postmagmáticos está ligado a un enriquecimiento del mismo como consecuencia de:

- a) un proceso de albitización,
- b) formación de minerales con berilio en los procesos de pegmatización y,
- c) removilización a partir de rocas graníticas y redeposición en los estados finales postmagmáticos.

Para el caso de la mineralización esmeraldífera en esta área, la albitización puede originarse por la reacción de soluciones ácidas postmagmáticas con contenidos altos de Na, F y elementos trazas (Be), con los minerales de la roca parental; así como por procesos metasomáticos provenientes de hidrotermalismo alcalino y/o presencia de dióxido de carbono.

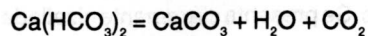
BEUS & SOBOLEV (1963), deducen que el Be es transportado por una solución ácida saturada con respecto a los fluoroberilatos y fluoruro de sodio, a temperaturas entre 490° y 550° C, con un incremento del pH de 1 a 12. Durante todo el proceso, el decrecimiento del potasio (albitización- carbonatación) promueve el desarrollo de albita, micas, fluorita, siderita, calcita, topacio, pirita, berilo y carbonatos de tierras raras (parisita).

Las soluciones ácidas ricas en Na y F remueven el Be de las rocas y lo transportan en forma de compuestos fluorizados. La precipitación del Be se logra por una disminución en la acidez de la solución que resulta de la reacción con la roca encajante, y si la concentración de K es menor se origina una mayor concentración final de Be, formando minerales con berilio, crisoberilo y fenaquita, altamente insolubles durante la meteorización química y alteración de la roca.

En rocas sedimentarias la presencia de Be se restringe a las fracciones arcillosas, sedimentos pelágicos y nódulos de manganeso en concentraciones mayores a las formadas en rocas de tipo arenoso; determinaciones hechas por BEUS (1966) revelan valores hasta de 10 ppm en arcillas y 2 ppm en calizas, a excepción de los nódulos de manganeso que presentan enriquecimiento hasta de 12 ppm.

Para establecer la relación de Be y tierras raras (lantánidos) en depósitos hidrotermales, se asume su origen y transporte en soluciones alcalinas (Na, K, Li), bajo la forma de carbonatos, fluoruros o complejos sulfatados, con decrecimiento de la presión o cambio en la alcalinidad (KOSTERIN 1959).

La lixiviación de tierras raras, La, Ce, Y, generalmente reprecipita en carbonatos presentando la asociación de parisita, calcita con esmeraldas, en procesos de baja temperatura (270°C) (GIULIANI 1991) y decrecimiento en la presión de CO₂ en la zona fracturada. Los ácidos carbónicos cálcicos precipitan carbonatos y liberan el dióxido de carbono y agua:



El ytrio alcanza sus mayores concentraciones ligadas a

las zonas que presentan una mayor albitización y carbonatación, a causa del intercambio de potencial iónico en las reacciones químicas.

Cuando la albitización es predominante, el Ga, elemento calcófilo, asociado a S, F, Al y Fe, es característico de rocas graníticas alcalinas y pegmatitas alcalinas, y de procesos neumatolíticos, en concentraciones hasta de 115 ppm; también está relacionado al grado de metasomatismo sódico atribuido a la movilidad en soluciones alcalinas, reemplazando al aluminio en plagioclasas sódicas; en procesos hidrotermales el Ga se asocia a sulfuros con esfalerita y a venas con cuarzo y fluorita (GOTTARDI 1970).

El comportamiento del Na en los procesos magmatogénicos afectados por hidrotermalismo postmagmático, está relacionado con la reacción (oxidación) de la roca encajante dependiendo de la naturaleza de la misma, con cambios en presión y temperatura de la fase acuosa, y con la mezcla de soluciones hipogénicas con soluciones supergénicas y aguas subterráneas.

6. COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO EN EL AREA INVESTIGADA

El yacimiento esmeraldífero presente, está controlado por las inherentes características fisicoquímicas en las diferentes etapas de cristalización, por los rasgos estructurales que enmarcan la presencia de soluciones y por la propiedad de la roca encajante que permite la difusión y asimilación de elementos durante los procesos de alteración metasomática, efectos post-magmáticos y alteración hidrotermal ligados a la mineralización.

Al considerar el comportamiento geoquímico en la mineralización de esmeraldas, como la asociación paragenética mineral, la distribución tiempo-espacio, la movilidad y la lixiviación de los elementos químicos presentes, se efectuó una determinación de los indicadores geoquímicos y asociaciones elementales con el fin de orientar y catalogar la fase exploratoria en regiones con características geológicas similares.

La dispersión de los elementos químicos, base de la exploración geoquímica, está regulada por las condiciones físicas y químicas que han afectado el área, las cuales son controladas por el pH, procesos de óxido-reducción, pluviosidad y topografía, entre otras.

En la región mineralizada de Muzo y Coscuez, se produjo un enriquecimiento en Na, Ca, Mg, Mn, y S y alto decrecimiento en K lo cual contribuye a la determinación cuantitativa y correlativa de las zonas productoras con

áreas fuera de ellas.

Al comparar los resultados obtenidos se establece una relación de Na/K mayor a 1 en la zona mineralizada. Los valores de la relación oscilaron entre 7.3 y 570 en sectores de producción, mientras que para zonas litológicamente similares la relación puede ser inferior a 1.

En roca los valores de correlación de Na con el Y y Sc alcanzan valores de 0.558 y 0.509, mientras que para con el K y el Be son negativos: -0.504 y -0.017 respectivamente.

La concentración de Y en el sector de patronamiento, alcanza valores superiores a los previstos, mayores a 48.4 ppm, mientras que el Sc (10 ppm) se mantiene en una proporción estable en las zonas albitizadas.

La presencia de La y sus valores anómalos se refleja únicamente en los sectores donde se presenta la paraisita.

El Ga, por su baja dispersión, puede considerarse como un elemento diagnóstico de la génesis del evento mineralizante, presencia de actividad hidrotermal alcalina o magmatismo alcalino.

7. PROSPECCION GEOQUÍMICA

7.1 Rocas

La relación de los principales elementos alcalinos que participan en la composición química de la roca en el área mineralizada constituye, para este caso, uno de los criterios para la interpretación de la posible génesis de la mineralización, así como una orientación relativamente precisa para la programación de la exploración geoquímica. Al aplicar los diferentes tipos de materiales de muestreo de acuerdo a la dispersión de estos elementos químicos, los valores de correlación definidos en el área para Na/K, Na/Li, de -0.197 y -0.139 respectivamente, servirían como elementos guías para el desarrollo de la investigación; en este caso el Na se considera como tal.

El bajo contenido de K indica, por una parte, que el metasomatismo potásico no fue importante, como tampoco debe considerarse primordial una fase evaporítica. En las rocas con la relación Na/K alta, la presencia de moscovita es casi nula, lo cual puede ser un indicador de campo en la fase exploratoria al considerar la alteración de la roca y las condiciones meteóricas presentes.

7.2 Sedimentos activos

Los análisis de sedimentos activos por métodos

espectrográficos y absorción atómica para Na y K, reportó valores anómalos de La, Ga, V, Fe, algunos de Sc y Y; las mejores correlaciones matemáticas se presentan entre Na y Ca, y entre Cr-Mo, Cr-V, Mo-V y V-Ga, definidas por las características de composición y meteorización de la roca aportante, por la lixiviación y por el proceso de óxido-reducción en el área.

El Na presenta un alto coeficiente de varianza en la interpretación estadística; la relación Na/K decrece considerablemente si se compara con rocas y suelos, producto de la alta dispersión por la mayor movilidad química y física del Na y por la baja dispersión del K, el cual presenta una mayor adsorción en las fases de oxidación y presencia de arcillas de los sedimentos activos.

La relación Na/K positiva, mayor de 1, es correlacionable con valores anómalos del La, correspondiendo a la paragénesis que existe en la mineralización de esmeralda-parisita y posiblemente sahamalita en la región de Muzo.

La baja varianza (27%) del Ga en el área, donde se presentan valores anómalos al norte de la quebrada La Caco, podría considerarse como un elemento diagnóstico para la explicación de la génesis del evento mineralizante, tal como presencia de actividad hidrotermal alcalina, magmatismo alcalino o facies evaporítica.

La utilización de sedimentos activos en la prospección de esmeraldas está limitada a los procesos de dispersión de la mayoría de elementos y adsorción de ellos por arcillas. Constituye una herramienta de apoyo en el estudio de la paragénesis y en la explicación petrológica, mineralógica y ambiental que origina la migración de estos elementos.

7.3 Aguas

La alta movilidad del sodio por meteorización de la roca y circulación de aguas superficiales y subterráneas, su alto coeficiente de dispersión en la región (60 %) y la homogeneidad de la muestra, constituye un factor para seleccionar áreas promisorias especialmente las que presentan albitización (lutitas albitizadas).

Los análisis para Na en agua de la zona mineralizada, alcanzan valores altos dada la gran solubilidad del mineral, generando alta contaminación en las zonas de intenso fracturamiento o de desechos de explotación de las minas; el control geológico a detalle y el análisis estructural constituyen principalmente las normas para la programación de la fase exploratoria geoquímica en aguas.

7.4 Suelos

La interpretación de suelos "*in situ*" establece la distribución de valores que marquen los límites de la relación Na/K, originados por rocas de diferente composición, áreas mineralizadas y unidades estratigráficas que por su similitud sean de difícil cartografía.

El comportamiento químico de Na, K y otros elementos en suelos residuales de las áreas mineralizadas o cerca a ellas, determinó valores altos para la relación Na/K en los horizontes B (>1-57) y A (>1-4), mientras que en las áreas no mineralizadas esta relación decrece (<1).

La presencia de Fe y Mg permanece constante en los suelos; sin embargo, la presencia de La en suelos disminuye considerablemente en las áreas no mineralizadas, al contrario del Mo el cual se incrementa cuando la relación Na/K es baja, y el Y cuando persiste una mayor albitización.

La baja relación de Na/K que eventualmente se presenta en el rango de la interpretación geoquímica, ocasionada por alta pluviosidad y pendiente del terreno, pero que presenta alta favorabilidad lito-estructural para la mineralización, se explica con la utilización de otros elementos asociados de baja dispersión; Be, Mo y Y, entre otros, que muestran valores anómalos principalmente a lo largo de las fallas de carácter distensivo.

8. PARAMETROS SUGERIDOS PARA LA EXPLORACION GEOQUIMICA DE ESMERALDAS

Con el fin de determinar áreas favorables para una mineralización esmeraldífera, los siguientes parámetros juegan un importante papel al considerar una provincia geoquímica de estas características:

- Presencia del nivel lutítico de facies calcáreo-carbonosa y estratificación fina, localizado hacia el techo de la Unidad de Lutitas calcáreas (Kv1) y base de la Unidad de Lutitas Carbonosas (Kv2) de edad Cretáceo Inferior.
- Existencia de zonas de brechas y venas paralelas y/o cortando la estratificación con presencia de algunos de los minerales asociados a las esmeraldas.
- Tectónica de tipo distensivo, con fracturamiento aproximado N60°E y N40°W, desarrollada dentro de un modelo compresivo regional.
- Valores geoquímicos en rocas, con la relación Na/K mayor a 1.0
- Interpretación de elementos trazas asociados a la génesis del yacimiento: Y, La, Be, Mo.
- Procesos genéticos relacionados a actividad hidrotermal-neumatolítica, ausencia de metasomatismo potásico e influencia de aguas congénitas y meteóricas.

9. CONCLUSIONES

1. Las soluciones mineralizantes están seleccionadas a procesos Postcretácico Inferior y son de carácter hidrotermal neumatolítico, metasomático e influenciados por fluidos hidrotermales.

2. La cristalización de esmeraldas depende, además del tipo de solución hidrotermal alcalina, de controles estructurales, litológicos y características geoquímicas de la roca encajante.

3. El ascenso de las soluciones se efectuó principalmente a través de los sistemas de fracturas de tipo distensivo formados dentro de un modelo tectónico compresional.

4. La mineralización esmeraldífera tiene un emplazamiento preferencial en el nivel litológico definido dentro de los estratos superiores de la Unidad de Lutitas Calcáreas (Kv1) y los inferiores de la Unidad de Lutitas Carbonosas (Kv2). Estas unidades estratigráficas aportaron los elementos cromóforos indispensables para la cristalización de esmeraldas dentro del proceso de metasomatismo hidrotermal.

5. La presencia de brechas y venas dentro del nivel litológico de facies calcáreo-carbonosa establecido, constituye una importante guía de mineralización. Sin embargo, la existencia de un ordenamiento de fases mineralógicas paragenéticas no es definitivo para la presencia de esmeraldas dado que ésta puede ocurrir sin que se presente ninguna asociación mineral.

6. Geoquímicamente las zonas mineralizadas están controladas por procesos de albitización postmagmáticos que definen la presencia de berilio.

Contrariamente, el metasomatismo potásico producido por eventos metamórficos generados a partir de una tectónica compresiva, inhibe los procesos de albitización y por tanto la mineralización de esmeraldas. La presencia de cloritoide consecuente con este tipo de metamorfismo constituye un factor negativo para la mineralización.

La determinación de las concentraciones de sodio y potasio son importantes en la exploración regional y detallada de mineralizaciones esmeraldíferas, particularmente la de sodio. La relación Na/K manifiesta un claro control litológico en las unidades investigadas y puede considerarse como guía para cartografía en regiones complicadas estratigráficamente. Igualmente la presencia de galio es una herramienta en la definición de actividad magmático e hidrotermal alcalina.

7. La falla de la quebrada La Caco es un rasgo estructural importante en la interpretación del área. Geoquímicamente limita al norte una provincia oxidante, con relaciones elementales características de ambientes post-magmáticos alcalinos; al sur las asociaciones geoquímicas están relacionadas con efectos de alteración metasomática. Esta falla condicionó el movimiento de bloques pre-cretáceos ejerciendo un control sobre la sedimentación y la posterior erosión de niveles mineralizados yacientes sobre la litología calcárea.

AGRADECIMIENTOS

Al Comité de Investigación y Desarrollo Científico de la Universidad Nacional de Colombia por la financiación del proyecto de investigación: "Análisis Geológico y Geoquímico del Cinturón Esmeraldífero de las regiones Muzo-Chivor (Boyacá-Cundinamarca)"; a MINERALCO S.A. por la participación en investigación de exploración geoquímica y a los colegas Carlos Macía y Orlando Forero por la lectura crítica del documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS SOBRE EL TEMA

- BEUS, A.A. (1961): Distribution of beryllium in granites.- *Geochemistry 6. Handbook of Geochemistry*, Vol II.
- BEUS, A.A. & SOBOLEV, B. (1963): *Geochemistry of beryllium in high temperature postmagmatic mineralization.- Geochemistry 8. Handbook of Geochemistry*, Vol II.
- BEUS, A.A. (1969): Indicaciones sobre el programa de exploración a desarrollar en la región esmeraldífera de Muzo-Coscuez.- Naciones Unidas.
- BEUS, A.A. & MINEEV, D. (1972): Some geological and geochemical features of the Muzo-Coscuez emerald zone, Cordillera Oriental de Colombia.- Informe 1689. INGEOMINAS, Bogotá.
- BÜRGEL, H. (1956): Situación geológica de las minas de esmeraldas en Muzo, Boyacá.- *Rev. Acad. Colombiana de Cienc. Ex. Fis. y Nat.*, ns. 36 y 37, p. 378-88. Bogotá.
- GELVEZ, A. & VILLAMIZAR, J. (1990): Evaluación Geológica y geoquímica de un sector al "SE" de la zona esmeraldífera de Chivor. Aporte 1228 Ecominas.- Universidad Industrial de Santander, Tesis de Grado.
- GIULIANI, G. & RODRIGUEZ, C. (1990): Les Gisements d'esmeralde de la Cordillère Orientale de la Colombie.- *Mineralium Deposita*, v. 25, p.105-111.
- GOTTARDI, G. & (1970): Gallium.- *Handbook of Geochemistry*, Vol III/2.
- HALL, M. (1976): Mineralogía y geoquímica de las vetas esmeraldíferas de Muzo, Departamento de Boyacá, con implicaciones en la prospección futura de esmeraldas en otras partes de Colombia.- Universidad Nacional, p.1- 326, Bogotá.
- KOSTERIN, A.V. (1959): The possible modes of transport of the rare earths by hydrothermal solutions.- *Geochemistry (USSR). Handbook of Geochemistry*, Vol II/5.

MEDINA, L. (1970): Consideraciones sobre la génesis de los yacimientos esmeraldíferos de Muzo.- ECOMINAS, Bogotá.

____ (1970): Nuevas aportaciones al conocimiento genético de las esmeraldas de Muzo.- ECOMINAS, Bogotá.

NACIONES UNIDAS & INGEOMINAS (1975): Proyecto Esmeralda.- Informe final. Bogotá.

RINGSRUD, R. (1986): The Coscuez Mine, a mayor source of Colombian emeralds.- Gems and Geomology. V. II Summer.

RUBIANO, M. (1985): Las calcitas de Muzo (Colombia) variedad "Granizo".- Geología Colombiana, n. 14, p. 77.

SINKANKAS, J. (1981): Emerald and other Beryls.- Fellow Mineralogical Society of America. Chilton, Book Company Radnov, Pennsylvania.

SCHEIBE, R. (1916): Informe Geológico sobre la Mina de Muzo. (publicado en 1.933).- Comp. Est. Geol. Of. en Col. Tomo I, p. 223-228, Bogotá.

SCHWARZ, D. (1987): Inclusões in Gemas.- Univ. Federal de Ouro Preto, Brasil.

UJUETA, G. (1.992): Lineamientos río Ariari, Bogotá y Gachalá en los departamentos de Cundinamarca y Meta, Colombia.- Rev. Acad. Col. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, V. XVIII, n.. 70, 345-358, Bogotá.

ULLOA, C. (1978): Ambiente geológico de los yacimientos esmeraldíferos en Colombia.- Ministerio de Minas y Energía. INGEOMINAS, p. 1-19, Sogamoso.

Manuscrito recibido, Noviembre de 1.995

BIBLIOTECA CENTRAL
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL