



Características Mineralógicas y Gemológicas de la Aguamarina del Distrito Minero de Chivor, Colombia

FERNANDO HELL ROMERO ORDOÑEZ

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

ROMERO ORDOÑEZ. F.H. (2003): Características Mineralógicas y Gemológicas de la Aguamarina del Distrito Minero de Chivor, Colombia.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 28, pp. 95-100, 1 Fig., 2 Tablas, 1 Lamina, Bogotá.

RESUMEN

El berilo, según sus iones cromóforos, es dividido en esmeralda (verde), aguamarina (azul), morganita (rosa) a vorobiovita (con cesio), heliodoro (amarillo) y goeshita (panda). Además de estos minerales encontramos aquellos que poseen berilio dentro de su estructura química, tal como la euclasa. Colombia es un país privilegiado pues en sus sectores esmeraldíferos, principalmente en la región de Chivor, encontramos tres minerales-gema de los anteriormente mencionados: esmeralda, euclasa y aguamarina. Este último con características mineralógicas y gemológicas semejantes a las de otras partes del mundo. Su paragénesis y comportamiento microtermométrico son similares a los encontrados en las esmeraldas colombianas y minerales asociados, sugiriendo un posible origen a partir del mismo fluido mineralizante.

Palabras clave: *Aguamarina, Berilo, Colombia-esmeraldas. Minerales-paragénesis.*

ABSTRACT

Some mineralogical and gemological properties of aquamarines found recently in the Chivor area of Colombia are presented. The rocks include part of the section exposed at the easternmost chain of Colombia, Cordillera Oriental, its eastern foothills, and the adjacent flatlands. The exposed rocks have a cumulative thickness of about 800m. There are three well defined lithological assemblages: (1) gray sandstones; (2) dark-gray shales and siltstones; and (3) red and gray sandstones and red mudstones. The aquamarines occur in voids and lenses very often accompanied by veins of quartz and albite associated with pyrite, calcite, fluorite, dolomite, moscovite, apatite, chalcopyrite and emerald in carbonaceous shales and argillites.

The Chivor aquamarines are similar in appearance and some gemological properties to aquamarines from others parts of world. Microscopic and microtermometric investigations of these stones revealed some internal characteristics such as three phase inclusions showing a relatively small vapor bubble, an anisotropy daughter crystal and a large daughter crystal of halite in saturated brine. The fluid inclusions in these aquamarines contain exceedingly saline brines, some of which are difficult to freeze, plus a halite daughter crystal, a small amount of liquid CO₂, and a vapor bubble. The temperatures to first melting for these inclusions ranged from -65 to -60°C, the temperatures to final of ice melting was 25°C and the homogenization (NaCl) at -360°C.

Keywords: *Aquamarine, Beryl, Colombia-emeralds, Minerals-paragenesis.*

INTRODUCCION

La aguamarina [Be₃Al₂(Si₆O₁₈)] variedad verde mar a azul mar del berilo, donde se incluyen tonos claros y oscuros, es una de las más populares piedras semipreciosas. Cristaliza en el sistema hexagonal, densidad 2,65-2,80; dureza 7,5-8,0 e índice de refracción 1,57-1,61 (KLEIN & HURLBUT 1993).

Debe su color al hierro ferroso presente en el "sitio" B de sus canales estructurales axiales, en un rango de 0,1-0,3% (WOOD & NASSAU 1968), aunque FONTAN & FRANSOLETT (1982), en el estudio de un ejemplar de aguamarina que contenía Fe₂O₃ (3,23%) y FeO (0,22%) mostraron que es posible que el color azul sea generado tanto por la presencia de hierro férrico como ferroso. Algunas aguamarinas pueden presentar tonos verdes amarillentos debido a la presencia del hierro

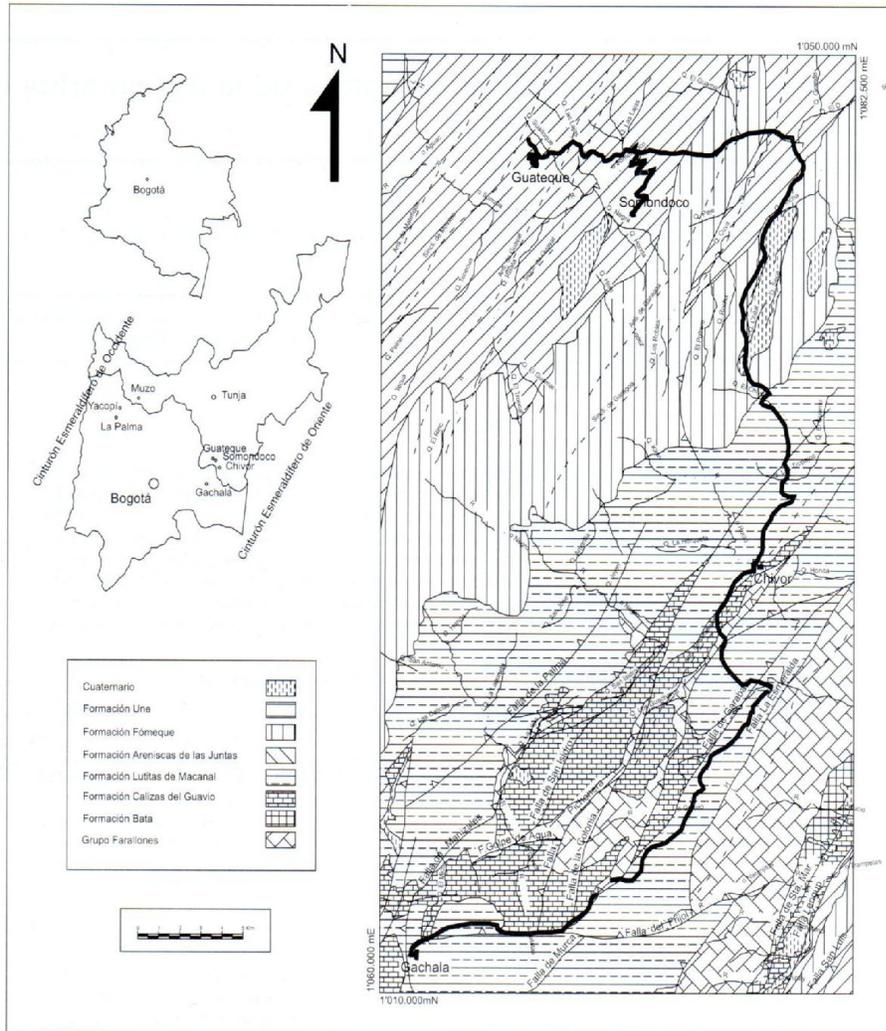


Fig. 1. Mapa geológico generalizado del área de interés. Modificado de ULLOA *et al.* (1975)

férrico cuando este es sustituido por el aluminio. Respecto al color, solamente hay dos piedras naturales semejantes con la aguamarina: el circón azul y el topacio azul. El primero puede ser fácilmente identificado por su “fuego”, brillo y fuerte birrefringencia; en el caso del topacio, los pocos ejemplares que se presentan con tinte azulado, difícilmente pueden diferenciarse de la aguamarina a simple vista.

Vale la pena mencionar que la aguamarina puede ser confundida en las regiones esmeraldíferas colombianas con la euclasa, mineral que también está presente, pero su dureza, sistema de cristalización, fractura,

densidad e índices de refracción permiten diferenciarlas. Junto con estos materiales naturales hay que citar las imitaciones hechas con productos artificiales, muchas veces motivo de confusión. En este grupo se incluyen las imitaciones hechas con vidrios de diferentes tipos, la espinela sintética de color azul, muy parecida a la empleada para imitar el circo y algunos dobletes.

Generalmente el ojo experto puede identificar con seguridad una espinela sintética a simple vista; el azul es demasiado “chillón”, el brillo y el “fuego” demasiado intensos para pertenecer al grupo de los minerales del berilo, que

poseen un brillo marcadamente vítreo y bajo poder de dispersión. Sin el empleo de instrumentos apropiados las imitaciones de vidrio suelen ser difíciles de identificar.

En los denominados cinturones esmeraldíferos colombianos localizados en el Territorio Vásquez-Yacopí y región del Guavio, se encuentran minerales del grupo del berilo diferentes de la esmeralda, tales como euclasa (CHÁVEZ-GIL *et al.* 1997) y aguamarina, los cuales en la mayoría de los casos son desechados al considerarse esmeraldas de colores pálidos. Deseamos contribuir con este estudio al conocimiento de este mineral del grupo del berilo encontrado en nuestro país. Se muestran de manera general algunas características mineralógicas, gemológicas y microtermométricas de la aguamarina de Chivor, las cuales permiten su caracterización como mineral-gema.

LOCALIZACION Y OCURRENCIA

El denominado Cinturón Esmeraldífero Oriental se encuentra ubicado en el flanco oriental de la Cordillera Oriental colombiana entre los 1000 y 3000 metros de altitud, con dirección N32°E; es delimitado por las minas de Gachalá, Samondoco, y Chivor, así como por las manifestaciones de Las Cruces, Buena Vista, Ubalá y El Diamante. Afloran rocas sedimentarias depositadas en cuencas subsidentes del Cretácico y Terciario Inferior (FABRE1983). Las rocas sedimentarias corresponden a los grupos Farallones (Devoniano Inferior-Carbonífero) y Cáqueza (Titoniano-Valanginiano), así como sedimentos cuaternarios (ULLOA & RODRIGUEZ 1979). Según estos autores, el Grupo Cáqueza se divide en tres formaciones en la región del Guavio: Calizas del Guavio, Lutitas de Macanal y Arenisca de Las Juntas.

En las Lutitas de Macanal de Chivor encontramos brechas, bolsones y nódulos mineralizados con pirita y calcopirita, acompañados por venas de cuarzo y albita (asociada con pirita, fluorita, dolomita, galena, esfalerita, calcita, moscovita, apatito, especularita, anquerita y en ocasiones esmeralda, euclasa y/o aguamarina). La presencia de cuarzo-pirita en estas localidades es mayor que en el otro cinturón esmeraldífero; así mismo, en la región de Muzo la concentración de carbonatos es más abundante que en la zona estudiada. Otro fenómeno importante de mencionar es la poca presencia de minerales de tierras raras en la región del Guavio.

CARACTERISTICAS GEMOLOGICAS

De acuerdo con lo expuesto, solamente los materiales que a continuación se citan pueden ser confundidos con la aguamarina: circón, topacio azul, espinela sintética e imitaciones hechas con vidrios, todos ellos con el color

adecuado. De este grupo de materiales, mediante la observación con lupa, se descarta el circón (debido a su fuerte birrefringencia) y la mayoría de los vidrios (por la presencia de burbujas; muy diferentes a las inclusiones fluidas) y si empleamos el filtro de Chelsea identificamos la espinela sintética.

La euclasa $[\text{BeAl}(\text{SiO}_4)(\text{OH})]$, mineral presente en algunas regiones esmeraldíferas colombianas, puede diferenciarse de la aguamarina (sistema monoclinico, índices de refracción de 1,57 a 1,59 y densidad 2,7) a través de un estudio mineralógico, pues cristaliza en el sistema hexagonal y presenta índices de refracción entre 1,65-1,67 y densidad 3,1 (WIGHT 1987).

Se analizaron cristales procedentes de las minas de Chivor (7), El Toro (3) y Paloarañado (5), los cuales poseen diferentes tonalidades de azul, tamaños entre 0,5 y 10 centímetros de largo y peso entre 0.10 a 15 quilates (Lamina 1 a). Los cristales fueron llevados al laboratorio de Gemología y Metalogénesis, en el Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia donde fueron pesados, fotografiados y sometidos a estudios de refracción, birrefringencia y dicroísmo.

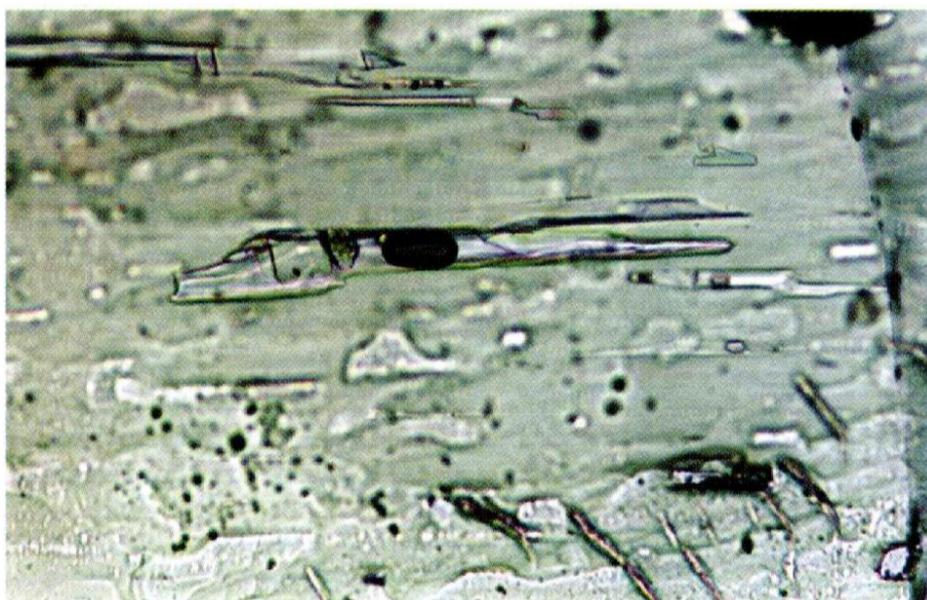
Estudios refractométricos en estos cristales indicaron valores muy próximos de 1,58 y birrefringencia muy pequeña: 0,006 (Tabla 1), en cualquier gema con valores inferiores a 1,56 a superiores a 1,60 se puede afirmar que no es aguamarina. El topacio alcanza valores más altos (1,62) y birrefringencia de 0,01, siendo que la mayoría de las imitaciones hechas con vidrios son mono-refringentes y sus valores oscilan entre 1,50 y 1,51. Sin embargo existen algunos tipos de vidrios cuyos índices de refracción y peso específico son iguales a los del berilo; empleando la luz rmonocromática de sodio es sencillo diferenciarlos. Este prueba fue realizada en los materiales estudiados y se demostró que los cristales son de aguamarina.

Como la birrefringencia de la aguamarina es débil, cuando se emplea la luz Blanca o el refractómetro, solo es posible determinar un valor muy próximo a 1,58. Por estos motivos es conveniente examinar la gema con el microscopio o con el dicroscopio para poder confirmar con toda seguridad que estamos frente de una piedra natural. El dicroscopio es el aparato que suministra la prueba más sencilla para poder identificar esta gema pues la aguamarina posee un marcado dicroísmo. De un total de once ejemplares estudiados en el dicroscopio, cinco presentaron tonalidades verdes, dos azul, uno incoloro y tres azul intenso.

Mediante el uso del microscopio gemológico se determinó que las gemas estudiadas eran naturales, pues



Lamina 1a
Cristal de aguamarina tallado junto con la muestra
de donde se extrajo



Lamina 1b.
Inclusión fluida trifásica en agua marina de Chivor, mostrando una
burbuja de gas, cristales de halita y un mineral birrefringente
(posiblemente un carbonato) (Microfotografía tomada a + 27°C,
100 NX

las imitaciones hechas con vidrio presentan casi siempre una o dos burbujas y los típicos "torbellinos" debidos a una incompleta mezcla de carbonatos, silicatos y arcillas empleados en la fabricación del vidrio. Los materiales estudiados mostraron "plumas", inclusiones fluidas trifásicas de tamaños y formatos regulares, inclusiones cristalinas (calcita, cuarzo,

dolomita y albita). La naturaleza de la aguamarina estudiada es reconfirmada por los estudios microtermométricos como se expone más adelante.

Los valores de los índices de refracción de los cristales estudiados (Tabla 1) fueron obtenidos a través de un refractómetro GEM Duplex II y una fuente de luz monocromática. Los

valores de estos índices y la gravedad específica, cuando se comparan con los presentados en aguamarinas de diferentes localidades del mundo (Tabla 2) se muestran dentro del rango previamente presentado para las aguamarinas en general (DUROCDANNER 1989).

Otra prueba que permitió confirmar que los materiales estudiados son aguamarinas fue el empleo de un líquido pesado. De esta manera se puede separar de la aguamarina el topacio, el circón, la espinela sintética y los vidrios pesados al sumergir las gemas en bromoformo puro (peso específico 2,9) o en yoduro de metileno (peso específico 3,3). Al sumergir la aguamarina en estos líquidos tiende a flotar y materiales diferentes se hunden.

Es importante esclarecer que no hay aguamarinas sintéticas en el mercado gemológico, los ejemplares mal llamados así son espinelas sintéticas de color azul o vidrios coloreados. Los vidrios azules fabricados con berilo fundido, que en ocasiones poseen la misma composición química que la aguamarina, no poseen su estructura cristalina, siendo sus propiedades físicas diferentes a la de cualquier mineral del grupo del berilo.

Los valores de la gravedad específica para cinco piedras talladas y seis cristales de color claro fueron determinados a través de la balanza hidrostática (Tabla 1); estos valores son semejantes con los determinados para aguamarinas de otras localidades (Tabla 2).

MICROTERMOMETRIA

Las aguamarinas estudiadas poseen numerosas inclusiones fluidas (Lamina 1b) y cristalinas, con formas y tamaños variados. Independiente de

Tabla 1
Propiedades físicas de algunas aguamarinas de la región de Chivor.

Muestra	Peso (Quilates)	Color	Índice de Refracción	Gravedad Específica
Chivor	0,34	Azul claro	1,580-1,587	2,730
Chivor	0,65	Azul claro	1,583-1,588	2,735
Paloarañado	1,22	Azul medio	1,585-1,590	2,735
Paloarañado	2,30	Azul claro	1,590-1,592	2,730
Paloarañado	0,87	Azul oscuro	1,580-1,585	2,778
El Toro	1,11	Azul claro	1,581-1,586	2,734
El Toro	0,95	Azul claro	1,587-1,590	2,737
El Toro	0,58	Azul claro	1,580-1,585	2,730
El Toro	7,23	Azul claro	1,579-1,598	2,733
El Toro	0,21	Azul claro	1,570-1,578	2,789
El Toro	6,34	Azul claro	1,580-1,585	2,737

estas características, todas las Inclusiones Fluidas (IF) se presentaron trifásicas (poseen una fase líquida, una gaseosa y otra vapor), lo cual fue registrado en un microscopio binocular; observamos las IF en láminas bipulidas en las dos caras, cortadas paralela y perpendicularmente al eje cristalográfico "c" del mineral.

El comportamiento microtermométrico fue registrado en una platina de calentamiento y congelamiento, ligada a un microscopio de luz transmitida.

Las IF en estas aguamarinas contienen salmueras que en ocasiones, durante el proceso de enfriamiento, son muy difíciles de congelar, además de halita y un cristal birrefringente posiblemente un carbonato, como minerales de saturación (Lamina 1a). Estudios espectrométricos, vía micro-Raman, permitieron confirmar la existencia de una fase gaseosa constituida de CO₂, y determinar la presencia de pequeñas cantidades de CH₄. Las temperaturas que registraron el inicio de la fusión parcial del hielo de estas IF fueron encontradas entre -65 a -60°C y 25°C; esta última temperatura registra la fusión total del último cristal de hielo. La temperatura de homogenización total (NaCl) se registró en -350°C.

Los estudios microtermométricos indican que las aguamarinas de Chivor presentan inclusiones fluidas con comportamiento semejante al encontrado en las esmeraldas colombianas (ORDOÑEZ *et al.* 1994); igualmente las inclusiones cristalinas en estos materiales en la mayoría de los casos son las mismas: cuarzo, pirita, calcita, dolomita y albita.

El origen de estas aguamarinas puede estar íntimamente asociado con el de la euclasa y las esmeraldas que las acompañan; las cuales cristalizaron a partir de fluidos hidrotermales (~350°C) que en su proceso de migración estuvieron en contacto con salmueras cretáceas; estos fluidos contenían entre 30-40% en peso de NaCl±KCl, con pequeñas proporciones de Ca-Mg. El fluido mineralizante migro aprovechando zonas de debilidad donde se mezcló con otros compuestos químicos tales como H₂S y CH₄, derivados de los shales negros. La oxidación de la materia orgánica produjo CO₂, que elevó la presión del fluido generando fenómenos locales de brechamiento (ROMERO 1998).

CONCLUSIONES

En el Cinturón esmeraldífero Oriental, específicamente en el distrito minero de Chivor, se presenta aguamarina, piedra semipreciosa con alto valor en el mercado gemológico. Los estudios indican que este mineral se presenta con tonalidades azules y pocas inclusiones cristalinas, que cuando se muestran son de tonalidades claras, dando más "vida" a la gema. Este material posee características gemológicas semejantes a las de otras localidades en el mundo, pudiendo su origen estar íntimamente asociado con el de la esmeralda que la acompaña. Chivor es el único distrito minero reportado hasta hoy en el mundo en donde ocurre aguamarina-euclasa-esmeralda en ambiente sedimentario.

Tabla 2:
Propiedades físicas de aguamarinas de otras localidades del mundo (Extraída de DUROC-DANNER 1989).
n.d = información no disponible.

Localidad	Peso (Quilates)	Color	Índice de Refracción	Gravedad Específica
Tongafeno (Madagascar)	0,95	Azul medio	1,583-1,590	2,730
Tongafeno (Madagascar)	1,50	Azul oscuro medio	1,583-1,590	2,766
Zambia	n.d	Azul oscuro	1,575-1,82	n.d
Zimbawue	1,32	Azul claro	1,573-1,580	2,710
Nigeria	0,82	Azul claro	1,568-1,572	2,698
Brasil	17,35	Azul claro	1,564-1,570	2,685
Isla de Elba	n.d	Azul cielo	1,585-1,591	2,763
Paquistán	n.d	Azul opaco	1,599-1,607	n.d
Brasil	9,01	Azul claro	1,570-1,576	2 692
Brasil	11,80	Azul claro	1,568-1,573	2,690
Sintética	n.d	Azul oscuro	1,584-1,592	2,805

AG RADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos al Prof. Manuel Rubiano (Universidad Nacional de Colombia) y a la firma Gemtec Ltda., por haber cedido varios cristales para realizar este trabajo. Así mismo, expresamos nuestros agradecimientos a la Dra. Rosa Bello por haber facilitado el laboratorio de microtermometría del IGC-USP donde se efectuaron los estudios microtermométricos y al Prof. Dr. Kazuo Fuzikawa del CDTN-UFMG quien registra el espectro en el micro-Raman. Igualmente, al señor Arlex Gutiérrez por el diseño del mapa de localización.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AURISICCHIO, C.; FIORANT, G.; GRUBES, O.; ZANASSI, P. (1988): Reappraisal of the crystal chemistry of beryl.- *American Mineralogist*, 73: 826-837, Vancouver.

BANK, H. (1987): Dark blue aquamarines from Zambia with high refraction of light indices.- *Gold and Silver*, 40, 3: 101-102.

CHAVEZ-GIL, T.; ROMERO, F.; SCHULTZ-GÜTTLER, R. A. (1997): Características mineralógicas y petrológicas de la Euclasa del distrito minero de Chivor. Colombia.- *Geología Colombiana*, 22: 171-187, Bogotá.

DUROC-DANNER, J. M. (1989): Medium-dark blue aquamarines from Tongafeno, Madagascar, with high physical and optical properties, and showing three-phase inclusions.- *The Journal of Gemmology*, 21, 7: 423-430, London.

_____(1996): Euclase from Colombia showing three-phase inclusions.-*The Journal of Gemmology*, 25, 3: 175-76. London.

FABRE, A. (1983): La subsidencia de la cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental) durante el Cretáceo y el Terciario Inferior, primera parte del estudio cuantitativo de la subsidencia.- *Geología Norandina*, 8: 49-61, Bogotá.

FONTAN, F. & FRANSOLETT, A. (1982): Le beryl bleu riche en Mg, Fe et Na de la mina de Lassur, Ariège, France.- *Bulletin Mineral*, 105: 615-620, Paris.

KLEIN, C. & HURLBUT, C. (1993): *Manual of Mineralogy (After J. Dana)* (21 ed.).- 681 p, John Wiley & Sons, New York.

ORDOÑEZ, R.F.; SCULTZ-GÜTTLER, R. A. & SVISERO, D. P. (1994): Fluid-Inclusion data of Colombian emeralds: Total homogenization by salt dissolution.- *International Mineralogical Association*, 16th General Meeting, p. 310, Pisa, Italy.

ROMERO, O.F.H (1998): Esmeraldas Colombianas: Mineralogía, Geología e Genese (Tese de Doutorado-Geociencias).- 268 p., US P.

SINKANKAS, J. (1986): Beryl.- Read, P. G. (edit.). Butterworths., 103-136 p., London.

ULLOA, C. & RODRIGUEZ, E. (1979): Geología del cuadrángulo K-12, Guatemala.- *Boletín Geológico*, 22: 1-55, Bogotá.

WIGHT, W. (1987): Check-list for rare gemstones euclase.- *Canadian Gemologist*, 8 (2/3): 46-49, Ottawa.

WOOD, D. L. & NASSAU, K. (1968): The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy.- *American Mineralogist*, 53: 777-800, Vancouver.

Manuscrito recibido, Diciembre de 2002; aceptado, Abril de 2003.