

## I.8-CARACTERIZACIÓN DE UN MINERAL PROVENIENTE DE LA MINA CONCORDIA, ZIMAPÁN, HIDALGO

A. M. Teja-Ruiz<sup>a\*</sup>, J.C. Juárez-Tapia<sup>a</sup>, L. Hernández-Cruz<sup>a</sup>, M. Reyes-Pérez<sup>a</sup>, M. Perez-Labra<sup>a</sup>, E. G. Palacios<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, UAEH, Mineral de la Reforma, Hidalgo

<sup>b</sup> Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, IPN, Adolfo López Mateos. Ciudad de México. [jcuarez@uaeh.edu.mx](mailto:jcuarez@uaeh.edu.mx)

\* Autor de correspondencia: [ice9791@gmail.com](mailto:ice9791@gmail.com)

### RESUMEN

El presente estudio muestra la caracterización química y mineralógica de un mineral tipo sulfuro proveniente de la mina de Concordia localizada en el estado de Hidalgo, México. El análisis químico realizado mediante Espectrofotometría de Emisión de Plasma por Inducción Acoplada (ICP) a las muestras acotadas a diferentes tamaños de partícula reportó al Zn (1.81%) y Fe (2.36%) como los elementos metálicos mayoritarios en el mineral, así como la presencia de Mo (0.01%), Sb (0.05%), Cu (0.15%), Pb (0.78%), Ag (0.01%) y W (0.04%). Los resultados obtenidos por Difracción de Rayos X (DRX) determinaron que la matriz mineralógica de las partículas corresponde a las especies Wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ) y Ortoclasa ( $\text{AlKSi}_3\text{O}_8$ ). Se identificó la presencia de abundantes sulfuros de hierro como Mackinawita ( $\text{FeS}$ ) y Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), cuya composición fue corroborada mediante análisis puntuales y mapeos realizados por Microscopía Electrónica de Barrido - Microanálisis por Dispersión de Energías (MEB-EDS).

**Palabras Clave:** Caracterización, mineral, sulfuro, wollastonita, hierro.

### ABSTRACT

This study shows the chemical and mineralogical characterization of a sulphide ore collected at La Concordia mine located in the state of Hidalgo, Mexico. The chemical analysis by Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICP), for particules of different mesh sizes, reported to Zn (1.81%) and Fe (2.36%) as the metallic elements in higher quantity, and the presence of Mo (0.01%), Sb (0.05%), Cu (0.15%), Pb (0.78%), Ag (0.01%) and W (0.04%). The results obtained by X-ray diffraction (XRD) determined that the mineralogical matrix of the particles corresponds to species Wollastonite ( $\text{CaSiO}_3$ ) and Orthoclase ( $\text{AlKSi}_3\text{O}_8$ ). The presence of abundant iron sulphides as Mackinawite ( $\text{FeS}$ ) and Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) was identified, whose composition was corroborated by punctual analysis and mapping performed by Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Microanalysis (SEM-EDS).

**Keywords:** Characterization, ore, sulfur, wollastonite, iron.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el distrito minero de Zimapán, se han extraído ampliamente minerales de Pb, Zn y Ag desde hace aproximadamente 400 años. La producción y uso de estos metales de interés tienen un impacto económico y social que ha sostenido el progreso de esta región. En México los yacimientos económicos se encuentran distribuidos bajo un patrón de franjas metálicas conocidas como provincias metalogénicas que se caracterizan por asociaciones mineralógicas caracterizadas, en gran parte del país, como Cu- Mo y Zn-Pb- Ag(Cu) [1].

Los depósitos de mineral de tipo skarn se desarrollan exclusivamente en el contacto entre una secuencia de cuerpos de carbonato y cuarzo-monzonita. Los cuerpos de mineral incluyen sulfuros masivos de metal base, arsenopirita y otros de menor importancia portadores de fases minerales de As [2]. Este tipo de depósitos suelen ser abundantes en especies no metálicas como la epidota, clorita, cuarzo, feldespato potásico, fluorita y calcita [3,4].

Los yacimientos que se encuentran en territorio hidalguense muestran en su mayoría una zonificación vertical definida por la siguiente distribución de minerales: en la parte inferior de la estructura se presentan sulfuros de Fe-Cu los cuales son las especies metálicas dominantes; la zona intermedia se caracteriza por la presencia de abundantes sulfuros de Zn-Pb y la zona media-alta es abundante en sulfoantimoniuros de Ag y minerales de fluorita; mientras que la zona superior es principalmente carente de sulfuros y compuesta por fluorita y calcita. El cuarzo se encuentra extendido en todas las zonas y es el mineral de ganga dominante en la zona [5,2]. En lo que refiere para este estudio se seleccionó minerales provenientes del distrito minero de Zimapán donde los minerales metálicos son abundantes y complejos, presentando elementos como el As, Sb, Se, Zn, Cu, Pb, Cd, Bi y Mn, los cuales destacan por sus concentraciones. La mineralización es muy variada y está constituida por: Pirita ( $\text{FeS}_2$ ), esfalerita ( $\text{ZnS}$ ), galena ( $\text{PbS}$ ), calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), calcocita y covelita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{CuS}$ ), argentita y acantita ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) y sulfosales: polibasita ( $9\text{Ag}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), estefanita ( $5\text{Ag}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), miargirita ( $\text{Ag}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), pirargirita ( $3\text{Ag}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), proustita ( $3\text{Ag}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) y stenbergita ( $\text{Ag}_2\text{S}\cdot\text{Fe}_4\text{S}_5$ ) [6].

Las características químicas y geológicas de una mena, así como las diferencias microestructurales de las especies que las conforman, condicionan el fundamento de los procesos de extracción a utilizar para su aprovechamiento. Por esta razón, la eficiencia y control en los procesos metalúrgicos exige el uso de técnicas de caracterización complementarias que permita el análisis químico y mineralógico de las muestras representativas [7]. En este trabajo se realizó la caracterización química y mineralógica de un mineral procedente de la Mina Concordia en el distrito minero de Zimapán, Hidalgo, México, con el fin de conocer los aspectos de su composición que podrían afectar la propuesta de recuperación de metales de interés.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El mineral recolectado en campo fue pulverizado en el rango de <25 a 149 micras y homogenizado hasta obtener una muestra representativa de 500 g. El análisis químico se realizó por triplicado usando 1 g de mineral digestado con 25 mL agua regia (3 partes de HCl por 1 parte  $\text{HNO}_3$ ) y se calentó hasta lograr la mayor disolución de los sólidos, posteriormente se añadieron 10 mL más de agua regia, el insoluble se filtró y la solución restante se aforó a 0,1 L. La identificación y cuantificación de los elementos presentes en las muestras minerales acotadas a diferentes diámetros de partícula se realizó por Espectroscopía de Emisión de Plasma por Inducción Acoplada (ICP) usando un espectrómetro Perkin Elmer 8300.

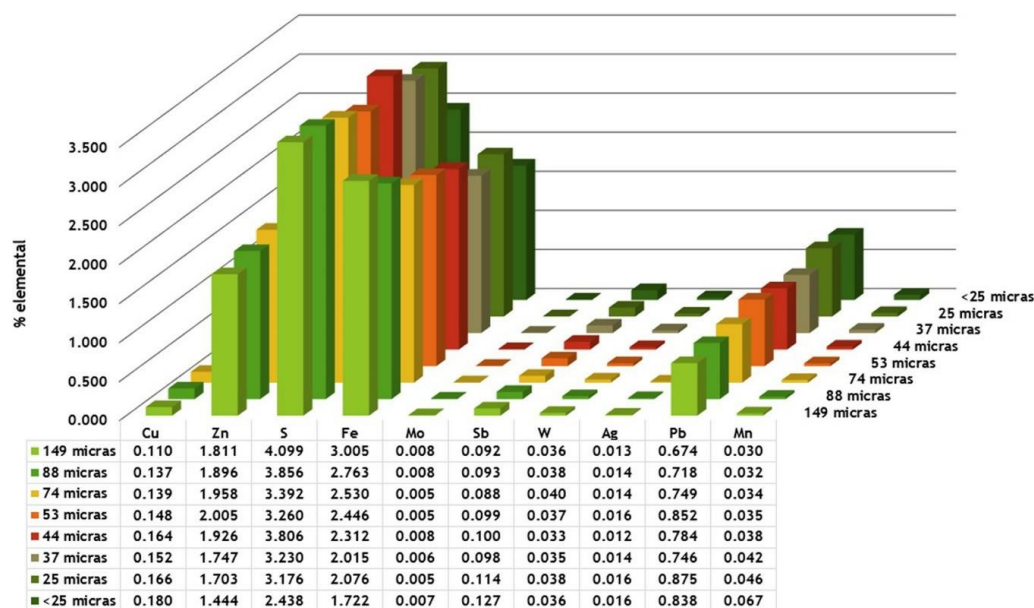
Los polvos minerales se montaron en probetas de resina epóxica con la finalidad de reconocer la morfología de las partículas y la distribución elemental en el mineral. Así como también, identificar las especies minerales presentes mediante el uso de las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido - Microanálisis por dispersión de energía (MEB-EDS) y Difracción de Rayos X (XRD). El equipo utilizado para el estudio mineralógico fue el siguiente: difractómetro de rayos X marca INEL EQUINOX 2000, con una radiación Cu-K $\alpha$ 1 de 1,540598, operando a 30 mA y 20 KV, 220 V y una resolución de 0.095 Full Width at Half Maximum (FWHM); y un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo JSM 6701F a 25 KV y una profundidad de campo de 16,5 mm a diferentes aumentos con electrones secundarios.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de la muestra mineral mediante los cuales se logró la identificación cualitativa y cuantitativa de la distribución elemental y las especies existentes en los polvos.

#### 3.1 Espectroscopía de emisión de plasma por inducción acoplada (ICP)

El análisis por ICP se realizó para las muestras minerales correspondientes a diferentes tamaños de partícula acotadas en el rango de <25 a 149 micras. Se observó una concentración homogénea de los elementos Zn, S, Fe, Pb, Cu, Mn, Mo, Sb, Ag y W, siendo los primeros tres elementos los más abundantes en el mineral como lo muestra la figura 1. Dichas concentraciones corresponden a estratificaciones verticales típicas de la zona donde se encuentran depósitos ricos en calcopirita y galena-esfalerita [8].



**Figura 1.** Composición química en porcentaje de la muestra mineral de la mina Concordia a diferentes tamaños de partícula.

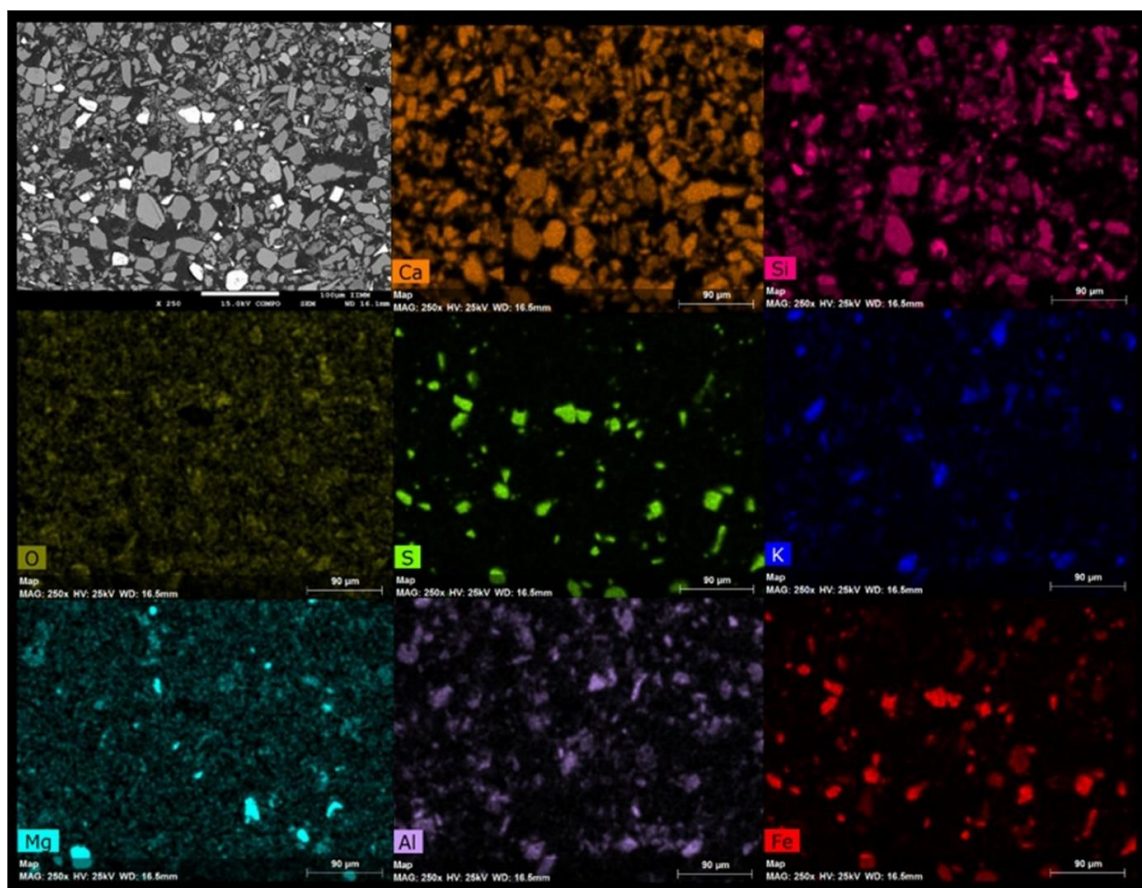
El porcentaje elemental promedio que se muestra en la tabla 1 reporta un contenido 0.01 % de plata y 0.04 % de W lo que corresponde a  $100 \text{ g ton}^{-1}$  y  $380 \text{ g ton}^{-1}$ , respectivamente, por lo que este mineral representa una fuente viable para la recuperación de metales de importante interés económico.

**Tabla 1.** Porcentaje elemental promedio contenido en las muestras minerales de la mina Concordia.

Elemento	Cu	Zn	S	Fe	Mo	Sb	W	Ag	Pb	Mn
Porcentaje promedio (%)	0.15	1.81	3.41	2.36	0.01	0.05	0.04	0.01	0.78	0.04

### 3.2 Microscopía Electrónica de Barrido - Microanálisis por dispersión de energía (MEB-EDS)

En la figura 2 se observa el mapeo realizado a partículas finas de la muestra mineral donde se identificaron los elementos Si, K, Mg, Ca, Al, S, O y Fe. La presencia de grandes cantidades de Si, Ca, K y Al distribuidas de manera uniforme en el mineral indican la presencia de silicatos y feldespatos dentro de las partículas no metálicas características de un yacimiento cálcico [9].

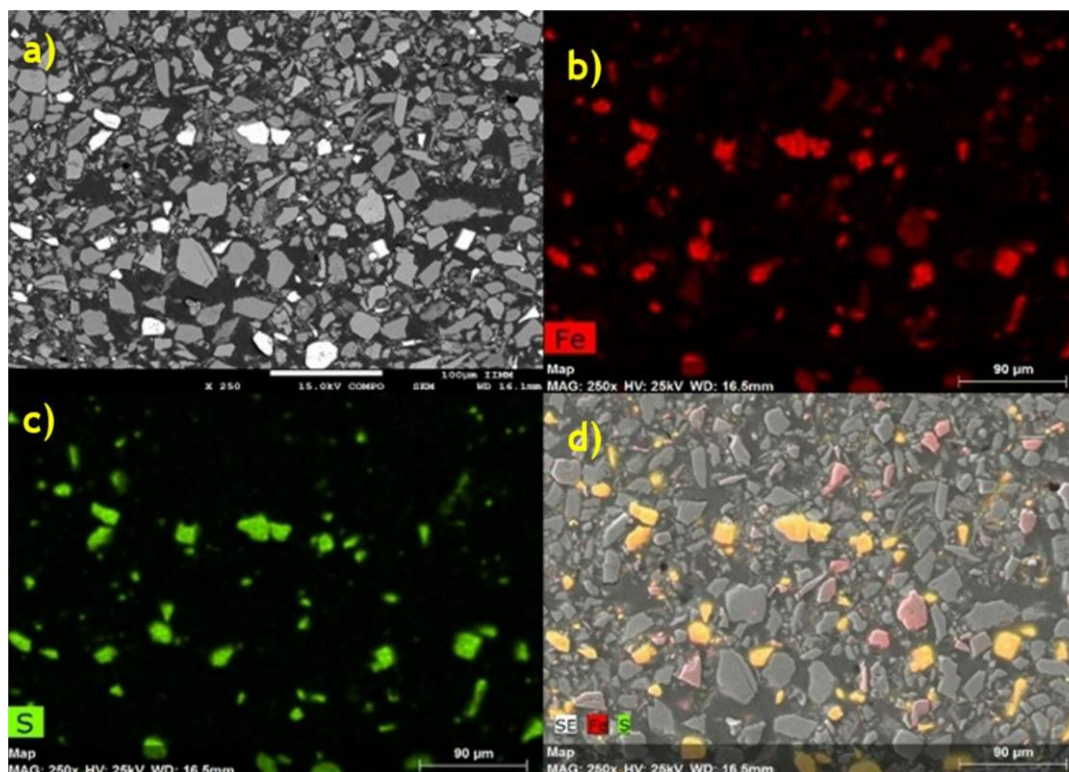


**Figura 2.** Mapeo realizado a las partículas del mineral, obtenido a 250X.

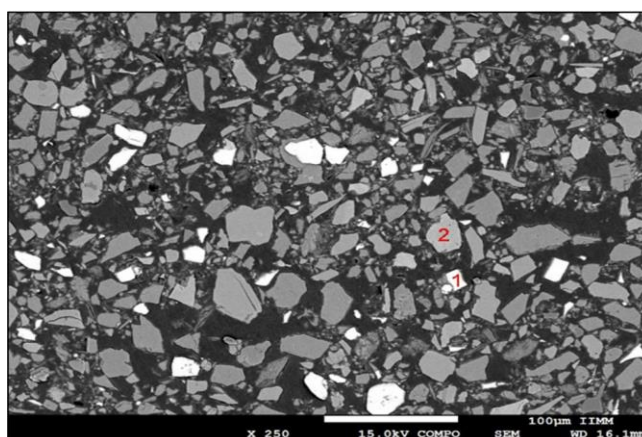
La figura 3 obtenida mediante electrones secundarios muestra una morfología irregular que corresponde a formas semiesféricas y poligonales con ángulos rectos. En base a los mapeos realizados



se identificó una fuerte relación entre S y Fe, lo que confirma la presencia de sulfuros de hierro, identificadas por tonalidades amarillas en la figura 3.d. Dichos sulfuros metálicos también se identificaron mediante el contraste de grises, que revela a las partículas claras como partículas metálicas.



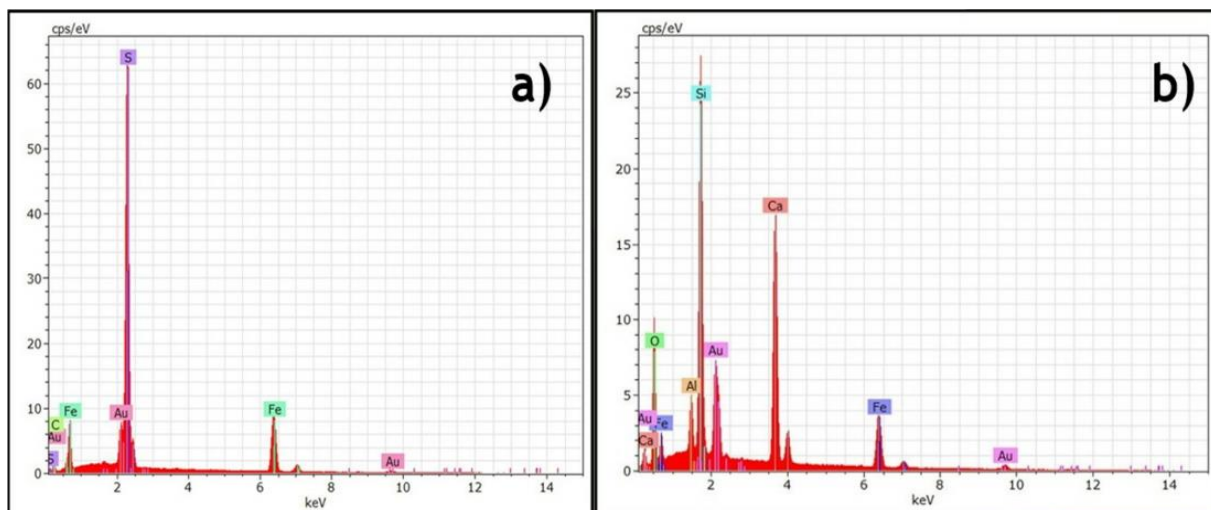
**Figura 3.** a) Micrografía obtenida por electrones secundarios de la muestra mineral. b) Distribución de hierro en las partículas minerales. c) Distribución de azufre en las partículas del mineral. d) Correlación del mapeo realizado a partículas metálicas.



**Figura 4.** Análisis puntual realizado a partículas finas del mineral de la mina Concordia.

Mediante el contraste de grises se identificaron partículas metálicas y no metálicas como se observa en figura 4. El análisis puntual realizado a las partículas finas de tonalidad clara reportó una composición

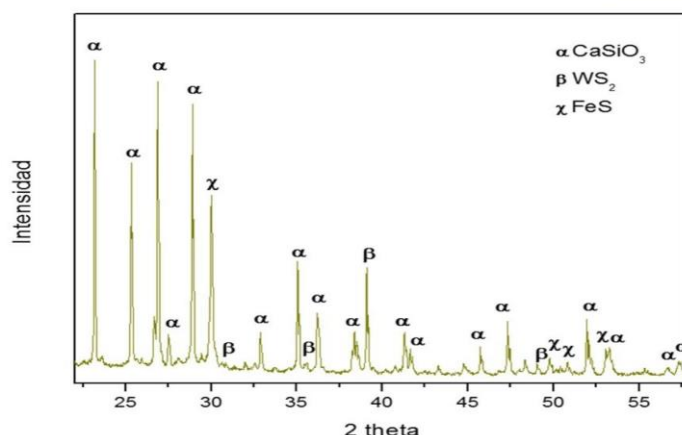
metálica asociada a sulfuros de hierro (figura 5.a), además de presentar el hábito cristalino típico de la pirita. El análisis de dispersión de energía realizado sobre la partícula de tonalidad oscura indica la presencia de Ca, Al, Si, Fe y O (figura 5.b), lo que sugiere la existencia de andradita y wollastonita en el mineral [10].



**Figura 5.** a) Análisis de dispersión de energía realizado a partículas metálicas. b) Análisis de dispersión de energía realizado a partículas no metálicas.

### 3.3 Difracción de rayos X (DRX)

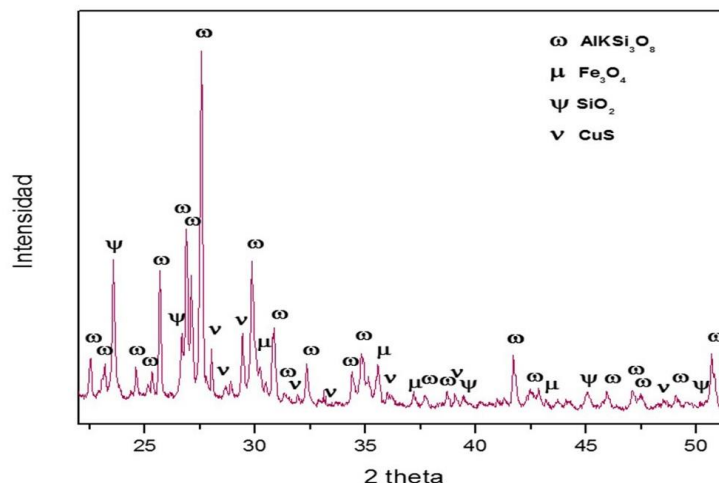
Se realizó una separación manual de las partículas del mineral por tonalidades. El análisis mineralógico realizado a través de esta técnica nos permitió determinar a la wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ) [PDF: 96-901-1453] como la matriz del mineral en todas las partículas de tonalidad blanca (figura 6), además de la presencia de tungstenita ( $\text{WS}_2$ ) [PDF: 96-900-9146] y mackinawita ( $\text{FeS}$ ) [PDF: 96-901-1801].



**Figura 6.** Difractograma de rayos X de las partículas blanca de la muestra mineral.

En el análisis realizado a partículas de tonalidad grisácea (figura 7) se identificó como matriz mineralógica a la especie ortoclasa ( $\text{AlKSi}_3\text{O}_8$ ) [PDF: 96-900-0163] y la presencia de algunas fases

minerales menores como magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) [PDF: 96-900-5814], cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) [PDF: 96-901-3322] y covelita ( $\text{CuS}$ ) [PDF: 96-900-8370].



**Figura 7.** Difractograma de rayos X de las partículas grisáceas de la muestra mineral.

#### 4. CONCLUSIONES

La relación entre los elementos que se presentan en el mapeo realizado por MEB, así como los análisis puntuales realizados a las partículas metálicas y el análisis químico elemental, permitieron confirmar la presencia de abundantes sulfuros de hierro identificados a través de la técnica de DRX como mackinawita ( $\text{FeS}$ ) y magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). La composición elemental de las especies wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ) y ortoclasa ( $\text{AlKSi}_3\text{O}_8$ ) que fueron determinadas como fases ganga mayoritarias, también corroboradas por MEB.

La distribución de los elementos se presenta de manera homogénea en los tamaños de partícula acotados entre <25 a 149 micras. La considerable concentración de Sb sugiere la formación de sulfosales relacionadas con la presencia de Ag, sulfosales típicas de los yacimientos de Zimapán. La abundante cantidad de wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ) en el mineral, así como la concentración de elementos como Mo y W, permiten considerar la explotación y recuperación del mineral como un proceso viable.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1]. P.E. Damon, M. Shafiqullah and K.F. Clark: Rev. Inst. de Geol., 1981, vol. 5, pp. 233-238.
- [2]. C.G. Villaseñor, E. Peterson, S. Avedaño, A. Gómez-Caballero, J. Sousa and M. Reyes-Salas: Actas INAGEQ, 1996, vol. 12, pp. 124– 129.
- [3]. F.S. Simmons and V.E. Mapes: Geological Survey, Professional Paper, 1956, vol. 284, pp. 128.
- [4]. C.V. Gonzalez and M.L. Jaimes: Univ. Nal. Auto. de Mexico, 1986, vol. 3, pp. 82.
- [5]. C.G. Villaseñor, C. Gomez, S. Avedaño, M. Reyes-Salas and V. Islas- Cortéz: Actas INAGEQ, 1995, vol. 9, pp. 123– 127.
- [6]. R.T. Moreno, M.G. Monroy and E.P. Castañeda: Revista de Geología de America Central, 2009, vol. 41, pp.79-98.
- [7]. A. Ballester, L. Verdeja and J. Sancho: Metalurgia Extractiva Vol. II Procesos de Obtención, 2nd ed., Síntesis, España, 2013, pp. 60-74.

- [8]. E. González-Partida, A. Carrillo-Chavez, G. Levresse, J. Tritlla and A. Camprubí; Ore Geology Reviews, 2003, vol. 23, pp. 91–96.
- [9]. L.D. Meinert, D. Groves, R. Keays and R. Ramsay: Economic Geology, 1989, Vol. 6, p. 537-552.
- [10]. M.A. Armienta, G. Villaseñor, R. Rodriguez, L.K. Ongley and H. Mango: Environ. Geology, 2001, vol. 40, pp. 571-581.