

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ROCAS QUE COMPONEN EL CUERPO VOLCÁNICO QUE AFLORA EN CERCANÍAS AL MUNICIPIO DE IZA, BOYACÁ, COLOMBIA. PETROGRAFÍA, METALOGRAFÍA Y ANÁLISIS ELEMENTAL POR MEDIO DE UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

David Andrei Contreras Fayad¹, José Maria Jaramillo Mejía^{1,2}

¹ Departamento de Geociencias – Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, ²Laboratorio Gmas Ltda.
Correo Electrónico: dacontrerasf@unal.edu.co, jmjaramilom@unal.edu.co; gmasltda@gmasltda.com
Página Web: www.unal.edu.co; www.gmasltda.com.

RESUMEN

Por medio de análisis petrográficos, metalográficos, de composición química elemental con un SEM (EDAX) y análisis de difracción de Rayos X de cuatro secciones delgadas y pulidas y sus respectivas muestras de roca provenientes del cuerpo volcánico de Iza, se logra desarrollar una caracterización mineralógica completa de las mismas.

La fuerte alteración hidrotermal que presentan dichas rocas volcánicas es evidente en los diferentes análisis que se realizaron, gracias a la presencia de minerales como la tridimita, el ópalo, la calcedonia, epidota (pistacita), y alunita, este último mineral está usualmente reemplazando al feldespato potásico. El estudio metalográfico mostró un predominio de piritita y rutilo en relación al total de minerales metálicos en venillas y sus inmediaciones. Por medio de la interrelación entre petrografía y análisis elementales con microsonda EDAX, fue posible la identificación de los anfíboles. De otro lado la difracción de rayos X fue de vital importancia en determinar la presencia de sanidinas formadas durante la fase magmática. Estas sanidinas no son los únicos minerales que aportan K₂O a la roca.

Palabras clave: Alteración hidrotermal, anfíboles, fase hidrotermal, fase magmática, rutilo, sanidina.

Mineralogical Characterization of Rocks Composing the Volcanic Body that Crops Out near Town of Iza, Boyacá, Colombia. Petrography, Metallography and Elemental Analysis by Scanning Electronic Microscope.

ABSTRACT

We present here the results of detailed analysis of four samples from the Iza Volcanic body. The analysis were done at Gmas* Laboratory using an array of tools available there: **Optical microscopy** for petrographic, and metallographic study of polished thin sections; a SEM with BSE, SE and EDAX allowed the elemental chemical composition of minerals present in the samples, and finally we use XRD for mineral identification.

The strong hydrothermal alteration of the Iza volcanic rocks was evident in all the analyses that were carried out, we identified the presence of minerals as the tridymite, the opal, the chalcedony, epidote (pistacita), and alunite, this last mineral is usually replacing potassic feldspars. The metallographic study showed a prevalence of the pyrite and the rutile in relation to the total of metallic minerals in veins and its surrounding area. By means of the optical petrography and elemental analysis with the EDAX, it was possible the identification of the amphiboles. On the other hand, X-ray diffraction was of vital importance in determining the presence of sanidine (highly disordered). We also found that sanidine is not the only K₂O rich phase on these volcanic rocks.

Key words: Amphiboles, hydrothermal alteration, hydrothermal phase, magmatic phase, rutile, sanidine.

INTRODUCCIÓN

Varios estudios en el área de la geología han estado basados en las rocas de Iza, pues su relación con el volcanismo terciario en la Cordillera Oriental es considerada, por parte de la comunidad científica, como primordial para el entendimiento del mismo. Algunos de estos estudios consideran que las rocas volcánicas de Iza serían derivadas de un magma originalmente enriquecido en K_2O y relativamente pobre en Na_2O , que posteriormente es afectado por procesos intensos de metasomatismo potásico, así como también de alteración por actividad hidrotermal que actualmente se evidencia por la presencia de fuentes termales en inmediaciones al cuerpo volcánico; tales procesos post-eruptivos son reflejados tanto en los contenidos bajos de Na_2O , FeO y MgO , como en los altos contenidos de óxidos como K_2O y SiO_2 y de elementos como Ba, Rb, Mn, Li. La fuerte alteración hidrotermal y el metasomatismo que han afectado a las rocas volcánicas de Iza hacen que la petrografía de las mismas presente algún tipo de complicación, que al final se podría traducir en el hecho de que una clasificación modal arroje falsos resultados.

ANTECEDENTES

En cuanto al área específica de interés, Hébrard (1985) es el primer autor en publicar un trabajo basado en análisis petrográficos y químicos. Posteriormente, Martínez (1989) incluye caracterización petrográfica de varias muestras y adicionalmente análisis geoquímicos que evidencian el carácter alcalino de las rocas de las rocas volcánicas de Iza. Romero & Rincon (1991) realizan análisis geoquímicos que les permiten inferir un alto contenido de potasio y bajo de sodio para el magma original, además de una fuerte influencia de procesos de metasomatismo potásico y actividad hidrotermal, posteriores.

De los trabajos más recientes vale la pena mencionar a Velandia (2004) que sugiere una relación estrecha entre la actividad volcánica de Paipa e Iza.

MARCO GEOLOGICO

La Cordillera Oriental de Colombia se considera como el resultado de la interacción entre las placas de Nazca, Caribe y Suramericana (Pennington 1981; Cooper et al 1995; Trenkamp et al 2002) (Figura 2), cuya ocurrencia estaría estrechamente relacionada con la convergencia por el NW de la placa Suramericana, de un arco de islas antiguo (Serranía del Baudó – Panamá), el cual colisionó finalmente con el continente hace 3 – 7 Ma.

La cordillera Oriental consiste principalmente de rocas sedimentarias del Cretácico y del Terciario Inferior, depositadas en un ambiente marino y continental, respectivamente. Dichas rocas se encuentran sobre un basamento cuyas rocas poseen edades desde Precámbricas a Jurasicas y/o Pre-Cretácicas.

Las rocas ubicadas en el área de interés están representadas por la Formación Une, Formación Churuvita, Formación Conejo, Grupo Guadalupe (*Formación Arenisca Dura*, *Formación Plaeners*, *Formación Arenisca Tierna*) y la Formación Guaduas para el Cretácico, y las Formación Socha Inferior, Formación Socha Inferior, Formación Picacho y Formación Concentracion para el Terciario.

METODOLOGIA

- 1) Petrografía. Para este procedimiento se utilizaron dos microscopios ópticos, el primero marca Leitz que cuenta con cuatro objetivos de 3.5, 5.6, 10 y 50 aumentos; el segundo marca Nikon que cuenta con cuatro objetivos de 4, 10, 20, 40 aumentos. También para esta etapa de la

investigación se dispuso de cuatro secciones delgadas-pulidas (1-Z-3, 4Z-2, 4Z-2A y 5Z-1) que fueron utilizadas para la mayoría de las etapas que hacen parte del presente trabajo.

- 2) Metalografía. Se utilizó el mismo microscopio marca Leitz y secciones delgadas-pulidas mencionadas con antelación.
- 3) Análisis de Laboratorio. Se realizaron análisis en las secciones delgadas-pulidas con un microscopio electrónico de barrido marca Jeol JMS T 330A equipado con una sonda PGT para análisis EDS, detector Si(Li) de elementos livianos y software de procesamiento IMIX v.9.0 para análisis cualitativo y cuantitativo. Además se realizaron análisis de difracción de rayos X, para una muestra representativa de feldespatos obtenida a partir de las que fueron utilizadas para la elaboración de las secciones delgadas-pulidas. El equipo de difracción de rayos X presenta algunas especificaciones como “Scan Speed” de 2 Sec/step, un ángulo de incidencia de $2-70^{\circ} 2\theta$, posee un generador de 40 Kv 30mA, monocromador de grafito, siller antiscattering, filtro de níquel y radiación Cu $K\alpha$ igual 1,5406 Å. Todos los análisis de laboratorio se realizaron en **Gmas Ltda.**

RESULTADOS OBTENIDOS

PETROGRAFÍA

Los resultados obtenidos mediante la consecución de esta etapa del estudio se encuentran sintetizados principalmente en las tablas 1 y 3 y están soportados por las figuras 2 – 7.

METALOGRAFÍA

Por medio del estudio metalográfico se pudo determinar la ocurrencia de cinco tipos de minerales metálicos, tales como la pirita, hematita, goethita, rutilo y la blenda, en orden de abundancia; sus principales características están expuestas en capítulo siguiente.

ANÁLISIS DE MICROSONDA

Los resultados mas representativos obtenidos mediante la consecución de esta etapa del estudio fueron sintetizados en la Tabla 2 y las figuras 10-19 representan principalmente los espectros de composición de los minerales analizados.

DISCUSION DE RESULTADOS

PETROGRAFÍA

Las rocas volcánicas de Iza presentan una textura microporfírica, compuesta por fenocristales que se encuentran dispuestos dentro de una matriz predominantemente de vidrio; los fenocristales de esta roca consisten principalmente de sanidinas con formas primordialmente euhedrales (Fig. 5); en contraste los fenocristales de cuarzo, que alcanzan solo el 1%, se configuran como una facie mineral subordinada al feldespato. Se pudo determinar el carácter ácido de la matriz de estas rocas dado que el índice del balsamo era siempre mayor a él de su matriz.

El grado de cristalinidad originalmente hipocristalino de la roca, puede ser determinado del alto porcentaje que representa el vidrio sumado a la matriz devitrificada con respecto a la fracción cristalina original (Tabla 1).

Los fenocristales de cuarzo se presentan con formas euhedrales a subhedrales, siendo muy común encontrarlos exhibiendo formas bipiramidales (Fig. 2), comunes para esta especie mineral. Este tipo de cuarzo ocurre muy limpio, posee un tamaño medio, extinción uniforme y puede estar rodeado de pequeños cristales del mismo mineral con extinción ondulosa (Fig. 4).

Lo anterior puede ser indicio de la presencia de dos diferentes generaciones de cuarzo, siendo el cuarzo euhedral y con extinción uniforme el más reciente de los dos (Martínez, 1989).

Características ópticas como la ocurrencia de macla sencilla, figura de interferencia biáxica con ángulo axial tan pequeño que pareciera ser casi uniáxica y frecuentes inclusiones de vidrio volcánico dentro de sus cristales (Fig.5), permitieron de manera preliminar clasificar los feldespatos de estas rocas volcánicas como sanidinas

Se presentan zonas de mineralización conformadas por venillas o venas de cuarzo generalmente en diente de perro, poli-microcristalino, minerales opacos de formas cúbicas (principalmente pirita) y calcedonia radial en menor proporción. Asociados a dichas venillas ocurren con frecuencia minerales típicos de alteración hidrotermal tales como calcedonia, tridimita y en menor proporción el ópalo y la epidota (pistachita). La pistachita puede encontrarse junto con otros minerales de origen hidrotermal (Fig. 6) y/o sobre fragmentos o cristales de feldespato.

Según la clasificación de Streckeisen (en Hibbard 1995) para rocas ígneas, las rocas volcánicas de Iza pueden clasificarse como traquitas de feldespato alcalino (97% de feldespato potásico vs. 3% de cuarzo), sin embargo dicha clasificación puede producir resultados falsos dada la fuerte influencia de alteración hidrotermal y en general de procesos post-formación (Hernández & Osorio 1990).

METALOGRAFÍA

Los minerales metálicos se concentran primordialmente en venillas y zonas de alteración hidrotermal, en menor proporción sobre algunos ejemplares de minerales translucidos (principalmente anfíboles). Estos minerales presentan texturas granulares, exhibiendo generalmente formas idiomórficas a xenomórficas; de lo cual se deduce que los minerales metálicos se encuentran rellenando espacios abiertos.

Pirita: Mineral metálico predominante que presenta textura granular en cristales primordialmente idiomórficos (Fig. 7) y en menor proporción xenomórficos, en especial cuando se encuentra a lo largo del contacto entre venillas y roca encajante. Primordialmente en venillas o inmediaciones a estas, en menor proporción en la matriz vítrea de la roca y anfíboles. Posee todas sus características ópticas típicas y puede estar alterada parcialmente a hematita, goethita o una mezcla de estos dos minerales.

Rutilo: Posee un color gris con un ligero tinte azul, anisotropía que se encuentra enmascarada por las reflexiones internas de tonos amarillos que presenta (Ineson 1989). No pleocroico. Es bastante común encontrarlo asociado a la pirita, presentando una textura de reemplazamiento de tipo pseudomórfico de relicto (Fig. 8) o configurando una textura de reemplazamiento donde el borde cóncavo entra hacia el mineral más antiguo, mostrando localmente que la pirita es anterior al rutilo (Fig. 9).

Hematita y Goethita: Minerales secundarios que comúnmente se presentan asociados, reemplazando principalmente a la pirita. En algunos casos el reemplazamiento es masivo, no obstante ciertas zonas evidencian granos de pirita que están siendo reemplazados de por hematita y goethita en forma zonal. Los dos minerales poseen sus típicas características microscópicas (según Ineson 1989).

Blenda: Su ocurrencia en la sección 1-Z-3, fue determinada por los análisis realizados con el microscopio electrónico. Consiste de una blenda bastante pura (sin contenido de hierro).

ANÁLISIS DE MICROSONDA

Para el análisis cuantitativo se utilizó la corrección ZAF (Corrección por número atómico (Z), absorción y fluorescencia); éste mostró que los óxidos que predominan en las rocas

volcánicas de Iza, son el SiO_2 , Al_2O_3 y K_2O . La ocurrencia de K_2O en el vidrio que compone la matriz de las rocas volcánicas, con valores desde 4.5 a 12.5% (Fig. 10), (puntos 5Z_1_min9_12, 5Z_1_min9_13 y 5Z_1_min9_14 en Tabla 2), podría explicar los porcentajes relativamente altos de dicho óxido que han sido reportados en trabajos sobre la geoquímica de las rocas de Iza (Martínez 1989; Hernández & Osorio 1990; Romero & Rincon 1990).

Los análisis realizados con la microsonda en feldespatos (Fig.11), revelaron una composición muy aproximada a la que se muestra en la literatura para una sanidina (Hurlbut 1976), no obstante el Na_2O en las sanidinas analizadas nunca alcanza el porcentaje que muestra la literatura para este mineral (2.82%), puesto que el mayor valor de este óxido es de 2.2%, siendo entonces las sanidinas más enriquecidas relativamente en K_2O . De los contenidos de azufre en algunas sanidinas analizadas se pudo determinar la ocurrencia de una patina de alunita ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), donde la petrografía evidenciaba un desarrollo importante de alteración (Fig.12). Este mineral es principal producto de la alteración hidrotermal sobre rocas como riolitas, dacitas y andesitas (Kerr 1965) y está relacionado estrechamente a ambientes volcánicos (Hurlbut 1976).

Los componentes de la roca que inicialmente pudieron confundirse con fragmentos de roca, pero que por su forma geométrica, muy cercana a la de los anfíboles, revelaron su carácter cristalino, fueron analizados con microsonda mostrando un predominio de SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , que en algunos puntos se presentan acompañados de otros óxidos como FeO , SO_3 , TiO_2 y ocasionalmente Na_2O , ZnO y ZrO_2 (Fig. 13). De acuerdo con Proctor *et al.* (1991) y Hurlbut (1976), se puede establecer efectivamente que se trata de anfíboles que poseen Fe, Ti, Na y particularmente K, siendo estos dos últimos los responsables de la ausencia de calcio dentro

de la estructura del mineral, dado el alto porcentaje de K_2O en el magma que generó las rocas.

El anfíbol representado en la Fig.16, cuya composición puede observarse en la Fig.15, presenta una textura gráfica relacionada con la formación de pequeños cristales de composición variada en su interior, comportamiento no atípico en hornblendas que frecuentemente pueden incluir minerales como plagioclasas espinelas, entre otros.

Por medio de los análisis cuantitativos que se realizaron en los puntos 5Z_1_min9_01, 5Z_1_min9_02 y 5Z_1_min9_06 (Tabla 2), se confirmó la ocurrencia de rutilo dado que el TiO_2 es muy cercano al 100%; así mismo se pudo deducir el reemplazamiento de tipo pseudomórfico de un feldespato original de la roca (Fig.8), por su interacción con un fluido relativamente rico en titanio, dada la ocurrencia de zonas constituidas por SiO_2 , TiO_2 y en menor proporción Al_2O_3 . La asociación entre el rutilo y la pirita se refleja en los porcentajes bajos de FeO y azufre, observados en los análisis realizados para el primer mineral, ya sea porque estos dos se encuentran reemplazando al feldespato alcalino (Fig.8) o porque el rutilo reemplaza a la pirita, tal como lo demuestra el estudio metalográfico (Fig.9). Aunque la pirita muestra porcentajes bastante cercanos a los que reporta la literatura (Fig.19), es un factor común que este mineral presente un contenido relativamente mayor de FeO con respecto al azufre (Tabla 2). La blenda se pudo encontrar por medio de los análisis cuantitativos realizados a la sección 1-Z-3 (puntos 1Z_3_min9_05 y 1Z_3_min9_06 de la tabla 2), que mostraron porcentajes normalizados muy cercanos a lo que según la literatura correspondería con una blenda pura (Hurlbut 1976), en la cual el ZnO presenta un comportamiento similar al FeO en las piritas analizadas (Fig.18).

ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN FELDESPATOS

A partir de los análisis de difracción de rayos X, realizados a la muestra de feldespatos que fueron separados de la roca triturada, se obtuvo un difractograma que posteriormente se comparo con diferentes patrones establecidos de feldespatos potásicos, siendo la sanidina al que mejor se adaptaron a los picos del difractograma obtenido (Fig.20). De otro lado, la ocurrencia de un pico menor aproximadamente hacia el valor de 18° del ángulo 2θ , junto a otros picos enmascarados por algunos de la sanidina, ratificaron la ocurrencia de alunita, determinada inicialmente por los análisis con microsonda EDAX.

La aplicación del método de Rietvelt permitió refinar el difractograma obtenido con respecto al patrón de la sanidina (Fig. 21), con un RWP (factor de refinamiento) menor al 20%, el cual proporciona una buena certeza para la correlación. Factores como reemplazamiento de átomos de silicio por aluminio, de aluminio por hierro, presencia de algún OH^- dentro de la estructura cristalina del mineral y en general cualquier alteración dentro de la estructura cristalina considerada como “Ideal” para la sanidina, estarían estrechamente relacionados con la calidad en el factor de refinamiento (RWP). Dicha relación es mostrada en el difractograma obtenido después de la aplicación del método de Rietvelt (Fig.21), mediante el espectro de color gris ubicado precisamente debajo del difractograma refinado, ya que los picos que sobresalen a la línea recta central pueden estar ligados con los factores antes referenciados.

CONCLUSIONES

Las rocas que componen el cuerpo volcánico de Iza se encuentran afectadas por procesos hidrotermales que se reflejan principalmente en la presencia de minerales como el ópalo, la calcedonia, la tridimita y la epidota.

Se encontró que los principales minerales metálicos presentes en las rocas de Iza son predominantemente la pirita y el rutilo, la blenda se encuentra en una proporción muy baja con respecto a estos dos minerales, la hematita y la goethita se presenta frecuentemente asociadas y consisten en minerales secundarios producto de la alteración del sulfuro de hierro. Todos los minerales metálicos se concentran en el interior de las venillas y en sus inmediaciones, por lo cual en su mayoría exhiben texturas locales granulares que indican relleno de espacios abiertos.

La presencia de alunita que fue determinada por los análisis de microsonda EDAX y confirmada por los de difracción de rayos X, está relacionada al proceso de alteración hidrotermal de los fenocristales de sanidina que poseen las rocas volcánicas de Iza.

Los anfíboles presentes en las rocas volcánicas de Iza son difíciles de caracterizar únicamente por petrografía, siendo los análisis realizados por medio de la microsonda EDAX una herramienta poderosa para determinar su composición y realizar su caracterización. Dichos análisis mostraron que estos anfíboles están compuestos por porcentajes variables de SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , FeO , TiO_2 ; mientras que el SO_3 es el único óxido que no pertenece a la fase magmática.

Los altos contenidos de K_2O que se han determinado en los trabajos de geoquímica de las rocas volcánicas de Iza, no se pueden relacionar única y exclusivamente con los feldespatos potásicos, ya que este óxido se presenta con porcentajes importantes en otros componentes de la roca como el vidrio y los anfíboles.

Los análisis de microsonda EDAX junto con los de difracción de rayos X, permitieron establecer que los feldespatos potásicos de la roca volcánica de Iza son sanidinas ricas en K_2O

generadas en la fase magmática, durante el enfriamiento rápido de un magma que llega a la superficie.

Los altos porcentajes de SiO₂ que muestran los análisis de microsonda EDAX, permiten establecer que el magma original que generó el cuerpo volcánico de Iza tenía una composición ácida, siendo consecuentemente muy viscoso, de lo cual se infiere que las erupciones de material volcánico eran violentas.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor José María Jaramillo, por la confianza y gran conocimiento que desde un principio me confirió. También a todo el personal de Gmas Ltda., por su gran apoyo.

A mi círculo familiar más cercano por el apoyo incondicional.

A las profesoras del Departamento de Geociencias, Ana Elena Concha, Gloria Rodríguez y Analía del Valle, por su muy valioso conocimiento.

A mis amigos que durante toda la carrera se convirtieron en parte importante de mi vida.

A Yamile Fayad q.e.p.d., que durante su vida fue más que una tía para mí.

REFERENCIAS

GARZÓN, T. (2003): Geoquímica y potencial minero asociado a los cuerpos volcánicos en la región de Paipa, Departamento de Boyacá, Colombia. (Tesis de Grado).- 83 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.

HERNÁNDEZ, G & OSORIO, O. (1990): Geología, análisis petrográfico y químico de las rocas volcánicas del suroccidente de Paipa (Boyacá-Colombia). (Tesis de Grado).- 91 p., Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.

HIBBARD, J.M. (1995): Petrography to petrogenesis.- 589 p., Prentice Hall, New Jersey

HURBULT, C.S. (1976): Manual de mineralogía de Dana.- 653 p., Reverté, Barcelona.

INESON, P.R. (1989): Introduction to practical ore microscopy.- 175 p., Longman Scientific & Technical, Singapore.

KERR, P.F. (1965): Mineralogía Óptica.- 433 p., McGraw Hill, Madrid.

MAKSAEV, V. (2001): Alteración hidrotermal.- 1-14 p., Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago.

MARTÍNEZ, A. (1989): Geologie de la region D` Iza, Boyaca. Cordillera Orientale de Colombia. (Diplome de mineralogie et geologie) - 200 p., Instituts de Mineralogie et Geologie, Universite de Lusanne.

MORA, H.; TRENKAMP, R.; KELLOGG, J.; FREYMUELLER, J. & ORDÓÑEZ, M. (2002): Resultados del uso de geodesia satelital para estudios geodinámicos en Colombia.- 15p., INGEOMINAS, Bogotá.

PETRICK, S. & CASTILLO, R. (2004): Método de Rietveld para el estudio de estructuras cristalinas.- 5 p., Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

PROCTOR, P.; PETERSON, P. & KACKSTAETTER, U. (1991): Mineral Rock Handbook.- 256 p., Macmillan Publishing Company, New York.

ROBB, L. (2005): Introduction to ore-forming processes.- 373 p., Blackwell Publishing, Malden.

ROMERO, F.H. & RINCON, M.A. (1990): Características petrográficas y geoquímicas de las rocas volcánicas de Iza (Departamento de Boyacá, Colombia).- Geol. Colombiana, 17, pp. 159 – 168, Bogotá.

STRECKEISEN, A.L. (1973): Classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous rocks.- Geotimes, Vol. 18, no.10, p. 26 – 30.

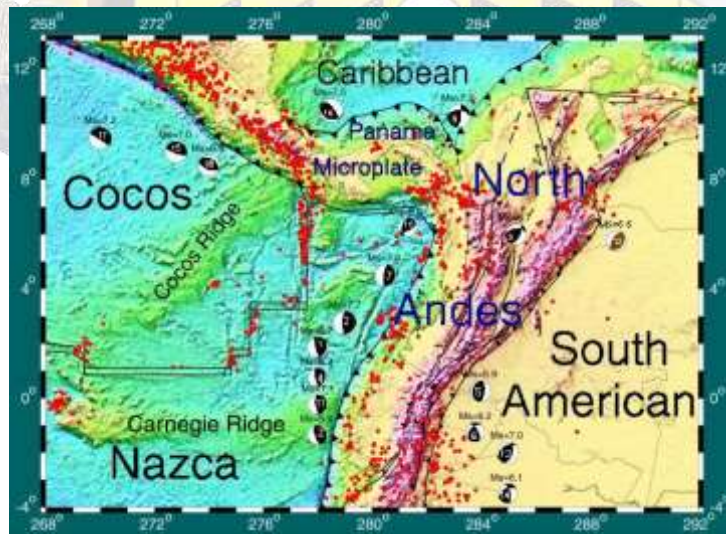


Figura 1. Marco tectónico general de Colombia (principales placas tectónicas, zonas de subducción, grandes fallas y focos volcánicos)

Fuente: Mora *et al.* (2002).

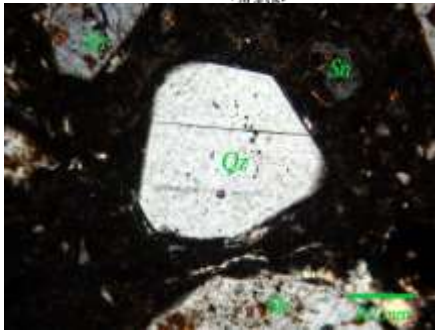


Figura 2. Cristal de cuarzo euhedral con hábito prismático (XPL). * (Sn) corresponde a sanidina y (Qz) a cuarzo.

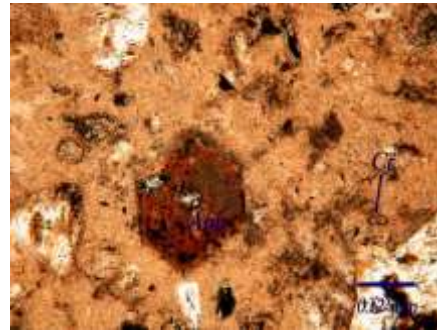


Figura 3. Componentes con apariencia de fragmento de roca y forma geométrica (PPL). * (Anb) corresponde a anfíbol y (Cr) circón.

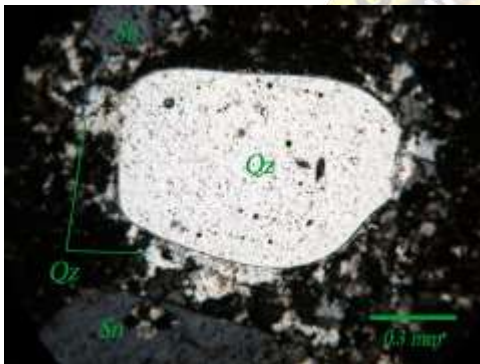


Figura 4. Dos generaciones de cuarzo presentes en las rocas de Iza (XPL). * (Sn) corresponde a sanidina y (Qz) a cuarzo

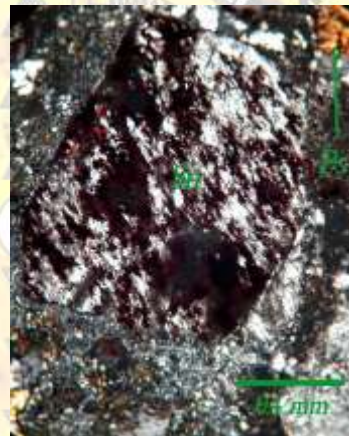


Figura 5. Cristal de feldespato potásico con inclusiones de vidrio volcánico (XPL). * (Sn) corresponde a sanidina y (Ps) a pistachita.

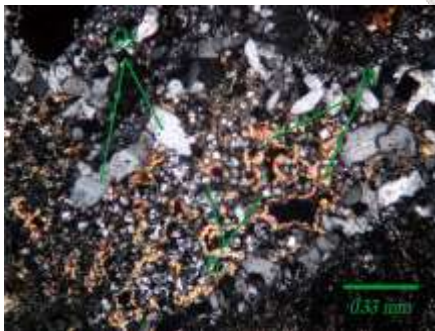


Figura 6. Pequeños cristales de pistachita con tridimita, opalo y cuarzo (XPL). Escala 0.33 mm. *(Qz) corresponde a cuarzo, (Ps) a pistachita y (Tr) a tridimita.

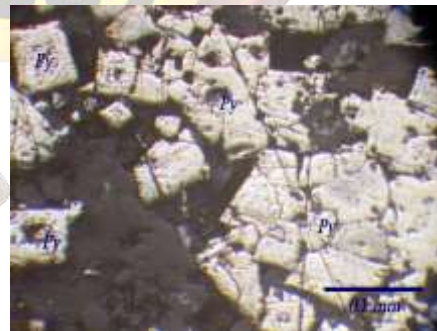


Figura 7. Agregado granular de pirita (Py) en cristales idiomórficos. Escala 0.1mm.

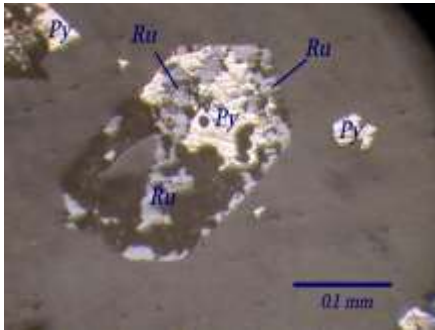


Figura 8. Pirita (Py) y rutilo (Ru) reemplazando un mineral euhedral.



Figura 9. Rutilo (Ru) reemplazando a la pirita (Py). Escala 0.05 mm.

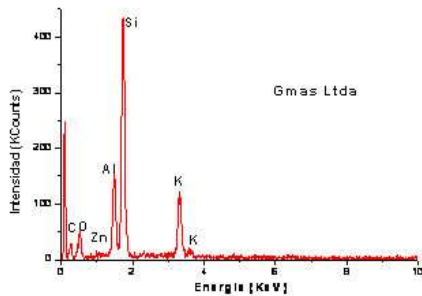


Figura 10. Espectro que muestra la composición del vidrio en la placa 5Z-1 (punto 5Z_1_min9_12).

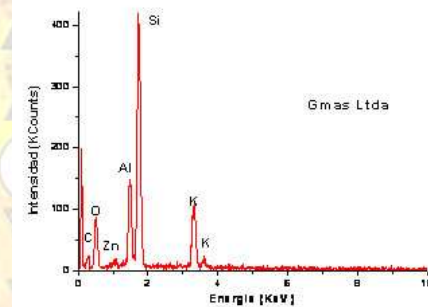


Figura 11. Espectro que muestra la composición de una sanidina típica (punto 5Z_1_fdk2_04).

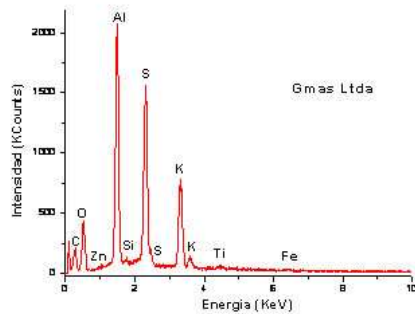


Figura 12. Espectro que muestra la composición de la alunita, producto de alteración hidrotermal de la sanidina (punto 4Z_2_min7_04).

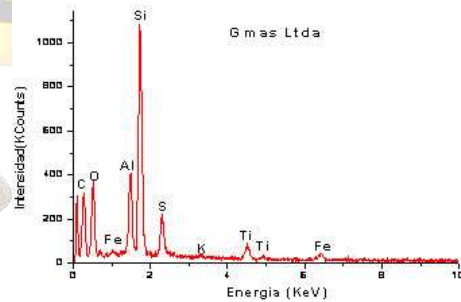


Figura 13. Espectro que refleja la composición de un anfíbol con K₂O (punto 1Z_3_min1_05, placa 1-Z-3).

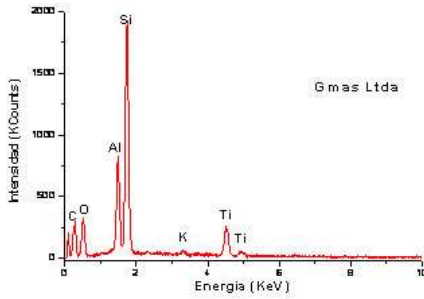


Figura 14. Espectro que muestra la composición del anfíbol con un porcentaje relevante de TiO_2 (punto 4Z_2A_min7_03, placa 4Z_2A).

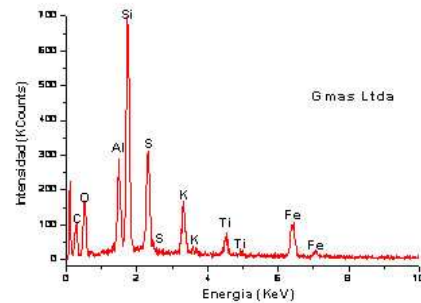


Figura 15. Espectro que refleja la composición típica de los anfíboles que se presentan en las rocas de Iza (punto 4Z_2A_min4_01, placa 4Z-2A).

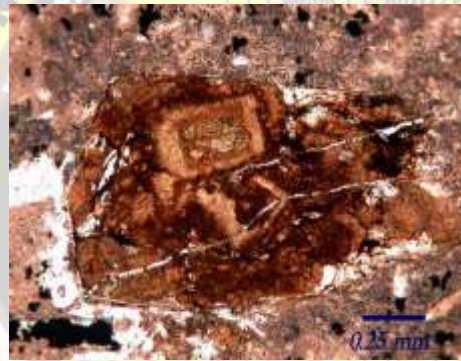


Figura 16. Anfíbol con textura gráfica en su interior, cuya composición se muestra en la figura 15. Escala 0.25 mm.

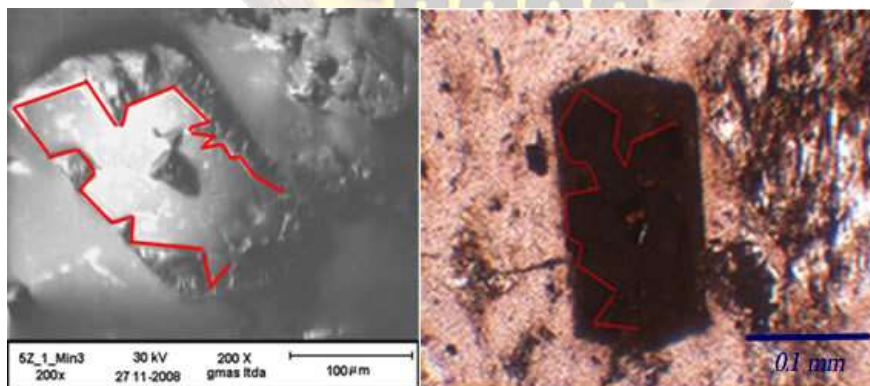


Figura 17. Imagen en el SEM (izquierda) y en el microscopio óptico (derecha) de un anfíbol con pirita en su superficie, los cristales del sulfuro de hierro están delimitados por la línea roja que presenta aproximadamente la misma forma en las dos imágenes. (Placa 5Z-1). Escala 0.1 mm.

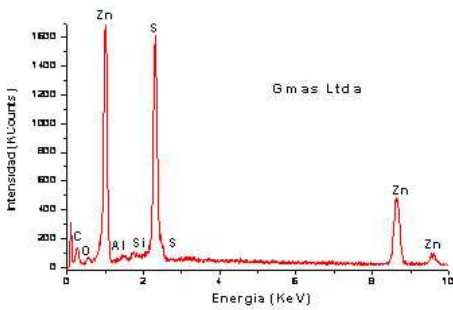


Figura 18. Espectro que refleja la composición de una blenda pura (punto 1Z_3_min9_05, placa 1-Z-3).

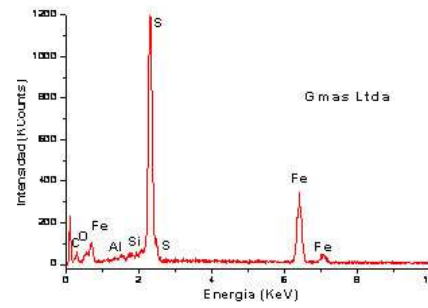


Figura 19. Espectro que refleja la composición de las piritas presentes en las rocas de Iza (punto 5Z_1_min3_02, placa 5Z-1).

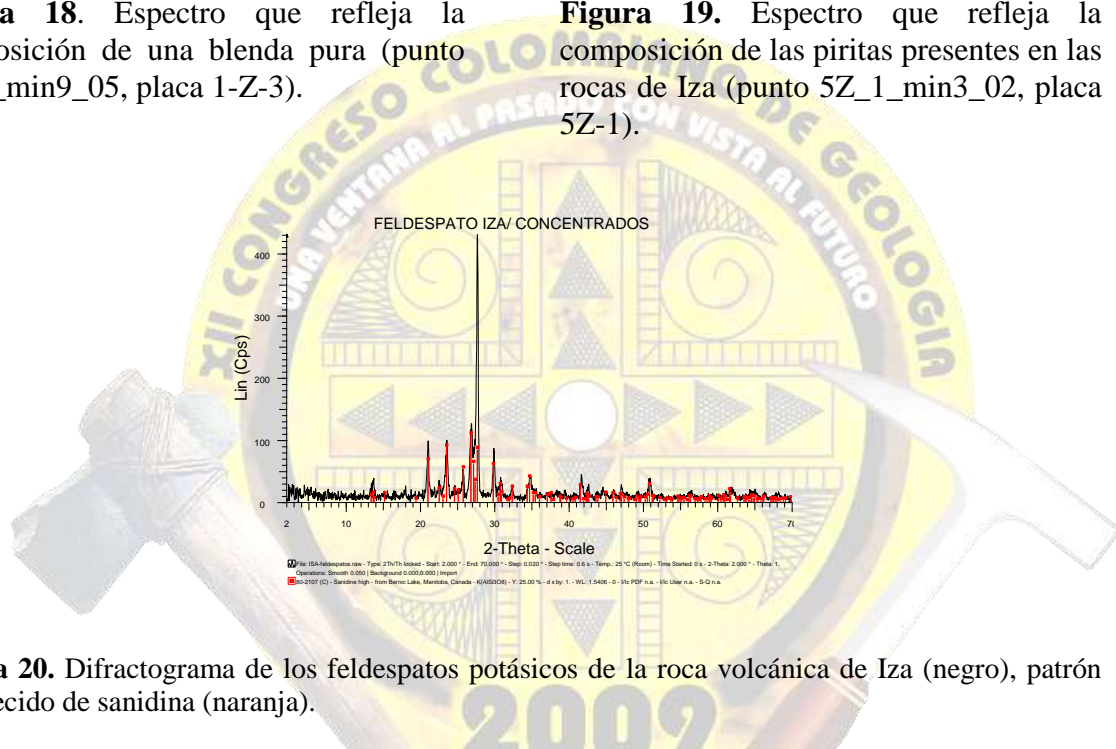


Figura 20. Difractograma de los feldespatos potásicos de la roca volcánica de Iza (negro), patrón establecido de sanidina (naranja).

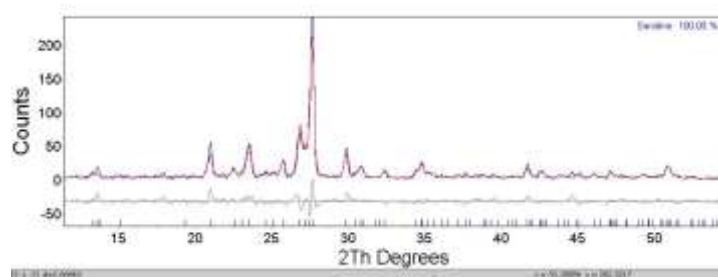


Figura 21. Difractograma de los feldespatos potásicos de Iza después de la aplicación del método de Rietvelt.

	Secciones delgadas							
	1 - Z - 3		4Z - 2		4Z - 2A		5 - Z - 1	
	#	%	#	%	#	%	#	%
Min esenciales + accesorios	103	38	108	45	97	41	110	42
Matriz (vidrio+devitrificada)	168	62	132	55	140	59	155	58
Total	271	100	240	100	237	100	265	100

Tabla 1. Matriz (vidrio más matriz devitrificada) y fracción cristalina original de la roca.

	Óxidos Elementales												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	FeO	Fe ₂ O ₃	ZnO	S	SO ₃	TiO ₂	ZrO ₂	Na ₂ O	Te	Ru
	Placa 4Z-2A												
4Z_2A_min4_01	36,0	14,7	5,7	11,7	0	0	0	19,3	12,8	0	0	0	0
4Z_2A_min7_03	60,2	27,1	0,7	0	0	0	0	0	12,1	0	0	0	0
4Z_2A_m12_02	98,1	1,7	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Placa 4Z-2												
4Z_2_min7_04	0,4	48,7	11,8	0	0,5	0	0	38,4	0,3	0	0	0	0
	Placa 1-Z-3												
1Z_3_min1_05	54,9	22,5	0,5	2,9	0	0	0	11,2	5,6	0	2,4	0	0
1Z_3_min9_05	1,3	1,4	0	0	0	74,6	22,6	0	0	0	0	0	0
1Z_3_min9_06	2,3	1,4	0,2	0	0	73,0	23,1	0	0	0	0	0	0
	Placa 5Z-1												
5Z_1_fdk2_04	63,2	22,3	12,7	0	0	0	0	0	0	0	1,8	0	0
5Z_1_min3_02	0,9	1,1	0	52,9	0	0	44,2	0	0	0	0,9	0	0
5Z_1_min3_04	0,5	1,4	0	51,6	0	0	46,5	0	0	0	0	0	0
5Z_1_min7_02	52,8	35,0	10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6
5Z_1_min9_01	5,2	3,2	1,2	3,1	0	0	1,5	0	85,8	0	0	0	0
5Z_1_min9_02	2,4	1,7	0,1	3,2	0	0	0,9	0	91,7	0	0	0	0
5Z_1_min9_06	1,1	1,9	0	0	0	0	0	0	97,0	0	0	0	0
5Z_1_min9_12	65,4	22,1	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5Z_1_min9_13	66,1	21,4	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5Z_1_min9_14	63,1	22,3	12,4	0	0	0	0	0,7	0	0	1,6	0	0

Tabla 2. Porcentajes de óxidos obtenidos por medio de la microsonda EDAX, en puntos específicos de las secciones delgadas-pulidas.

	Secciones Delgadas-Pulidas							
	1 - Z - 3		4Z - 2		4Z - 2A		5 - Z - 1	
	#	%	#	%	#	%	#	%
Min Esenciales:	94	31	98	33	80	26	75	25
Sanidina	90	30	95	32	77	25	72	24
Cuarzo	3	1	3	1	3	1	3	1
Biotita	1	<1	0	0	0	0	0	0
Accesorios:	1	<1	4	1	10	3	10	3
Opacos	1	<1	3	1	6	2	7	2
Oxido de Fe	0	0	1	<1	3	1	2	1
Circón	0	0	0	0	1	<1	1	<1
Matriz:	168	56	132	44	140	45	155	51
Vidrio	101	33	86	29	68	22	129	43
M. devitrificada	67	22	46	15	72	23	26	9
Secundarios:	3	1	4	1	15	5	23	8
Alteración:	3	1	3	1	7	2	23	8
Caolin	2	1	2	1	1	<1	18	6
Sericita	1	<1	0	0	0	0	5	2
Otras Arcillas	0	0	1	<1	6	2	0	0
Hidrotermal:	0	0	1	<1	8	3	0	0
Epidota	0	0	1	<1	7	2	0	0
Carbonato	0	0	0	0	0	0	0	0
Opalo	0	0	0	0	1	<1	0	0
Introducción	4	1	41	14	46	15	1	<1
Cuarzo en venas	3	1	31	10	46	15	1	<1
Opacos	1	<1	2	1	0	0	0	0
Calcedonia	0	0	8	3	0	0	0	0
Anfíboles + Fragmentos de Roca	18	6	19	6	19	6	24	8
Fragmentos de Sanidina	5	2	3	1	0	0	2	1
Vidrio en Sanidina	9	3	0	0	0	0	12	4
Total	302	99	301	99	310	99	302	99

Tabla 3. Resumen del los porcentajes de minerales obtenidos por el conteo sistemático de minerales.

* El 100% del total de la roca se completa con los porcentajes de minerales menores al 1% (todas las casillas que contienen <1), pues estos componentes se consideran como trazas en la composición general de la roca.

Nota: Los anfíboles fueron determinados por análisis con microsonda EDAX, posteriormente al estudio petrográfico, durante el cual se consideraron como fragmentos de roca.