

Geoquímica y Origen de los Depósitos de Esmeraldas en Colombia

Giuliani, G.¹ - Cheilletz, A.² - Arboleda, C.³
Rueda, F.³ - Carrillo, V.³ y Sheppard, S.M.F.⁴

INTRODUCCIÓN

Las mineralizaciones esmeraldíferas colombianas consisten en bolsadas, venillas, venas y brechas piriticas carbonatadas, encajadas por lutitas negras (LN) del Cretáceo Inferior (Scheibe, 1993a y 1993b; Restrepo, 1959; Escovar, 1975; Ulloa, 1980). La formación de la mena es compleja e involucra varias etapas en un proceso secuencial que sigue el camino de una transferencia de fluidos, a temperatura moderada, a través de una secuencia estratigráfica sedimentaria acumulada hace 32-38 Ma. y sin manifestaciones magmáticas (Cheilletz, et al, 1993). El origen de los fluidos mineralizados y de la fuente del Berilio han sido ampliamente debatidos (Forero, 1987). Existía una fuerte tendencia que planteaba la remoción del berilio a partir de las LN encajantes (Medina, L., 1970; Beus, 1979; Kozłowski et al., 1988; Giuliani et al., 1990a; Ottaway and Wicks, 1991), pero hasta el momento no se había podido probar este planteamiento.

El propósito de este artículo es aportar nuevos datos geológicos y geoquímicos para precisar el proceso de formación de esmeraldas, particularmente en lo concerniente al comportamiento de elementos mayores, traza y de tierras raras (ETR), durante la interacción fluido-roca y discutir el origen probable de los fluidos hidrotermales, tomando en cuenta la geoquímica de los isótopos del oxígeno en los minerales de cuarzo y carbonatos, que conforman las venas esmeraldíferas.

RESUMEN

Los yacimientos esmeraldíferos colombianos están relacionados con infiltraciones de fluidos hidrotermales en zonas de fractura, que conforman sistemas de venas que desarrollan un intenso halo producido por metasomatismo sódico y carbonatado dentro de las lutitas negras Cretácicas (LN) encajantes. La lixiviación de casi todos los elementos mayores (K; Al, Si, Ti, Mg y P), elementos trazas (Ba, Be, Cr, Rb, Sc, U, V, B, C) y las tierras raras de las LN, es acompañada por su redistribución parcial dentro del relleno mineral de las venas. La geoquímica de los isótopos del oxígeno de los carbonatos hidrotermales y el cuarzo, indica un fuerte enriquecimiento en el $\delta^{18}\text{O}$ de las aguas en equilibrio con la mineralización ($+10 < \delta^{18}\text{O H}_2\text{O} < +18 \%$), lo cual corresponde a aguas de cuencas sedimentarias. El modelo propuesto para la génesis de las esmeraldas plantea un origen local-sedimentario para el berilio y un origen sedimentario para los fluidos involucrados.

MARCO GEOLÓGICO

Los depósitos esmeraldíferos colombianos se localizan a lo largo de 2 fajas estrechas (N-NE), ubicadas hacia la parte central de la Cordillera Oriental y constituidas por sedimentitas del Cretáceo Inferior, de carácter marino. La faja Oriental comprende los distritos de Gachalá, Ubalá y Chivor, en tanto que la Occidental incluye los distritos de Coscuez, Muzo, Peñas Blancas y La Palma-Yacopí. La mineralización es encajada a lo largo de fallas en zonas brechadas y grietas de tensión afectadas por fracturamiento hidráulico (Giuliani, G., et al. 1990 b), el cual representa un proceso

¹ORSTOM et CRPG, BP 20, 54501-Vandoeuvre, France.

²ENSG et CRPG, BP 20, 54501-Vandoeuvre, France.

³MINERALCO, Calle 32 N° 13-07, Santafé de Bogotá.

⁴ENS, 46 Allée d'Italie, 69364-Lyon, France.

importante en el desarrollo de los sistemas de fracturamiento. La circulación de fluidos hidrotermales es acompañada por una fuerte interacción roca-fluido y por alteración metasomática de las LN encajantes (Baker, 1975; Beus, 1979; Giuliani et. al., 1990b) consistente en el desarrollo de halos de carbonatización, albitización y piritización, alrededor de los sistemas de venas carbonatadas portadoras de esmeraldas. El relleno de carbonatos y piritita de los sistemas de venas ha sido dividido en tres etapas consecutivas:

- 1) Calcita blanca fibrosa con piritita cúbica, albita y micas verdes;
- 2) Calcita gris a blanca romboidal o dolomita con piritita cúbica o dodecaédrica, albita y cuarzo,
- 3) Dolomita con ETR, piritita dodecaédrica o pirititoédrica, cuarzo, fluorita y parisita (en el distrito de Muzo).

Esta última etapa corresponde al periodo más productivo en cuanto a la presencia de gemas se refiere.

NUEVOS DATOS GEOQUÍMICOS

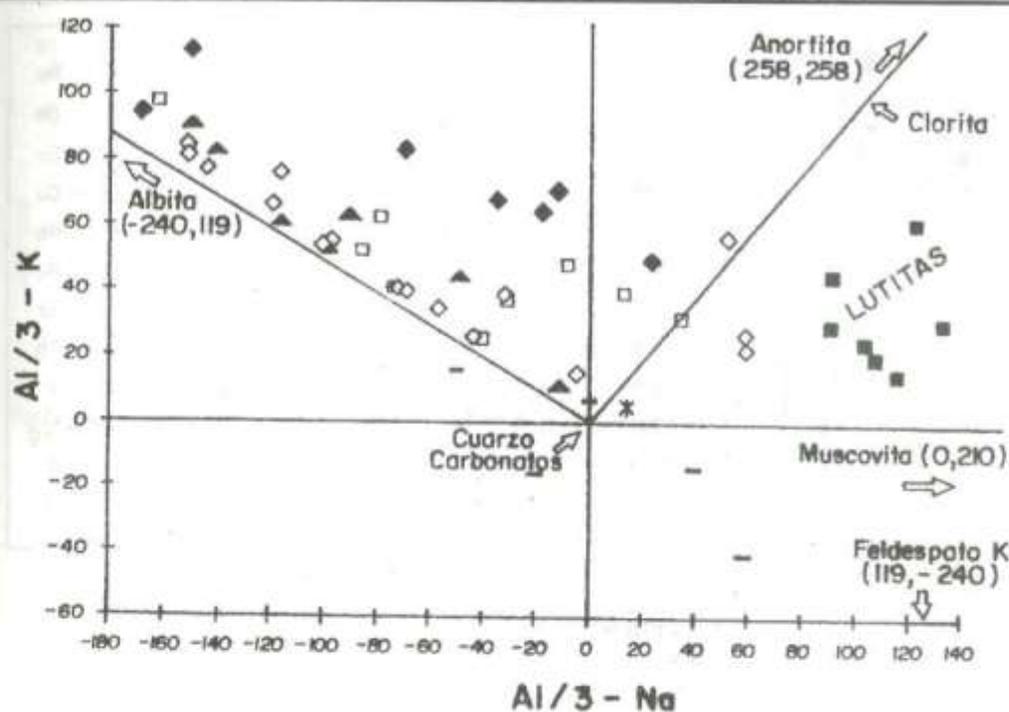
Estudios microscópicos y de difracción de Rayos X revelan que las LN, alrededor de las zonas mineralizadas, han sido fuertemente carbonatizadas y albitizadas. La lutita negra albitizada (LNA) está compuesta principalmente por albita (45 a 92 % de la roca), micas (hasta 20%), cuarzo (hasta 19%) y piritita (hasta 10%). La lutita negra carbonatizada (LNC) está compuesta por calcita y/o dolomita (5 a 55%), albita (25 a 45%), cuarzo (5 a 48%) y piritita (hasta 10%). La relación espacial entre las LNA y las LNC es desconocida, sin embargo la etapa de carbonatización se evidencia bien desarrollada alrededor de las brechas carbonatadas y de los sistemas de venas.

Se analizaron por espectrografía ICP en el CRPG-CNRS (Vandoeuvre, Francia), rocas tipo de los depósitos de diferentes distritos mineros.

El diagrama Al/3-K vs. Al/3-Na (fig. 1a) señala las tendencias de la albitización y carbonatización de las LN. Las brechas se ubican por encima de la unión albita-carbonatos (fig. 1a) confirmando que la albita aún se estaba precipitando junto con los carbonatos durante el proceso principal que originó las venas esmeraldíferas. Un perfil de los elementos geoquímicos mayores y trazas, realizado a través de la cruzada principal en la mina "El Toro", distrito de Gachalá, (fig. 2), muestra que la albitización está bien desarrollada hacia el sector externo (G-4) de una vena de calcita (G-6). En la zona G-4 el incremento de Na, está acompañado por el decrecimiento de K, Al, Si, Mg y P en las LN (densidad de la LN= 2.45, densidad del LNC=2.44). El sector G-5 muestra un incremento de Ca y Mg en relación con G-4.

Al comparar la distribución de elementos traza en las LN y dentro de las zona G-4 y G-5 (fig. 2), se evidencia una extensa lixiviación en casi todos los elementos traza de las LN con una fuerte caída en el contenido de Ba, Be, Cr, Rb, Sc, U, V, B, Th y carbón orgánico. Estas observaciones pueden ser generalizadas a los demás depósitos esmeraldíferos (Giuliani, et al, 1990a) con un énfasis especial en la lixiviación progresiva del Be, al mismo tiempo que ocurre la albitización y carbonatización metasomática de las LN (fig. 1b).

El comportamiento de los ETR durante las interacciones roca-fluido y el desarrollo de las alteraciones metasomáticas, fué estudiado con especial cuidado. La forma de los modelos ETR de las LN albitizadas y carbonatizadas, es similar a las que muestran las LN.



- | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-----------|--------------|
| Formaciones Sedimentarias | Rocas Metazomatizadas | Brechas | |
| ■ LN | □ LN Ab-Ca | ▲ LN B-Ab | |
| ✕ "Kaolin" | ◆ LN Ab | ◇ LN-B | — B-"Kaolin" |

Fig. 1-a

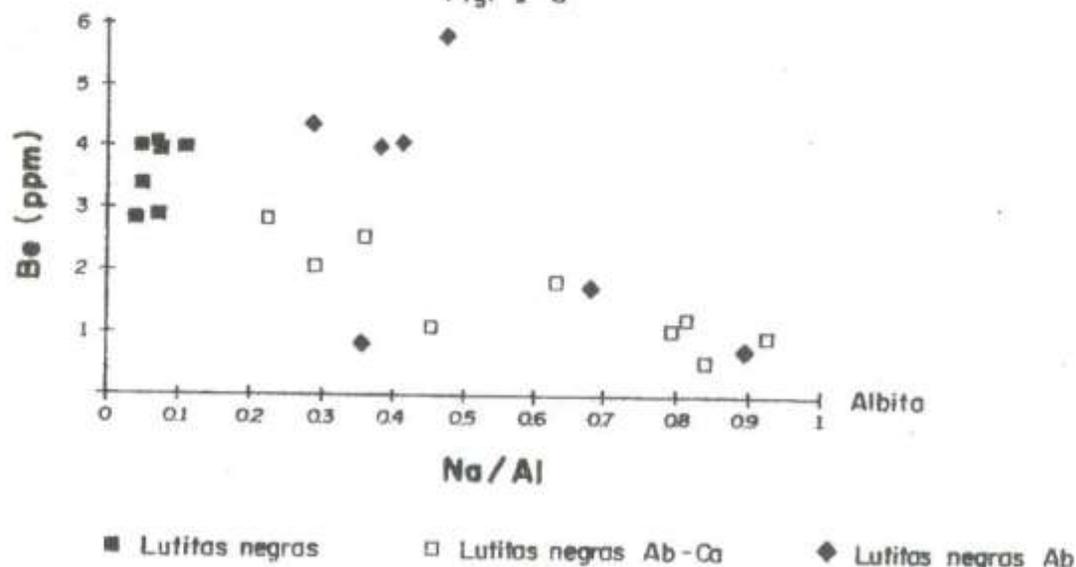
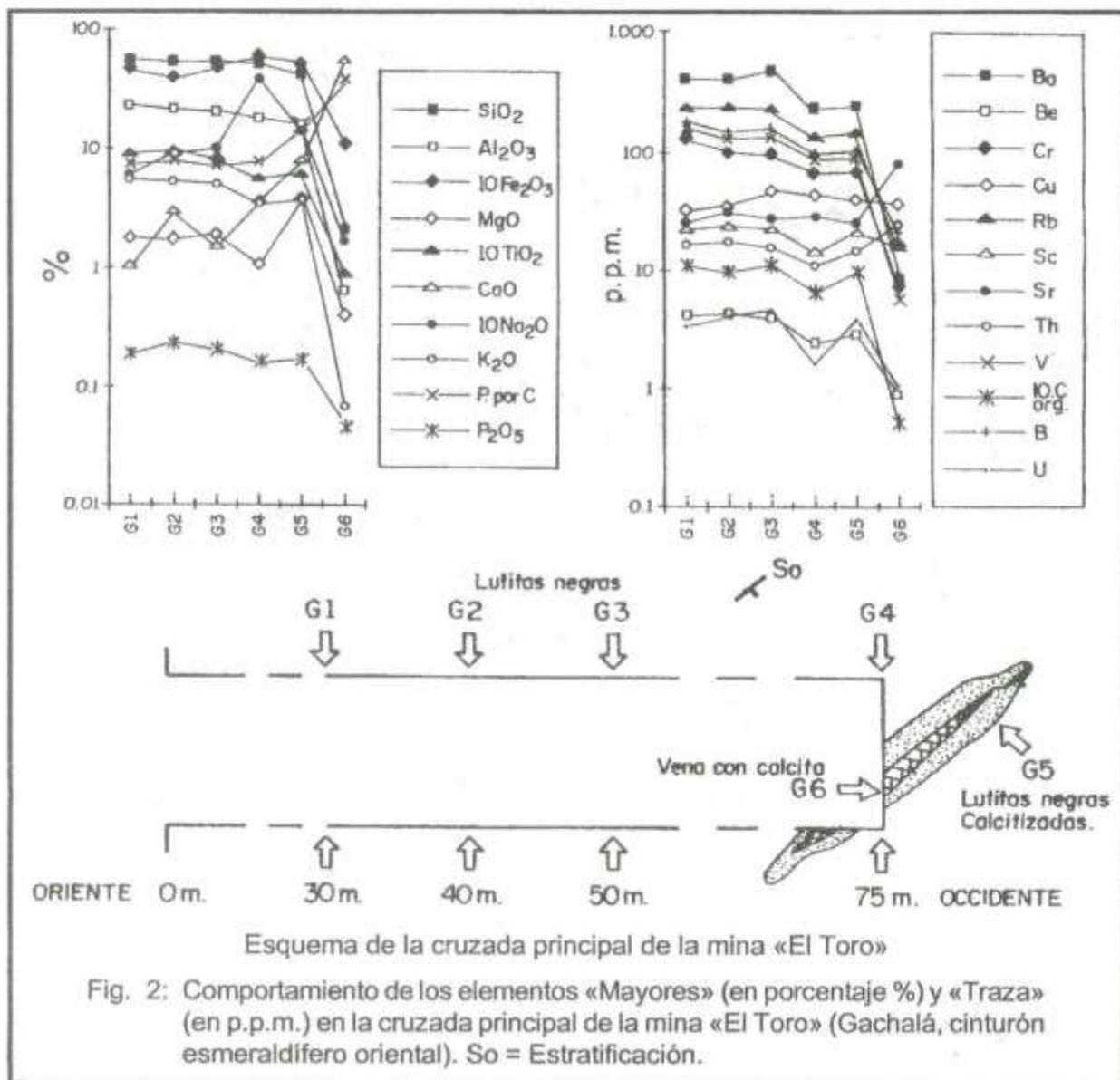


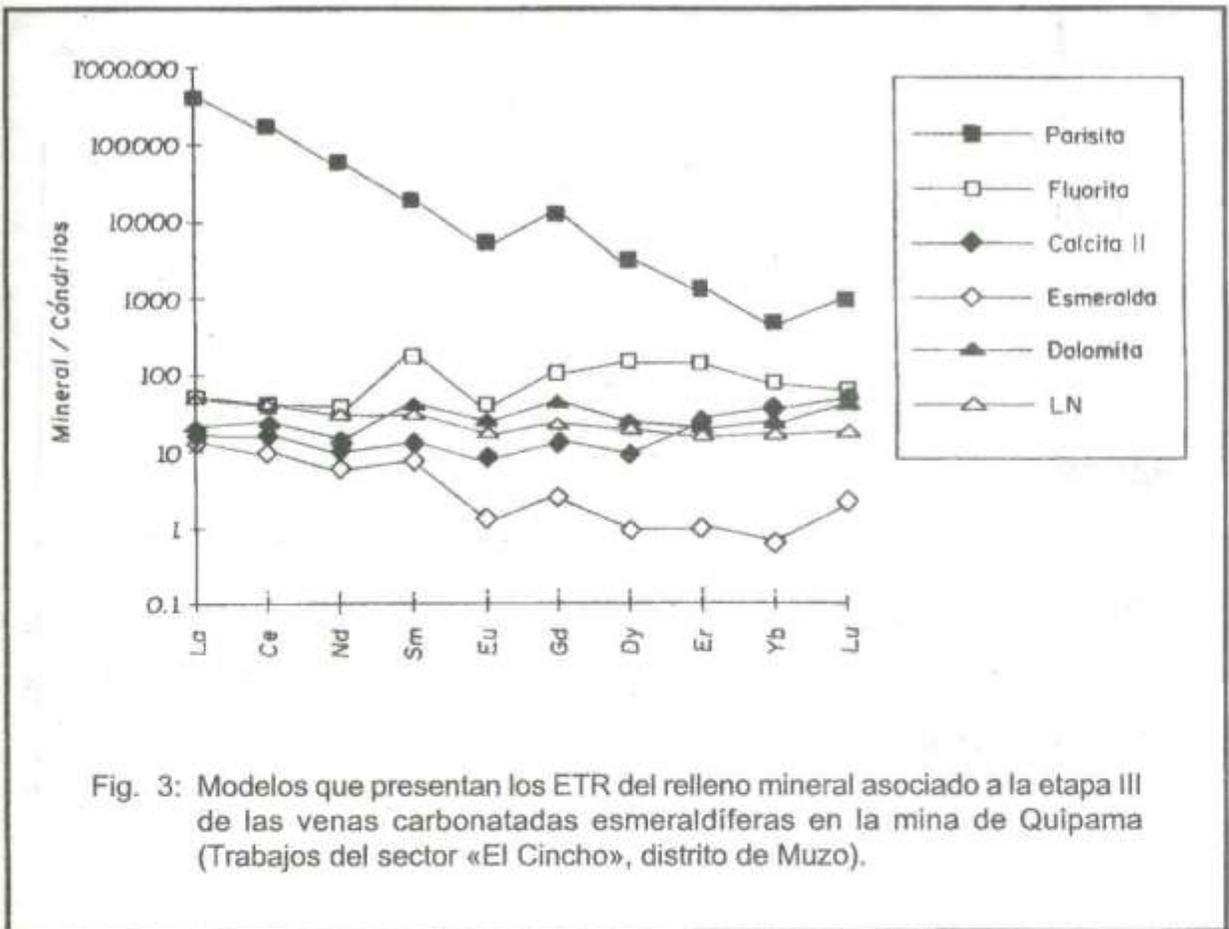
Fig. 1-b

Fig. 1-a: Diagrama Al/3 v.s. Al/3-Na
 Fig. 1-b: Diagrama Berilio v.s. Na/Al. Para los depósitos de Chivor, El Toro, Quípama, Tequendama, La Pava y Yacopí.



Sin embargo ellas presentan una deflexión en ETR livianos (ETRL), especialmente Ce y Nd. Los modelos de los ETR de los minerales de relleno de venas muestran (fig. 3): 1) La calcita de la etapa II presenta deflexión en ETRL en relación con las LN. Este comportamiento es típico de la calcita y la dolomita de las etapas I y II de los depósitos en general. Ello indica que las soluciones deben haber sido inicialmente agotadas en ETRL considerando que el fraccionamiento de ETR entre calcita y salmuera es bajo (Graf, 1988); 2) La depositación de la parisita en la asociación coeva de parisita, fluorita, dolomita y esmeralda (etapa III),

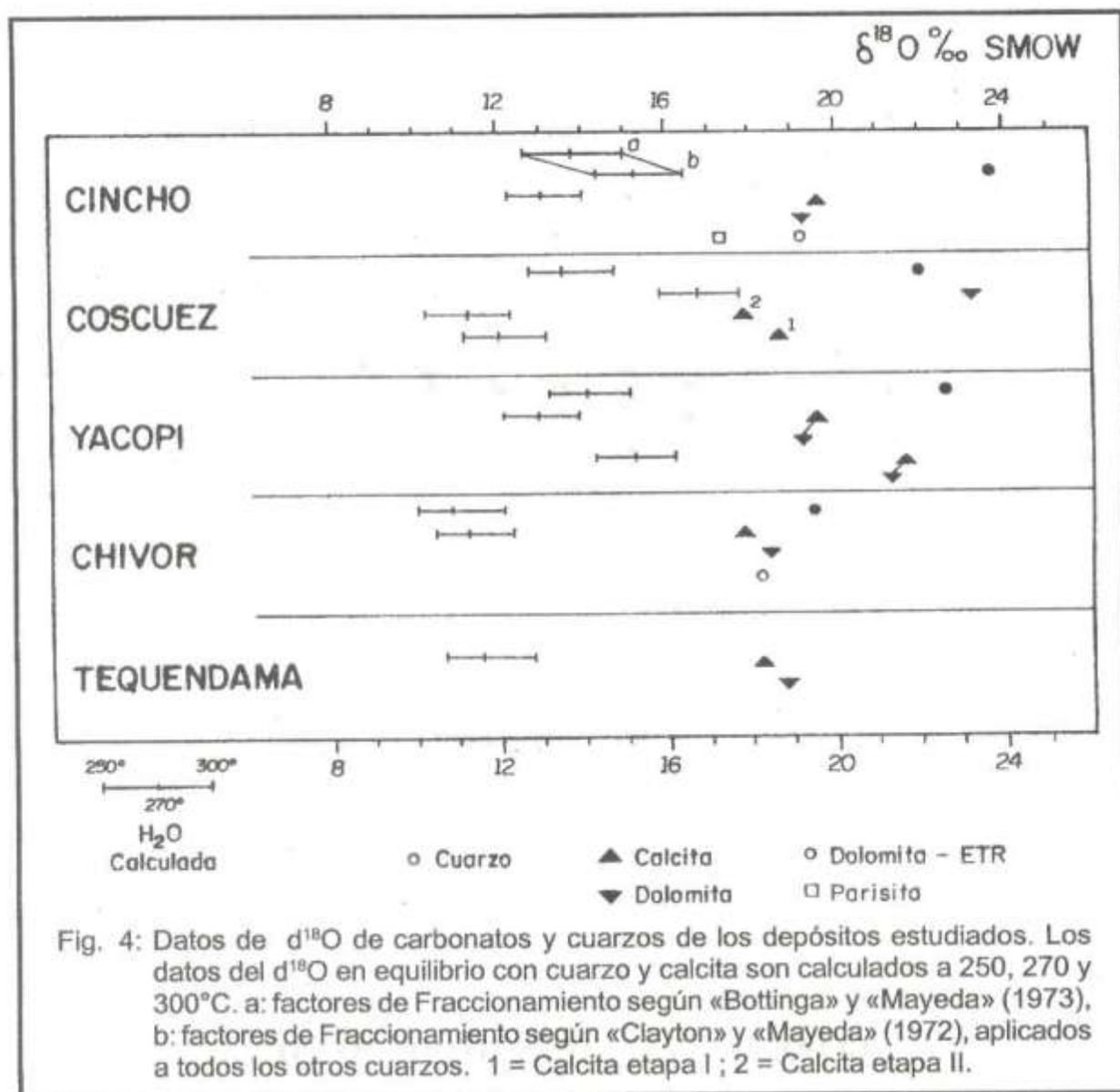
provoca la deflexión del total de los ETR y ETRL en los fluidos. En consecuencia la esmeralda y la fluorita presentan la misma anomalía en Eu que la parisita ($Eu/Eu^* = 0.3$) estando ambas enriquecidas en ETRL. Además la fluorita es enriquecida en ETRP (ETR pesados) mientras que la esmeralda muestra exactamente un comportamiento opuesto. La dolomita y la esmeralda presentan, excepto por la anomalía en Eu ($Eu/Eu^* = 0.65$) y sus concentraciones totales de ETR, el mismo modelo, especialmente a lo concerniente a los ETRL.



GEOQUÍMICA DE LOS ISÓTOPOS $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$

Giuliani et. al., 1992, realizaron estudios de isótopos del oxígeno en cuarzos y carbonatos (asociados con esmeraldas) de las minas de Coscuez, El cincho, (Quípama), Yacopí, Tequendama (Muzo) y Chivor. Los datos muestran un fuerte enriquecimiento en ^{18}O (fig. 4). El $\delta^{18}\text{O}$ de los diferentes tipos de carbonatos varían sobre un rango de 2.2‰ para todas las muestras y se presenta aún más variable para el cuarzo (4‰). Las aguas en equilibrio con la mineralización son enriquecidas en ^{18}O ($+10\text{‰} < \delta^{18}\text{O} < +$

18‰) para una temperatura de formación estimada en 300 °C. (Cheilletz, et. al., 1993). El cálculo del $\delta^{18}\text{O H}_2\text{O}$ para los diferentes depósitos, refleja valores correspondientes a aguas hidrotermales de origen sedimentario. En contraste, el $\delta^{18}\text{O H}_2\text{O}$ es más alto que los valores medidos en tales aguas ($T < 150^\circ\text{C}$); estos valores tan altos implica que el $\delta^{18}\text{O}$ es controlado por el origen sedimentario, de baja temperatura, de los metasedimentos. De acuerdo con esto, el origen de los fluidos pueden considerar como "sedimentario".



CONCLUSIONES

Los depósitos de esmeraldas en Colombia se caracterizan por un fuerte proceso de interacción roca-fluido, predominando un metasomatismo sódico y carbonatado de las LN encajantes, las cuales, inversamente, son lixiviadas en sus elementos mayores, traza y de ETR, que posteriormente serán redepositadas como minerales de relleno en venas. El agotamiento o disminución de Al, Si, Be, Cr y V particularmente, evidencia que las LN encajantes fueron la fuente de estos

elementos, los cuales se incorporan después dentro de la estructura cristaloquímica de la esmeralda en los sistemas de venas. Por consiguiente se puede proponer para la génesis de las esmeraldas un modelo basado en un origen local sedimentario para el berilio. El origen de los fluidos hidrotermales responsables de las transferencias catiónicas ha sido estimado por medidas isotópicas del oxígeno. El cálculo de $\delta^{18}\text{O}$ H_2O , para una temperatura de 300°C, para cuarzoes y carbonatos, indica valores correspondientes a aguas de cuencas sedimentarias.

ABSTRACT

The emerald deposits of Colombia are related to huge hydrothermal fluid infiltration vein networks which develop an intense sodium and carbonate metasomatic halo within the enclosing black shales. Leaching of major (K, Al, Si, Ti, Mg, P), Trace (Ba, Be, Cr, Rb, Sc, U, V, B, C), and REE from black shales is accompanied by their partial redistribution as in-filling vein system minerals. Oxygen isotope geochemistry of the hydrothermal carbonates and quartz indicates a strong enrichment in $\delta^{18}\text{O}$ of the waters in equilibrium with the mineralation ($+10\text{‰} < \delta^{18}\text{O} \text{ H}_2\text{O} < +18\text{‰}$), which correspond to metamorphic or basinal formation waters. The proposed model of emerald genesis involves a local sedimentary origin for beryllium and a metamorphic origin for the fluids.

BIBLIOGRAFÍA

- BAKER, P.J.; 1975. Proyecto de esmeraldas. Informe técnico final, Naciones Unidas-Ingeominas, COL-7/004, 71p.
- BEUS, A. A.; 1979. Sodium: a geochemical indicator of emerald mineralization in the cordillera oriental of Colombia. *J. Geochem. Explor.*, II: 195-208.
- CHEILLETZ, A., FERAUD, G., GIULIANI, G. AND RODRÍGUEZ, C.; 1993. Time-pressure temperature formation of Colombian emeralds: an $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laserprobe and fluid inclusion microthermometry contribution. *Economic Geology*. (accepted).
- ESCOBAR, R., 1975. Geología y geoquímica de las minas de esmeraldas de Gachalá, Cundinamarca. *Bol. Geol.*, 22(3): 116-153.
- FORERO, H.O., 1987. Esmeraldas. Publicaciones geológicas del Ingeominas. Recursos Minerales de Colombia. Tomo II: 557-605.
- GIULIANI, G., CHEILLETZ, A., AND RODRÍGUEZ, C.; 1990a. New metallogenic data on the emerald deposits of Colombia. (th IAGOD Symposium, Ottawa, 12-18 August 1990, Abstracts: 185-186.
- GIULIANI, G., RODRÍGUEZ, C., RUEDA, F.; 1990b. Les gisements d'émeraude de la Cordillère orientale de la Colombie: nouvelles données métallogéniques. *mineralium Deposita*, 25: 105-111.
- GIULIANI, G., SHEPPARD, S.M.F., AND CHEILLETZ, A.; 1992. Fluid inclusions and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope geochemistry contribution to the genesis of the emerald deposits from the oriental cordillera of Colombia. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 314, II: 269-274.
- GRAF, JR., J.L., 1988. Rare earth element studies of Mississippi Valley type (MVT), Pb-Cu-Zn deposits in Kansas, Oklahoma and Missouri (USA). Document BRGM, 183: 75-88.
- KOZLOWSKI, A., METZ, P., AND JARAMILLO, H.A.E., 1988. Emeralds from Somondoco Colombia: chemical composition, fluid inclusions and origin. *N. Jahrb. Mineral. Abh.*, 159: 23-29.
- MEDINA, L.F., 1970. Consideraciones sobre la génesis de los yacimientos esmeraldíferos de los alrededores de Muzo. Informe interno ECOMINAS, Bogotá.
- OTTAWAY, T. L. AND WICKS, F.J., 1991. Sulfate reduction at the Muzo emerald deposit. In: *Proceedings of the International Gemological Symposium*, Toronto, 27-29 May, 16: A93.
- RESTREPO, H., 1959. Reconocimiento de las minas de esmeraldas de Muzo. *Bol. Geol.*
- VSCHEIBE, R., 1933a. Informe geológico sobre las esmeraldas de Muzo. *Comp. est. Geol. Ofic. de Col.* Tomo I: 169-198.
- SCHEIBE, R., 1933b. Informe sobre las esmeraldas de Nemocón. *Comp. Est. Geol. Ofic. de Col.* Tomo I: 223-228.
- ULLOA, C., 1980. Ambiente geológico de los yacimientos esmeraldíferos en Colombia. *Bol. Soc. Geol. del Perú*, 65: 157-170.²