

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DEL DIAMANTE DE LOS PLACERES ALUVIONALES DEL RIO ICABURÚ, SANTA ELENA DE UAIRÉN, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA

José Albino NEWMAN¹, Daniela T. de NEWMAN CARVALHO^{1,2}, Antonio Luciano GANDINI¹, Newton Sousa GOMES¹ y Arol Josue ROJAS¹

¹ Departamento de Geología, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO/EM/UFOP). Campus Universitário Morro do Cruzeiro, s/n, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, CEP: 35400-000. Email: newman@degeo.ufop.br

² Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto (CEFET-OP). Rua Pandiá Calógeras, s/n, Bauxita, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

RESUMEN

La caracterización mineralógica consistió en el estudio de 458 cristales de diamantes entre las variedades gemológica e industrial, provenientes de la región de Santa Elena de Uairén, específicamente de los placeres aluvionales localizados en los ríos Icabarú y Uaiparú. En este trabajo se realizaron análisis mineralógicos donde las muestras fueron estudiadas a partir de las propiedades físicas, el peso promedio de los cristales fue entre 0,2 y 1,0 quilates. Utilizando análisis de microscopía óptica se estudiaron las secciones superficiales, permitiendo la caracterización morfológica. En relación al color los porcentajes de distribución son de 37% incoloros, 20,5% amarillos, 19% marrones, 9,5% verdes, 3% negros, 7,5% con capas verdes y 3,5% capas castañas, también se consiguió diferenciar la variedad policristalina de aspecto negruzco, denominada carbonado. A partir de análisis de microscopía electrónica de barrido, aplicando la técnica Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) se consiguió reconocer figuras superficiales como *trigons*, *cuadrons*, crecimiento en bloque, crecimiento laminar, estrías, surcos y colinas que permitieron establecer la evolución morfológica, partiendo del octaedro primitivo y pasando por fenómenos de disolución originando formas transicionales (111)+(110), (111)+{hkl}, proporcionando hábitos rombododecaedricos {110} y hexaoctaedricos {hkl}. Con análisis de espectroscopía de absorción en el infrarrojo (FTIR) se obtuvieron datos de la composición química que permitieron determinar los tipos de diamante Ib, IaA, IaB, IaAB y IIa. Mediante espectroscopía micro-Raman se identificaron inclusiones de olivino, ilmenita y granada, posicionadas superficialmente en los cristales.

Palabras clave: *Diamante, Icabarú, Grupo Roraima.*

ABSTRACT: *Mineralogical characterization of the diamond of the alluvial placer from Icabaru River, Santa Elena de Uairén, Bolívar State, Venezuela.* Mineral characterization consisted on the study of 458 diamond samples representative of gem-grade and industrial-grade varieties, obtained from alluvial (placer) diamond exploration located in the Icabaru and Uaiparu Rivers, Santa Elena de Uairén. Mineral analyses were predominantly focused on physical properties and average weight (0.2 and 1.0 ct). Optical microscopy was used to study surface sections of diamonds and morphological characterization which resulted in the following. In relation to color, distribution percentages were colorless (37%), yellow (20.5%), brown (19%), green (9.5%), black (3%), green lattice points (7.5%), and brown lattice points (3.5%). Also, a polycrystalline variety known as *carbonado*, or black diamond, was studied. Some surface shapes such as trigons, quadrilateral, block and film growth, groove and hillocks were determined through Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectrometer technique (EDS). Morphological evolution could be established from the octahedral primitive through dissolution phenomena for (111)+(110), (111)+{hkl} facets having rhombic dodecahedron {hkl} and hexaoctahedron {110} habits. Chemical composition data were collected through Infrared Absorption Spectroscopy (FTIR), and diamond types were determined Ib with low nitrogen concentration, IaA, IaB and IaAb diamonds with high, average and low nitrogen concentration and IIa diamonds with no nitrogen concentration. Inclusions of olivine, ilmenite and garnet on the crystal surface were detected by micro-Raman spectroscopy.

Keywords: *Diamond, Icabarú, Group Roraima.*

INTRODUCCIÓN

Se estudiaron 458 cristales de diamantes pertenecen a los aluviones que se en-

cuentran específicamente en los márgenes del río Icabarú en la localidad del mismo nombre, la cual está localizada al sur de la ciudad de Santa Elena de Uai-

rén, en el municipio Gran Sabana del Estado Bolívar Venezuela, las muestras fueron obtenidas en las concesiones: La Maricutana, Zapata Uno, Zapata Dos, Los

Brasileros, Trompa 1, Uaiparú 1, Uaparú 2 y Perro Loco (Fig. 1).

Geológicamente estas ocurrencias diamantíferas están relacionadas con las rocas pertenecientes a las formaciones que componen el Grupo Roraima (Precámbrico), puesto que en el área de Santa Elena de Uairén se pueden reconocer cuatro formaciones, que en orden cronológico y estratigráfico son: Uairén, Kukeñán, Uaimapué y Matatui, las cuales están básicamente constituidas por conglomerados, areniscas, lutitas y cuerpos de diabasas. En términos generales, en la región se pueden reconocer tres tipos principales de depósitos: a) de aluvión en explanadas bajas de los antiguos cursos de los ríos, b) de terrazas aluviales y c) concentraciones secundarias en los lechos de los ríos y quebradas.

La mayor parte de los depósitos diamantíferos de Venezuela están asociados a rocas sedimentarias (Grupo Roraima) de forma tal que las dificultades inherentes a identificación de las fuentes primarias asociadas a estos depósitos se deben a escasez de registros, sobre todo en función de los procesos de erosión y alteración causada por intemperismo y recubrimiento de los cuerpos magmáticos por procesos sedimentarios. Los diamantes asociados a estos sedimentos guardan registros de los procesos que ocurrieron desde su formación hasta los ciclos de redistribución sedimentaria. En este sentido el diamante es utilizado como guía para la caracterización de los eventos geológicos relacionados al propio mineral. Este estudio pretende proponer el tipo de génesis a la cual están asociados los aluviones diamantíferos de esta región a partir de las características mineralógicas del diamante. Para este cometido fueron adoptados algunos criterios que han sido utilizados en pesquisas anteriores y descritas en la bibliografía, teniendo como objetivo correlacionar los resultados obtenidos con los resultados reportados de otras áreas estudiadas en la región del Estado Bolívar. Se ha dado énfasis a estudios realizados en las regiones circunvecinas de la República Cooperativa de Gu-

yana y la República Federativa de Brasil.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en este trabajo se describe brevemente partiendo de la forma en que fue realizado el muestreo, destacando que para el presente estudio fueron analizados 458 cristales de diamante, procedentes de los aluviones de las márgenes del río Icabarú en las proximidades a la población homónima. Con la finalidad de garantizar la procedencia de las muestras, los diamantes fueron adquiridos en las áreas de explotación en las cuales las labores mineras son realizadas por cooperativas del rubro en forma artesanal y/o poco mecanizada.

La caracterización mineralógica de las muestras, conjuntamente con los datos químicos, son de suma importancia para de la caracterización de los depósitos diamantíferos. La descripción morfológica fue hecha según la clasificación propuesta por Haralyi (1987) y McCallum *et al.* (1991). Entre los ejemplares monocristalinos presentes en las áreas estudiadas, fueron observados hábitos de formas simples, combinadas, geminadas, agregadas, irregulares y los fragmentos de clivaje. Con la aplicación de la microscopía óptica se realizaron los análisis de las propiedades ópticas, detallando el estudio de las secciones superficiales de los diamantes, lo que proporcionó la caracterización morfológica de los mismos, ya que, el conocimiento de las variaciones en los hábitos del diamante manifiestan los diferentes fenómenos físico-químicos que actuaran durante su cristalización y transporte por el magma kimberlítico o lamproítico.

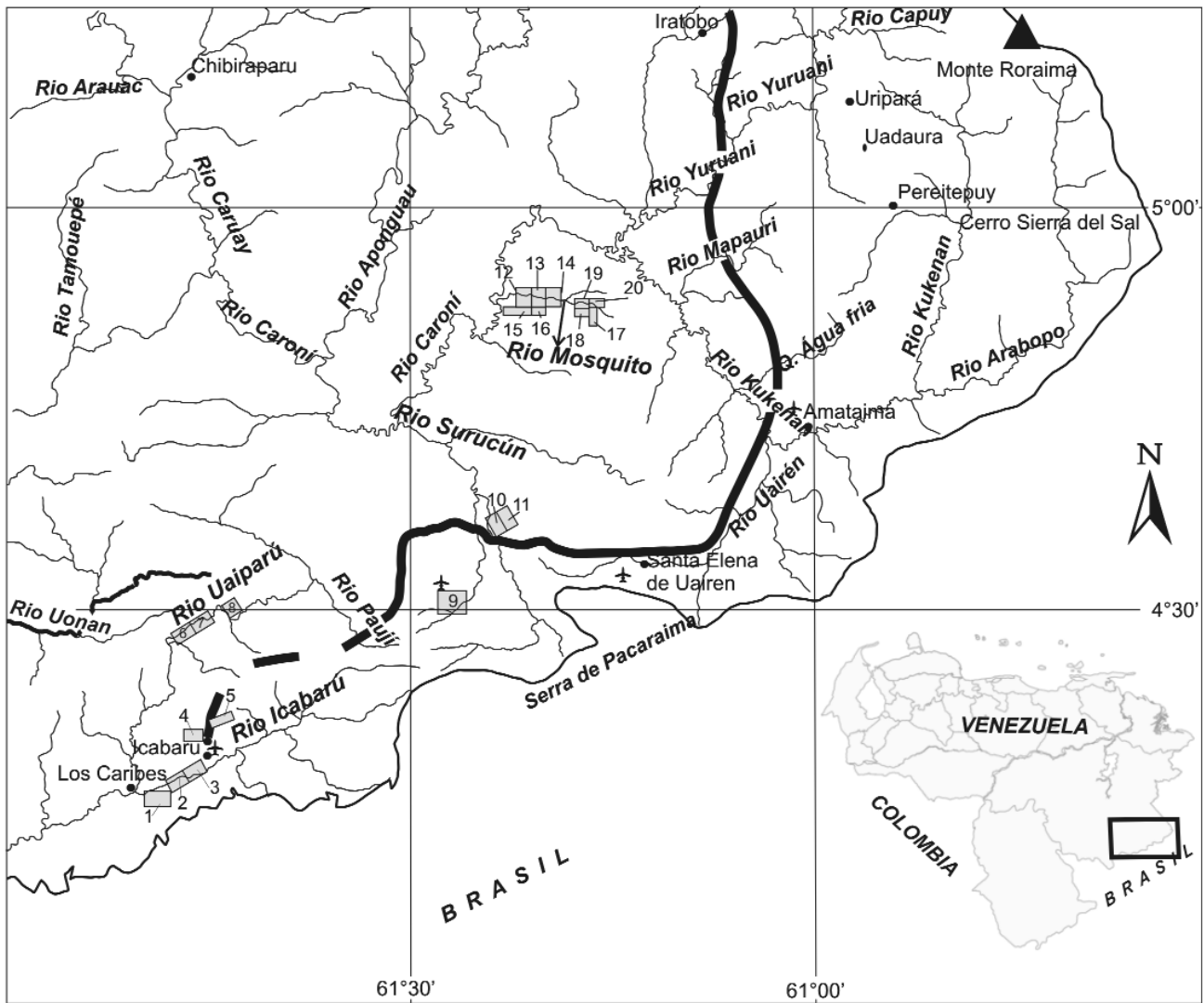
A partir del método de microscopía electrónica de barrido (SEM) mediante la aplicación de la técnica espectroscopía de energía dispersiva (EDS), se estudiaron las facetas de los diamantes permitiendo la interpretación de los fenómenos, procesos y/o eventos ya sea de crecimiento, corrosión y de disolución.

La clasificación tipológica de los diamantes fue determinada, a partir de análisis

de espectroscopía de absorción en el infrarrojo de tal forma que se determinaron las absorciones características del nitrógeno que sustituye al carbono en la red cristalina del diamante y considerando que el nitrógeno es la principal impureza química de los diamantes cuya concentración registrada varía de 0 a 3.000 ppm y la forma como este ocurre en la estructura cristalina del diamante evidencia el estado de agregación, estos mecanismos de cinética y difusión han sido estudiados por Taylor *et al.* (1990) y Wilks y Wilks (1995), permitiendo elaborar una clasificación.

Los análisis fueron realizados en el Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear, de Belo Horizonte, MG. Brasil (LABESPECT-CDTN-CNEN-BH), se utilizó un espectrofotómetro marca ABB Bomen, modelo MB102. Para tales análisis fueron seleccionados cristales que presentan por lo menos una superficie plana y con dimensiones aproximadamente entre 3 y 4 milímetros.

En cuanto al estudio o identificación de las inclusiones presente en los diamantes de la región, los resultados obtenidos a partir de microscopía óptica fueron reconocidos minerales como olivina, ilmenita y algunos granates (piropos), y para complementar las informaciones se aplicó espectroscopía Raman, la cual es una técnica no destructiva, que permite identificar el diamante a partir del pico 1.332 cm⁻¹. Este pico es intenso y simétrico, pero debido a la presencia de impurezas se puede tornar menos intenso, asimétrico y con dislocamiento. Este grado de imperfección permite estudiar e identificar las inclusiones, adicionando a esto que en los espectros existen picos característicos para cada material (sólido, líquido o gaseoso). Las inclusiones son identificadas por la absorción de las frecuencias correspondientes a los movimientos que existen en la estructura cristalina del mineral, cuya energía es derivada del movimiento de rotación de las moléculas y/o por vibración átomos y electrones. Para la aplicación de esta técnica en diamantes brutos no es necesaria una preparación



Referencia

- Cursos de agua (ríos y quebradas)
 - Carretera de Tierra
 - Carretera Asfaltada
 - Concesiones
 - Centros Urbanos
 - Aeropuerto
 - Frontera Tríplice - Monte Roraima
- 0 15 30 45 60km

- 1 - La Maricutana
- 2 - Zapata Dos
- 3 - Zapata uno
- 4 - Los Brasileiros
- 5 - Trompa 1
- 6 - Uaiparú 1
- 7 - Uaiparú 2
- 8 - Perro Loco
- 9 - El Polaco
- 10 - Codsá C
- 11 - Codsá B
- 12 - Lote C1
- 13 - Lote C3
- 14 - Lote C2
- 15 - Lote C5
- 16 - Lote C4
- 17 - Mawariton IV
- 18 - Mawariton I
- 19 - Mawariton II
- 20 - Mawariton III

Figura 1: Mapa de localización del área de estudio y distribución de las diferentes zonas producción de diamante en la región de de Santa Elena de Uairén, municipio Gran Sabana, Estado Bolívar (Bellizzian 2001).

previa de la muestra, a excepción de ser la limpieza del cristal con HCL, HNO₃ y HF para eliminar impurezas superficiales como óxidos y silicatos. Para tales análisis

fue utilizado un Micro-Raman, marca Dilor, perteneciente al Departamento de Física de la Universidad Federal de Minas Gerais (DF/ICEX/UFMG).

RESULTADOS

Las informaciones sobre la morfología y los respectivos porcentajes de frecuencia

se presentan en la figura 2, donde se observa que la forma cristalográfica predominante es el rombododecaedro de facetas y aristas con grado de curvatura variado. También están incluidos los cristales rombododecaédricos desproporcionados, achatados y alargados bien como los de facetas planas y aristas rectilíneas interpretados como forma de crecimiento. Los octaedros son representados por cristales equidimensionales, de facetas y aristas planas. La presencia de octaedros, formas cúbicas y balas son registradas en un porcentaje de frecuencias bajas. Cristales fragmentados según el clivaje con pérdida de hasta 60% de la forma original del cristal.

Los agregados cristalinos definidos por asociaciones de dos a tres cristales, los cristales de hábito intermedio entre el octaedro de facetas y aristas planas y el rombododecaedro de facetas y aristas curvas, muestran, en grados variables, la secuencia completa de transición entre el octaedro y el rombododecaedro. Esta transición de forma es ocasionada por la reabsorción de los cristales por el magma kimberlítico/lamproítico (Fig. 3).

El análisis granulométrico se realizó mediante la utilización de cribas en los intervalos granulométricos definidos respectivamente por los tamices N° 6 (1,70 mm) y N° 19 (3,7 mm). Los diamantes, mediante la variación de la granulometría, son subdivididos en dos grupos: microdiamantes que poseen dimensiones inferiores a un milímetro y macrodiamantes que tienen tamaño superior o igual a un milímetro. La relación entre éstos es muy importante en la evaluación del tenor y en la conformación de diamantes en un *pipe* kimberlítico o lamproítico.

En el estudio del color macroscópicamente se han observado cristales incolores 37%, amarillos 20,5%, marrones 19%, verdes 9,5%, negros 3%, en relación al número de muestras se reconoció 1% de la variedad policristalina de aspecto negruzco denominada como carbonados. Se observaron un 8% de cristales que presentan una película superficial de color denominadas como capas y manchas

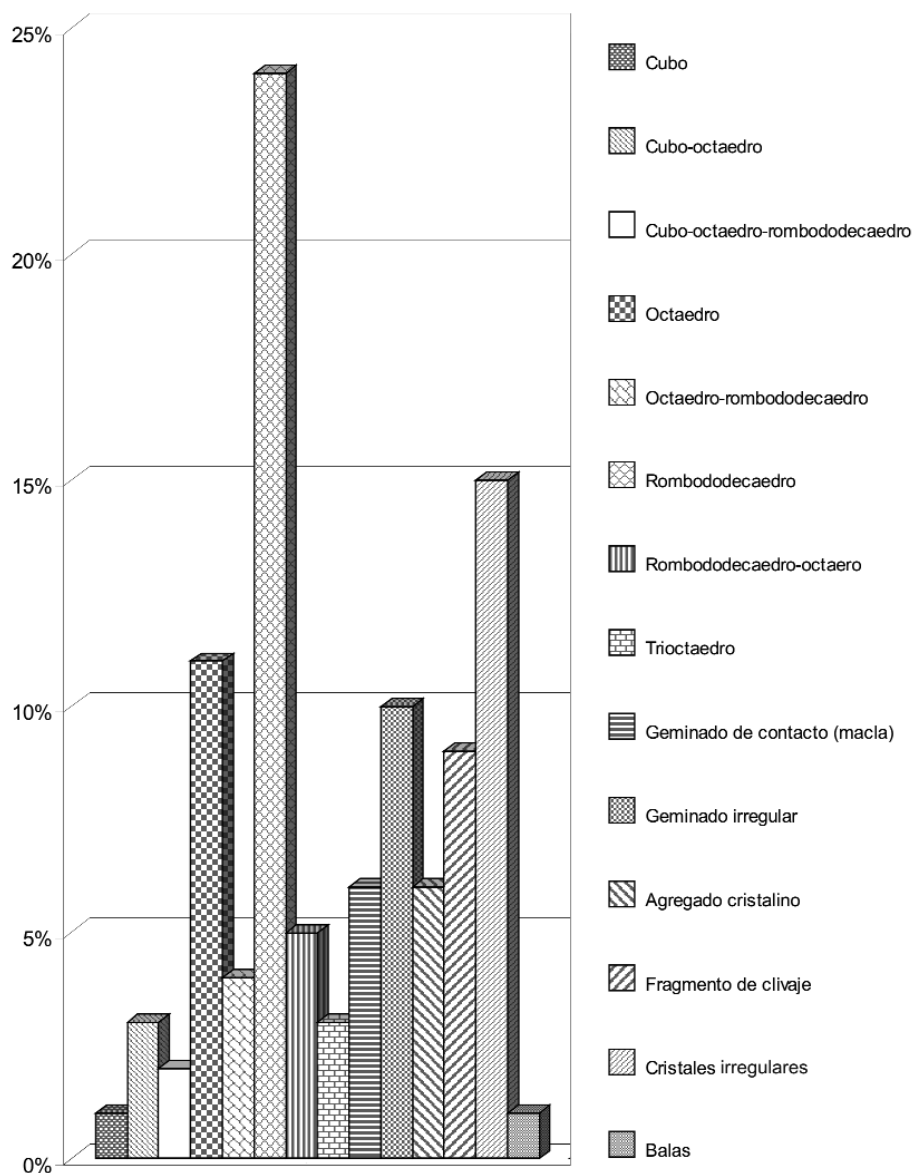


Figura 2: Representación de la distribución de las diversas categorías morfológicas reconocidas en los diamantes estudiados.

(verdes o castaños).

Para el estudio de la fluorescencia se utilizó una lámpara UV con longitudes de onda larga de 366 nm y corta 253,7 nm. Los resultados indican el predominio del color de fluorescencia azul entre los diamantes examinados, seguidos por verdes, amarillos, anaranjados y la mezcla de colores.

Entre las muestras se observaron cristales con capas superficiales de características toscas, obstruyendo el brillo típico que caracteriza los diamantes, denomina-

da en la literatura como *frosting surface*.

Se debe hacer referencia que en la zona ocurren con frecuencia diamantes encapados, es decir están cubiertos por una capa castaña de aproximadamente 20µm de espesor. Igualmente se observaron en algunos diamantes puntos de radiación o *radiation spots*, similares a manchas de color. Los colores más comunes de estos puntos son el verde, amarillo, anaranjado, rojo y castaño. Apenas tres diamantes analizados presentaron capas homogéneas y 27 presentan los mencionados pun-

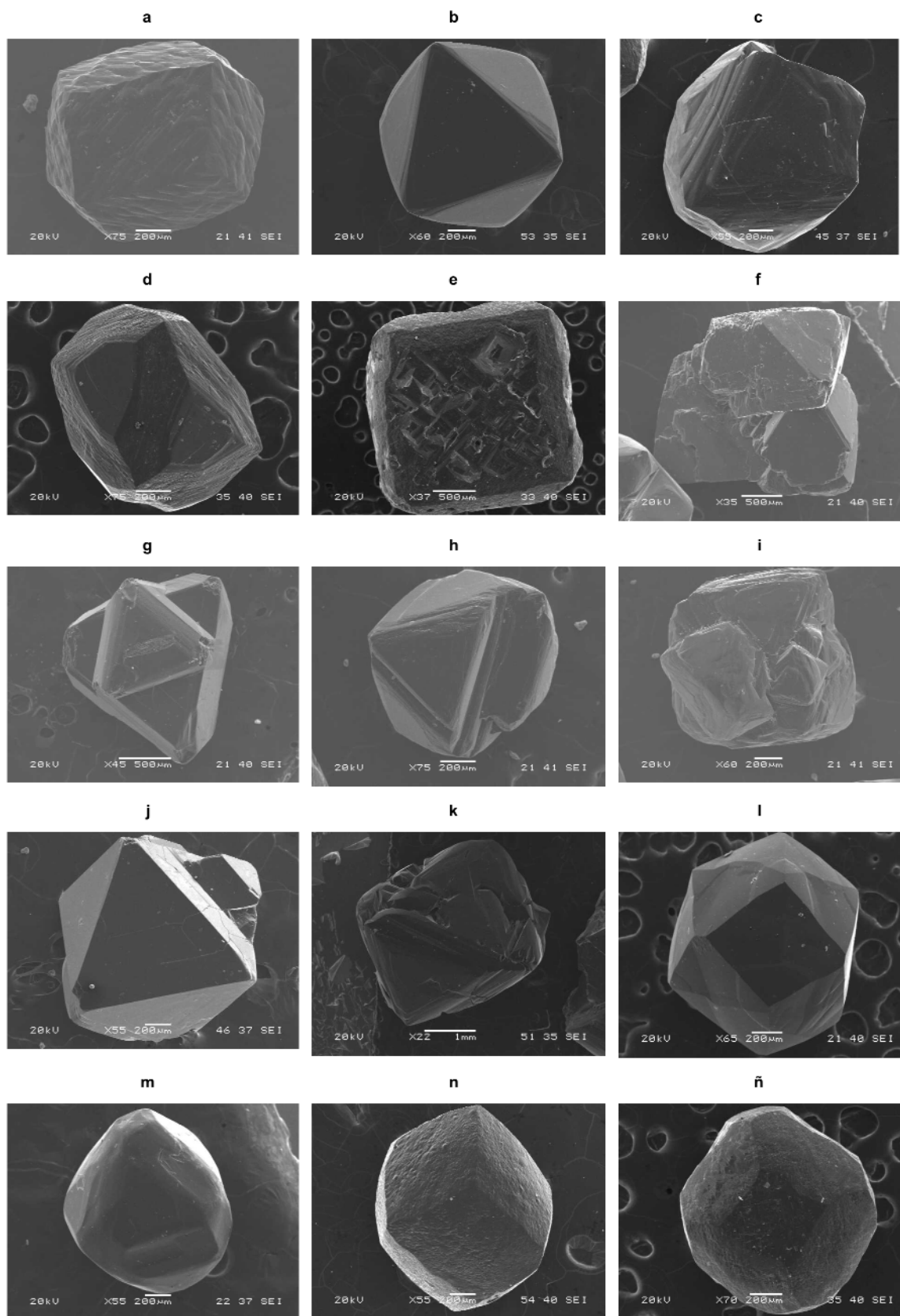


Figura 3: Microfotografías de algunas variedades morfológicas de los diamantes estudiados, obtenidas mediante SEM. a) Rombododecaedro; b) Rombododecaedro; c) Trisoctaedro; d) Cubo; e) Geminado; f) Mala; g) Forma de transición; h) Rombododecaedro octaedro; i) Geminado; j) Macla; k) Forma de transición; l) combinación entre cubo y cubo piramidal; m) Cubo octaedro; n) Dodecahedro; ñ) Cubo octaedro-rombododecaedro

tos o manchas.

En algunos diamantes de la región fueron identificadas inclusiones cristalinas, de olivina (forsterita) y granate (piropo). Estos minerales se presentan generalmente idiomorfos y circundados por anomalías ópticas (birrefringencia anómala), evidenciando el carácter epigenético de estas inclusiones.

Con los estudios realizados a partir del espectro de absorción en infrarrojo (FTIR) se determinó que entre los diamantes analizados se puede reconocer los tipos IIa, Ib, IaA, IaB y IaAB, entre los cuales el 2% corresponden al tipo Ib, un 18% al tipo IaA, un 26% al tipo IaB, 6% presentaron deformación plástica, en su mayoría de color marrón que corresponden a diamantes del tipo IIa, predominando los diamantes del tipo IaAB con 48%. Entre los diamantes que presentan nitrógeno se observó que 4% de las muestras presentan concentración de nitrógeno baja, 16% media y 74% alta. Además se observó que 30% de los diamantes estudiados presentan picos característicos que indican la presencia de hidrógeno.

Por otro lado fue posible identificar en los espacios referentes a las impurezas de hidrógeno y enlaces como CH (CH_a y CH_b), CH_3 con picos reconocidos entre 2.448 a 2.850 cm^{-1} , CH_2 entre los picos 2.917 - 2.925 cm^{-1} y algunos picos relacionados con la presencia de CO-NH_2 con picos en 3.137 , 3.145 , 3.181 y 3.237 cm^{-1} . Los diamantes estudiados presentan baja, media y alta concentración de nitrógeno. Generalmente presentan los dos picos característicos que indican la presencia de hidrógeno en las bandas referentes a 3.107 cm^{-1} y 1.405 cm^{-1} , siendo el primer pico el que presenta mayor intensidad; en algunos espectros se puede identificar la presencia de los radicales metil y metileno (Fig. 4).

Los diamantes de esta localidad presentan diferencias entre si en cuanto al tipo de agregación y de absorbancia específica de las plaquetas y número de ondas. Sobre la base de estas relaciones, fundamentalmente entre los contenidos de ni-

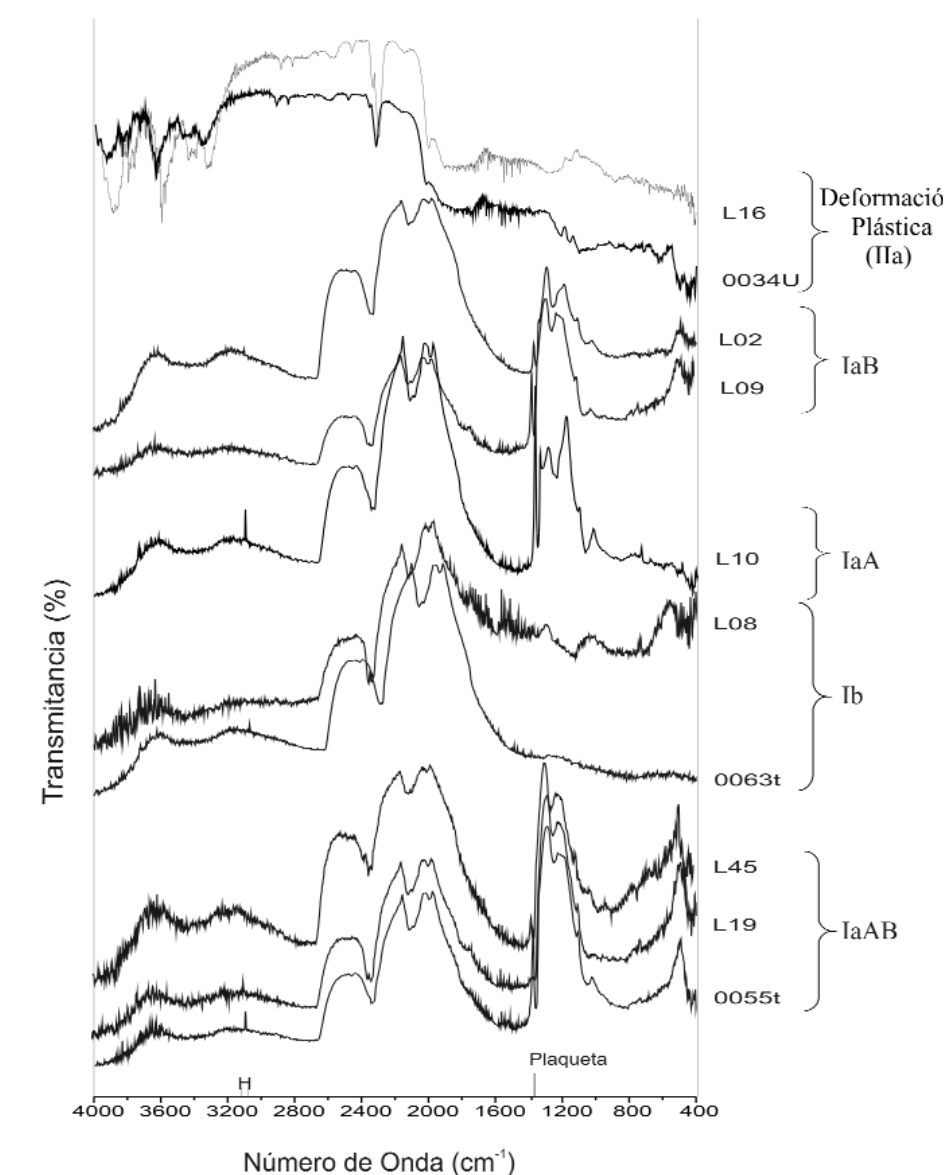


Figura 4: Espectros de absorción en el infrarrojo obtenidos en los diamantes estudiados.

trógeno, se realizó una comparación con los valores cinéticos propuestos por Taylor *et al.* (1990), para el tiempo de residencia, deduciendo que los diamantes estudiados, probablemente, se remontan a un largo tiempo de residencia mantélica, sometidos a temperaturas de formación superiores a 1.100°C .

La figura 4 exhibe la diferenciación tipológica de los diamantes de la región; en el caso de los espectros de las muestras L08 y 0063t se observan espectros típicos de un diamante del tipo Ib, el espectro de la muestra L10 es típico de diamantes del tipo IaA, los espectros de las muestras

L02 y L09 son típicos de diamantes del tipo IaB los espectros de las muestras L19, L45 y 0055 son típicos del tipo IaAB, además de éstos se observa que los espectros de las muestras L16 y 0034U son característicos de diamantes que presentan deformación plástica indicando que los mismos pertenecen al tipo IIa, también se observa una notoria diferencia entre las plaquetas de los espectros de las muestras L10, L09, 0055t y L02, y en las muestras L10, L19 y 0055t se puede observar la presencia de los picos característicos de impurezas de hidrógeno. La espectrometría Raman permitió iden-

tificar algunas inclusiones que se encuentran cerca de la superficie del cristal. Algunos espectros mostraron dos bandas anchas centradas aproximadamente entre las longitudes de ondas correspondientes a 1.860 cm^{-1} y 659 cm^{-1} producidas en el espectro debido a la presencia de inclusiones en el diamante, principalmente el pico que ocurre a los 659 cm^{-1} muestra alta dispersión e intensidad, en ocasiones mayor que el pico característico del diamante (enlace C-C) identificado en número de onda de (1.332 cm^{-1}) (Fig. 5).

En las muestras ICA -243, ICA-128, ICA -563, UAI-076, UAI-324, MOS-098 y MOS -342 el pico característico del diamante presentó dislocamiento, este fenómeno es típico de cristales que fueron sometidos a deformación plástica durante su tiempo de permanencia mantélica, lo que causa mudanzas significativas en la estructura de las bandas de energía, lo cual se refleja en las propiedades ópticas del diamante, producto de las modificaciones en los parámetros de la red cristalina. En las muestras ICA-342 y UAI-035 se identificaron los picos en 1.115 , 855 e 820 cm^{-1} que corresponde a olivina. En la muestra ICA-0023 fueron observados los picos 1039 , 852 y 502 cm^{-1} que permitieron identificar la única inclusión presente en éste, como un cristal de granate (piropo), también se identificó un granate de tipo almandino mediante los picos 1610 , 1460 y 645 cm^{-1} en la muestra MOS-158. En la muestra MOS-056 fue identificada ilmenita mediante los picos 682 , 684 y 685 cm^{-1} .

También se observó que en algunos casos la intensidad del pico característico del diamante puede enmascarar a los picos que permitirían identificar inclusiones presentes en mismo. Esto fue comprobado en las muestras MOS-345 y ICA -043 las cuales contienen inclusiones de olivina y granate, previamente identificadas mediante la utilización de microscopía óptica (Fig.6).

DISCUSIÓN

La caracterización analítica detallada de

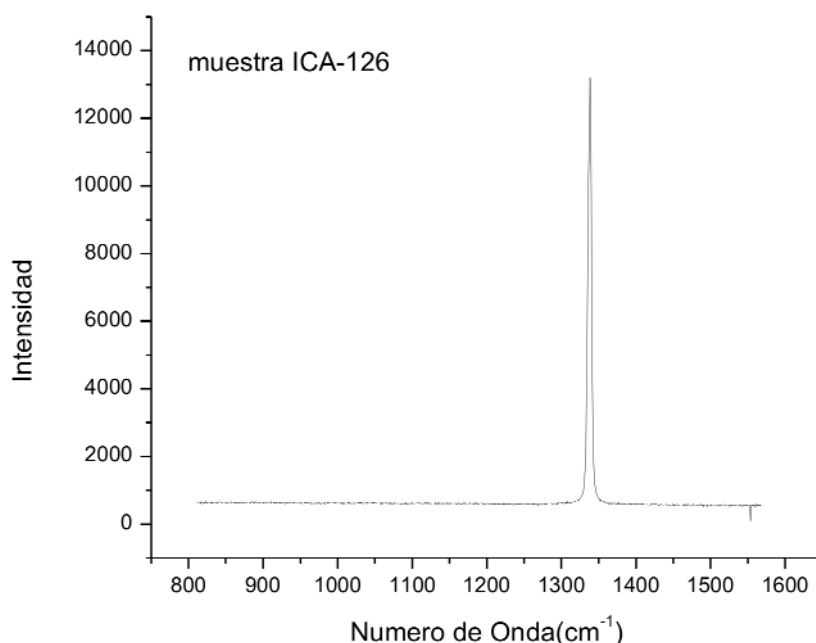


Figura 5: Gráfico de espectrometría micro Raman mostrando el pico característico del diamante.

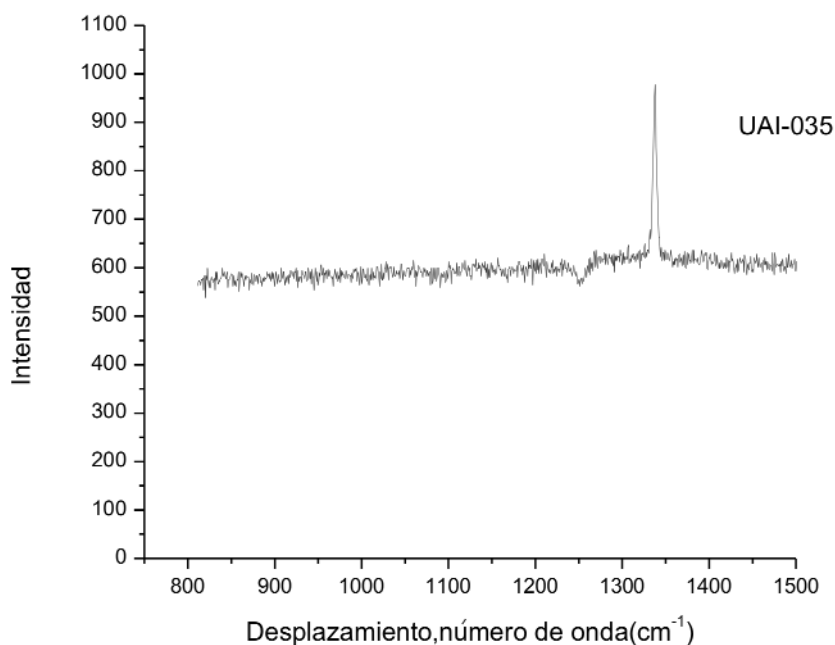


Figura 6: Gráfico de espectrometría Raman mostrando el pico característico del diamante con baja intensidad, exhibiendo picos que muestran los espectros características que permiten identificar (vistos en detalle) a la ilmenita.

los diamantes para que puedan ser correlacionados genéticamente o no, debe hacerse tomando en cuenta que la cristalización del diamante produce diferentes formas primarias, pudiendo ser, a veces, modificada por procesos epigenéticos de disolución, corrosión, pigmentación de superficie, deformación plástica y transpor-

te mecánico.

La disolución y la corrosión pueden ser entendidas como efectos similares, pero realmente son distintos. La disolución está relacionada al desgaste de vértices, aristas y facetas del cristal, permitiendo originar morfologías diferentes y la corrosión está específicamente relacionada a la

impresión de texturas en las superficies; estos dos procesos pueden ocurrir al mismo tiempo en una determinada muestra de diamante. Tales procesos son visualizados en la forma de elementos de superficie y registran parte de su historia evolutiva, desde la formación en el manto superior hasta su redistribución en superficie (Orlov 1993). Cabe resaltar, que posterior al emplazamiento de la intrusión kimberlítica/lamproítica, siempre que no ocurra metamorfismo, las condiciones físico/químicas del medio ambiente no alteran las propiedades físicas del diamante, ni a través de los procesos de intemperismo y erosivos que desagregan las rocas hospedadas, lo que hace que el diamante y los demás constituyentes minerales sean afectados solamente por las condiciones mecánicas del transporte en medio acuoso. Los octaedros, cubos, formas combinadas y geminados de contacto, debido al clivaje perfecto, pueden ser fracturados internamente, en las aristas y vértices, ocasionando fragmentación por impactos durante el transporte. Lo mismo ocurre con cristales con defectos estructurales e inclusiones minerales. McCallum (1994) y Meyer y McCallum (1997), atribuyen la presencia de diamantes con *frosted surface* como uno de los criterios para el reconocimiento de la intensidad de los ciclos de redistribución sedimentaria de depósitos secundarios y concluyen que el origen de estas superficies son resultado del ataque químico de volátiles durante el ascenso de los kimberlitos/lamproítos, y no de los procesos abrasivos en el medio sedimentario. McCallum (1994) clasifica esta superficie en gruesa, media, fina o muy fina. Según Robinson (1979), la formación de *frosting* grueso necesitaría de temperaturas mayores a 950 °C (condiciones no oxidantes), siendo que el *frosting* fino podría formarse en temperaturas intermedias entre los procesos de corrosión de alta y baja temperatura.

Los puntos de radiación, o *radiation spots*, son el resultado de la emisión de radiación α . Vance *et al.* (1973) en ambientes radioactivos. Raal y Robinson (1980) con-

sideraron que la presencia de estos *spots* se debe a la emisión de radiación α , a partir de minerales de U, Th o K presentes en los sitios de sedimentación, ya que los kimberlitos y/o lamproítos, eclógitos, peridotitos y demás rocas ígneas/metamórficas fuentes del diamante son pobres en minerales que contienen estos elementos. Se puede deducir que los diamantes de la región estuvieron en contacto con dichos minerales y que además fueron expuestos a altas temperaturas debido a la variación de coloración de las capas. La coloración verde sería resultado del contacto prolongado entre la superficie del diamante con algún mineral que contiene elementos radioactivos (Vance *et al.* 1973). Los colores amarillos, anaranjados y rojizos constituyen etapas intermedias durante la transición de la coloración verde para la marrón, causadas por calentamiento térmico en torno de 600°C.

La reducida frecuencia de diamantes de alto quilataje, junto con la predominancia de hábitos simples como romboedraedro, la casi ausencia de tipos como cubos y la existencia de fragmentos o cristales clivados y borts, asociados a la presencia de diamantes con pocas inclusiones con alto grado de pureza, son factores que sumados a la ausencia de minerales satélites típicos de rocas fuentes constituyen evidencias para argumentar que los aluviones son producto de depósitos cuyas fuentes primarias son distantes. Este hecho concuerda con las características morfológicas descritas, sugiere transporte prolongado, y/o sujetos a varios ciclos erosivos y de deposición, ya que la diversidad de formas cristalográficas observadas puede estar relacionada a la presencia de diferentes fuentes primarias abasteciendo los depósitos secundarios. Los cuales podrían estar relacionados a retrabajo de uno o más depósitos sedimentarios diamantíferos más antiguos o como registros de posibles actividades magmáticas distintas (Newman *et al.* 2007).

El estudio del estado de los espectros de agregación del nitrógeno en la estructura del diamante suministra información pa-

ra la caracterización tipológica que permite relacionarlos a mecanismos de cinética y difusión, que están íntimamente asociados con la historia de residencia mantélica (tiempo), donde están expuestos a fenómenos de diferenciados de temperatura y presión, antes de ser transportados hasta la superficie por kimberlitas y/o lamproítos.

A partir del reconocimiento de inclusiones como piropro y olivina, los cuales son minerales que forman parte de xenólitos en rocas ultramáficas, y la determinación de cristales con inclusiones de almandino, se puede deducir que en los aluviones de la región existen diamantes de fuentes primarias diferenciadas.

Estudios de carbonado (variedad policristalina del diamante) proponen que éstos son formados por procesos genéticamente distintos al diamante monocristalino, debido a la composición del medio, fuente de carbono y crecimiento, entre otros (Kagi *et al.* 1994, Kaminsky *et al.* 1995, De Subarnarenkha 1998). La ocurrencia de esta variedad de diamante en la región es determinante en este estudio, ya que este es otro elemento que confirma que en la región están concentrados diamantes provenientes de distintos ambientes diferenciados.

CONCLUSIONES

La existencia de especímenes cristalográficos variados es una característica que indica un origen genético de ambientes diferenciados. Adicionando a esto la frecuencia considerable de fragmentos de clivaje y la ausencia de minerales indicadores de rocas fuentes, hacen posible deducir que los depósitos diamantíferos actuales son el resultado de la acumulación de varios procesos sedimentarios que han sufrido varios procesos de removilización y además indican un prolongado transporte. Sumando a estos elementos, el alto grado de dispersión en lo que se refiere a la heterogeneidad tipológica (determinada a partir de análisis de FTIR) y el reconocimiento de inclusiones como piropro y olivina, minerales frecuentes en

xenólitos ultramáficos de kimberlitas y la determinación de inclusiones como almandino, que ocurre en los xenólitos eclogíticos, permiten discriminar agrupaciones diferenciadas. La distribución polimodal es una evidencia que indica que los diamantes provienen de varias fuentes primarias.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al Departamento de Geología de la Universidad Federal de Ouro Preto (DEGEO); al Dr. Marcos Pimienta y al Dr. Kalas Krambrock Profesores del Departamento de Física de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG) por la ayuda prestada para la realización de los análisis; al Dr. Fernando Lameiras por su colaboración en los análisis realizados en el (CDTN); al Gemólogo Javier Contreras de la Oficina Fiscal de Santa Elena de Uairén del Ministerio de Industrias Básicas y Minería (MIBAM); a los T.S.U. José Gregorio Uzategui y Jesús Belandria por su colaboración en las actividades de campo, los datos suministrados y la ayuda en la adquisición de las muestras.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Bellizzian, N.P. 2001. Mapa Geológico de Venezuela, escala 1:1.000.000 Ministerio de Energía y Minas.
De Subarnarenkha, M. 1998. Microstructural observations of polycrystalline diamond: a contribution to carbonado conundrum. *Earth*

and *Planetary Science Letters* 164: 421-433.
Haralyi, N.L.E. 1987. Considerations concerning flattened and elongated diamonds. 20° International Gemological Conference Resource P8: 113-117, Río de Janeiro.
Kagi, H., Takahashi, K., Hidaka, H y Masuda, A. 1994. Chemical properties of Central African carbonado and its genetic implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58: 2629-2638.
Kaminsky, F.V., Feldman, A.A., Varlamov, V.A., Boyco, A.N., Olofinsky, L.N., Shofman, I.L. y Vaganov, V.I. 1995. Prognostication of primary diamond deposits. *Journal of Geochemical Exploration* 53: 167-182.
McCallum, M.E., Huntley, P.M., Falk, R.W. y Other, L.M. 1991. Morphological, resorption and etch feature trends of diamonds from kimberlite populations within the Colorado Wyoming State line district, USA. Fifth International Kimberlite Conference. *Diamonds: characterization, genesis and exploration* 2: 32-50. Araxá.
McCallum, M.E. 1994. Morphological, resorption and etch feature trends of diamonds from kimberlite populations within The Colorado-Wyoming State Line District, USA. International kimberlite Conference, *Actas V*: 32-50, Araxá.
Meyer, H.O.A. y McCallum, M.E. 1997. Diamonds and their sources in the Venezuela portion of the Guiana Shield. *Economic Geology* 88: 989-998.
Newman, J.A., Newman Carvalho, D.T. De, Gandini, A.L. y Rojas, A.J. 2007. Caracterización Mineralógica de los Diamantes de la Región de Santa Elena de Uairén, Estado Bolívar. 9° Congreso Geológico Venezolano. 125-129, Caracas.
Orlov, Y.L. 1993. The Mineralogy of the diamond. Library of Congress USA, 236 p.
Raal, F.A. y Robinson, D.N. 1980. Green for rarity. *Nuclear active* 23: 5-8.
Robinson, D.N. 1979. Surface textures and other features of diamonds Ph.D. thesis, University of Cape Town, (inédita), 221 p., Cape Town.
Taylor, W. R.; Jaques, A.L. y Ridd, M. 1990. Nitrogen-defect aggregation characteristics of some. Australasian diamonds: Time-temperature constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds. *American Mineralogist* 75: 1290-1319.
Vance, E.R., Harris, J.W. y Milledge, H.J. 1973. Possible origins of α -damage in diamonds from kimberlite and alluvial sources. *Mineral Magazine* 39: 349-360.
Wilk, J. y Wilks, E. 1995. Properties and applications of Diamond. Butterworth-Heinemann, 525 p., Oxford.

Recibido: 17 de octubre, 2008
Aceptado: 01 de marzo, 2009