



Caracterización Mineralógica de los Corindones de Mercaderes, Cauca (Colombia)

FERNANDO H. ROMERO⁽¹⁾

ANDRES I. RODRIGUEZ-VARGAS⁽²⁾

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

(1) E-mail: fromero@ciencias.unal.edu.co

(2) E-mail: zafiromerca@hotmail.com

ROMERO, F.H. & RODRIGUEZ-VARGAS, A.I. (2002): Caracterización mineralógica de los corindones de Mercaderes, Cauca (Colombia).- GEOLOGIA COLOMBIANA, 27, pp. 121-142, 2 Figs., 10 Láminas, 2 Tablas, Bogotá.

RESUMEN

Las minas de corindón en Colombia están localizadas en la parte sur de la Cordillera Central, específicamente en la región de Mercaderes - Río Mayo. Estas mineralizaciones se encuentran en aluviones de las quebradas: El Rubí, El Guabo, Paloverde, Limoncito, Chenequeta, Cocal, Monteoscurro y La Honda, donde se lava el material proveniente de la Toba Granatífera. Los corindones presentan rasgos superficiales de transporte, corrosión y abrasión mecánica. Estos materiales no son cogenéticos con el lamprófiro que los contiene pero posiblemente representan fragmentos accidentales de corteza incorporados al magma. La presencia de rutilo y granate de almandino - piropo como inclusiones cristalinas, además de la existencia de augita, cianita y hercinita como minerales asociados sugieren un origen metamórfico relacionado con las granulitas. El hallazgo de cianita como mineral asociado sugiere que estos corindones podrían haber cristalizado a partir de este aluminosilicato.

Palabras clave: *Corindón, Granulitas, Cianita, Cauca - Colombia*

ABSTRACT

The corundum mines of Colombia are located in the southern part of the Cordillera Central, specifically in the Mercaderes – Rio Mayo region. These corundum occurrences are found in the alluvial deposits of the Rubí, Guabo, Paloverde, Limoncito, Chenequeta, Cocal, Monteoscurro, Monserrate and Honda streams, where the material from the Granatífera Tuff is eroded. The corundums show surface features indicating transport, corrosion and mechanical abrasion. These materials are not likely to be cogenetic with the lamprophyric host, but are possibly crustal fragments accidentally incorporated into the eruption magma. The presence of rutile and almandine - pyrope as crystalline inclusions within the corundums, and the existence of augite, kyanite and hercynite suggest a metamorphic origin possibly associated with the granulite xenoliths found in the Granatífera Tuff.

Keywords: *Corundum, Granulites, Kyanite, Cauca - Colombia*

INTRODUCCION

El corindón, rubí y zafiro de Mercaderes – Cauca hacen parte de una importante riqueza gemológica colombiana, destacándose por su colorido y belleza reconocidos a nivel mundial (OSORIO & MICHELOU 2000).

El término *corindón* proviene de la palabra Hindú “Kauruntaca” con la que se designaba antiguamente este mineral. El vocablo *rubí* es originario del latín “rubin” que significa rojo, y la palabra *zafiro* viene del griego “zafir” que significa azul (KLEIN & HURLBUT 1996; MEDENBACH & SUSSIECK-

FORNEFELD 1997).

Las piedras preciosas, como las denominan los pobladores de la región, fueron halladas inicialmente durante la colonia por los primeros viajeros que transitaban por las localidades de Mercaderes, Almaguer y áreas aledañas, siendo éstas paso obligado del trayecto Quito – Popayán. Hoy en día se continúa con el mismo método de extracción artesanal: el “zarandeo” (Láms. 1a, 1b, 1c y 1d).

Los primeros investigadores llegan a la región motivados por el conocimiento geológico y el descubrimiento de fuentes

minerales rentables en el sur occidente colombiano (BUCHELY & ORTIZ 1977). Las observaciones se hacen en torno a la descripción de granates (Schmarda, 1861 en: ROYO Y GÓMEZ 1942), corindones (Karsten 1886 en: ROYO Y GÓMEZ, *op. cit.*) y minerales asociados (Bergrt 1899 en: ROYO Y GÓMEZ, *op. cit.*). Posteriormente se reconocen en la toba xenolitos de rocas metamórficas e ígneas (Stuttzer, 1927, 1934 en: ROYO Y GÓMEZ, *op. cit.*) atribuyéndoles un origen similar a las rocas kimberlíticas de África del Sur (Pereira, 1905 en: ROYO Y GÓMEZ, *op. cit.*); años después se debate y se niega esa idea debido a no haber encontrado evidencias petrográficas de este último tipo de rocas (Grosse 1935 en: ROYO Y GÓMEZ, *op. cit.*).

La primera descripción gemológica de los corindones del área es realizada por BANK *et al.*, (1978) donde se describen algunas características gemológicas. Posteriormente KELLER *et al.* (1985) hacen una nueva descripción gemológica, pero en esta ocasión gracias a la presencia de estas gemas en el mercado internacional. Las publicaciones posteriores especializadas en gemología destacan sus inclusiones y propiedades ópticas distintivas (KELLER *et al.* 1985; MONTERO 1993; JOHNSON 2000).

La Toba Granatífera es considerada un flujo volcánico, el cual es la fuente primaria de los corindones; por tanto, MARTÍNEZ & GARCÍA (1989) describen las unidades A y B en que se divide éste, y brindan una idea acerca de la unidad más promisoria en la búsqueda de estos materiales, reconociendo que se desconoce aún la fuente de emisión del flujo volcánico y argumentando que, si bien persisten motivos para pensar que ésta puede encontrarse "in situ" (Stuttzer, 1927, 1934 en: ROYO Y GÓMEZ, *op. cit.*), dicha fuente podría estar al este de la vereda de Campamentos.

El análisis mineralógico de los corindones y granates puede sugerir su génesis (WEBER & GONZÁLEZ 1993), la cual se asocia con rocas de la corteza inferior y manto superior en el área de Mercaderes - Río Mayo (WEBER & GONZÁLEZ 1993 y WEBER *et al.* 2001).

Los trabajos anteriormente mencionados consideran que aún persisten problemas relacionados con el origen de los corindones de Mercaderes, en especial los referente a su edad, asociación mineralógica, mecanismos de transporte, iones responsables por su mineralización y emplazamiento en las rocas.

Al comienzo de la explotación las expectativas en torno a la viabilidad del comercio de estas piedras eran poco alentadoras debido a su escasez (ROYO Y GÓMEZ 1942) y a sus tonalidades pálidas (LLERAS 1927). Pero en la actualidad dicha tonalidad puede ser modificada gracias a nuevas

técnicas gemológicas, específicamente con tratamiento por calor, con lo cual las gema pueden adquirir colores más atractivos. Estos procedimientos deben ser aplicados con precaución ya que las piedras de Mercaderes, por su alto contenido en hierro, pueden adquirir durante el tratamiento una tonalidad verdosa poco apetecida en el comercio (Láms. 1e y 1f).

LOCALIZACION

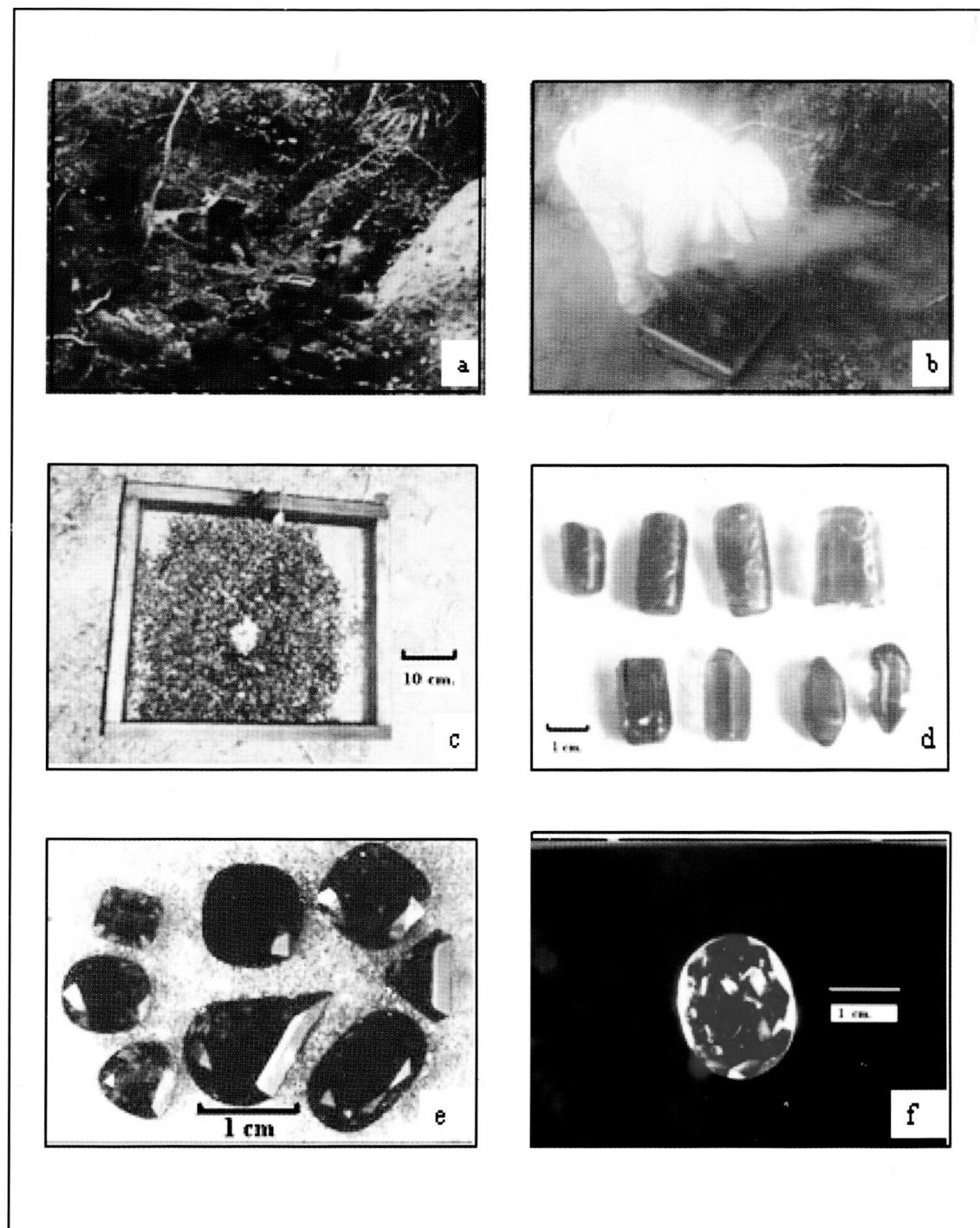
El flujo volcánico en la región estudiada se encuentra en la margen occidental de la Cordillera Central a los 1° 48' 11" de latitud norte y 77° 10' 11" de longitud oeste, limitando, al norte con el municipio de Mercaderes, al sur con el de La Unión, al occidente con el corregimiento de Arboledas y al oriente con el de Campamentos. Posee una altura sobre el nivel del mar de 1156 m, temperatura media de 22.7° C y precipitación media anual de 1544 mm. (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI 1996).

Los corindones se extraen del aluvión o del relleno de las "moyas", agujeros hechos por la caída del agua en el lecho de la quebrada. La roca origen de los corindones no ha sido determinada, estando su extracción limitada a quebradas donde se lava el material proveniente del flujo volcánico. Hasta ahora lo que se conoce de la roca origen es que es altamente erodable, al punto que los mineros saben que luego de lluvias torrenciales aumentan las probabilidades de encontrar materiales en moyas y lechos de quebradas. Los corindones se han encontrado en las quebradas El Rubí, El Guabo, El Guabal, Paloverde, Limoncito, Chenequeta, El Cocal, Monteoscuro, Monserrate y La Honda (Fig. 1).

MUESTREO Y METODOS ANALITICOS

Se realizaron trabajos de campo para la elaboración de un mapa geológico y una columna estratigráfica generalizada del área, los cuales permitieron localizar las formaciones sedimentarias, ígneas y metamórficas al igual que los depósitos de aluvión donde se manifiestan las mineralizaciones. Se efectuaron estudios analíticos para documentar algunas características físicas, químicas, mineralógicas y petrográficas de los corindones, minerales y rocas asociadas. Las técnicas analíticas incluyeron estudios mineralógicos, petrográficos, gemológicos, difractrométricos y espectrométricos.

En el trabajo de campo se utilizaron las planchas 386 IV B, 386 IV-D, 410 II A, 410 II B y 411 I A del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y los mapas geológicos de ARANGO & PONCE (1980), MARTINEZ & GARCÍA (1989) y MURCIA & CEPEDA (1991). El muestreo se realizó en las carreteras de Sombrerillos – Arboledas, Arboledas – Alto de las



LAMINA 1

Extracción de los corindones: a) Recolección de gravas; b) Zarandeo; c) Zaranda con corindones en el centro; d) Cristales de corindón; e) Corindones lapidados; f) Rubí lapidado y sometido a tratamiento por calor

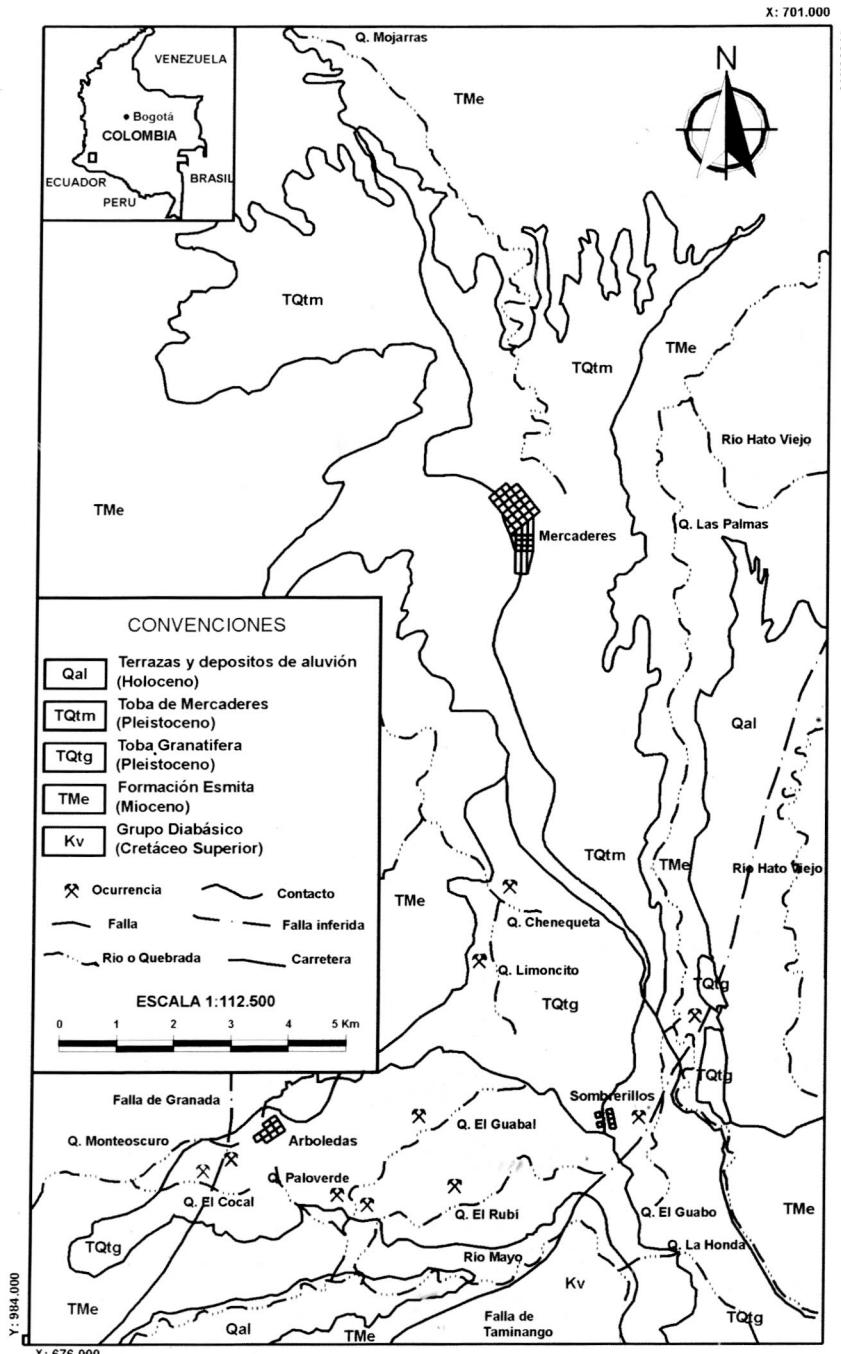


Fig. 1. Mapa geológico generalizado del área de interés

Cañadas, las quebradas El Rubí, El Guabo, El Guabal, Paloverde, Limoncito, Chenequeta, El Cocal, Monteoscuro, Monserrate y La Honda, donde se colectaron 100 muestras de roca, 20 de ellas *in situ* y 80 en aluviones, además 70 muestras mineralógicas de las cuales 30 fueron

corindones. La empresa Gemtec Ltda. donó 20 minerales variados y 30 corindones. Las secciones delgadas necesarias para el análisis petrográfico se realizaron en el laboratorio de técnicas petrográficas de la Universidad Nacional. Para los análisis petrográficos se observaron 20

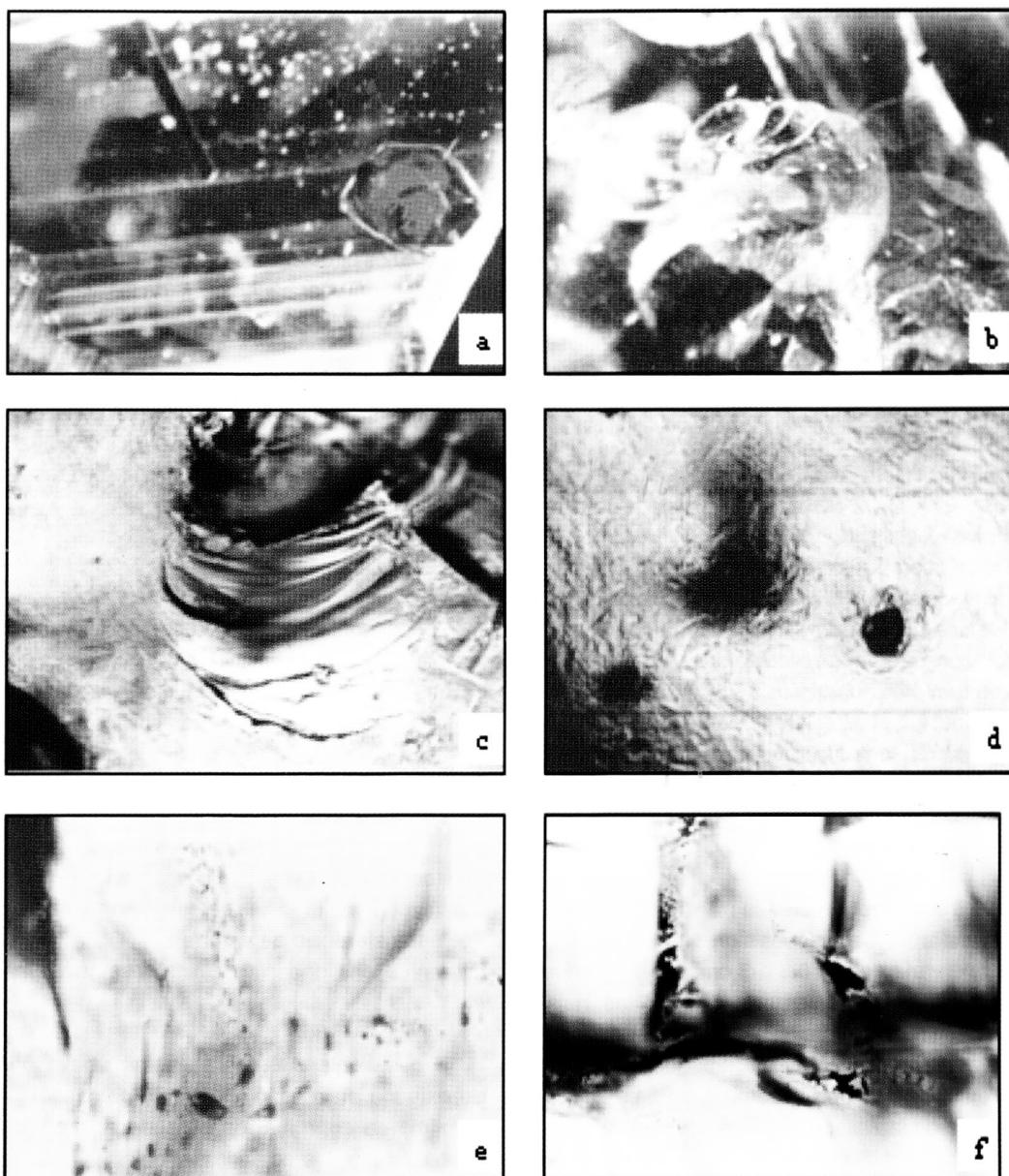
secciones delgadas, con 300 puntos analizados por placa.

Se realizó microscopía electrónica de barrido en 6 muestras minerales (hercinita, augita, corindón, serpentina, cianita y diópsido crómico). En los análisis difractrométricos se estudiaron 6 muestras (almandino, cianita, ilmenorutilo, corindón var. rubí, y zafiro). En los estudios gemológicos se analizaron 10 muestras de corindón y 7 de otros minerales; adicionalmente se efectuaron análisis de inclusiones, espectrometría, refractometría, reacción a la luz ultravioleta y peso de los cristales. En el laboratorio de mineralogía de la Universidad Nacional se determinaron la dureza, forma, raya, maclas, partición y efectos de corrosión - abrasión en 30 muestras.

CONTEXTO GEOLOGICO

El corindón y sus dos grandes divisiones mineralógicas se presentan tanto en rocas ígneas tipo sienitas, anortositas, basaltos y lamprófiros, como en rocas metamórficas tipo hornfelsas pelíticas y esquistos pelíticos (HURLBURT & KLEIN 1996). Los corindones, rubíes y zafiros asociados con basaltos y lamprófiros alcalinos se encuentran en Australia, Camboya, Tailandia, Vietnam del Sur (KANE *et al.* 1991), Ruanda (KRZEMNICKI *et al.* 1996), Kenia (BARROT *et al.* 1989) y China (FURUI 1988) los cuales comparten algunas características comunes con los materiales de Mercaderes (Colombia), tales como bandeadimiento hexagonal (Lám. 2a), halos de tensión (Lám. 2b), grabados en la superficie de la gema, fractura concoide causada por erosión (Lám. 2c), efectos de pirometamorfismo, corrosión por alta temperatura (Lám. 2d), y fenómenos de reabsorción - lixiviación (COENRAADS 1992) así como inclusiones mono y bifásicas (Láms. 2e y 2f).

En la descripción de corindones asociados a basaltos y lamprofiros, Guo



LAMINA 2

Rasgos característicos de los corindones de Mercaderes (Cauca)

- a) Bandeamiento hexagonal e inclusiones de granate, 40X. b) Halos de tensión, 40X. c) Fractura concoidal, 100X. d) Impresiones de plagioclasa, 40X. e) Inclusiones fluidas mono y bifásicas en fractura de cicatrización. f) Fracturas llenadas con líquidos formando "nidos", 100X

et al. (1996), como WEBER & GONZÁLEZ (1993), consideran que los cristales de corindón no son cogenéticos con el lamprófiro que los contiene, siendo considerados fragmentos accidentales de corteza incorporados al magma. Posiblemente estos lamprófiros en el área de Mercaderes transportaron a la superficie xenolitos ígneos como dacitas,

andesitas y dioritas y fragmentos de corteza inferior tales como hornblenditas, granulitas, neises y posiblemente fragmentos del manto superior entre los cuales encontramos peridotitas y piroxenitas granatíferas (WEBER 1998, WEBER *et al.*, 2001).

Los fragmentos de lamprófiros y sus xenolitos encontrados en los flujos piroclásticos del Río Mayo, se hallan tanto en la Toba de Mercaderes (TQtm) como en la Toba Granatífera (TQtg); esta última contiene los corindones (Fig. 1). Estas rocas cubren discordantemente las del Grupo Diabásico (Kv) de edad Cretácea (105 ± 10 M.a. K/Ar en Hornblenda (?)) (TOUSSAINT & RESTREPO 1978) y las de la Formación Esmita (TMe) de edad Terciaria (Oligoceno superior a Mioceno superior, de acuerdo a consideraciones paleontológicas y correlaciones hechas por Rodríguez & Velandia, 1980, en: MURCIA & CEPEDA 1991), por lo cual se infiere una edad pleistocénica.

ESTRATIGRAFIA

Los Flujos Piroclásticos del Río Mayo fueron divididos en tres unidades, A, B y C (MARTINEZ & GARCÍA 1989), siendo en algunos casos difícil su diferenciación en campo (Fig 2). La unidad A, compuesta texturalmente de brechas y tobas de lapilli, color café claro, mala selección y clastos angulares en una matriz dura, presenta una composición vítreo - lítica con fragmentos volcánicos y metamórficos que alcanzan tamaños superiores a 25 cm, los cuales poseen una distribución predominantemente caótica; excepcionalmente ocurren lentes con fragmentos de peridotitas y piroxenitas. Se diferencia esta unidad de la B por presentar mayor tamaño en los clastos y presencia de tobas soldadas con clastos orientados.

La unidad B se compone de tres miembros: El inferior posee tobas de lapilli de composición vítreo - lítica con fragmentos que varían entre 0.5 a 3 cm, donde predominan los metamórficos como esquistos, anfibolitas, neises anfibólicos y en menor proporción piroxenitas y peridotitas, en una matriz de color café claro a habano con mala selección y buen soldamiento. El miembro medio está constituido por tobas de lapilli con capas de ceniza gruesa de hasta 1 m de espesor. Su composición es vítreo - lítica y predominan los metamórficos tipo cuarcita, esquisto y anfibolita en una matriz de color café claro a habano con un buen soldamiento. Las capas de ceniza presentan intercalaciones de color gris claro y gris oscuro indicando diferentes momentos de deposición. El miembro superior está integrado por una toba de ceniza gruesa de composición vítreo - cristalina constituida por cristales de 1-2 mm entre los cuales encontramos biotita, plagioclasa, hornblenda, cuarzo y vidrio. La ceniza puede presentarse en capas de color gris claro a oscuro y pseudoestratificación, con lapilli acrecionario. Si bien MARTINEZ & GARCÍA (1989) limitan la presencia de los corindones al miembro medio de la unidad B, debido a la asociación mineralógica, extensión de brechas volcánicas y tobas de lapilli, creemos que es posible extender la zona

de ocurrencia a la unidad A y miembro inferior de la B.

La unidad C constituida por aglomerados con diabasas, porfidoandesitas, esquistos, cuarcitas y pumita, se presenta en forma caótica en una matriz vulcanosedimentaria, alcanzando hasta 10 m de espesor (MARTINEZ & GARCÍA 1989; SCHMID 1981). Esta unidad registra el último evento volcánico de la zona, donde los fragmentos de roca representan los flujos piroclásticos cuaternarios de los volcanes alemanos y al parecer hacen parte de la denominada Toba de Mercaderes (MURCIA 1981).

Se considera que la actividad volcánica de la zona de Mercaderes - Cauca está relacionada con algún fenómeno explosivo del complejo volcánico de Doña Juana, ubicado en la cima de la Cordillera Central (KOLLER 1983; PEREZ & TELLEZ 1980).

MINERALOGIA

El corindón, mineral cuya composición química se define como óxido de aluminio (Al_2O_3), presenta un porcentaje en peso de 52,91% de aluminio y 47,08% de oxígeno. Algunos cromóforos, en ciertos casos, ocupan la posición estructural del aluminio (óxidos de cromo, titanio, hierro, vanadio y manganeso). Según FRITSCH & ROSSMAN (2001) tales elementos químicos, dependiendo de su concentración, determinan el color y el nombre de la gema, así: rubí si es rojo (donde el Cr³⁺ está en coordinación octaédrica), zafiro si es azul (transferencias de carga Fe²⁺ - O - Ti⁴⁺; Fe²⁺ → Fe³⁺; transferencia de carga Fe²⁺ → Fe³⁺) y corindón en diferentes tonalidades de violeta, rosa, verde, naranja, gris, etc.

El corindón cristaliza en el sistema hexagonal; consiste de oxígeno en empaquetamiento compacto hexagonal y aluminio en coordinación octaédrica; este último puede ocupar 2/3 de los octaedros y dejar 1/3 vacante (KLEIN & HURLBUT 1996). Es parte de la clase escalenoédrica hexagonal con dimensiones de la celda unitaria $a = 4,76 \text{ \AA}$; $c = 12,98 \text{ \AA}$; y relación $a:c/2$ de 1:1,363. Los ángulos de las caras son de $c^{\wedge}r$: 57°35'; $c^{\wedge}n$: 61°12'; $r^{\wedge}r'$: 93°56'; $n^{\wedge}n'$: 51°58' y el peso de la celda unitaria es $Z=6$.

Los corindones suelen presentarse como cristales en forma de pirámides hexagonales cónicas (Lám. 3a), redondeados en forma de barril (Lám. 3b) y tabulares (Lám. 3c). Entre las propiedades físicas sobresalientes de este mineral se encuentra su partición según (0001) y (1011), dureza 9 y peso específico 3,99 – 4,02; esta última propiedad puede variar según la localidad y tipo de inclusiones presentes (KLEIN & HURLBUT *op cit.*).

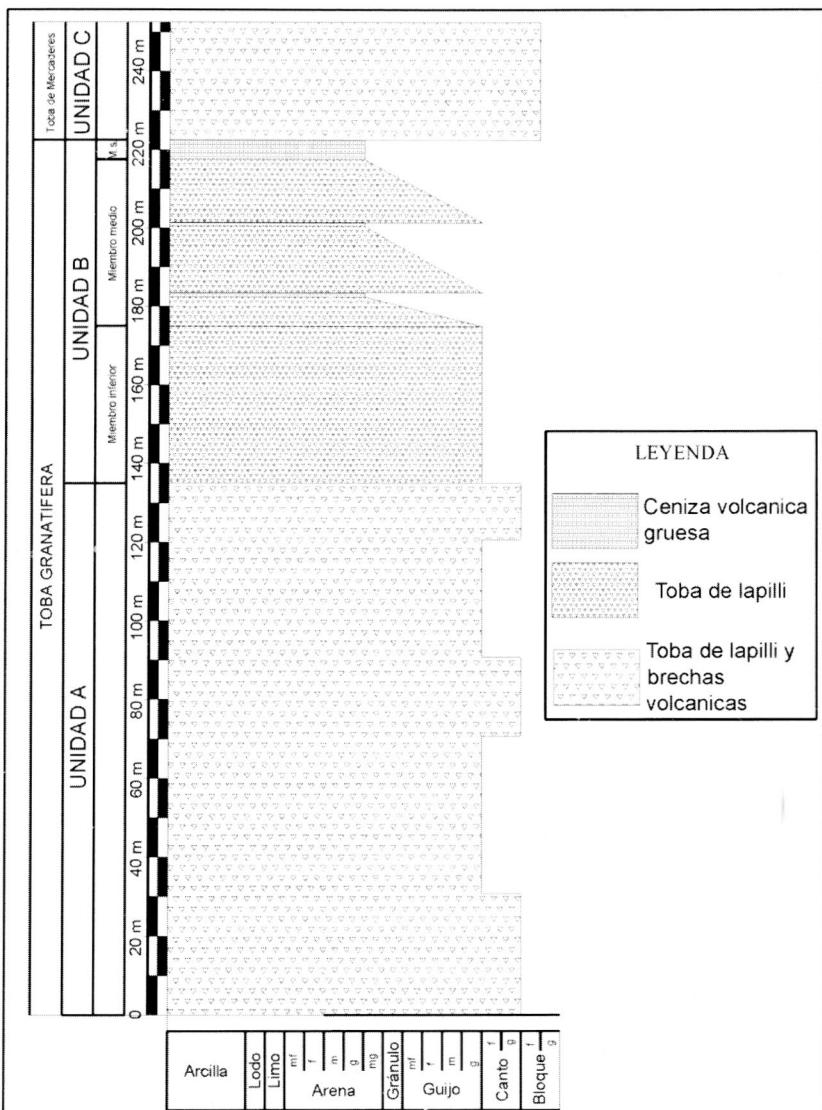


Fig. 2. Columna estratigráfica generalizada del área de interés.
Modificada de MARTÍNEZ & GARCÍA (1989). Convenciones: mf: muy fino; f, fino; m, medio; g, grueso; mg, muy grueso. Ms: Miembro Superior.

Opticamente, el óxido puede ser identificado por ser incoloro, con partición paralela según {1011} y {0001}, relieve muy alto, birrefringencia débil e índices de refracción n_e : 1,756 a 1,763 y n_w : 1,767 a 1,772 (ROGERS & KERR 1942).

Los corindones de Mercaderes presentan diversas formas desde prismas bien desarrollados a cristales tabulares (Lám. 3d), geometrías romboédricas (Lám. 3e), formas

piramidales y bipiramidales (Lám. 3f), con partición visible en los planos {0001} y {1011} (Lám. 3g), maclas perpendiculares a los ejes cristalográficos c y a (Lám. 3h), y efectos de asterismo y zonación (Lám. 3i), así como corrosión y abrasión (Lám. 3j). Presentan color azul, púrpura, verde, rosado y rojo, estos dos últimos en menor proporción y con alta palidez.

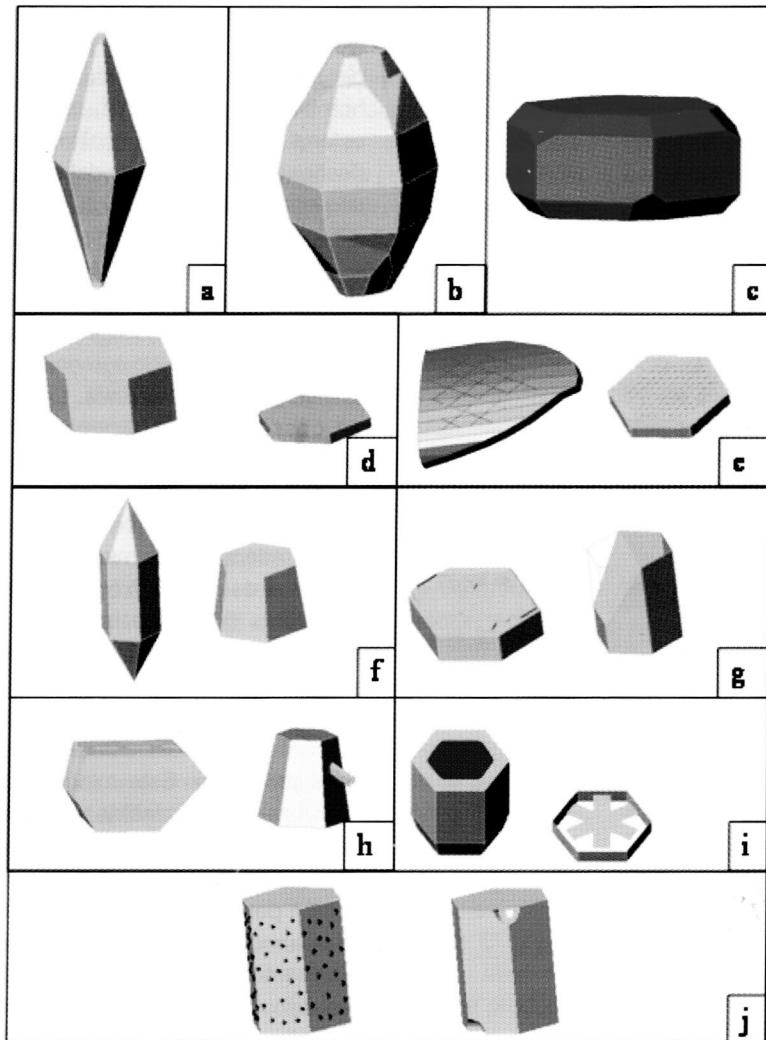
En los aluviones se encuentran asociados con hercinita (Lám. 4a y

4b), augita (Lám. 4c y 4d), diópsido crómico y granates tipo almardino - piropo (Lám. 4e), cianita (Lám. 4f), hornblendita, ilmenorutilo, magnetita, esfena, actinolita - tremolita, cuarzo (lechoso, hialino bipiramidal y ágata), serpentina, olivino y epidota (Tabla 1).

De estos minerales es importante resaltar la augita, que se encuentra como mineral adherido a la superficie del corindón formando agregados cristalinos junto a la hercinita. La augita se observa en las clinopiroxenitas granatíferas, clinopiroxenitas y granulitas, mientras que la hercinita se presenta formando coronas de reacción alrededor de los minerales de los xenolitos de clinopiroxenitas y de las granulitas (WEBER *et al.* 1998). La cianita es recobrada en los mismos aluviones donde se hallan los corindones e inclusive sirve como indicador para la presencia de estas piedras preciosas. Este mineral es de suma relevancia debido a su intima relación con la génesis del corindón, caracterizándose por su color y exfoliación perfecta según (100) (KLEIN & HURLBUT *op cit.*) (Tabla 2). Ocurre exclusivamente en rocas metamórficas de alto grado como metapelitas, granulitas y eclogitas (MIYASHIRO 1973). De acuerdo con WIRTH *et al.* (2001), el corindón puede formarse como exsolución a partir de la cianita y la datación de esta puede indicar la edad de la mineralización (pero debido a su tamaño no mayor a 2 cm puede manifestar un equilibrio isotópico generado por la roca encajante).

PETROGRAFIA

Se analizaron los xenolitos colectados de aluviones y de la toba, los cuales corresponden a rocas ígneas y metamórficas. En el grupo de las rocas ígneas se encontraron clinopiroxenitas, clinopiroxenitas granatíferas, hornblenditas, lamprófiros, diabásicas, dioritas, dacitas, andesitas y tobas con lamprófiros; y en



LAMINA 3
Formas cristalinas típicas de algunos corindones de Mercaderes (Cauca)

el grupo de las metamórficas se hallaron: granulitas hornbléndicas piroxénicas granatíferas, granulitas piroxénicas hornbléndicas granatíferas, granulitas piroxénicas granatíferas (de acuerdo a la denominación de WEBER & GONZÁLEZ 1993), neises hornbléndicos piroxénicos, esquistos negros, esquistos de tremolita actinolita y cuarcitas.

Rocas ígneas

Clinopiroxenitas:

Se encontraron en forma de

xenolitos en el lamprófiro, destacándose por su color y alto peso específico. Poseen una textura granular holocrystalina de cristales con tamaño medio y forma subhedral en el clinopiroxeno, olivino y ortopiroxeno. Se componen de 80% de diópsido, 10% de olivino, 5 % de enstatita y 5% de opacos. Microscópicamente el diópsido presenta color verde, birrefringencia de tercer orden, carácter óptico positivo y 2V de 80°; el ortopiroxeno tipo enstatita tiene color verde, birrefringencia de segundo orden, carácter óptico positivo y 2V de 75° (Lám. 5a).

Clinopiroxenitas granatíferas:

Encontradas en forma de xenolitos dentro de lamprófiros. Poseen una textura granular holocrystalina con cristales de tamaño medio, y forma subhedral tanto en piroxenos como en granates. Se compone de 50% de clinopiroxeno tipo diópsido, 45% de granate piropo y 5% de serpentina. El clinopiroxeno tipo diópsido, que presenta un 2V de 80°, birrefringencia alta de tercer orden y el granate piropo, se presenta fracturado, con anillos kelíticos e inclusiones de apatito y rutilo (Lám. 5b).

Hornblenditas:

Macroscópicamente presentan textura fanerítica; poseen un color negro y más de un 90% de hornblenda con un 10% restante de piroxenos y apatito.

Lamprófiros:

Poseen textura microgranular traquítica de tamaño fino, grado de cristalinidad hipohialino y piroxenos con forma subhedral. Contienen 40 % de matriz, 35% de plagioclasa tipo labradorita, 15% de augita, 5% de hornblenda y 5% de serpentina. La plagioclasa labradorita posee ángulo de extinción en la macla de la albite de 30°, presentando en algunos casos zonación; el piroxeno, tipo augita, de color verde claro, relieve alto, carácter óptico positivo y 2V superior a 60°; el anfíbolo hornblenda, de color verde claro, pleocroismo débil, extinción oblicua, birrefringencia débil, carácter óptico negativo y 2V de 45°; la serpentina se presenta amorfa, posiblemente como alteración de los piroxenos. En el contacto de los lamprófiros con los xenolitos y xenocristales observamos bordes de reacción de plagioclasa y espinela, esta última con formas octaédricas características (Láms. 5c y 5d).

Diabasas:

Macroscópicamente son de textura

TABLA 1
Asociación de algunos minerales en rocas del área de Mercaderes (Cauca). nd = no determinado

MINERAL	OCCURRENCIA	ASOCIACIÓN	CARACTERÍSTICAS	REFERENCIAS
Almandino	Anfibolitas y granulitas granatíferas	Hornblenda	Color marrón a rojo, anhedral Y con efectos de pirometamorfismo.	Galvis & Cepeda, 1982 Weber & González, 1983
Piropo	Peridotitas y piroxenitas granatíferas	Diópsido crómico	Color rojo, generalmente en cristales euhedrales con forma hexaquisoctaedrica. Conocido como sangre de pichón	Schmarda, 1861 Martinez & García, 1989
Diópsido crómico	Peridotitas y piroxenitas granatíferas.	Piropo	Ocasionalmente se encuentra formando prismas con ocho lados y posee un color verde manzana .	Galvis & Cepeda, 1982 Weber & González, 1993 Bergt, 1889 Martinez & García, 1989
Hornblenda	Anfibolitas granatíferas	Almandino	Es uno de los minerales de mayor abundancia en los aluviones donde se lavan los corindones, se distingue por su color negro y exfoliación.	Galvis & Cepeda, 1982 Weber & González, 1993 Bergt, 1889 Martinez & García, 1989
Ilmenorutilo	Piroxenitas grantíferas	Diópsido crómico	Color gis a negro metálico	En este estudio
Espínela Hercinita	Lamprófiro s y Peridotitas	Corindón y augita	Color verde y amarillo	Weber & González, 1993 Martinez & García, 1989 Keller et al., 1985
Magnetita	Piroxenitas granatíferas	Ilmenorutilo	Se observa en forma de puntos negros en las piroxenitas.	Martinez & García, 1989 Keller et al., 1985
Esfena	Anfibolitas granatíferas y granulitas	Hornblenda	Color amarillo translucido, pocos cristales bien desarrollados	En este estudio
Actinolita-tremolita	Esquistos tremolíticos –actinolíticos	nd	Cristales bien formados de color verde, en forma de prismas en la actinolita y de color blanco con forma fibrosa en la tremolita	Galvis & Cepeda, 1982 Martinez & García, 1989
Cuarzo lechoso	Esquistos grafitosos	Epídota	Color Blanco	Martinez y García, 1989 Galvis y Cepeda, 1982
Agata	nd	nd	Forma interna musgosa	En este estudio
Hialino	Dacita	Lamprobolita	Cristales bipiramidales euhedrales	Weber y Gonzales, 1993
Serpentina	Piroxenitas granatíferas	Piroxeno tipo augita	Forma hojas pequeñas de color amarillo	Weber & González, 1993
Olivino	Peridotitas granatíferas y piroxenitas.	Magnetita, Augita y Espinela	Cristales anhedrales de color verde oscuro	Weber & González, 1993
Epídota	Esquistos verdes	Cuarzo y tremolita – actinolita	Aparece como manchas verdosas	Weber & González, 1993 Martinez & García, 1989 Galvis & Cepeda, 1982
Cianita	Rocas metamórficas de alto grado como metapelitas y granulitas	nd	De color azul claro con forma tabular y de buena exfoliación	En este estudio

porfirítica, color verde, y se componen de un 85% de matriz y 15 % de pequeños cristales de piroxenos; ocasionalmente presentan venas de cuarzo y calcita.

Dioritas:

Macroscópicamente son de textura fanerítica, color blanco grisáceo y se componen de 65% de plagioclasa y 35% de hornblenda.

Riodacitas:

Poseen textura microgranular, cristales de tamaño fino a medio, hipocristalinas y con forma subhedral a anhedral para la plagioclasa y el cuarzo. Están formadas por 45% de matriz, 15 % de cuarzo (beta), 20 % de feldespato plagioclasa tipo oligoclasa, 15% de sanidina, 3 % de sericitita y 2% de caolín. La plagioclasa, de acuerdo a sus características ópticas y especialmente por su ángulo de extinción de 10°

es oligoclasa, presentando, al igual que el cuarzo, efectos de cataclasis con fracturas llenas por óxidos de hierro. La sanidina se caracteriza por presentar una pátina de color café claro y estar maclada según Carslbad (Lám. 5e).

Andesitas:

Macroscópicamente son de textura porfirítica, color café oscuro y se componen de una matriz con un 75 % y cristales de andesina en un 25 %.

Tobas Vítreo Cristalinas:

Presentan textura microgranular con una matriz criptocristalina y cristales de tamaño medio, plagioclásas con formas subhédrales y forma anhedral para el anfíbol y el piroxeno. Se componen de 50% de matriz, 35% de cristales (cuarzo 5%, anfíbol 10%, piroxeno 5%, plagioclasa 18% y serpentina 2%) y 15% de líticos (cuarcitas 5%, anfibolitas 2%, piroxenitas 5% y esquistos 3%). La distribución de los cristales y líticos es caótica. Este tipo de rocas son característicos de la unidad B (Lám. 5f).

Rocas metamórficas

Granulitas hornbléndicas piroxénicas granatíferas:

Su textura es masiva, pertenecen a la facies granulita y están constituidas por 40% de hornblenda, 30% de clinopiroxeno augita, 20% de andesina y 10% de granate almandino. La hornblenda presenta fuerte pleocroismo, color verde a café, extinción oblicua, relieve alto, birrefringencia de tercer orden, carácter óptico positivo y 2V de 80°; el granate presenta forma euhedral a subhedral, fracturas e inclusiones de rutilo y apatito; el clinopiroxeno augita posee extinción oblicua, relieve alto, birrefringencia de tercer orden, carácter óptico positivo, 2V de 75° (excepcionalmente alto), y por último la plagioclasa (andesina) con ángulo de extinción de 19° en la macla de la albata.

Granulitas piroxénicas hornbléndicas granatíferas:

Su textura es masiva, pertenecen a la facies granulita y están compuestas de 45% de clinopiroxeno augita, 25% de anfíbol hornblenda, 30 % de granate almandino y 5% de plagioclasa andesina; sus características son similares a las granulitas hornbléndicas piroxénicas granatíferas (Lám. 6a).

Granulitas piroxénicas granatíferas:

De textura masiva, pertenecen a la facies granulita y se componen de 55% de augita, 30% de almandino, 10% de labradorita y 5% de hornblenda (Láms. 6b y 6c). La augita posee las mismas características de las dos granulitas anteriormente descritas, cambiando sólo el 2V a 80°; el anfíbol se presenta como alteración del piroxeno y la plagioclasa con un ángulo de extinción en la macla de la albata de 35°, presenta inclusiones de rutilo, similares a las

encontradas en el corindón. Cabe anotar que a medida que la granulita se vuelve más piroxénica la plagioclasa se enriquece en calcio.

Neises hornbléndicos piroxénicos:

Su textura es nefísica, pertenecen a la facies granulita y poseen 10 % de augita, 65% de hornblenda, 20% de oligoclasa, 5% de esfena y circón (Láms. 6d y 6e). La augita presenta carácter óptico positivo y 2V de 75°; la hornblenda se distingue por su exfoliación, carácter óptico negativo y 2V de 80°; el circón se identifica por su alto relieve y birrefringencia.

Esquistos de tremolita – actinolita:

Su textura es esquistosa y pertenecen a la facies esquisto verde; están constituidos de 45% de tremolita y 55 % de actinolita (Lám. 6f). La tremolita se presenta como agregados fibrosos, birrefringencia débil; la actinolita tiene extinción oblicua, carácter óptico negativo y 2V de 75°.

Esquistos negros:

Macroscópicamente tienen una textura esquistosa, poseen un color negro y se componen de minerales arcillosos y orgánicos en ocasiones con venas de cuarzo y calcita. Pertenecen a la facies esquisto verde (según MIYASHIRO 1973).

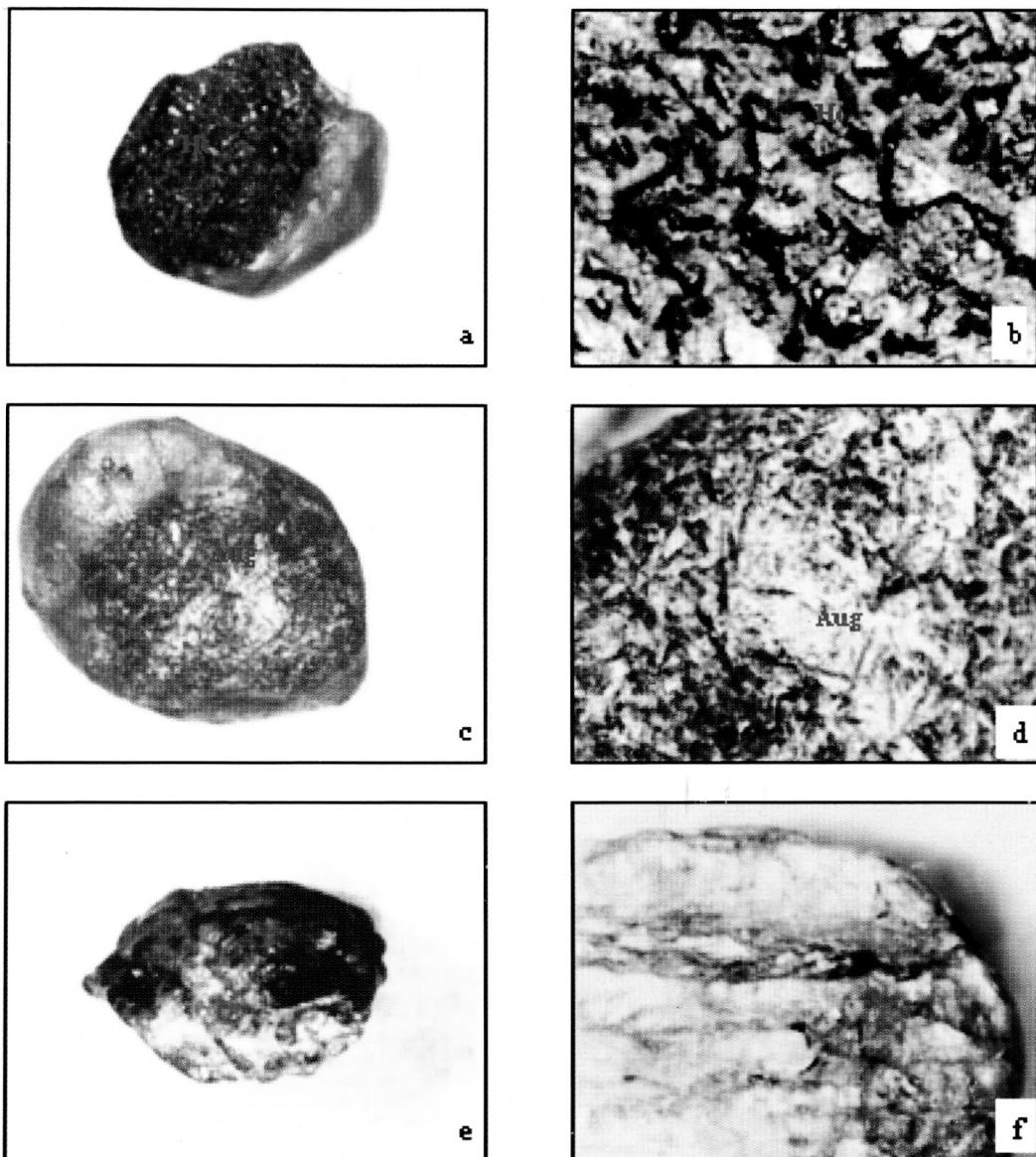
Cuarcitas:

Macroscópicamente son de textura esquistosa con color gris y se componen de 90% de cuarzo recristalizado y 10% de mica moscovita.

GEMOLOGIA

Los corindones observados poseen color amarillo, rosa, rosado azulado, rojo, violeta, azul y azul violáceo; estos últimos son característicos de Mercaderes. El análisis espectrométrico reveló líneas de absorción entre 450 nm y 460 nm (Tabla 2), para los corindones de color azul donde hay transferencia de carga Fe^{2+} – O^- – Ti^{4+} ; también se presentan líneas a 470 nm en materiales de color azul violáceo producido por la transferencia de carga de Fe^{2+} – O^- – Ti^{4+} en presencia de Cr^{3+} en coordinación octaédrica; otras líneas a 520 nm son típicas de corindones de color amarillo lo cual es producto de la transferencia de carga de $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$; y líneas a 600 nm en materiales de color rojo y rosado debido a la presencia de Cr^{3+} en coordinación octaédrica, con una mínima participación de V^{3+} y Fe^{3+} en el mismo estado de coordinación.

La refractometría indicó una variación en los índices de 1,76 a 1,77, coincidiendo con los valores relacionados por KELLER *et al.* (1985), de 1,762 a 1,770. La reacción a la



LAMINA 4

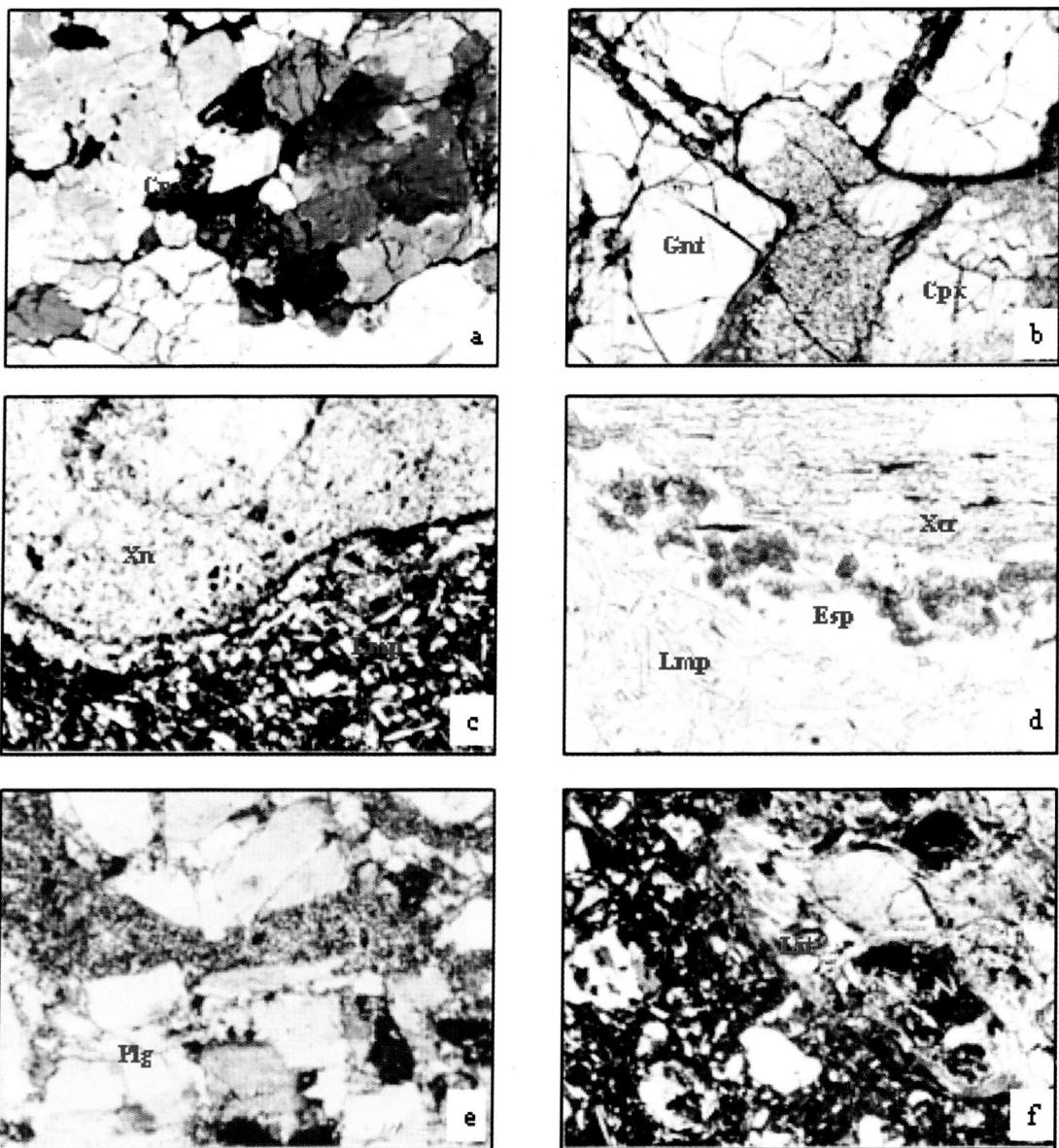
Roca encajante y minerales asociados. a) Corindón variedad rubí con roca encajante y cristales de hercinita, 6,5 X; b) Roca encajante y cristales de hercinita, 25 X c) Zafiro con roca encajante y cristales de augita, 6,5 X; d) Roca encajante y cristales de augita, 25 X; e) Piroxenita granatífera, 6,5 X y f) Cianita, 6,5 X. Hc: Hercinita y Aug: Augita.

luz ultravioleta ocurre en onda larga (LW), ya que los materiales fueron inertes ante la luz UV de onda corta (SW); dicha reacción en LW se manifestó por un cambio de los corindones de color azul violáceo a violeta rojizo; en los cristales rosados y rojos a un color rojo más intenso y en los azules a azul violeta (Tabla 2). En estudios de peso específico se observó un leve incremento de 3.9 a 4.0, aumento asociado posiblemente a la existencia de inclu-

siones.

INCLUSIONES CRISTALINAS

Denomínase inclusión cristalina a todos los sólidos presentes dentro de un mineral, término diferente de inclusión fluida que denota líquidos, minerales de saturación dentro de la fase liquida "inclusa" y gases. Su origen está



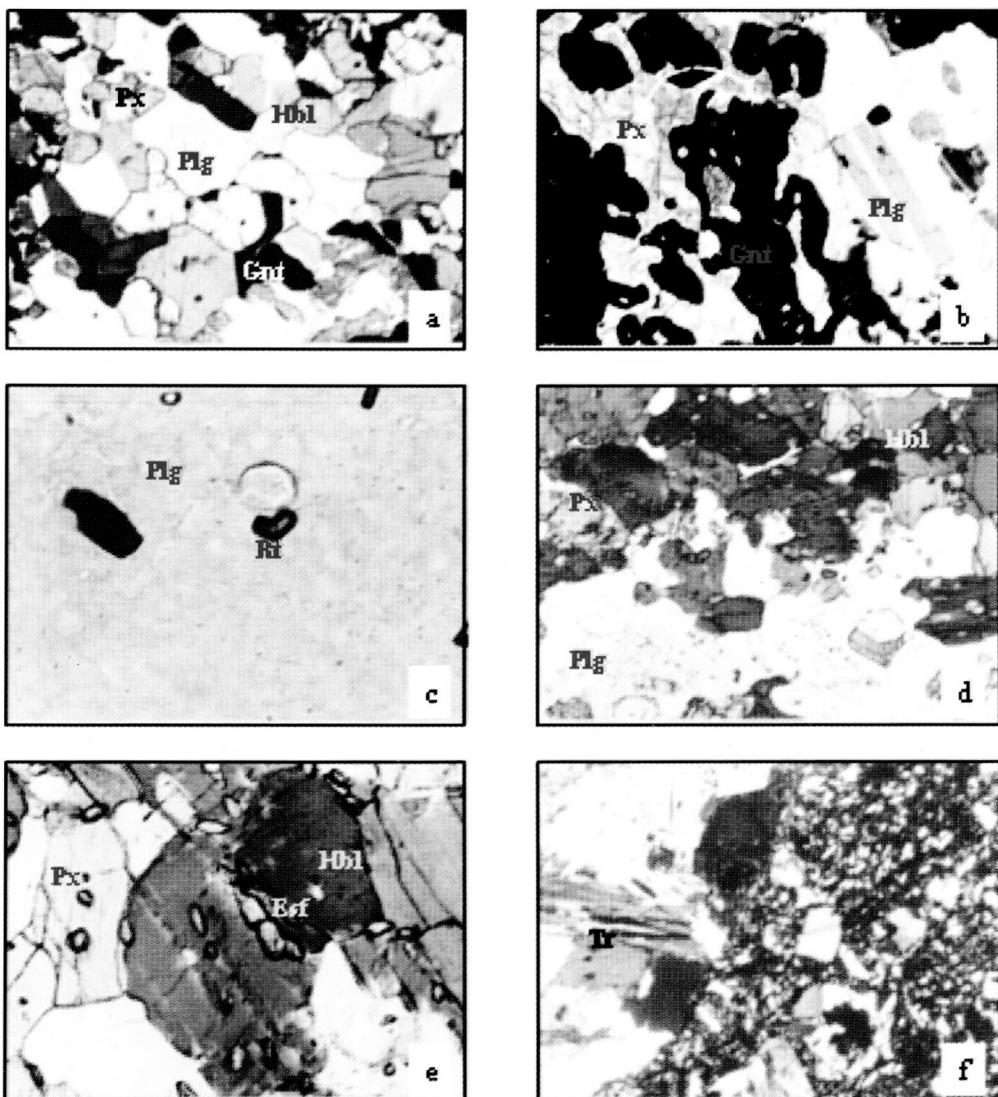
LAMINA 5

Petrografía de Rocas Igneas. a) Clinopiroxenita, 40X; b) Clinopiroxenita granatífera, 40X; c) Lamprófiro con xenolito de roca ultramáfica, 40X; d) Corona de espinela en contacto del lamprófiro con xenocristal ultramáfico, 100X; e) Riodacita con cristales de plagioclasa fracturados, 100X y f) Toba vítreo - lítica, 40X. Cpx: Clinopiroxeno, Gnt: Granate, Lmp: Lamprófiro, Xcr: Xenocristal, Esp: espinela, Plg: Plagioclasa y Lit: Líticos.

asociado con su carácter primario, secundario o seudosecundario; es decir, su formación es restringida al momento de cristalización o fenómenos posteriores tales como metamorfismo, brechamiento y fallamiento, entre otros.

Una inclusión cristalina permite sugerir que el fluido

mineralizante en su proceso de migración incorporó iones o minerales que podrían estar presentes en la roca encajante. Para su descripción utilizamos la terminología propuesta por GÜBELIN & KOIVULA (1992) para inclusiones en gemas, usando los términos protogenética, singenética y diagenética.



LAMINA 6

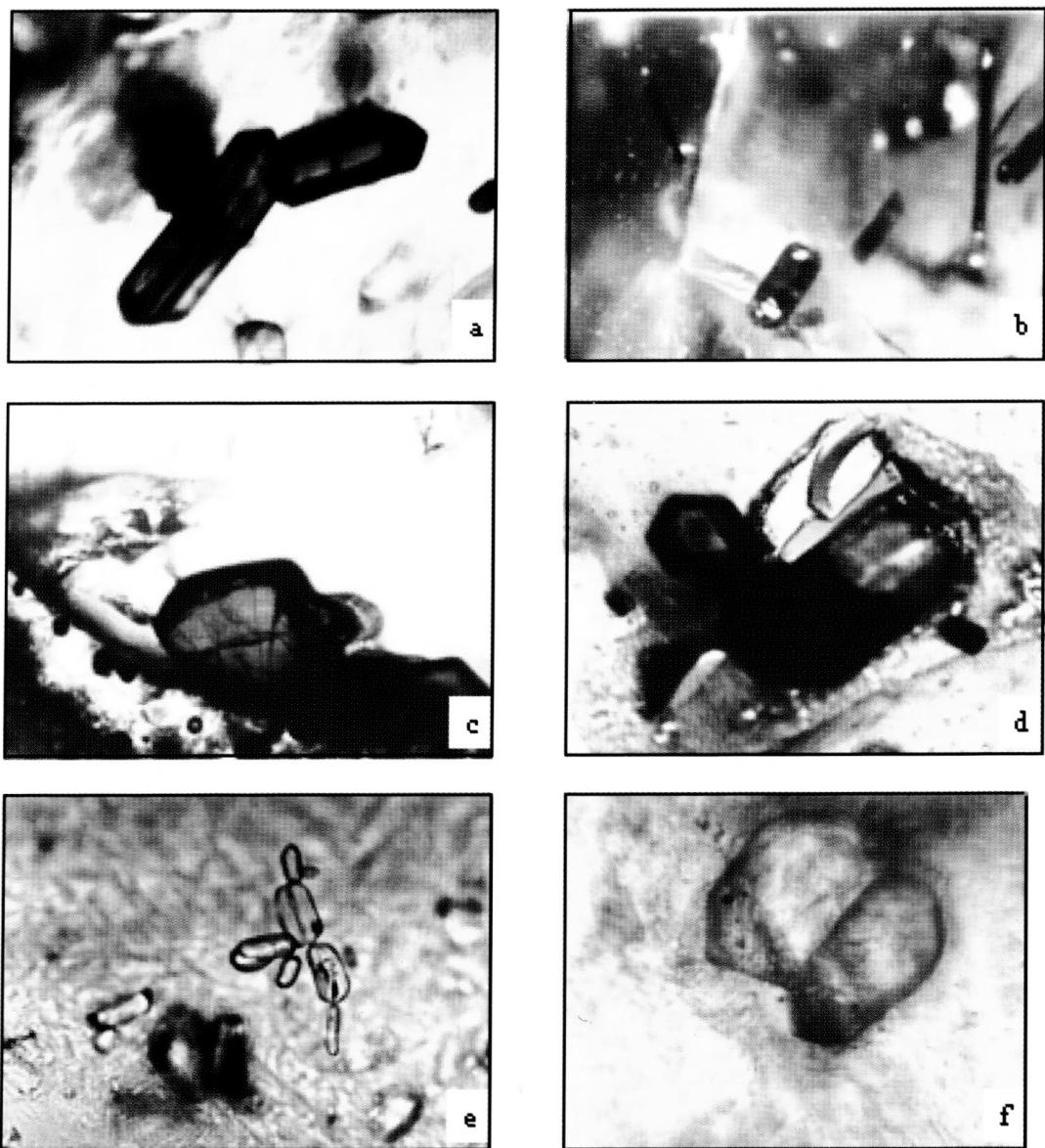
Petrografía de rocas metamórficas. a) Granulita piroxénica hornbléndica granatífera, 40X; b) Granulita piroxénica granatífera, 100X; c) Inclusión de rutilo en plagioclasa de una granulita piroxénica granatífera, 100X; d) Neis hornbléndico piroxénico, 40X; e) Esfena en neis, 100X y f) Esquisto de Tremolita - actinolita 40X. Px: Piroxeno, Hbl: Hornblenda, Gnt: Granate, Plg: Plagioclasa, Rt: Rutilo, Zr: Circón y Tr: Tremolita.

En la descripción de inclusiones cristalinas en corindones asociados a basaltos y lamprófiros se reporta la existencia de inclusiones de circón, apatito, albita, espinela, pirrotita, pirita, calcita, dolomita, flogopita, moscovita, biotita, turmalina, grafito, columbita, pirocloro, almandino, ortoclasa, ilmenorutilo y oligoclasa (Guo *et al.* 1996).

En los materiales de Mercaderes pudimos determinar la presencia de inclusiones cristalinas de rutilo (Lám. 7a),

brookita (Lám. 7b), almandino - piropo (Láms. 7c y 7d), apatito (Lám. 7e) y circón (Lám. 7f); además, KELLER *et al.* (1985) mencionan la existencia de cornerupina y turmalina, así como WEBER & GONZÁLEZ (1993) de corindón y piroxeno.

El rutilo muestra formas alargadas y maclas en forma de codo, no presenta reacción con el corindón siendo por tanto singenético y su presencia como inclusión es común



LAMINA 7

Inclusiones cristalinas en corindones. a) Rutilo, 100X; b) Brookita, 100X; c) Piropo, 100X; d) Piropo con forma dodecaédrica, 100X; e) Apatito, 100X y f) Zircón, 100X.

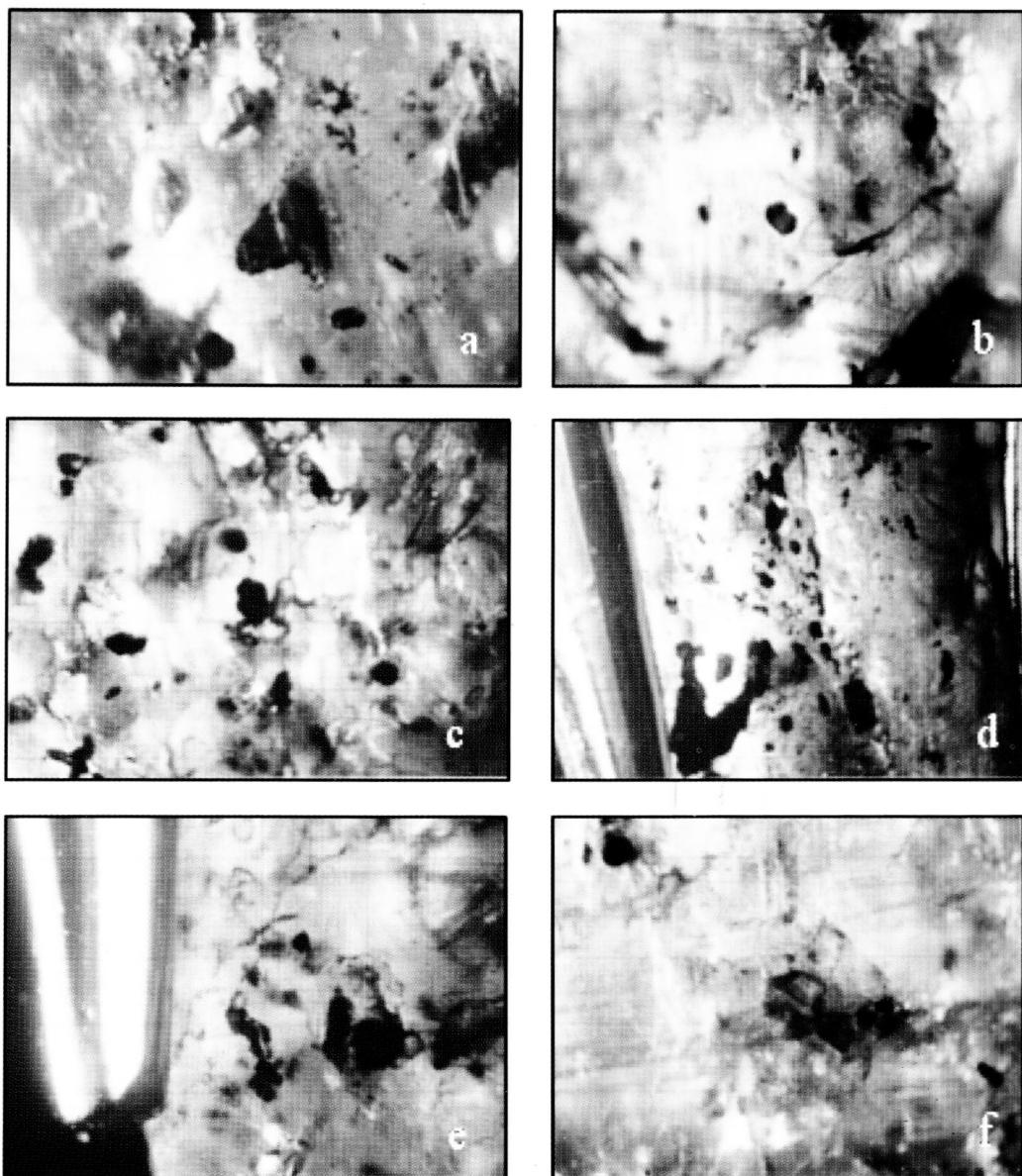
en los granates del tipo piropo – almandino de las piroxenitas granatíferas y algunas granulitas encontradas en la zona.

La brookita, un polimorfo del TiO_2 , se encuentra al igual que el rutilo en forma de cristales alargados pero sin maclas.

El almandino - piropo es una subespecie rica en magnesio de la serie de los granates, ocurre en rocas ígneas como kimberlitas, peridotitas y piroxenitas, y en

metamórficas como anfibolitas, granulitas y eclogitas (KLEIN & HURLBUT 1996); se distingue por su color rojo oscuro y formas dodecaédricas características, presentándose en las granulitas piroxénicas granatíferas (donde la composición puede ser más almandínica), además de peridotitas y piroxenitas granatíferas.

El apatito es común como accesorio de rocas ígneas y metamórficas, y en forma de inclusión en cristales de piropo.



LAMINA 8

Inclusiones en la cianita de Mercaderes - Cauca.

a) inclusión de rutilo 40X; b) inclusión de rutilo rojo 40X; c) rutilo maclado 40X; d) inclusiones de rutilo, 40X; e); inclusiones de rutilo y zircón, 40X. y f) intercrecimiento con corindón ? 100X.

El circón es común en rocas ígneas y metamórficas tales como esquistos y neises; identificado en este estudio como accesorio de los neises hornbléndicos piroxénicos y en algunas clinopiroxenitas

La presencia de inclusiones sólidas compuestas por el propio corindón, dentro de cristales mayores de ese mismo mineral, sugiere más de una etapa de cristalización,

anterior o simultánea a otros pulsos de cristalización.

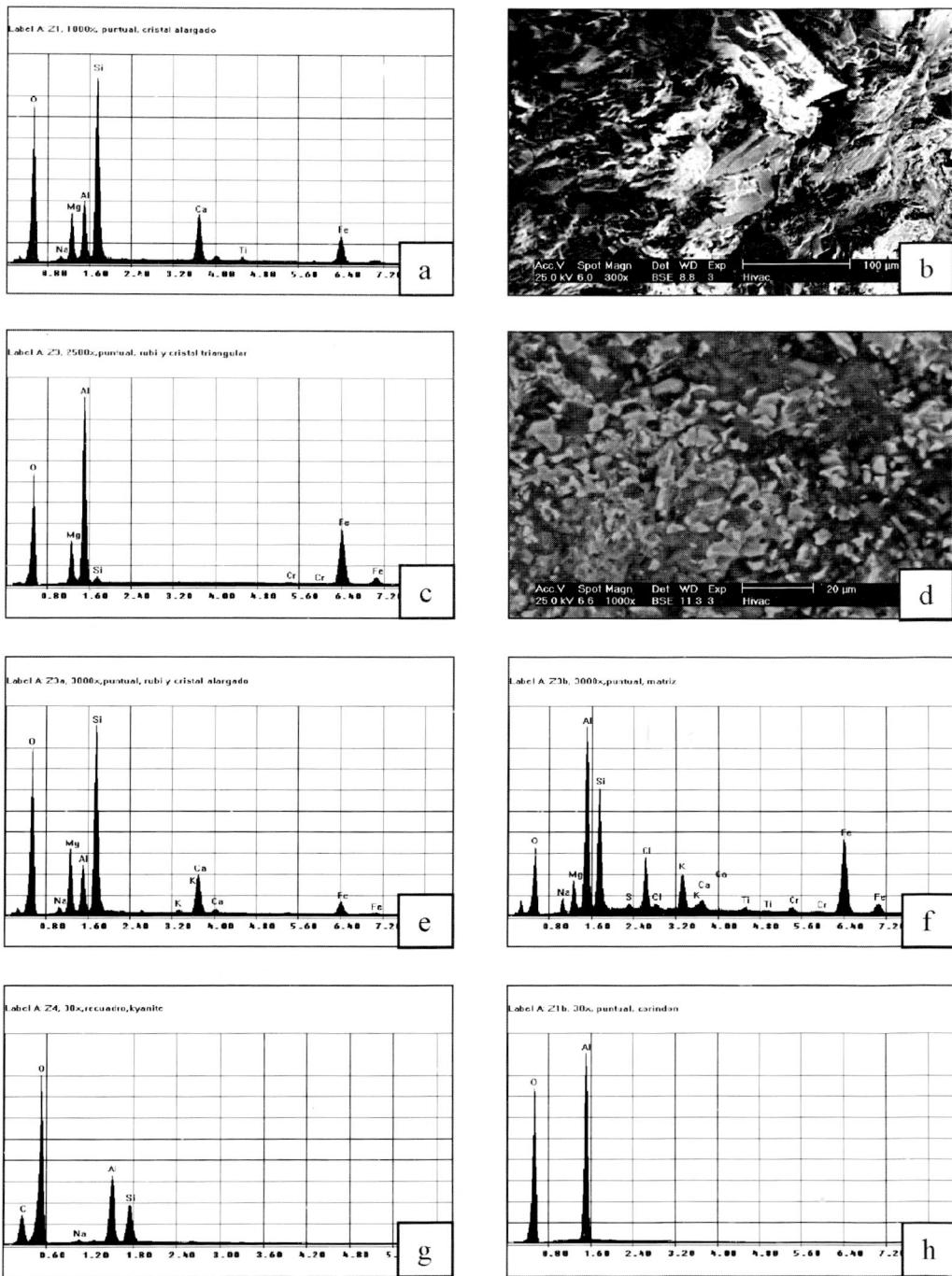
La cianita presenta inclusiones que son similares a las encontradas en los corindones, como rutilo (láms. 8a, b, c y d), circón (lám 8 e) e intercrecimiento con un mineral que semeja las características físicas del corindón (lám. 8f).

Los corindones también manifiestan dos característi-

TABLA 2

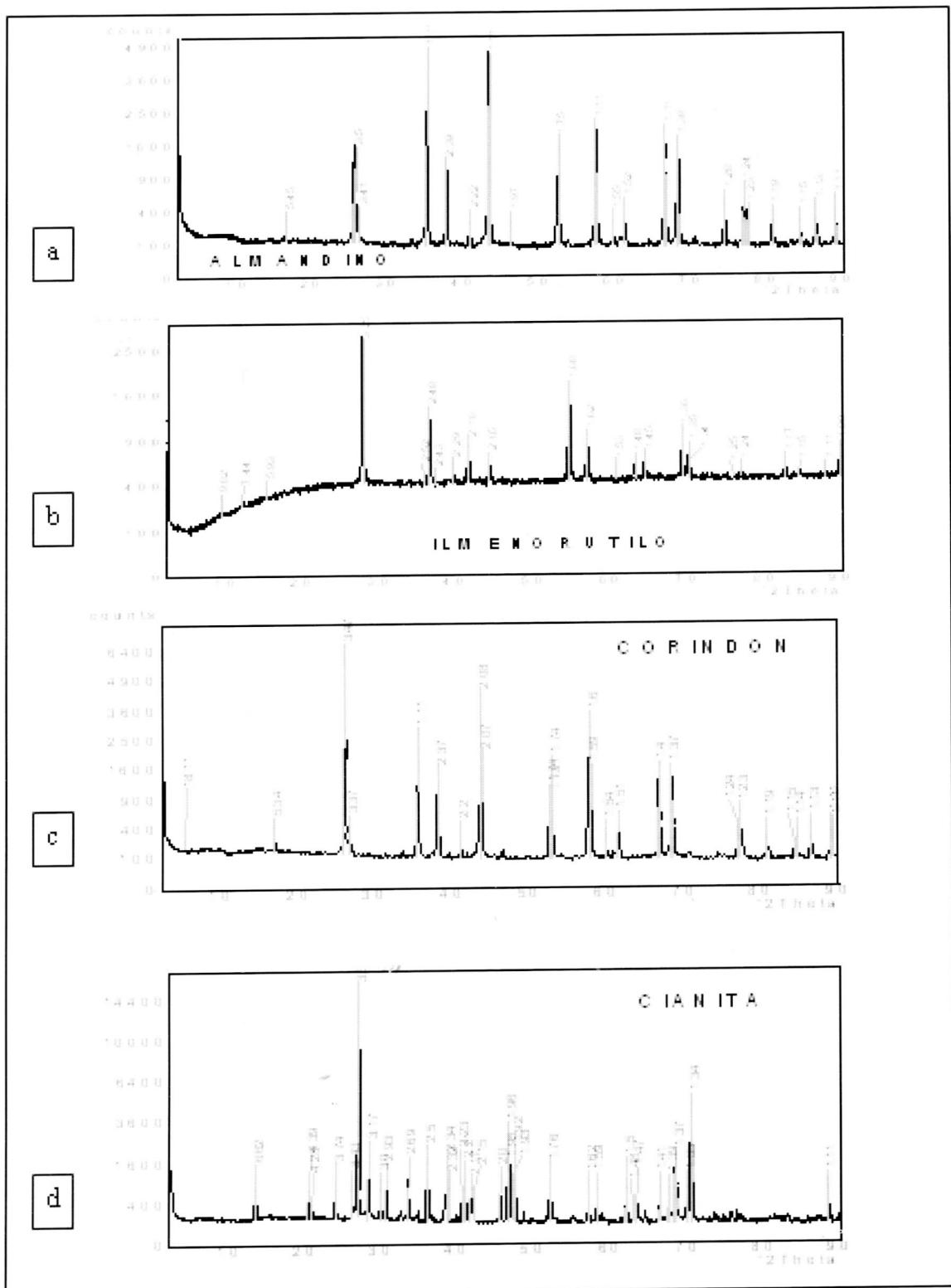
Características físicas de algunos corindones y minerales asociados de Mercaderes (Cauca). nd = no determinado; nm = nanometros; uv = ultravioleta; lw = onda larga; gr = gramos; ct = quilates

Muestras	Color	Espectro en Líneas / Bandas (nm)	Indice de refracción	Reacción a la luz UV en LW	Peso	Observaciones
Corindón 1	Azul	450 y 460	1,77	Cambia a violeta	1.621 ct	Lapidado
Corindón 2	Azul violáceo	460 a 470	1,76	Cambia a violeta rojizo	1.640 ct	Lapidado
Corindón 3	Azul violáceo	460	1,77	Cambia a violeta rojizo	1.190 ct	Lapidado
Corindón 4	Azul violáceo	460 a 470	1,76	Cambia a violeta rojizo	1.228 ct	Lapidado
Corindón 5	Azul oscuro	450	1,77	Cambia a violeta	0.778 ct	Lapidado
Corindón 6	Rosado azulado	460 y 600	1,77	Cambia a rojo	0.692 ct	Lapidado
Corindón 7	Blanco azulado	450 a 470	1,76	Cambia a violeta rojizo	1.221 ct	Lapidado
Corindón 8	Rojo	460 y 550 - 600	1,77	Cambia a rojo más fuerte	0.607 ct	Lapidado
Corindón 9	Rosado Rojo	470 y 570	1,77	Cambia a rojo	0.459 ct	Lapidado
Corindón 10	Amarillo	520 y 600	nd	Cambia a Verde	-	Cristal
Corindón con inclusiones	Azul	nd	nd	nd	0.352 gr	Cristal
Cianita	Azul claro	440	1,725	No se observa	0.158 gr	Índice determinado por inmersión
Esfena	Amarillo	500	nd	No se observa	0.166 gr	Cristal
Cuarzo	Incoloro	630	nd	No se observa	0.056 gr	Bipiramidal
Almandino	Café rojizo	Sombreado hasta 500	nd	No se observa	0.248 gr	Cristal
Piropo	Rojizo	Sombreado hasta 500 y líneas en 600 y 650.	nd	No se observa	0.172 gr	Cristal
Augita	Verde	Sombra hasta 550 y en 670	nd	No se observa	0.118 gr	Cristal



LAMINA 9

Estudio espectrométrico. a) Análisis composicional de cristal de corindón en contacto con augita; b) microfotografía de cristal de corindón en contacto con augita (300X); c) Análisis composicional de cristal de corindón en contacto con espinela (hercinita); d) microfotografía de hercinita en contacto con corindón (1000X); e) Análisis composicional de cristal de augita en contacto con hercinita y corindón; f) análisis composicional de alteración del piroxeno augita; g) análisis composicional de cianita; h) análisis composicional de corindón.



LAMINA 10
Análisis difractrométrico. a) Almandino, b) Ilmenorutilo, c) Corindón y
d) Cianita.

TABLA 3

Resultados de análisis con microscopía electrónica de barrido y difractometría. Los contenidos de carbono en el diópsido crómico y en la cianita se deben probablemente a contaminación

Mineral	Microscopía Electrónica de Barrido (Wt %)	Difractometría (d - spacing Å)
Corindón	O: 59.66, Al: 40.34.	2.54 - 2.08 - 1.6
Cianita	C:18.51, O: 62.22, Na:1.08, Al: 11.08, Si: 7.10.	3.33 - 3.18 - 1.34
Espinela (Hercinita)	O: 30.03, Mg: 8.73, Al: 33.33, Si: 1.75, Cr: 0.49, Fe: 25.58.	
Diópsido - Crómico	C: 6.58, O:42.04, Na: 0.90, Mg: 6.95, Al:3.08, Si: 24.03, K: 0.96, Ca: 12.09, Cr: 1.03, Fe: 2.14.	
Serpentina	O: 19.04, Na: 2.77, Mg: 4.43, Al: 19.85, Si: 16.04, S: 1.14, Cl: 6.38, K: 4.82, Ca: 1.49, Ti: 0.72, Cr: 1.16 Fe: 22.16.	
Ilmenorutilo		3.23 - 2.48 - 1.68
Granate (Almandino)		2.57 - 2.09 - 1.61

cas superficiales las cuales son distintivas de terrenos basálticos donde la fusión parcial y el transporte generan formas superficiales, como las impresiones de espinela con formas triangulares sobre la superficie de este óxido, aunque se contempla la idea que dichas formas pueden ser el producto del cubrimiento de las plagioclasas pertenecientes al flujo basáltico (KRZEMICKI *et al.* 1996); la abrasión mecánica indicada por la fractura concoide, sugiere procesos de transporte. Las inclusiones fluidas se pudieron observar y clasificar como monofásicas y bifásicas, con tamaños pequeños y formas agudas rellenando generalmente fracturas y cicatrices (Láms. 2e y 2f).

MODELO GENÉTICO

El origen de los corindones en basaltos y lamprófiros es difícil de explicar; sin embargo, el análisis de inclusiones, características superficiales y minerales asociados proporcionan la clave para su entendimiento, teniendo en cuenta que los corindones son fragmentos accidentales de corteza arrastrados a la superficie por los lamprófiros (Guo *et al.* 1996).

Guo *et al.* (*op. cit.*) sugieren, para trabajos sobre corindones asociados a basaltos en Australia (Nueva Gales del Sur y Queensland), China (Hainan, Fujian, Jiangsu y Shandong), Thailandia (Kanchanaburi) y Estados Unidos(Arizona) que la interacción de dos tipos de magmas: uno de tipo granítico alcalino (o sienítico) y otro

de tipo carbonatítico, pueden explicar la presencia de las inclusiones encontradas en ese estudio (como óxidos de Nb-Ta, feldespatos alcalinos, plagioclasas bajas en Ca, circón, sulfuros de Fe y Cu, y fosfatos ricos en Th), lo cual correspondería a un modelo ígneo.

LEVINSON & COOK (1994) proponen la formación de corindones a partir de shales, lateritas y materiales ricos en aluminio como bauxitas, que al encontrarse en zonas de subducción sufren metamorfismo y cristalizan el corindón, junto con otros materiales que ascienden gracias a la acción de un flujo magmático.

WEBER & GONZÁLEZ (1993) argumentan que en las rocas de facies granulita se encuentra la roca que da origen a los corindones de Mercaderes, basados en el hecho de encontrar inclusiones como rutilo, esfena y apatito e intercrecimiento con granate, piroxero y hornblenda. Tanto LEVINSON *et al.* (1994) como WEBER & GONZÁLEZ (*op. cit.*) proponen un modelo genético metamórfico.

El modelo genético propuesto en este estudio es respaldado por las inclusiones, las características superficiales y los minerales asociados. Las inclusiones cristalinas de rutilo, circón, apatito y almandino - piropo no presentan indicios de desequilibrio ni corrosión cuando son encontradas en contacto con el corindón, siendo por tanto singenéticas con este ultimo (Láms. 10a y 10c); estos minerales son comunes en rocas metamórficas que incluyen granulitas, neises, eclogitas, y en rocas ígneas como

peridotitas y clinopiroxenitas granatíferas (Tabla 3).

La hercinita encontrada en la superficie del corindón sería el producto del contacto con el lamprófiro (Láms. 9c, 9d y Tabla 3), aunque según BUCHER & FREY (1994) este mineral se presenta frecuentemente en las granulitas máficas y su presencia es indicadora de bajas presiones dentro de la facies granulita.

La augita se presenta en lamprófiros, granulitas y clinopiroxenitas granatíferas, manifestándose en forma de cristales en los zafiros (Láms. 9a y 9b) y rubíes (Lám. 9e); además, alrededor de los cristales posee serpentina que posiblemente sea el producto de la alteración del piroxeno (Lám. 9f). Sin embargo, la presencia de ilmenorutilo como mineral asociado al corindón, concuerda con un origen de tipo ígneo que se ha reportado en anortoclasitas como en el caso de algunas localidades en Escocia (UPTON *et al.* 1999). Este tipo de rocas no ha sido observado en la localidad de Mercaderes, pero el rutilo puede incorporar en su estructura el niobio y el tantalio necesarios para formar el ilmenorutilo y es posible que a este último lo observemos como mineral accesorio en las muestras de roca o como inclusión en los corindones y la cianita. Este mineral puede ser de gran interés económico tanto por su alto contenido en titanio como por el niobio y tantalio que posee (Lám. 10b, Tabla 3).

La asociación corindón - cianita se demuestra por el hallazgo de inclusiones de rutilo y circón en cianita e intercrecimientos con corindón. La cianita encontrada como mineral asociado al corindón no solo ayuda a definir un origen metamórfico del mismo, sino que enfatiza su génesis en rocas metamórficas de alto grado como en las granulitas (Láms. 9g, 10d y Tabla 3). Por tanto, nos reafirmamos en la idea que las rocas de facies granulita pueden ser la roca origen de los corindones, tal como lo proponen WEBER & GONZALEZ (1993).

CONCLUSIONES

* Los corindones de Mercaderes se encuentran en la denominada Toba Granatífera, específicamente en las Unidades A y Miembros inferior y medio de la unidad B.

* De acuerdo con las inclusiones de rutilo y almandino - piropo, además de minerales asociados como cianita y augita, un ambiente relacionado con las granulitas piroxénicas podría ser la fuente que permitió la mineralización del corindón. El hallazgo de inclusiones de rutilo, circón e intercrecimiento con el corindón, dentro de la cianita son indicios de la asociación corindón - cianita. Este aluminosilicato se presenta en rocas metamórficas

de alto grado, que en la localidad de Mercaderes estarían representadas por las rocas de la facies granulita.

* Aunque el ilmenorutilo sea un mineral de común ocurrencia en rocas como anortoclasitas (UPTON *et al.* 1999), este mineral podría confundirse con el rutilo, encontrado como mineral accesorio de algunos xenolitos de la corteza inferior y en algunas inclusiones en el corindón y la cianita.

* El ilmenorutilo puede ser un mineral de interés económico debido a su concentración no solo de titanio sino de niobio y tantalio.

RECOMENDACIONES

Para una caracterización definitiva de las inclusiones y su relación con las rocas encontradas en la zona, se hace necesario un estudio detallado que incluya análisis químicos y físicos, tema de investigación que se encuentra en curso y será tratado en futuras publicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de la empresa GEMTEC Ltda, a los profesores Ennio Galviz por su asesoría en la microscopía electrónica de barrido (Ingeominas), Jimmy Fernández Lamus (Agustín Codazzi) y a las profesoras Gloria Rodríguez, Ana Elena Concha, Carlos Macía de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá y Marion Weber de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín por sus conceptos relacionados con la petrografía y comentarios acerca del modelo genético.

REFERENCIAS

- ARANGO, C.J. & PONCE, M.A. (1980a) Mapa geológico del departamento de Nariño, Escala: 1:400.000.- Ingeominas, Bogotá.
- ARANGO, C. J. & PONCE, M. A. (1980b) Mapa geológico del departamento de Nariño, Escala: 1:400.000, Memoria explicativa.- Ingeominas, 40 p., Bogotá.
- BANK, H.; SCHMETZER, K. & MAES, J. (1978): Durchsichtiger, blau - rot changierender Korund aus Kolumbien.- Gemmol. Ges., No. 27, vol. 2, p. 101-102, Berlin.
- BARROT, N.R.; FLAMINI, A.; GRACIANI, G.& GUBELIN, E.J. (1989): Star sapphire from Kenya.- The Journal of Gemmology, n. 21, p. 467 – 473, Londres.
- BUCHELY, F. & ORTIZ, H. (1977): Geología general y mineralización de la parte oriental de la cuenca del Patía, municipio de Mercaderes y San Pablo (Trabajo de Grado).- 110 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- BUCHER K. & FREY M. (1994): *Petrogenesis of Metamorphic Rocks.*- 319 p., Springer –Verlag, Berlín.
- COENRAADS, R.R. (1992): Surface features on natural rubies and

- sapphires derived from volcanic provinces.- *The Journal of Gemology*, n. 23: p. 151 –160, Londres.
- FRITSCH, E. & ROSSMAN, G. R. (2001): L'Origine de la couleur dans les gemmes.- *Revue de Gemmologie A.F.G.*, n. 143, p. 26 – 34, París.
- FURUI, W., (1988): The sapphires of Penglai Hainan island, China.- *Gems & Gemology*, n. 88, p. 155 – 160, Los Angeles, U.S.A.
- GALVIS, J. & CEPEDA, H. (1982): Pirometamorfismo en xenolitos en las vulcanitas cenozoicas del sur de Colombia.- *Geología Norandina*, n. 5, p. 13-17, Bogotá
- GUO, J., O'REILLY, S.Y. & GRIFFIN, W.L. (1996): Corundum from basaltic terrains: a mineral inclusion approach to the enigma.- *Contribution to Mineral Petrology*, n. 122, p. 368 – 386.
- GÜBELIN, E. & KOIVULA, J. (1992): *Photoatlas of inclusions in gemstones*.- 532 p., ABC Editors, Zurich.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (1996): *Atlas Digital de Colombia*, Bogotá.
- JOHNSON, M.; KOIVULA, J.; McCLURE, S.; DeGHIIONNO, D. (2000): Rubies (and sapphires) from Colombia.- *Gems & Gemmology*, n. 100, p. 268, Los Angeles, U.S.A.
- KANE, R.E.; McCLURE, S.F.; KAMMERLING, R.C.; KHOAN, N.D.; REPETTO, S; KHAIN, D. & KOIVULA, J. (1991): Rubies and fancy sapphires from Vietnam.- *Gems & Gemmology*, n. 91, p. 136 –155, Los Angeles, U.S.A.
- KELLER, P.C.; KOIVULA, J. & JARA, G. (1985): Sapphire from the Mercaderes – Río Mayo área, Cauca – Colombia.- *Gems & Gemmology*, n. 85, p. 20 –25, Los Angeles, U.S.A.
- KEY, R.M. & OECHIENG, J. O. (1991): The growth of rubies in Southeast Kenya.- *The Journal of Gemology*, n. 22, p. 484 – 496, Londres.
- KLEIN, C. & HURLBUT, C. (1996): *Manual de Mineralogía de Dana*.- Tercera Edición, 679 p., Reverte, Barcelona.
- KOLLER, B. (1983): Geochemistry and subsurface temperatures calculated from the Na/K/Ca Geothermometer of some hot springs associated with the Tertiary – Quaternary volcanism of southwestern Colombia.- *Geología Norandina*, n. 8, p. 13 – 19, Bogotá.
- KROONENBERG, S.; PICHLER, H. & DIEDERIX, H. (1982): Cenozoic alkalibasic to ultrabasic volcanism in the uppermost Magdalena Valley, Southern Huila Departament, Colombia.- *Geología Norandina*, n. 5, p. 19 – 26, Bogotá.
- KRZEMICKI, M.S.; HANNI, H.A.; GUGGENHEIM, R. & MATHYS, D. (1996): Investigations on sapphires from an alkali basalt South West Ruanda.- *The Journal of Gemology*, n. 25, p. 90 – 105, Londres.
- LEVINSON A. & COOK F. (1994): Gems Corundum in Alkali Basalt: Origin and Occurrence.- *Gems & Gemology*, n. 94, p. 253 – 262, Los Angeles, U.S.A.
- LLERAS CODAZZI,R. (1927): *Los minerales de Colombia*.- 150 p., Imprenta Nacional, Bogotá.
- _____. (1929): *Notas adicionales sobre los minerales y las rocas de Colombia*.- 50 p., Imprenta Nacional, Bogotá.
- MARTÍNEZ, C.E. & GARCÍA, S.R. (1989): *Cartografía geológica y prospección de minerales semipreciosos en los municipios de Mercaderes (Cauca) y la Unión (Nariño)* (Trabajo de Grado).- 157 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- MEDENBACH, O. & SUCCIECK – FORNEFELD (1990): *Minerales*.- 287 p., Blume, Barcelona.
- MEISSNER, R. O., FLUEH, E.R., STIBANE, F. & BERG, E. (1976): Dynamics of the active plate boundary in southwest Colombia according to recent geophysical measurements.- *Tectonophysics*, v. 35, p. 115-136, Amsterdam.
- MIYASHIRO, A.,(1973): *Metamorphism and Metamorphic Belts*.- 419 p., William Clowes & Sons., London.
- MONTERO, M.A. (1993): Estudio mineralógico y gemológico de los corindones de Mercaderes Cauca, Bogotá (Trabajo de Grado).- 110 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- MURCIA, L. (1981): Rasgos Morfológicos de la tectónica cuaternaria en el Suroccidente de Colombia.- *Geología Norandina*, n 4, p 23 – 30, Bogotá.
- MURCIA, L. & CEPEDA,V. (1991a): Mapa geológico de Colombia, Plancha 410 – La Unión (Departamento de Nariño).- Ingeominas. Escala: 1:100.000.
- _____. (1991b) Mapa geológico de Colombia, Plancha 410 – La Unión (Departamento de Nariño).- Ingeominas. Escala 1:100.000. Memoria Explicativa: 22 p.
- OSORIO, C. & MICHELOU, J. (2000): Nouvelles découvertes d'emeraudes et pierres de Colombie.- *Revue de Gemmologie A.F.G.*, n 140, p. 14 – 17, París.
- PEREZ, G.& TELLEZ (1980): Evolución geológica de la subcuenca del Alto Patía, Departamento del Cauca, Colombia.- *Geología Norandina*, n 2, p. 3-10, Bogotá.
- RESTREPO, J. & TOUSSAINT, J. (1983): Pirometamorfismo en xenolitos en las vulcanitas cenozoicas del sur de Colombia – Comentarios.- *Geología Norandina*, n 7, p. 55 – 57, Bogotá.
- ROGERS, A. & KERR P. (1942) *Optical Mineralogy*, Segunda edición.- 390 p., McGraw-Hill, New York.
- ROYO Y GÓMEZ, J. (1942): Contribución a la geología del foso Cauca – Patía.- CEGOG, n. 5, p. 118 – 211, Bogotá.
- SCHMID R. (1981): Descriptive nomenclature and clasification of pyroclastic deposits and fragnents: Recommendations of the IUGS Subcommission on Systematics of Igneous Rocks.- *Geology*, n 9, v 1, p. 41 –43, Colorado, U.S.A.
- SINKANKAS, J. (1991): Contributions to a history of gemology Carl Peter Thunberg and Ceylon gemstones.- *The Journal of Gemmology*, n. 22, p. 463 – 469, Londres.
- UPTON, B.; HINTON, R.; ASPEN, P.; FINCH, A. & VALLEY, W. (1999): Megacrysts and Associated Xenoliths: Evidence for Mi-

- gration of Geochemically Enriched Melts in the Upper Mantle beneath Scotland.- *Journal of Petrology*, v. 40, n. 6, p 935 - 956, Oxford.
- WEBER, M. (1998) The Mercaderes - Rio Mayo Xenoliths, Colombia: Their bearing on mantle and crustal processes in the Northern Andes (Tesis de Doctorado).- 189 p., University of Leicester, Leicester, UK.
- WEBER, M. & GONZALEZ, H. (1993): Origen de los Corindones y Granates asociados en el área de Mercaderes- Río Mayo, Departamento del Cauca.- IV Congreso Colombiano de Geología, Ingeominas, p. 115-128, Medellín, Colombia.
- WEBER, M.; KENT, R. & TARNEY, J. (1999): A lower and upper mantle model for southern Colombia, based on xenolith evidence.- Fourth ISAG, p. 801 – 804, Londres.
- WEBER, M.; TARNEY, J.; KEMPTON, P. & KENT, R. (2001): Crustal make-up of the northern Andes: evidence based on deep crustal xenolith suites, Mercaderes, SW Colombia.- *Tectonophysics*, vol. 399, p. 49-82, Amsterdam.
- WIRTH, R.; LANGER, K. & PLATONOV, A. (2001): TEM study of a chromium – bearing kyanite from a mantle xenoliths: Evidence for an alumina – rich exsolution precursor phase.- *European Journal of Mineralogy*, n. 13, p. 311-318, Stuttgart, Germany.

Manuscrito recibido, Agosto de 2002