

APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS PETROGRAFICAS Y ANALÍTICAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE DEPÓSITOS AURÍFEROS Y MATERIAL DE PROCESO.

Molano, M. J.¹; Mojica, B, J.²

RESUMEN

La escasa difusión de las técnicas petrográficas y analíticas en el medio minero Colombiano, permite que se siga trabajando con el esquema tradicional de ensayo y error en el estudio de los depósitos metálicos y en el beneficio de minerales. Las técnicas petrográficas y analíticas son importantes porque permiten establecer las características de un depósito aurífero, asociaciones mineralógicas, liberación y/o exposición de sulfuros y metales preciosos. Con los datos generados sobre mineralogía, composición y texturas de los minerales valiosos y de ganga, los procesos de beneficio de los metales preciosos y sulfuros de interés pueden ser optimizados, eliminando pruebas innecesarias.

Palabras clave: Petrográficas, analíticas, aurífero, mineralogía, beneficio.

PETROGRAPHIC AND ANALYTICAL TECHNIQUES APPLIED TO CHARACTERIZATION OF GOLD DEPOSITS AND METALLURGICAL PROCESSES

ABSTRACT

The lack of application of ore petrography and analytical techniques in the history of Colombian gold mining makes the miners continue working with the traditional method of trial and error in the study of the metallic deposits and in the recovery of precious metals. The petrography and the analytical techniques are important because they allow establishing the characteristics of gold deposits and other precious metals, mineralogical associations, liberation condition and sulfide exhibition. With the data generated on mineralogy, composition and textures of the valuable minerals and gangue, the metallurgical processes of recovery of the precious metals and sulfide of interest can be optimized, eliminating unnecessary tests.

Keywords: Petrography, analytical, gold, mineralogy, metallurgical.

¹ Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias – Departamento de Geociencias, Bogotá D.C..

² Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-ambiental y Nuclear. (INGEOMINAS). Centro Operativo Regional Cali.

^{1,2} Grupo de investigación Caracterización tecnológica de minerales.

¹ jcmolano@ciencias.unal.edu.co

² jmojica@ingeomin.gov.co

INTRODUCCIÓN

Las técnicas petrográficas y analíticas son fundamentales en los estudios mineros modernos. Su importancia en la caracterización de depósitos y en lo que se ha denominado mineralogía de procesos ha tomado fuerza en los últimos años debido a sus múltiples aplicaciones en el procesamiento mineral.

En el campo del procesamiento de minerales auríferos son numerosos los trabajos realizados por investigadores de diferentes partes del mundo, los cuales han contribuido a solucionar problemas en la recuperación o hacer más eficiente un proceso.

En el país son escasos los trabajos realizados en el área de la metalurgia extractiva del oro, que hayan tenido en cuenta las técnicas petrográficas y analíticas como una herramienta adicional de análisis en la caracterización de los depósitos y el material de proceso.

En este artículo esbozamos las principales técnicas a tener en cuenta en un estudio de caracterización mineralógica de material de veta y de proceso, así mismo presentamos un material gráfico, compuesto por

microfotografías, donde se muestran ejemplos de algunas de las aplicaciones encontradas en los estudios de caracterización mineralógica adelantados en los últimos siete años en diferentes distritos auríferos del país por INGEOMINAS, en desarrollo del proyecto caracterización de minerales, rocas y carbones.

TÉCNICAS PETROGRÁFICAS Y ANALÍTICAS

Las principales técnicas utilizadas son petrografía de mena, difracción de rayos X, microscopía electrónica e inclusiones fluidas.

Petrografía de mena

Mediante la utilización del microscopio óptico se magnifican las imágenes observadas hasta 1000 veces. Los minerales son identificados por las principales propiedades ópticas como: Color, pleocroísmo, anisotropía y reflexiones internas. Las características más importantes en el trabajo de caracterización de depósitos auríferos son:

- (1) Modo mineralógico de ocurrencia del oro. (FIGURAS 1 y 2).

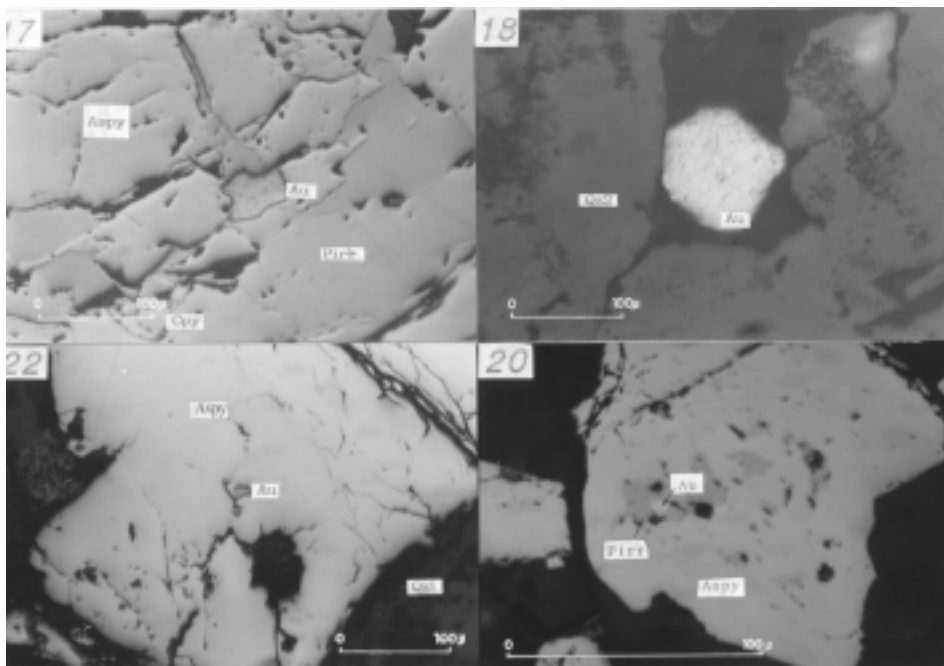


FIGURA 1. Fotomicrografía de luz reflejada de la ocurrencia del Oro (Electrum) en la mina el Canada (Nariño). (17) Oro (Au) reemplazando pirrotina (Pirr). (18) Oro (Au) incluido en Cuarzo (Qz). (22) Oro (Au) muy fino incluido en Arsenopirita (Aspy). (20) Oro asociado a Pirrotina (Pirr) e incluido en Arsenopirita (Aspy).

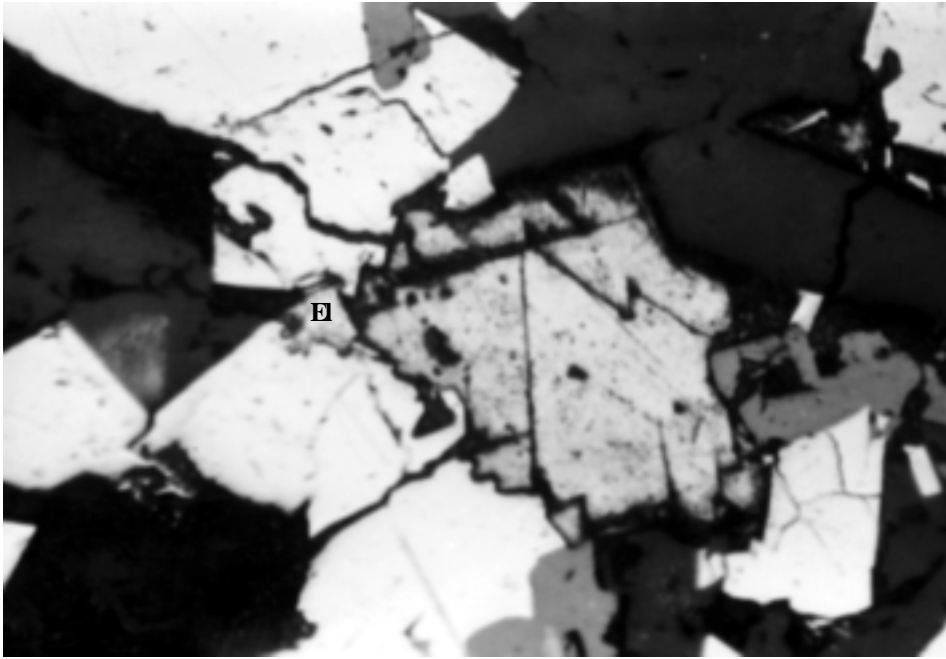


FIGURA 2. Microfotografía de luz reflejada de un grano de Oro (Electrum- El) asociado a Pirita (Py) y Galena (Gn) en la mina El Diamante (Nariño).

- (2) Distribución de tamaño de los granos de oro.
- (3) Tipo de minerales huésped y ganga.
- (4) Distribución de tamaños de grano de los minerales huésped y ganga.
- (5) Asociaciones minerales. (FIGURA 3).
- (6) Alteraciones minerales.
- (7) Texturas y secuencias de depositación. (Marsden and House, 1992).

Todos estos rasgos pueden ser fotografiados a través del microscopio y grabados en medio magnético utilizando un analizador de imágenes, lo que permite preservar un registro de cada una de estas características, que serán utilizadas para establecer los procesos de extracción de oro más adecuados.

En el caso de material de proceso, se pueden evaluar varios parámetros en los estudios de análisis de liberación de sulfuros, liberación y exposición del oro y realizar un control mineralógico en procesos de beneficio tales como concentración gravimétrica con mesa Wilfley, concentración por flotación y lixiviación por cianuración (Henao et al 1994). Los aspectos más importantes a ser tenidos en cuenta en estos estudios son:

- (1) Liberación y exposición del oro.

Molienda del mineral. Se debe determinar de acuerdo al tamaño de los granos de metales preciosos y tamaño de los sulfuros o ganga asociados al oro encontrado en el material de veta. Estos datos deben ser confrontados con los resultados de los análisis que se obtengan del material liberado mediante molienda. (FIGURA 5 y 6).

- (2) Análisis de liberación de Sulfuros

Se establece la malla de liberación de los sulfuros presentes, para lo cual es necesario observar, el porcentaje de minerales en cada malla, sulfuros libres y asociados, formas de minerales (comparación con las de veta intacta), y comparar las texturas observadas en el material de veta con las encontradas en el material liberado. (FIGURA. 7).

- (3) Concentraciones Gravimétricas

Se pueden determinar en los procesos de concentración gravimétrica las formas de los granos obtenidos, establecer el porcentaje de finos producidos en molienda convencional y la cantidad de arcillas u otros minerales perjudiciales. Igualmente se puede observar en los concentrados, medios y colas la granulometría, forma geométrica de los granos,

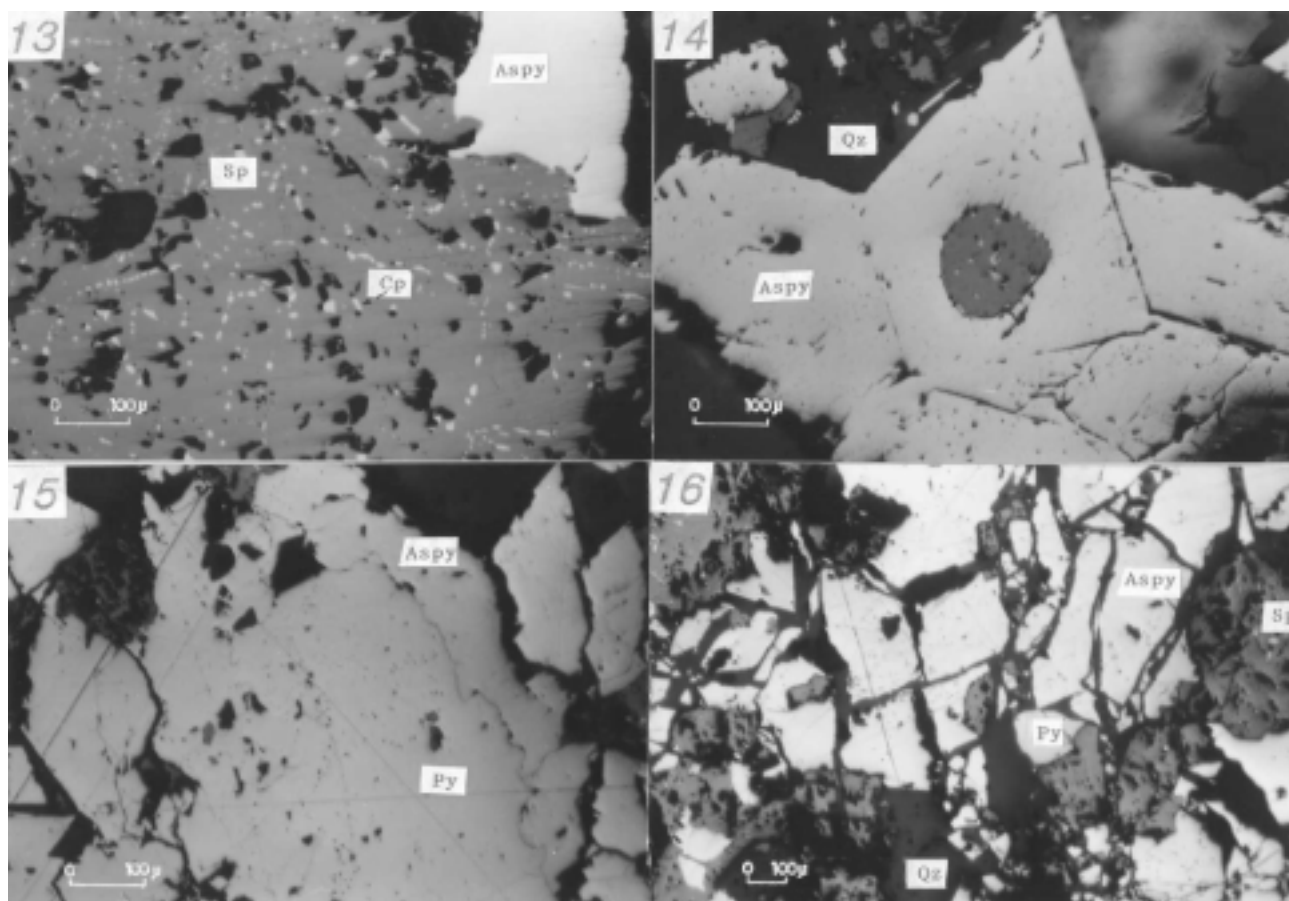


FIGURA 3. Fotomicrografía en luz reflejada, de las asociaciones y texturas mineralógicas presentes en el Diamante (Nariño). (13) Textura de exsolución de Calcopirita (Cp) en Esfalerita (Sp). (14) Textura de reemplazamiento zonal, Esfalerita en Pirita. (15) Pirita (Py) y Arsenopirita (Aspy) en una textura de intercrecimiento. (16) Textura de Brecha, Pirita (Py), Arsenopirita (Aspy) y Esfalerita (Sp).

porcentaje de partículas mixtas, porcentaje de sulfuros y presencia de metales preciosos. (FIGURA 8).

(4) Concentración por flotación.

Es posible observar la mineralogía y principales formas de asociación: presentes en el material flotado y depresado, la presencia de óxidos, arcillas y establecer los tamaños de grano estimando el grado de pureza obtenido en cada producto. Esta información permitiría determinar con precisión la granulometría de trabajo e indicará sobre la necesidad de realizar circuitos de remolienda y/o flotaciones de limpieza. (FIGURA 9).

(5) Lixiviación por cianuración.

Se pueden obtener información útil a la hora de evaluar un proceso de lixiviación. Los parámetros más valiosos a tener en cuenta son:

- Grado de exposición de los metales preciosos a la solución lixivante y evaluación de los efectos causados a los metales. (FIGURAS 10 y 11).
- Granulometría de liberación de los metales preciosos.
- Cuantificación del porcentaje de metal precioso que se puede considerar como refractario y minerales asociados.
- Determinación y cuantificación de minerales cianicidas y reprecipitadores de metales preciosos.
- Porcentaje de carbonatos presentes.

DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X.

Los análisis de Difracción de Rayos X (DRX), son de gran importancia ya que permiten identificar los minerales por sus estructuras cristalinas. DRX ayuda a la identificación de minerales que parecen similares bajo el microscopio, especialmente minerales de grano muy fino tales como las arcillas

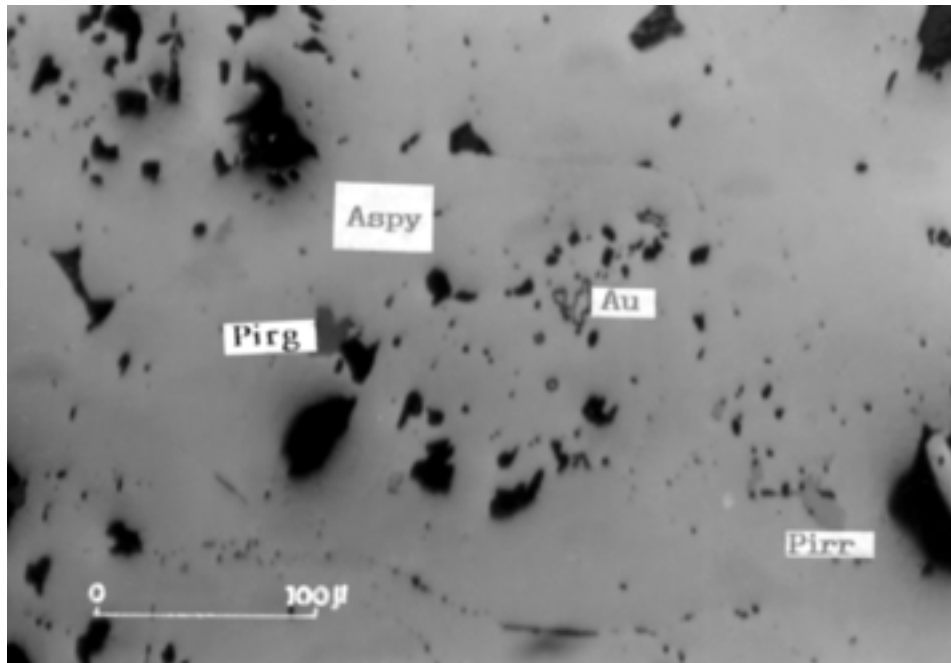


FIGURA 4. Microfotografía de Oro incluido en Arsenopirita (Aspy), Mina el Canadá (Nariño).

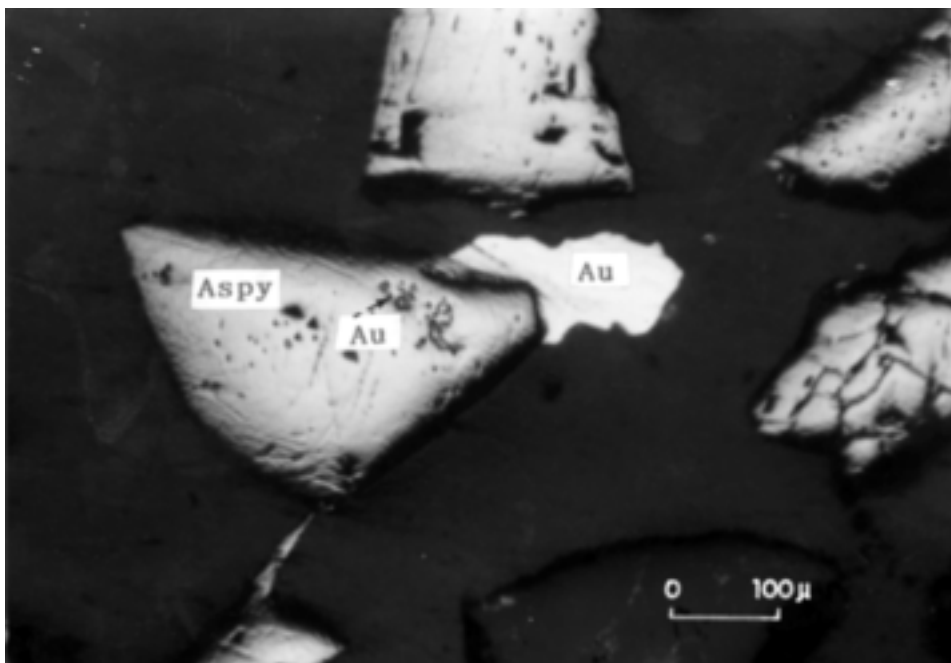


FIGURA 5. Microfotografía de Oro Electrum (El) en material disgregado de la mina El Canadá (Nariño). Parte del oro se encuentra expuesto y parte se encuentra incluido en Arsenopirita (Aspy).

Los análisis de DRX se crean al difractarse a diferentes ángulos una fuente de rayos monocromáticos que es incidida sobre una muestra pulverizada. La combinación de espaciamiento y ángulos entre planos atómicos en un mineral suministra un patrón característico para cada mineral. Estos patrones son comparados con los patrones que se tienen de minerales conocidos para realizar la identificación de los minerales a estudiar (Brink et al, 1991).

En el caso del estudio de depósitos auríferos las aplicaciones mas importantes están en:

(1) El Estudio de material de Veta.

Permite realizar una identificación de los minerales presentes en las zonas de alteración que se encuentran normalmente bordeando los filones. Esta identificación de los tipos de arcilla presente permite que se establezca las zonas de alteración presentes en cada deposito, por ej argilica, propilitica, filica, etc.

(2) En el Estudio de material de Proceso.

Son varias las aplicaciones que se puede encontrar, al ser un método muy rápido y confiable, puede ser utilizado para estimar la relación ganga/sulfuros en un concentrado de un proceso de beneficio específico.

Puede también ser determinada la formación y destrucción de minerales en un proceso pirometalurgico.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

El sistema compuesto por el Microscopio Electrónico de Barrido (M.E.B) y la Microsonda Electrónica (M.E.), viene siendo utilizada en los estudios mineros modernos, como técnica que ayuda a caracterizar de manera mas eficiente diferentes tipos de materiales que se generan en un proyecto minero como son:

(1) Material de Veta.

(2) Corazones de perforación.

(3) Material de proceso (Molano, 1994).

Este sistema permite examinar las muestras a más altas magnificaciones de la que normalmente se conseguirían con un microscopio óptico, de luz reflejada o transmitida (normalmente hasta 1000 aumentos), ya que podemos fácilmente obtener magnificaciones hasta de 100000 veces.

Ambos instrumentos (M.E.B.) y (M.E.) basan sus observaciones en los productos que se crean al bombardear la superficie de una muestra con un haz de electrones de alta energía, produciendo varios fenómenos:

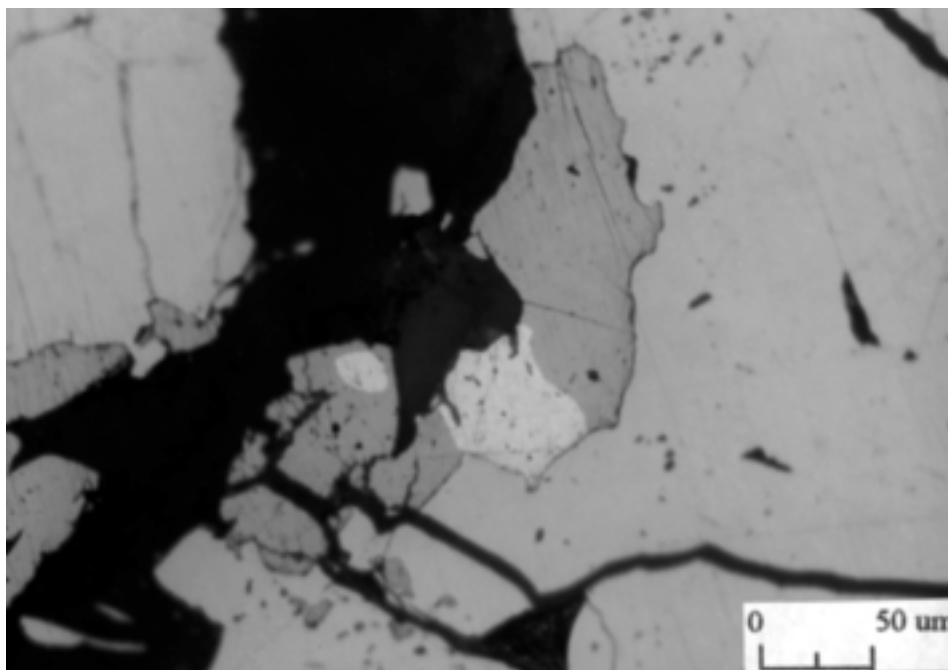


FIGURA 6. Oro Electrum (El) asociado a Pirita, Galena y Cuarzo. Mina El Diamante (Nariño).

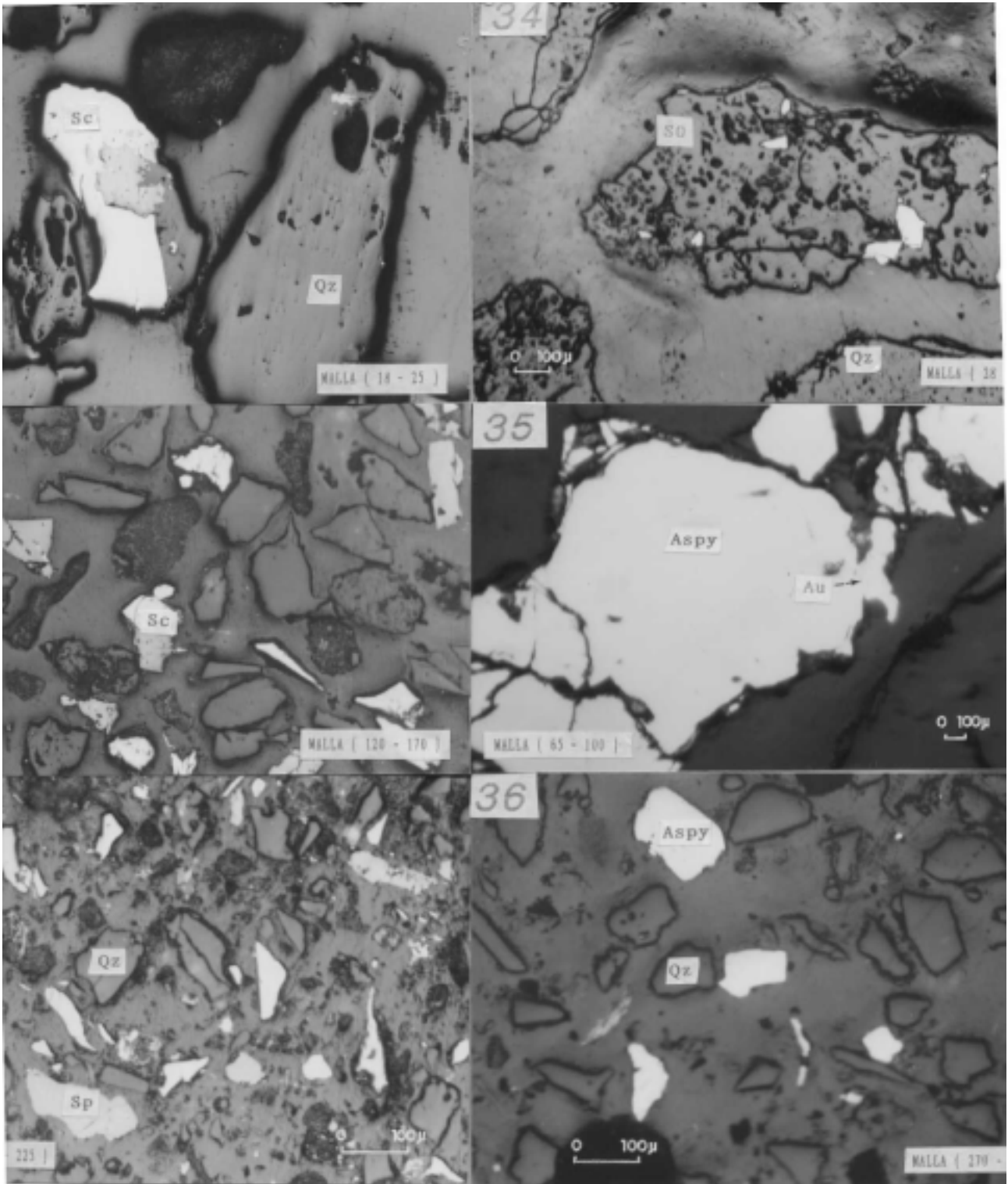


FIGURA 7. Fotomicrografía de mineral de las minas El Diamante y El Canadá (Nariño). Análisis de liberación de sulfuros. En este mosaico se ve como varía la liberación en las diferentes mallas.

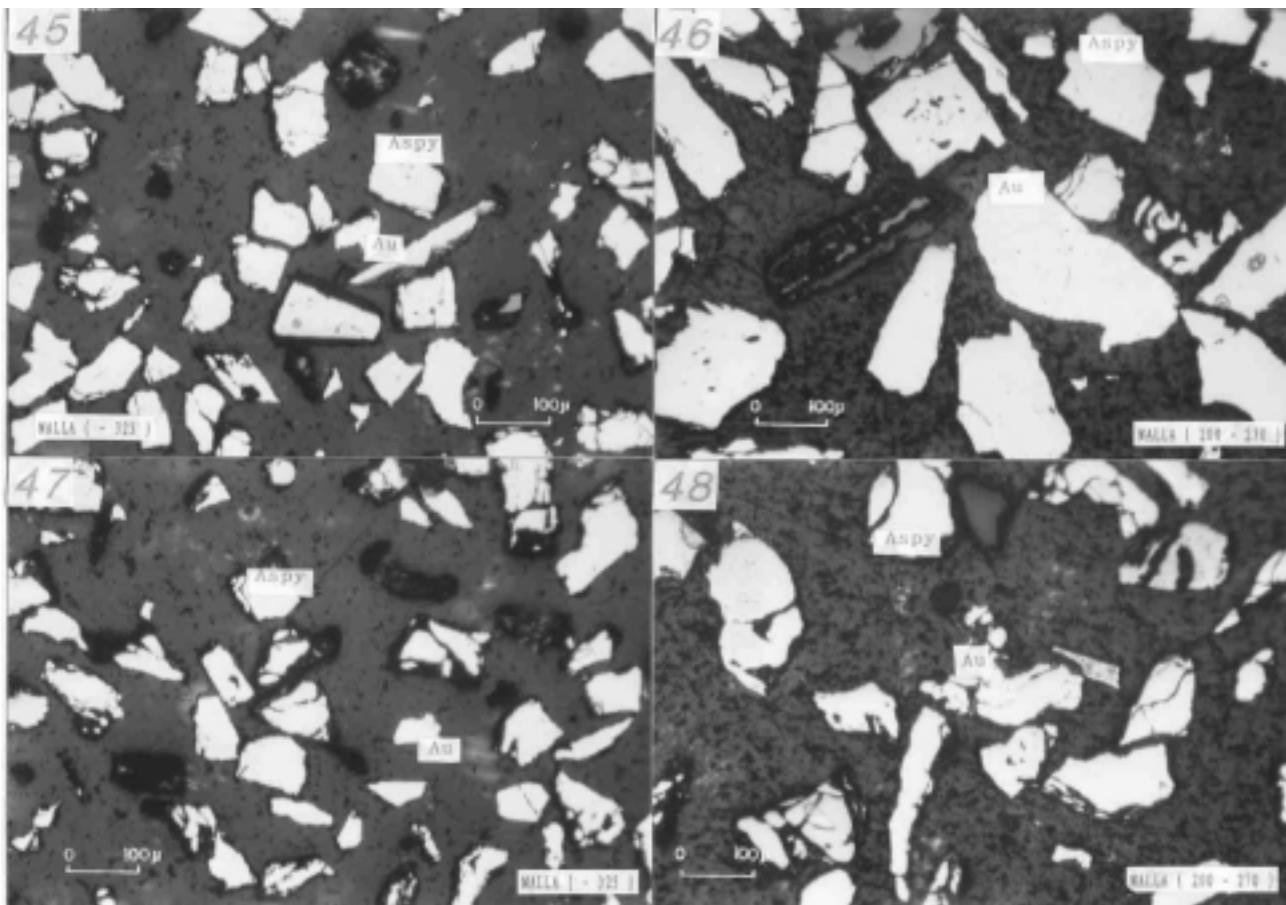


FIGURA 8. Fotomicrografía de concentrados de mesa wilfey, en diferentes mallas.

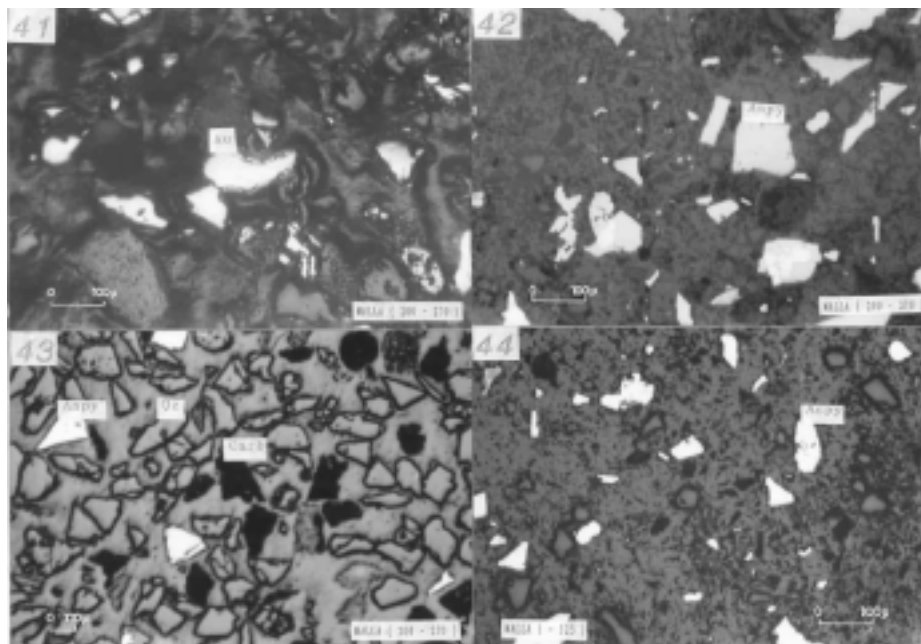


FIGURA 9. Fotomicrografía de concentrados de Flotación (41, 42 y 44) y de material de cabeza (43).

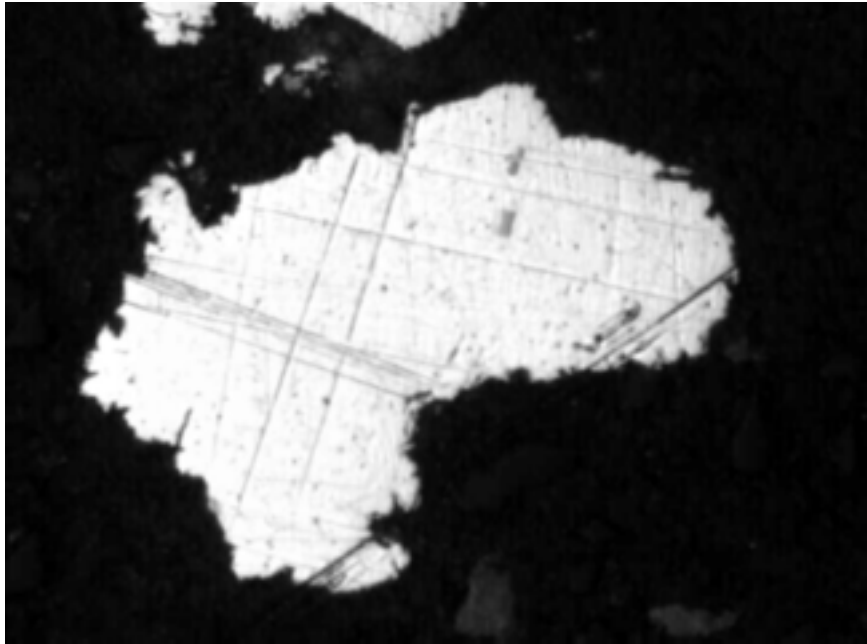


FIGURA 10. Fotomicrografía de luz reflejada de un grano de Electrum (El) sometido a lixiviación. Obsérvese los bordes crenulados (corroídos). Grano encontrado en una cianuración de diagnostico del compost del distrito metalogenico No 80, minas El Chircal, Andalucía, El Rayo II, El Porvenir, Nueva Fortuna y El Tabano.

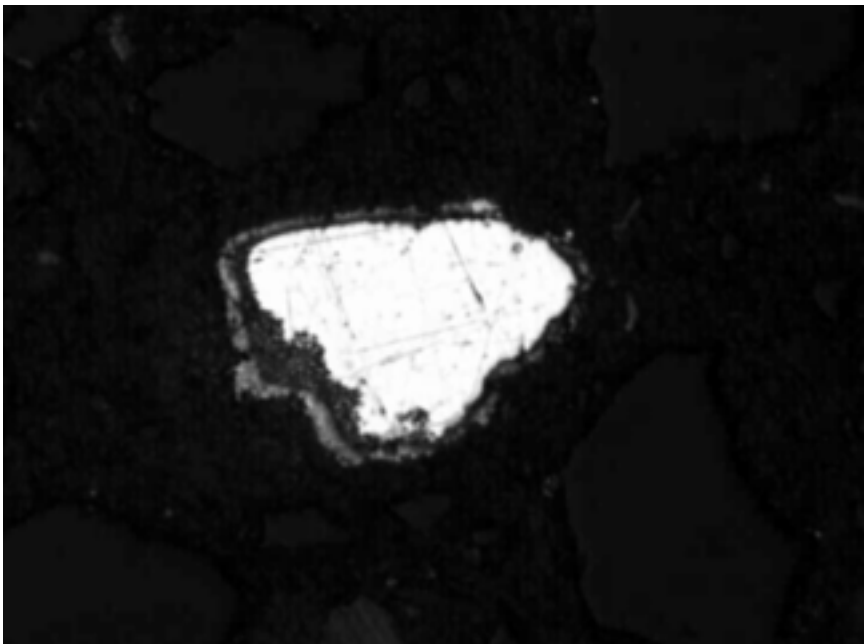


FIGURA 11. Fotomicrografía de luz reflejada de un grano de Electrum (El) sometido a lixiviación. Los bordes se encuentran parcialmente disueltos. Corresponde a la misma muestra de la FIGURA 10.

- Electrones secundarios (Secondary electrons).
- Electrones retrodispersados (Backscattered electrons).
- Rayos X (X Rays).

Esas interacciones son utilizadas por la microscopía electrónica de barrido para crear las siguientes imágenes:

- Imágenes de electrones secundarios (I.E.S.)- Secondary electron imaging (S.E.I.). Como resultado de la interacción de un haz de electrones de alta energía y la muestra, que actúa como un cuerpo conductor débil de electrones, producen electrones de baja energía que proveen información sobre la composición y principalmente sobre la topografía de la muestra.
- Imágenes de electrones retrodispersados (I.E.R.) - Back-scattered electrons (B.E.I)). Imágenes que detectan electrones de alta energía que son retrodispersados de la muestra, siendo la intensidad promedio de los (E.R.) proporcional al promedio del peso atómico de los elementos que componen el mineral. Estas son usadas para identificar diferencias composicionales en una muestra.

También a partir de la emisión de Rayos X es posible generar el siguiente producto:

- Mapas elementales de Rayos X.(M.E.R.X) – X-Ray maps (X-R.M.). Son imágenes que se construyen a partir de la identificación y Cuantificación de la composición química elemental puntual (diámetro aproximado del rayo de un 1 mm) y que junto con un software de procesamiento de imágenes permite crear un mapa de distribución química elemental en una muestra. (FIGURAS 13 y 14) (Molano, 1999).

INCLUSIONES FLUÍDAS

Es uno de los métodos que ha recibido mas atención en los últimos años por su utilidad en el estudio de la temperatura de deposición de los minerales de mena. Las inclusiones fluidas se forman por el entrapamiento de fluido o gas en las irregularidades de un mineral (FIGURA 15), cuando esta cristalizando, suministrando información sobre el carácter, origen y evolución de los fluidos hidrotermales formadores de mena. (Guilbert and Park, 1990).

Se estudian dos tipos principales de inclusiones: Primarias y Secundarias. Su análisis se realiza mediante la elaboración de una sección delgada doblemente pulida y la utilización de una platina calentadora.

Las principales aplicaciones son :

- (1) Estudio de la génesis de un Deposito Mineral
- (2) Exploración mineral y evaluación de un deposito.
- (3) Identificación de piedras preciosas.

CONCLUSIONES

La combinación de las diferentes técnicas petrográficas y analíticas en el estudio de depósitos de mena y material de proceso genera los datos sobre mineralogía, composición y texturas de minerales valiosos y ganga, desde los cuales los procesos de extracción pueden ser optimizados. Estas también ayudan a resolver los problemas de operación causados por los cambios en un deposito mineral o deficiencias de equipos.

El conocimiento que proporcionan estas técnicas sobre las características de los fluidos mineralizantes ayudan a determinar los ambientes favorables para la deposición.

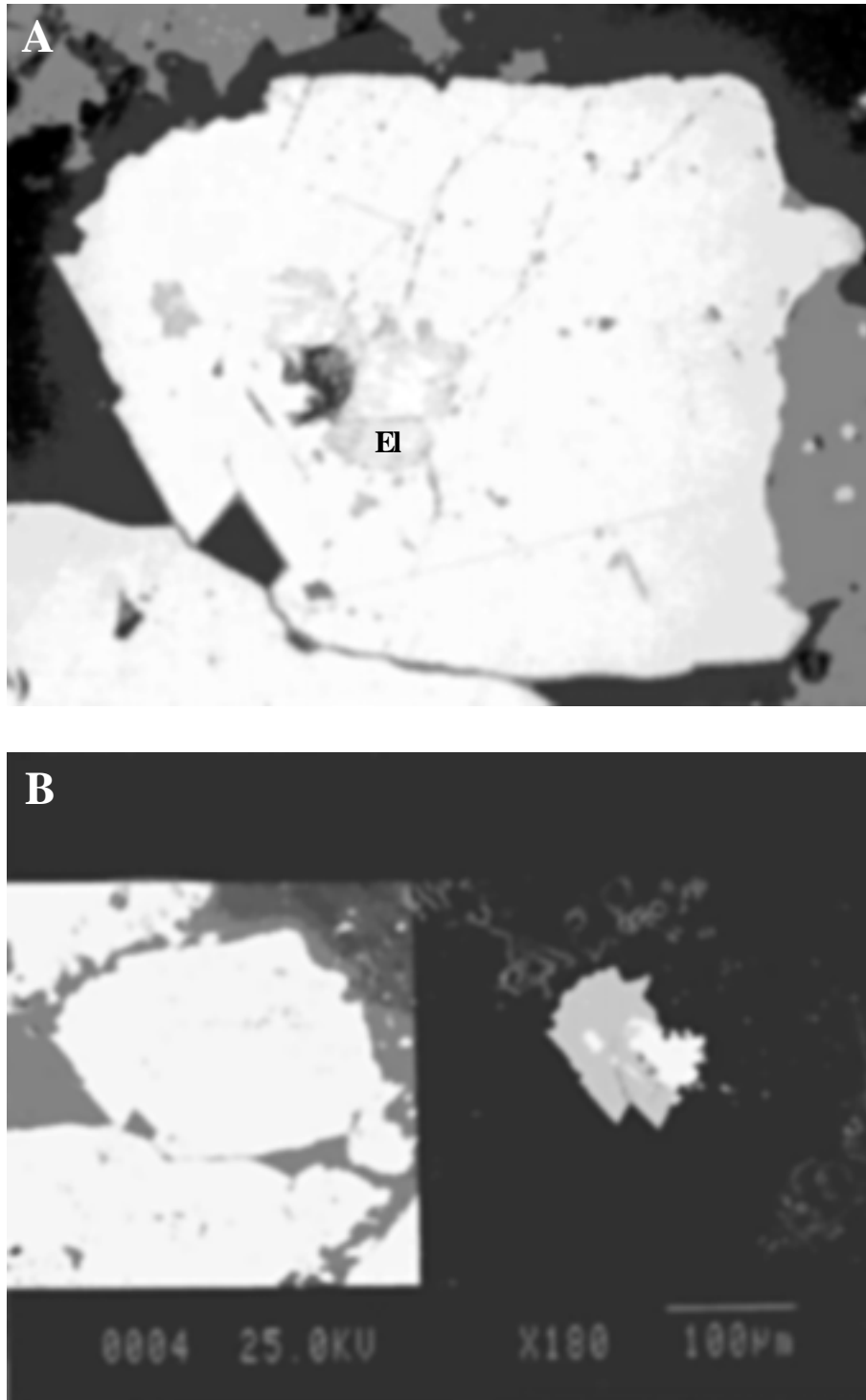


FIGURA 12. Grano Electrum (El) asociado a Arsenopirita (Aspy) y Pirita (Py). (A). Fotomicrografia de luz reflejada de un grano de Electrum asociado a Pirita y Arsenopirita. (B). Imagen con electrones retrodispersados donde se puede observar claramente las diferencias composicionales entre los tres minerales expresadas en tonalidades de gris.

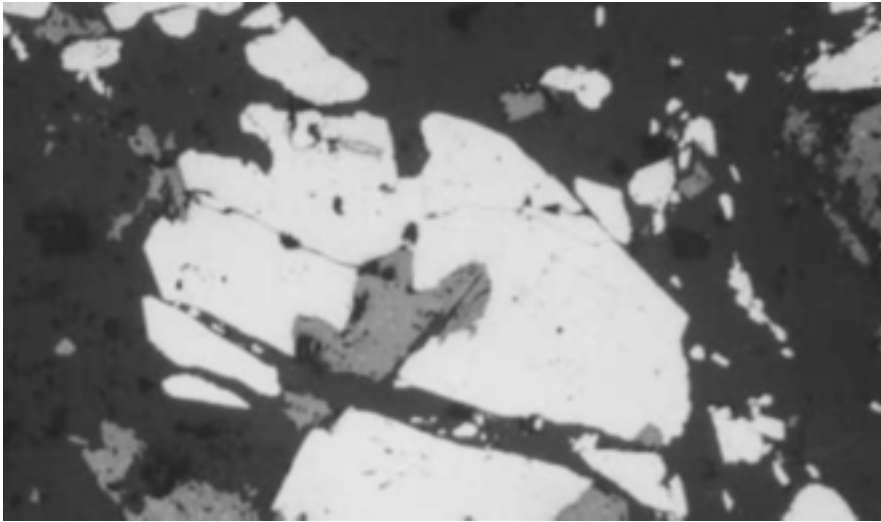


FIGURA 13. Fotomicrografía de luz reflejada de una pirita arseniosa de la mina El Diamante (Nariño).

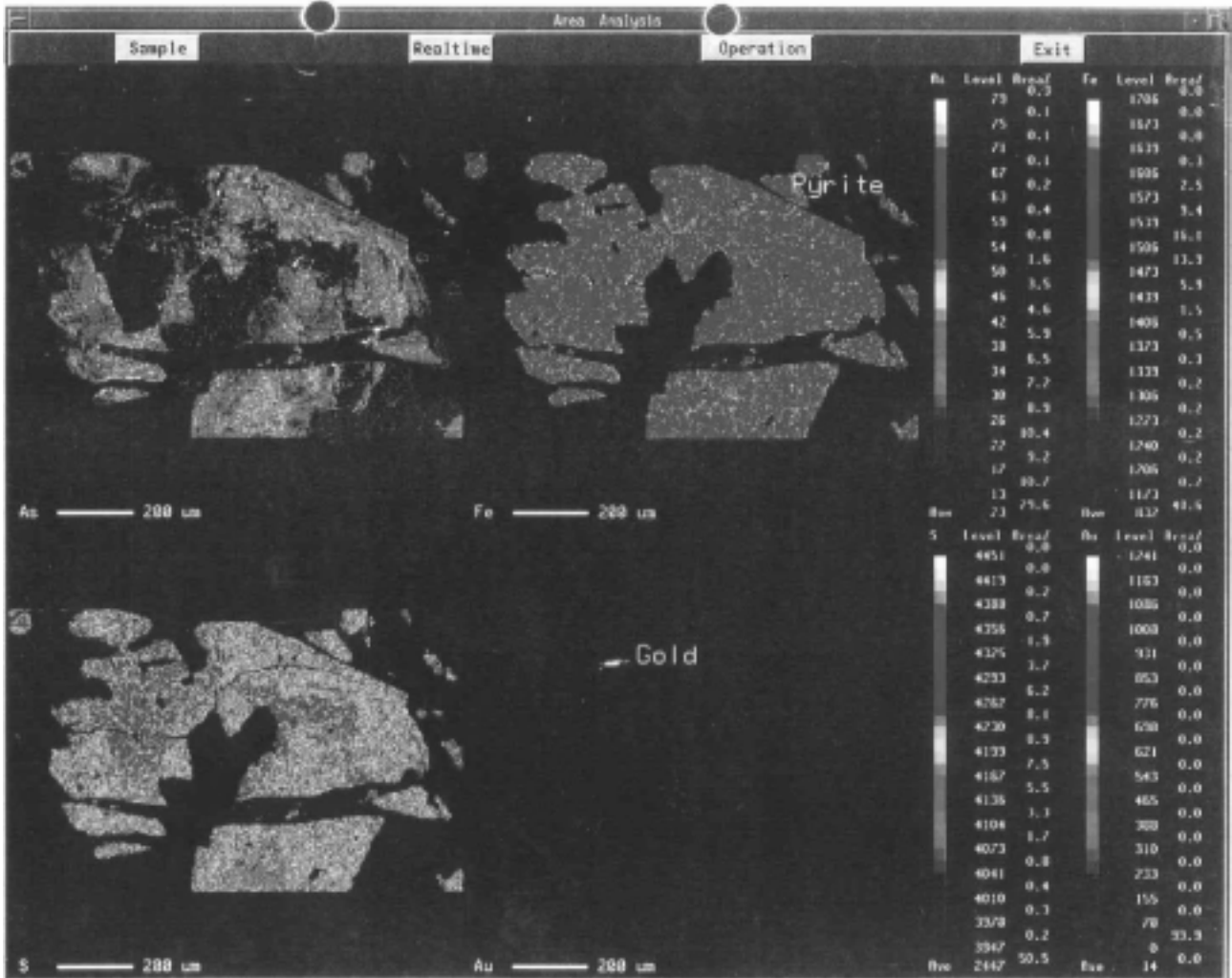


FIGURA 14. Mapa elemental de rayos X de una pirita arseniosa. Corresponde al mismo mineral mostrado en la FIGURA 13. Se observa zonación de As con bandas alternantes de contenido alto (A) y bajo (B).

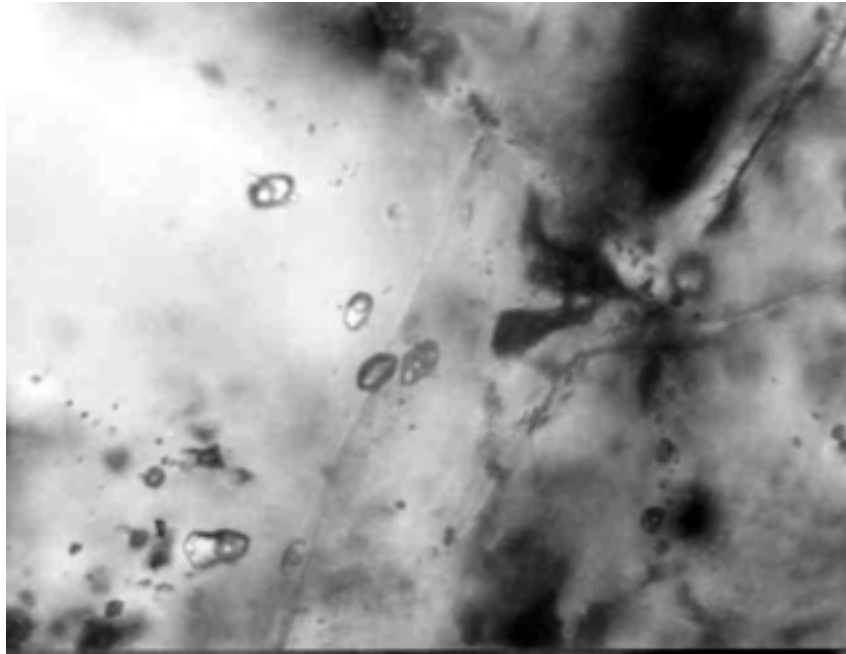


FIGURA 15. Fotomicrografia de inclusiones fluida ricas en liquido en venas de Cuarzo, Mina El Diamante.

REFERENCIAS

Brink, S., Saini-Eidukat, B., Earley, D. y Blake. (1991). Application of petrographic techniques to assess in situ leach mining potential. U.S. Bureau of Mines, pp.1-14.

Guilbert, J. M., and Park, C. F. (1990). Geology of ore deposits.

Henao, H., Londoño, J.I., Mojica, J. y Molano, J.C. (1994). La Mineralogía de procesos en la Recuperación de Metales Preciosos. IX Congreso Nacional de Minería, pp. 1-23.

Marsden, J., and House, I. (1992) The chemistry of gold extraction. Ellis Horwood Limited, New York, 597p.

Molano, J.C. (1994). La Microscopia electronica en el estudio de material de beneficio. Curso Caracterizacion mineralogica y mineralogia de procesos para el beneficio de minerales, Julio 7-10, 1994, INGEOMINAS, Centro Operativo Regional Cali, pp. 124-131.

Molano, J.C. (1999). Mineralogical and geochemical study on the Diamante gold deposit (Colombia) and some genetic aspects: Unpublished M.Sc. Thesis, University of Tokyo, Japan, 84 p.

Trabajo recibido: Octubre 22 de 2003

Trabajo aceptado: Junio 15 de 2004