

ILMENITA DE LA KIMBERLITA DIAMANTÍFERA DE CATOCA, ANGOLA

J.C. MELGAREJO ⁽¹⁾, M. WATANGUA ⁽²⁾, L.I. FRANCISCO ⁽²⁾, S. GALÍ ⁽¹⁾, J. PROENZA ⁽¹⁾, K. STANIEWSKA ⁽¹⁾ Y A.O. GONÇALVES ⁽³⁾

⁽¹⁾ *Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Universitat de Barcelona, c/ Martí i Franquès s/n 08028 Barcelona. Email: joan.carles.melgarejo.draper@ub.edu*

⁽²⁾ *ENDIAMA, Luanda, Angola*

⁽³⁾ *Departamento de Geologia, Universidade Agostinho Neto, Luanda, Angola*

INTRODUCCIÓN

La kimberlita de Catoca es actualmente la más importante de Angola por su producción. Se localiza dentro de la estructura tectónica de Lucapa, controlada por fallas normales de dirección aproximada NE-SO. Dicha estructura corta el cratón del Congo a lo largo de toda Angola, y sobre ella existen numerosas manifestaciones de kimberlitas (provincia diamantífera de las Lundas, en la parte NE de Angola) y de carbonatitas (en la parte SO de Angola). La provincia diamantífera de Lunda es una de las más productivas de África, habiendo producido diamantes desde comienzos del s. XX.

Actualmente Angola ha devenido uno de los principales países productores de diamantes. La exploración geofísica de kimberlitas ha posibilitado la detección de centenares de cuerpos kimberlíticos hasta ahora inexplorados. Pese a esta aparente riqueza del territorio, es conocido que, en la mayor parte de campos diamantíferos del mundo, por cada 100 kimberlitas sólo una es portadora de diamantes de cierta calidad. Por un lado, la existencia en esta zona de numerosos placeres y paleoplaceres diamantíferos revela que deben existir numerosas kimberlitas fértiles; por otro lado, se conocen en la misma zona numerosas manifestaciones de kimberlitas estériles. Por tanto, es importante discriminar las kimberlitas fértiles de las kimberlitas estériles.

La discriminación entre kimberlitas fértiles y estériles se ha realizado en diversas partes del mundo a partir de mecanismos complejos. En los primeros estadios los criterios mineralógicos son universalmente aceptados como una importante fuente de información sobre el potencial de la kimberlita. También se acepta universalmente que los diamantes, a la vez que otros minerales, son xenocristales mantélicos y que la kimberlita es simplemente el vector de los mismos hasta la superficie. Por tanto, para que la kimberlita contenga diamantes se requiere que el magma kimberlítico circule a través de un manto fértil, y la supervivencia del diamante dependerá de la ausencia de fenómenos oxidantes y de la rapidez de la extrusión del magma. En este contexto, los minerales denominados «indicadores de diamante» se usan para determinar, cuando es posible, la profundidad de atrapamiento de los mismos y el gradiente geotérmico vigente («ventana del diamante»), así como la fugacidad de oxígeno. Entre estos minerales, los más usados son los granates, los piroxenos, la ilmenita y la cromita. En cuanto a la ilmenita, cuando es rica en Mg ha sido tradicional-

mente empleada como un criterio de la existencia de kimberlitas con potencial diamantífero. En la fórmula estructural de la ilmenita existen dos posiciones de cationes, pudiendo escribirse como XYO_3 . En dicha fórmula las posiciones X están ocupadas por cationes divalentes, mientras que en la posición Y se acomoda Ti^{4+} . Según sea el catión que predomina en la posición X, existen diversos términos extremos: ilmenita ($FeTiO_3$); geikielita (impropiamente, picroilmenita, $MgTiO_3$); pirofanita ($MnTiO_3$). Además, la ilmenita puede presentar soluciones sólidas hacia la hematites. En este caso, el balance de carga al sustituir Ti por Fe^{3+} puede ser compensado por la sustitución acoplada de un catión divalente por Fe^{3+} . Por ejemplo, por una doble sustitución del tipo $Ti^{4+} Mg^{2+} = Fe^{3+} Fe^{3+}$. Es decir, que en este caso el mineral se enriquece fuertemente en Fe^{3+} . Estas soluciones se dan a temperaturas muy elevadas y a fugacidades de oxígeno también comparativamente relativamente elevadas, por lo que la composición química de la ilmenita esconde abundante información petrogenética. Del mismo modo, pequeñas cantidades de Cr^{3+} pueden también entrar en la estructura, y a veces también Nb^{5+} . Una sustitución posible, por ejemplo, puede implicar sustitución acoplada: $Ti^{4+} Ti^{4+} = Nb^{5+} Cr^{3+}$. En caso de que alguno de estos dos elementos no esté presente en el magma, el balance de carga puede también asumirse reemplazando cationes en las posiciones X, con lo que la fórmula estructural puede llegar a ser muy complicada. Se han sugerido dos tipos de trend evolutivo en la variación composicional en cristales simples de ilmenita (Haggerty, 1973):

- trend de enriquecimiento magnésico y crómico, manteniéndose constante o aumentando a la vez el Fe^{3+} (trend kimberlítico magmático) y
- trend de enriquecimiento en manganeso (trend kimberlítico de reacción).

No obstante, nuestros trabajos previos en ilmenitas aluvionares de Angola han puesto de manifiesto que los cristales de ilmenita pueden tener una compleja estructura interna, con sobrecrecimientos y reemplazamientos que involucran términos ricos en componente ilmenita, geikielita o, incluso, pirofanita. Se abre, pues, un interrogante sobre cuáles son los procesos de cristalización de estos minerales y en qué medida reflejan procesos kimberlíticos o bien procesos supergénicos.

La chimenea de Catoca constituye un lugar privilegiado para un estudio de la variación composicional de los minerales kimberlíticos, pues se encuentra poco erosionada, pudiendo reconocerse todas las facies de crá-

ter y diatrema en una corta a cielo abierto. Además, hemos muestreado dos sondeos de unos 650 m de profundidad cada uno que cortan la kimberlita a lo largo de las diversas unidades. Así pues, aprovechando estas condiciones óptimas de afloramiento, se plantea determinar la variación textural de la ilmenita y su variación composicional.

TEXTURA DE LA ILMENITA

La ilmenita se presenta en Catoca en diversas variedades petrográficas, que corresponden a procedencias diferentes o a la superposición de fenómenos subsólidos diversos:

* Ilmenita adcumulada: se trata de granos con formas redondeadas a elipsoidales, de aspecto masivo cuando se los examina con luz polarizada no analizada y a bajos aumentos, pero examinados en detalle muestran un aspecto noduloso policristalino, equigranular. A menudo se encuentran fragmentados. El tamaño de

grano oscila entre 1-3 mm, aunque hay algunos granos menores. Los subgranos son ligeramente elongados, y muestran bordes curvos y puntos triples. Estas características sugieren que se trata de enclaves de cumulos de ilmenita. El tamaño de los subgranos es generalmente pequeño, del orden de 0,2-0,3 mm, y a veces los contactos entre los granos muestran evidencias de encontrarse en desequilibrio con el magma kimberlítico. Tanto en los contactos intergranulares como en la periferia de los nódulos es común encontrar reemplazamientos a otras generaciones de ilmenita, especialmente ilmenita magnésica (fig. 1-A,B). Estos agregados se encuentran en la matriz, y pueden corresponder a xenolitos.

* Ilmenita redondeada: se trata de granos de aspecto general redondeado, aunque a menudo se encuentran muy fragmentados. Al microscopio se revelan ópticamente homogéneos a pequeño y a gran aumento, con excepción de reemplazamientos en las zonas de borde. Son monocristalinos y no presentan zonación ni

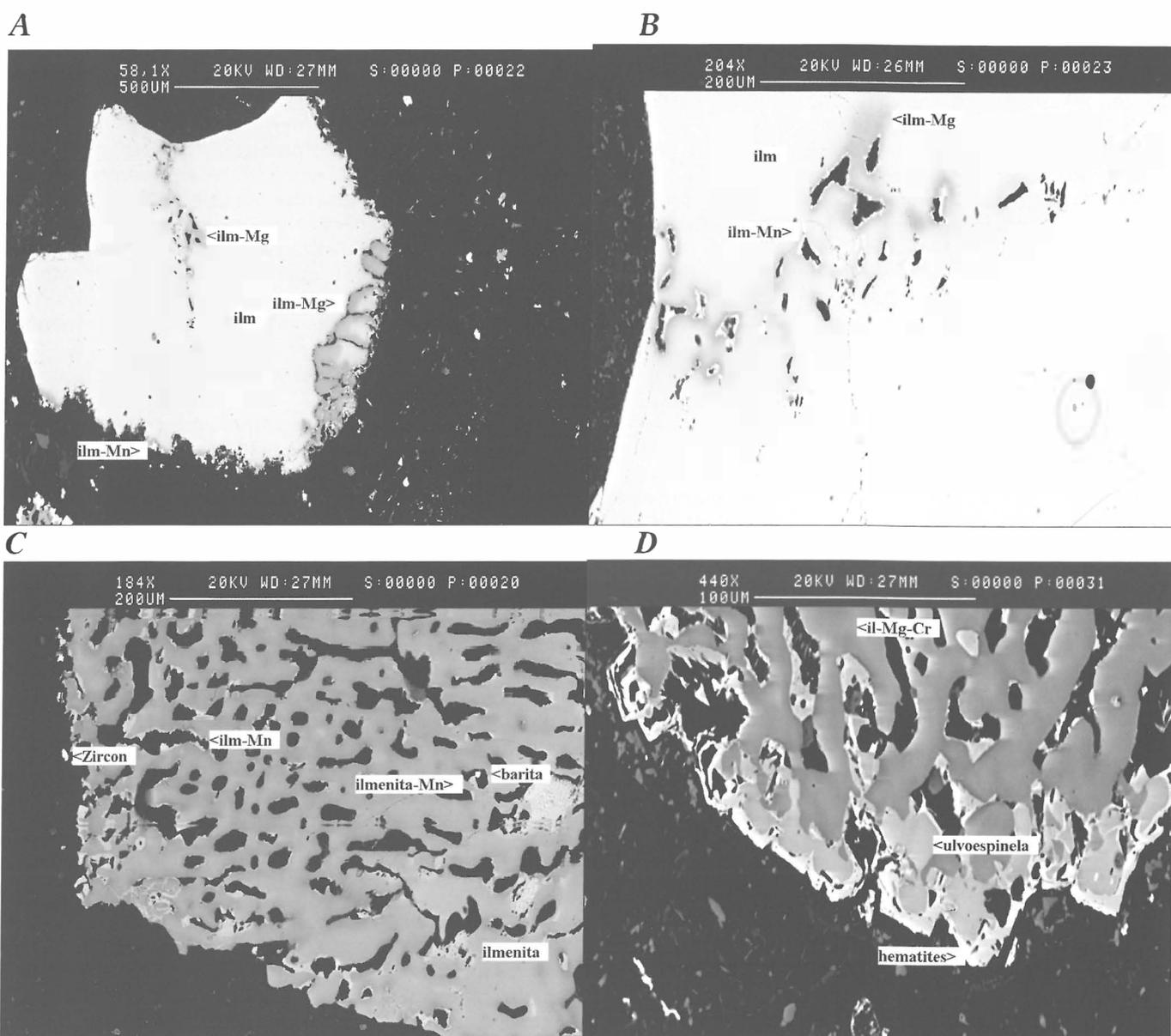


Figura 1: A y B) detalles de reemplazamientos de ilmenita adcumulada por ilmenita rica en Mg (más oscura). C) ilmenita «corroída», reemplazada por ilmenita magnésiana (con Cr) e ilmenita rica en Mn. D) reemplazamiento tardío de ilmenita «corroída» por hematites. Imágenes de electrones retrodispersados, microscopio electrónico de barrido.

exsoluciones, pero sí reemplazamientos en los bordes similares a los de la ilmenita adcumulada. Esta ilmenita puede haberse formado por desagregación de cumulos ilmeníticos, y puede encontrarse en granos en la matriz o incluida en otros minerales.

* Ilmenita corroída: se trata de granos de forma redondeada dispersos en la matriz de la kimberlita, con apariencia cavernosa que se puede interpretar como el producto de una reacción simplectítica. Esta ilmenita, férrica y magnesiana en sus generaciones más antiguas, se ve reemplazada en los bordes de grano por ilmenita rica en manganeso (fig. 1C) y, finalmente, por ulvöespinela y hematites (fig. 1D). Puede corresponder a xenocristales.

* Ilmenita esquelética: son policristalinos, y están compuestos de infinidad de pequeños cristales que se encuentran en la matriz kimberlítica. Por su morfología podrían corresponder a cristales formados en el seno del magma, y tratarse de verdaderos fenocristales. El tamaño de grano es muy variable, aunque generalmente es inferior a 1 mm. Debido a la forma arborescente, los cristales que se encuentran en la parte más externa de los agregados pueden tener menos de 10 mm, aunque la parte central es más masiva. Este tipo de granos son muy delicados una vez liberados de la matriz, y difícilmente pueden encontrarse en los aluviones de la red de drenaje de las kimberlitas, como no sea muy fragmentados y, por lo tanto, en la fracción más fina.

* Ilmenita coronítica: se ubica en la parte externa de los granos de ilmenita antes citados. Son de sobrecrecimientos peliculares policristalinos de cristales tabulares, a menudo de aspecto esquelético, que corroen a las generaciones anteriores de ilmenita. La pregunta que debemos formularnos es si corresponden a crecimientos epitaxiales durante la cristalización de la kimberlita. En este caso, la composición de la ilmenita «coronítica», la «esquelética» y la de la matriz o bien deberían tener una composición afín o, al menos, seguir una pauta.

Además de los sobrecrecimientos de ilmenita «coronítica», los xenocristales y los fenocristales de ilmenita están recubiertos de crecimientos peliculares de minerales secundarios, muy probablemente de origen meteórico, como hematites, magnetita (o maghemita), rutilo o titanita. Cerca de la superficie, estos minerales pueden llegar a reemplazar completamente a la ilmenita. Aunque este pseudomorfismo elimina una de las guías de prospección diamantífera, también explica en parte las anomalías magnéticas que pueden estar asociadas con las kimberlitas.

COMPOSICIÓN DE LA ILMENITA DE CATOCA

Los cristales de ilmenita de Catoca muestran una amplia variedad composicional, en muchos casos en función de si se encuentran en forma de inclusiones en otros minerales o si forman cristales aislados. A escala de grano cabe señalar la sobreimpresión a las composiciones iniciales de composiciones correspondientes a diferentes trends.

El trend de enriquecimiento magmático está presente como reemplazamiento de la ilmenita policristalina en cumulos. También se identifica ilmenita magnesiana en la matriz de la kimberlita. No obstante, la picroilmenita no es dominante en las ilmenitas de Catoca y, en cambio,

el trend dominante es el de enriquecimiento en Fe^{3+} . En efecto, esta generación se ve enmascarada por reemplazamientos más tardíos, dominantes, de ilmenita más rica en Fe^{3+} , que constituyen la mayor parte de los macrocristales. Este trend precoz de enriquecimiento en Fe^{3+} (al que vamos a llamar trend oxidante) tiene mucha importancia porque implica cambios importantes en la fugacidad de oxígeno, aspecto que a su vez tiene consecuencias en la estabilidad del diamante, por lo que es importante analizar cuándo tiene lugar.

En cuanto al trend de enriquecimiento en Mn, cabe destacar que las ilmenitas pirofaníticas son típicas de magmas carbonatíticos (Mitchell, 1986) y de medios reductores. Aunque inicialmente se les atribuyó significado negativo en exploración de diamante, han sido descritas en otras kimberlitas fértiles, como las de Koidu en Sierra Leona (Tompkins y Haggerty, 1985). Nuestros resultados demuestran que la ilmenita pirofanítica es tardía, y que reemplaza a la ilmenita que sigue el trend magmático y al de enriquecimiento en Fe^{3+} , como se ha mostrado en las diferentes imágenes. Este reemplazamiento es común a la mayor parte de megacristales pero no llega a ser completo, y por otra parte se halla ausente en la matriz. Por ello, posiblemente tiene lugar antes de la cristalización de la matriz kimberlítica, y puede deberse a procesos de interacción en desequilibrio con magmas alcalinos ricos en CO_2 , en la línea de lo expuesto por Haggerty (1991). Por tanto, probablemente este reemplazamiento tiene lugar a relativamente poca profundidad y por reacción en desequilibrio entre el magma kimberlítico, por una parte, y los megacristales y microcristales, por otra.

La composición de la ilmenita incluida en flogopita es comparable a la de los microcristales, excepto en los bordes. Por tanto, esta ilmenita es anterior a un fenómeno metasomático producido en el manto. A similares conclusiones llegan Babushkina y Marshintsev (1997) para inclusiones de ilmenita dentro de flogopita de la kimberlita Mir en Rusia.

CONCLUSIONES

En lo que respecta a las variaciones geoquímicas de los minerales indicadores en función de la profundidad, cabe citar las siguientes conclusiones:

- * La composición de la ilmenita no cambia en función de la profundidad, pues hay ilmenita rica en Mg tanto en zonas superficiales como ilmenita rica en Fe^{3+} en zonas profundas.
- * La alteración de la ilmenita se traduce en el desarrollo de alteraciones peliculares o pseudomorfismo a hematites.

Por consiguiente, la composición de la ilmenita es independiente de los procesos de meteorización, y puede ser usada como indicador. La ilmenita pirofanítica no es supergénica, y puede ser usada en exploración de kimberlitas.

No obstante, los cristales de ilmenita han sufrido numerosos eventos metasomáticos, por lo que cualquier análisis de microsonda que se efectúe en el futuro debe tener el apoyo de imágenes de microscopio electrónico de barrido con analizador de energías de rayos X.

AGRADECIMIENTOS

A un revisor anónimo por su dedicación.

REFERENCIAS

- Babushkina, S.A., Marshintsev, V.K. (1997). Composition of spinel, ilmenite, garnet, and diopside inclusions in phlogopite macrocrysts from the Mir kimberlite. Proceedings 6th International Kimberlite Conference, 2: 467-480.
- Haggerty, S.E. (1991). *MSA Rev. Mineral.* 25, 355-416.
- Mitchell, R.H. (1986). *Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology.* Plenum, New York, 442 pp.
- Tompkins, L.A., Haggerty, S.E. (1985). *Contrib. Mineral. Petrol.* 91, 245-263.