



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**METALOGÉNESIS DE LOS YACIMIENTOS MINERALES DE
TALAMANTES, CHIHUAHUA**

T E S I S

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS
(PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA)**

PRESENTA:

BRENDA VIRIDIANA DE LA TORRE GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Antoni Camprubí i Cano (Instituto de Geología, UNAM)

JURADO EXAMINADOR:

Dr. Eduardo González Partida (Centro de Geociencias, UNAM)

Dr. Aldo Ramos Rosique (Facultad de Ingeniería, UNAM)

Dr. Antoni Camprubí i Cano (Instituto de Geología, UNAM)

Dra. Vanessa Colás Ginés (Universidad de Zaragoza)

Dr. Lisard Torró i Abat (Pontificia Universidad Católica del Perú)

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DECLARATORIA

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría.

Todas las citas de, o referencias a, la obra de otros autores aparece debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante los recursos editoriales convencionales.

Brenda Viridiana de la Torre González, enero del 2024.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Concejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar los estudios de la Maestría.

Gracias a los proyectos CONACyT 155662 y PAPIIT IG100116 a cargo del Dr. Antoni Camprubí, que financiaron los análisis de microsonda electrónica, isótopos estables, láminas delgadas y trabajos de campo que se realizaron en el presente trabajo.

Agradezco al Posgrado en Ciencias de la Tierra y al Instituto de Geología por permitirme realizar mis estudios de posgrado en las instalaciones y volver a ser parte de la UNAM.

Al Dr. Antoni Camprubí, mi tutor y profesor, por su paciencia, sugerencias y tiempo destinados a la realización de este trabajo.

Agradezco al Dr. Aldo Ramos Rosique por el tiempo que dedicó a mi aprendizaje, por su paciencia y los consejos recibidos.

A la Dra. María Colín porque, a pesar de no tener la obligación de revisar mi trabajo, lo hizo y me brindó su apoyo, consejo y paciencia en un momento complicado.

Agradezco al jurado evaluador conformado por: Dr. Eduardo González Partida, Dr. Aldo Ramos Rosique, Dra. Vanessa Colás Ginés y Dr. Lisard Torró i Abat por su revisión y comentarios para culminar este trabajo.

Agradezco al Dr. Augusto Rodríguez del Instituto de Geofísica por sus sugerencias y apoyo en el uso del equipo de SEM.

A la M. en C. Edith Fuentes Guzmán, del Laboratorio de Catodoluminiscencia e Inclusiones Fluidas del Instituto de Geología y al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía-LANGEM de la UNAM, por el uso de sus instalaciones, equipos y materiales.

Agradezco el apoyo de la Dra. Elisa Fitz en el uso del laboratorio de arcillas para la preparación de las muestras de isótopos estables e inclusiones fluidas.

Gracias al Ing. Carlos Linares del Laboratorio Universitario de Petrología del LANGEM del Instituto de Geofísica por el apoyo con los análisis de microsonda para la química mineral.

Gracias a la Dra. Pura Alfonso de la Universitat Politècnica de Catalunya, por el apoyo en la obtención de los análisis de isótopos de azufre.

Agradezco el apoyo de la M. en C. Edith Cienfuegos Alvarado y del M. en C. Francisco Javier Otero Trujano del Laboratorio de Isótopos Estables, del LANGEM del Instituto de Geología en la obtención de los análisis de los isótopos de oxígeno y carbono.

Gracias al personal administrativo del Instituto de Geología, en especial a las asistentes Ma. Luisa Reyes y Araceli Chamán, del programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra por el apoyo en los trámites de documentos durante mi estancia en el Posgrado.

Gracias a mis amigos que hicieron mi estancia más amena: Rubén García Díaz, Miguel Ángel Cabrera Roa, Aurora Santiago, Raciél Martínez Amos, Andrea y Rene Sánchez Reynoso; a algunos los conocí en el posgrado y a otros los reencontré con gran gozo en el corazón.

Gracias al Dr. Luis Alva por todo su apoyo y por escucharme cuando lo necesitaba.

A Myrthala, mi psicóloga, sin ella retomar este trabajo y terminarlo me parece muy lejano, incluso poco probable.

A mi familia Ricardo Pacheco Rojas y Annia Valentina Pacheco por apoyarme en el esfuerzo de vivir a distancia, por ayudarme a levantarme y por tanto cariño incondicional virtual y presencial.

Resumen

En la zona mineralizada Talamantes, Chihuahua se han explotado óxidos de manganeso que se encuentran como rellenos de veta y cementantes entre fragmentos de riolita. A pesar de la importancia económica que tuvieron estos yacimientos, el origen de los óxidos ha permanecido indefinido hasta la fecha. Algunos autores señalan que el enriquecimiento de óxidos de manganeso se debe a alteración supergénica de minerales de este elemento de origen hidrotermal, mientras que otros consideran que el origen de los óxidos está ligado al ascenso de fluidos hidrotermales a través de fallas y fracturas de la zona. Ninguna de estas hipótesis cuenta con el soporte científico suficiente por lo que este trabajo pretende generar información a través de estudios mineralógicos, isotópicos y de inclusiones fluidas que ayude a caracterizar la génesis de los yacimientos minerales de la zona de Talamantes.

En la zona de estudio se colectaron 54 muestras de mano, compuestas por ejemplares de las diferentes asociaciones minerales identificadas y de las rocas magmáticas relacionadas con la mineralización de óxidos de manganeso. Las muestras fueron estudiadas de acuerdo con sus características y los objetivos establecidos a través de diferentes técnicas analíticas como isotopía de U-Th-Pb, microscopía óptica, microscopía electrónica, difracción de rayos X, microsonda electrónica, microtermometría e isotopía de azufre, oxígeno y carbono.

En base a la investigación realizada, se deduce que:

- Los yacimientos minerales de Talamantes se circunscriben a las características de los yacimientos de sulfuración intermedia.
- Las composiciones isotópicas de azufre, carbono y oxígeno señalan un origen mayoritariamente magmático de estos elementos en los fluidos mineralizantes.
- Las mineralizaciones de óxidos de manganeso son compatibles con un origen hipogénico y corresponden a la expresión superficial del sistema hidrotermal.
- Las mineralizaciones de la zona de estudio están relacionadas a los eventos que dieron lugar a la Sierra Madre Occidental.

Abstract

In the Talamantes mineralized zone, Chihuahua, manganese oxides have been exploited as vein fillings and cements between rhyolite fragments. Despite the economic importance of these deposits, the origin of the oxides has remained undefined to date. Some authors point out that the enrichment of manganese oxides is due to supergene alteration of minerals of this element of hydrothermal origin, while others consider that the origin of the oxides is linked to the rise of hydrothermal fluids through faults and fractures in the area. None of these hypotheses has sufficient scientific support, so this work aims to generate information through mineralogical, isotopic and fluid inclusion studies that help characterize the genesis of mineral deposits in the Talamantes area.

In the study area, 54 hand samples were collected, made up of specimens of the different mineral associations identified and of the magmatic rocks related to the mineralization of manganese oxides. The samples were studied according to their characteristics and the objectives established through different analytical techniques such as U-Th-Pb isotopy, optical microscopy, electron microscopy, X-ray diffraction, electron microprobe, microthermometry and isotopy of sulfur, oxygen and carbon,

As a result of this study, it is deduced that:

- The Talamantes mineral deposits are limited to the characteristics of intermediate sulphidation deposits.
- The isotopic compositions of sulfur, carbon and oxygen indicate a mostly magmatic origin of these elements in the mineralizing fluids.
- The manganese oxide mineralizations are compatible with a hypogenic origin and correspond to the superficial expression of the hydrothermal system.
- The mineralizations in the study area are related to the events that gave rise to the Sierra Madre Occidental.

Metalogénesis de los yacimientos de óxidos de manganeso de Talamantes, Chihuahua

Índice General

Resumen.....	IV
Abstract.....	V
Índice General.....	VI
Índice de Tablas.....	VIII
Índice de Figuras	IX
1. Capítulo 1: Introducción.....	- 1 -
1.1. Planteamiento del problema	- 1 -
1.2. Objetivos.....	- 1 -
1.2.1. Objetivo general.....	- 1 -
1.2.2. Objetivos específicos	- 1 -
1.3. Antecedentes.....	- 2 -
1.3.1. Dataciones.....	- 2 -
1.3.2. Manganeso en mineralizaciones epitermales	- 5 -
1.4. Marco geológico	- 7 -
1.4.1. Localización de la zona de estudio	- 7 -
1.4.2. Contexto geológico	- 8 -
1.4.3. Geología local.....	- 9 -
1.4.4. Geología estructural.....	- 17 -
1.4.5. Mineralizaciones de manganeso.....	- 18 -
2. Capítulo 2: Metodología	- 21 -
2.1. Geocronología	- 22 -
2.1. Mineralogía: microscopía óptica, microscopía electrónica, difracción de rayos X	- 24 -
2.2. Química mineral (microsonda electrónica)	- 26 -
2.3. Inclusiones fluidas	- 27 -
2.4. Isótopos estables.....	- 28 -
2.4.1. Isótopos de azufre y oxígeno en sulfuros y sulfatos	- 28 -
2.4.2. Isótopos de carbono y oxígeno en carbonatos	- 29 -
3. Capítulo 3: Resultados	- 31 -
3.1. Geocronología	- 31 -
3.2. Petrografía y mineralogía	- 33 -

3.2.1.	Rocas ígneas	- 33 -
3.2.2.	Alteraciones	- 34 -
3.2.3.	Asociación de sulfuros	- 36 -
3.2.4.	Asociación tardía	- 39 -
3.2.5.	Óxidos de manganeso	- 40 -
3.3.	Secuencia paragenética	- 43 -
3.4.	Química mineral.....	- 44 -
3.5.	Inclusiones fluidas	- 48 -
3.5.1.	Petrografía de inclusiones fluidas	- 48 -
3.5.2.	Microtermometría de inclusiones fluidas.....	- 53 -
3.6.	Isótopos estables.....	- 61 -
3.6.1.	Isótopos de azufre	- 61 -
3.6.2.	Isótopos de oxígeno en sulfatos y carbonatos	- 62 -
3.6.3.	Isótopos de carbono	- 63 -
4.	Capítulo 4: Discusión y conclusiones	- 64 -
4.1.	Discusión	- 64 -
4.1.1.	Geocronología	- 64 -
4.1.2.	Mineralogía y química mineral, similitudes con otros yacimientos	- 65 -
4.1.3.	Etapa tardía e inclusiones fluidas	- 70 -
4.1.4.	Isótopos estables.....	- 71 -
4.1.5.	Clasificación tipológica.....	- 77 -
4.2.	Conclusiones	- 79 -
	Referencias Bibliográficas.....	- 81 -
	Anexo A: Petrografía de rocas ígneas y sus alteraciones.....	- 89 -
	Anexo B: Minerografía de sulfuros y sulfosales	- 126 -
	Anexo C: Petrografía de minerales de la asociación tardía	- 132 -
	Anexo D: Minerografía de óxidos de manganeso	- 151 -
	Anexo E: Resumen de análisis de microscopía electrónica.....	- 158 -
	Anexo F: Análisis por difracción de rayos X.....	- 179 -
	Anexo G: Análisis de microsonda	- 182 -

Índice de Tablas

Tabla 1.1. Dataciones antecedentes de cuerpos ígneos realizadas en los alrededores de Talamantes.	- 3 -
Tabla 2.1. Relación de muestras colectadas en la zona de estudio.	- 21 -
Tabla 2.2. Elementos/óxidos analizados en cada fase mineral y límites de detección asociados.	- 26 -
Tabla 3.1. Datos geocronológicos mediante U-Th-Pb en zircones de muestras de andesita en Talamantes, Chihuahua.	- 31 -
Tabla 3.2. Datos geocronológicos mediante U-Th-Pb en zircones de muestras de riolita en Talamantes, Chihuahua.	- 32 -
Tabla 3.3. Concentraciones mínima, máxima, promedio y rango intercuartil en % wt. de los elementos analizados en cristales de esfalerita.....	- 44 -
Tabla 3.4. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los elementos analizados en cristales de arsenopirita.....	- 46 -
Tabla 3.5. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los elementos analizados en cristales de freibergita.	- 47 -
Tabla 3.6. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los elementos analizados en cristales de tetraedrita.	- 47 -
Tabla 3.7. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los elementos analizados en cristales de eskimoita.	- 47 -
Tabla 3.8. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los óxidos analizados en óxidos de manganeso.....	- 48 -
Tabla 3.9. Temperaturas de homogeneización, de fusión de hielo y salinidades medidas en las asociaciones de inclusiones fluidas primarias identificadas en diferentes muestras.	- 60 -
Tabla 3.10. Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ para los minerales analizados.	- 61 -
Tabla 3.11. Los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ para los minerales analizados.....	- 62 -

Índice de Figuras

- Figura 1.1. Localización de la zona mineralizada Talamantes. Se señalan las comunidades más cercanas a la zona de estudio - 8 -
- Figura 1.2. Mapa geológico de la zona de estudio. Modificado de Carta Geológico-Minera de Valle Allende G13 A58 Chihuahua, SGM..... - 15 -
- Figura 1.3. Columna estratigráfica del distrito minero Talamantes. Modificada de Carta Geológico-Minera de Valle Allende G13 A58 Chihuahua, SGM..... - 16 -
- Figura 3.1. Arriba: a) Concordia de los zircones analizados. b) Acercamiento a la concordia en zona de mayor densidad de información. C) Edad media ponderada estimada a partir de los intervalos de edad para cada una de las zonas analizadas considerando un error 2σ . Abajo: imágenes SEM-CL post ablación de algunos zircones analizados en andesita, muestra Tala-8. - 32 -
- Figura 3.2. Arriba: a) Concordia de los zircones analizados. b) Acercamiento a la concordia en zona de mayor densidad de información. C) Edad media ponderada estimada a partir de los intervalos de edad para cada una de las zonas analizadas considerando un error 2σ . Abajo: imágenes SEM-CL post ablación de algunos zircones analizados en riolita, muestra Tala-15. - 33 -
- Figura 3.3. En nicols cruzados: a) Plagioclasa con alteración a sericita, la alteración sigue el zoneamiento de crecimiento del cristal. b) Asociación Ep + Chl + Cal, que reemplaza minerales ferromagnesianos. c) Pseudomorfo de mineral ferromagnésico que ha sido totalmente reemplazado por Chl + Cal + Ep + Py; se distingue el crucero característico de anfíboles, quizá hornblenda. d) Wo + Cal + Grt correspondientes a la zona de *skarn*. Abreviaciones: Cal: calcita, Chl: clorita, Ep: epidota, Grt: granate, Py: pirita, Ser: sericita (agregado de micas blancas de grano fino), Wo: wollastonita..... - 36 -
- Figura 3.4. a) Arsenopirita euédrica rodeada por pirita; además se observa calcopirita anhedral y tetraédrita-tennantita, todos ellos inmersos en cuarzo (muestra Tala-50). b) Cristales subhedrales de pirita rodeados por esfalerita anhedral con exsolución de calcopirita, la calcita rellena los espacios entre los minerales mencionados (muestra Tala-54). c) Sectores convexos de esfalerita invadidos por galena. Reemplazamiento de esfalerita por calcita (muestra Tala-64). d) Esfalerita reemplazada por galena, posteriormente galena reemplazada por tetraédrita-tennantita; en la porción inferior derecha de la imagen se presenta pirita parcialmente reemplazada por galena, el cuarzo precipita relleno de espacios (muestra Tala-55). Simbología: Apy: arsenopirita; Cal: calcita; Cpy: calcopirita; Gn: galena; Qz: cuarzo; Py: Pirita; Sph: esfalerita; Ttr-Tnt: tetraédrita-tennantita. ... - 38 -
- Figura 3.5. Microfotografías tomadas con MEB. a) Cristales irregulares de Apy, con fracturas rellenas y rodeadas por galena (Gn), la galena está siendo parcialmente reemplazada por eskimoita y tetraédrita-tennantita (Tala-50). b) Galena rodeando cristales euédricos de Qz y Py, reemplazada en porciones centrales por tetraédrita-tennantita (Tala-55). Simbología: Apy: arsenopirita, Cal: calcita, Ekm: eskimoita, Gn: galena, Py: pirita, Qz: cuarzo y Ttr-Tnt: tetraédrita-tennantita.... - 38 -

Figura 3.6. a) Cristales de barita subhedrales con inclusiones sólidas de óxidos (cantidades pequeñas que enmarcan el crecimiento de la barita en el sector centro-superior de la imagen); el cuarzo crece en los bordes de la barita; en la zona derecha y superior izquierda de la imagen se observa goethita, en agregados aciculares, rodeando cristales de barita y cuarzo (muestra **Barita 3**). b) Intercrecimiento de cristales euhedrales de fluorita y barita; el cuarzo se observa en los bordes de la barita, los bordes de algunos cristales de barita se presentan corroídos; el cuarzo rellena espacios entre las fases mencionadas (muestra **Veta Reyna I**). c) Bahía de corrosión en cristal de barita rellena por cuarzo (**Veta Reyna I**). d) En el extremo derecho cristal de fluorita relleno del espacio entre dos cristales de barita, cuarzo de textura *jigsaw* llena los espacios restantes, se observa goethita en lineamientos (muestra **Mina Barita 2**). Simbología: Brt: barita; Fl: fluorita; Gth: goethita; OxMn: óxidos de manganeso; Qz: cuarzo. - 40 -

Figura 3.7. Microfotografías de algunas muestras de Talamantes. a) Mushketovita en el extremo izquierdo de la imagen, junto con cristales subhedrales de barita, la coronadita (color blanco) rellena los espacios, (muestra **Talamantes 28**). b) Holandita bandeada, con mushketovita en uno de sus bordes, y cuarzo en los extremos superior e inferior (muestra **Talamantes 52**). c) Fragmentos de roca encajonante cementados por holandita; algunos fragmentos presentan cierto grado de reemplazamiento principalmente en los bordes (muestra **Talamantes 35**). d) Bandeamiento coloforme que ilustra el crecimiento secuencial de los óxidos de Mn, con intercalaciones de óxido de hierro (hematita) (muestra **Talamantes 2**). Simbología: Brt: barita; Cor: coronadita; Hol: holandita; Mag: magnetita; Qz: cuarzo. - 42 -

Figura 3.8. Microfotografías de la muestra Talamantes 28. a) Identificación de coronadita relleno de espacios entre cristales de barita. b) Mushketovita, algunos cristales tienen como límite de crecimiento a los cristales de barita, la coronadita se encuentra relleno de espacios entre las fases mencionadas. Simbología: Brt: barita, Cor: coronadita, Mag: magnetita. - 42 -

Figura 3.9. Galena (Gn) subhedral coprecipitando con fluorita (Fl) en plano de crecimiento de un cristal de barita (Brt) (muestra Talamantes 31)..... - 43 -

Figura 3.10. Secuencia paragenética de los yacimientos de Talamantes. - 44 -

Figura 3.11. Inclusiones fluidas en barita. a) Asociación de inclusiones planares secundarias monofásicas de líquido (centro de la imagen,); en negro se señalan tendencias de dos asociaciones de inclusiones secundarias relacionadas con fracturas; al centro- derecha de la imagen se observa una inclusión bifásica con un grado de relleno de 0.65. b) Rasgos de estrangulamiento de inclusiones fluidas, la mayoría monofásicas de líquido, y algunas bifásicas ricas en líquido con grados de relleno entre 0.90 y 0.95. c) Bordes de crecimiento de cristales de barita delineados por la presencia de óxidos. d) Inclusión fluida primaria bifásica rica en líquido (F = 0.85), con morfología de cristal negativo. Simbología: L: Líquido; V: Vapor. - 49 -

Figura 3.12. Inclusiones fluidas en fluorita. a) Inclusiones primarias bifásicas ricas en líquido con un grado de relleno de 0.90, con morfología de cristal negativo; se observan además inclusiones sólidas (posiblemente epidota). En la parte superior

de la imagen existen asociaciones de inclusiones secundarias que siguen planos de clivaje de la fluorita (línea punteada negra). b) Inclusiones fluidas de morfología irregular de grado de relleno variable. c) Inclusiones primarias; arriba a la izquierda se muestra inclusión con cristal atrapado (S₁), en la parte inferior derecha inclusión fluida alojada a la sombra de inclusión sólida. d) Borde de crecimiento de cristal de fluorita enmarcado por inclusiones sólidas (en negro), que favoreció la formación de inclusiones fluidas primarias. Simbología: IS: inclusión sólida; IFP: Inclusiones fluidas primarias; L: líquido; S₁: sólido 1; V: Vapor..... - 51 -

Figura 3.13. Inclusiones fluidas identificadas en esfalerita. a) Inclusiones primarias bifásicas, una con un cristal atrapado; al centro inclusión con rasgos de estrangulamiento. b) Inclusión primaria bifásica (L+V) de morfología irregular, con un grado de relleno de 0.95. c) Inclusión fluida primaria, bifásica del tipo L+V, el sólido (S₁) presente se interpreta como un cristal atrapado. d) Inclusiones secundarias alineadas con fracturas observadas, son bifásicas (L+V) con un grado de relleno aproximado de 0.80 y de morfología irregular. Simbología: IFE: Inclusión fluida estrangulada; IFP: Inclusión fluida primaria; IFS: Inclusión fluida secundaria; L: líquido; V: vapor; S₁: sólido 1..... - 52 -

Figura 3.14. Inclusiones fluidas en cuarzo amatista. a), b), c) y d) Inclusiones primarias bifásicas ricas en líquido (grado de relleno de 0.90), la mayoría de morfología irregular. En d) la morfología es de cristal negativo. e) Inclusiones secundarias asociadas con una fractura, de morfología irregular y grado de relleno de aproximadamente 0.90. f) Inclusiones fluidas de morfología irregular y grado de relleno variable, localizadas en una zona de crecimiento. Simbología: L: líquido; V: vapor..... - 53 -

Figura 3.15. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad para las muestras Talamantes # 27 y # 33. La flecha señala la relación temporal de las fases estudiadas..... - 54 -

Figura 3.16. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad para las muestras correspondientes a las zonas mineralizadas Pavito y Morita 7..... - 54 -

Figura 3.17. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad para las muestras colectadas en las zonas mineralizadas Tepostete y Reyna..... - 55 -

Figura 3.18. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad para las muestras Socorrito y Talamantes # 28..... - 56 -

Figura 3.19. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad para las muestras Talamantes # 30, # 35 y # 66. - 57 -

Figura 3.20. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad para la muestra Talamantes # 55. - 58 -

Figura 3.21. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad para la muestra Talamantes #52. - 59 -

Figura 3.22. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad de las mediciones de las muestras analizadas. Las flechas, en la

simbología señalan la relación temporal entre los minerales de la muestra. Abreviaciones: brt: barita; fl: fluorita; qz: cuarzo; sph: esfalerita. - 60 -

Figura 3.23. Histograma de $\delta^{34}\text{S}$ de acuerdo con la mineralogía. Se analizó un total de doce muestras de barita. En cuanto a la galena, pirita y esfalerita se tomaron dos muestras de cada fase y una de arsenopirita..... - 61 -

Figura 3.24. Histograma de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ de acuerdo con la mineralogía. - 63 -

Figura 4.1. Campos de estabilidad mineral con isopletas mol % de FeS en esfalerita y at % de As en arsenopirita, a 1 bar de presión. Los campos en los que se grafican pares de datos mol % FeS y at % de As (promedio) correspondientes en muestras de Talamantes, Chihuahua. Tomado de Scott (1983)..... - 67 -

Figura 4.2. Isotermas establecidas por Sack (2005), con la asociación mineral *fahrole* + miargirita (Mia) + pirita +esfalerita (Sph). Graficadas las relaciones molares Zn/(Zn+Fe) y Ag/(Ag+Cu) de cada uno de los análisis en freibergita y tetraedrita rica en plata de las muestras Talamantes #50 y #55 (anaranjado y azul, respectivamente). - 69 -

Figura 4.3. Comparación de las posiciones de los contornos $\delta^{34}\text{S}$ con los campos de estabilidad de minerales del sistema Fe-S-O y barita. T =250°C..... - 72 -

Figura 4.4. Distribución de $\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$ en ambientes geológicos y valores registrados en las muestras de sulfatos y carbonatos del proyecto. Tomado de Berger y Bethke (1985)..... - 75 -

Figura 4.5. Campos de composición isotópica de carbonatos de diferentes ambientes geológicos, en azul los valores obtenidos para las calcitas de la zona de estudio. Tomado de Rollinson, 1993..... - 76 -

Capítulo 1: Introducción

La zona mineralizada de Talamantes se localiza en el municipio Allende, en el estado de Chihuahua. En esta región se han explotado principalmente óxidos de manganeso, aunque también se reportan valores anómalos de oro, plata, plomo y zinc (Herrera y Herrera, 2002).

Se han sugerido dos orígenes para los óxidos de manganeso (psilomelano, criptomelano, holandita y coronadita) presentes en la zona de estudio. Por un lado, Fernández del Olmo (1980) sugiere su formación por alteración supergénica de minerales de manganeso de origen hidrotermal, lo que implica un enriquecimiento supergénico de óxidos de manganeso. Por otra parte, Wilson y Rocha (1946), con base en el contenido de tungsteno de la mineralización, proponen que su origen estuvo asociado a fluidos hidrotermales que ascendieron por medio de fallas y fracturas. En trabajos más recientes (e.g., Camprubí, 2013) se propone que estos yacimientos son de origen epitermal.

1.1. Planteamiento del problema

Si bien los estudios realizados por Wilson y Rocha (1946) y Fernández del Olmo (1980) describen eventos geológicos relacionados a las mineralizaciones y proponen un origen para la mineralización de óxidos de manganeso de Talamantes, la información actual es insuficiente para soportar cualquiera de las hipótesis propuestas. Por ello, la presente Tesis de Maestría pretende ampliar el conocimiento en cuanto a la génesis y distribución de los minerales en la zona de interés para mejorar el entendimiento de estos yacimientos.

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Caracterizar la génesis de los yacimientos minerales de Talamantes – Chihuahua, México, mediante estudios mineralógicos, isotópicos y de inclusiones fluidas.

1.2.2. *Objetivos específicos*

- Determinar la secuencia paragenética de mineralización y las posibles etapas que la componen.

- Determinar la temperatura y salinidad de los fluidos asociados a las diferentes etapas de mineralización mediante el estudio de inclusiones fluidas.
- Determinar el origen de los fluidos mineralizantes y del azufre.
- Proponer una hipótesis sobre la génesis de la mineralización y discutir su clasificación en tipologías descritas.
- Discutir la petrogénesis de las rocas magmáticas potencialmente relacionadas con el yacimiento (si aplica, según resultados de los puntos anteriores), la edad de éstas y del yacimiento.

1.3. Antecedentes

Ninguno de los depósitos en la zona de estudios ha sido explorado a profundidades mayores a algunas decenas de metros. En la porción norte de la veta "San Antonio" se ha alcanzado la profundidad de 65 m por medio de pozos, galerías y rebajes (Jurado *et al.*, 1979), y se ha determinado que la mayor reserva en esta veta está en el nivel de 23 m. En la veta oeste de la concesión "La Vida Nueva" se alcanzó una profundidad de alrededor de 40 m con resultados poco favorables. De hecho, muy pocas obras mineras dentro de la zona se extienden a más de 20 o 30 m por debajo de la superficie (Wilson y Rocha, 1948).

1.3.1. Dataciones

En la zona hay pocos estudios geocronológicos. El único fechamiento antecedente en el distrito Talamantes fue realizado por Clark *et al.* (1979) en una toba riolítica (ignimbrita) por medio del método K-Ar. La edad obtenida fue de 42.5 ± 0.9 Ma. Este fechamiento fue considerado no representativo con respecto a la edad de depositación de la toba riolítica debido a la inconsistencia que representa con las edades obtenidas en rocas similares en localidades cercanas. Al hacer una correlación con la riolita de La Bufa en Santa Bárbara, a 60 km al suroeste de Talamantes, Herrera y Herrera (2001) asignan una edad en el Oligoceno. Esta riolita fue fechada en 25.3 ± 0.29 Ma por Damon (comunicación personal de Damon en Grant y Ruiz, 1988) y 28.5 ± 0.6 Ma por Clark *et al.* (1979).

Se cuenta con dataciones de rocas ígneas en zonas cercanas (*i.e.*, en Santa Bárbara e Hidalgo del Parral). En todos los casos, éstas se encuentran relacionadas con los diferentes complejos ígneos que conforman la Sierra Madre Occidental. Las dataciones—en su mayoría realizadas por Prian *et al.* (1999) durante el desarrollo de la Cartografía

Geológico-Minera y Geoquímica de Hidalgo del Parral—corresponden a cuerpos ígneos de la región. A esta información se suman algunas aportaciones realizadas por otros autores (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Dataciones antecedentes de cuerpos ígneos realizadas en los alrededores de Talamantes.

Región	Litología	Unidad geológica	Edad (Ma)	Cronoestratigrafía	Método	Referencias
El Jaralito	Andesita	CVI	78.00 ± 1.10	Cretácico Superior (Campaniano)	¿?	Prian <i>et al.</i> (1999)
Ciudad Parral	Pórfido diorítico	CVI	44.10 ± 0.50	Eoceno Medio	K-Ar	Prian <i>et al.</i> (1999)
Ciudad Parral	Andesitas basálticas	CVI	36.85 ± 0.54 39.04 ± 0.56 37.25 ± 0.54	Eoceno Superior	K-Ar	Prian <i>et al.</i> (1999)
Santa Bárbara	Riolita	CVS	28.50 ± 0.60 25.31 ± 0.29	Oligoceno Superior	¿?	Clark <i>et al.</i> (1979) Damon, en Grant y Ruíz (1988)
Santa Bárbara	Derrames basálticos	CVS	6.87 ± 1.99 7.00 ± ¿?	Mioceno Superior	¿?	Escudero <i>et al.</i> (1990) Damon, en Grant y Ruíz (1988)
Santa Bárbara	Derrames basálticos	CVS	7.58 ± 0.10	Mioceno Superior	K-Ar	Prian <i>et al.</i> (1999)
Villa Hidalgo	Tonalita	CVI	91.7 ± 1.30	Cretácico Superior	¿?	Prian <i>et al.</i> (1999)
San Fermín	Diorita	CVI	95.80 ± 1.40	Cretácico Superior	¿?	Prian <i>et al.</i> (1999)

Nota: CVS: Complejo volcánico Superior; CVI: Complejo Volcánico Inferior.

En El Jaralito, aproximadamente a 200 km al SE de la zona de Talamantes, se han reportado andesitas pertenecientes al Complejo Volcánico Inferior, cuya edad es de 78±1.10 Ma (Campaniano). Prian *et al.* (1999) y Librado *et al.* (2003) mencionan la existencia de andesitas, pertenecientes al Complejo Volcánico Inferior. Estas andesitas se encuentran sobreyaciendo en discordancia a la Formación Mezcalera, en la región de Santa Bárbara, aproximadamente a 75 km al oeste de la zona de estudio; no existe un fechamiento de esta unidad.

Diferentes autores (Clark, *et al.*, 1979; Shaffiqullah *et al.*, 1983; Grant y Ruiz, 1988; De los Santos Barbolla, 1990) fecharon andesitas alteradas del Complejo Volcánico Inferior,

localizadas en los alrededores de las ciudades Hidalgo del Parral y Santa Bárbara. Las edades obtenidas se encuentran entre 34.9 y 30 Ma (Oligoceno). Estas edades corresponden al periodo de actividad del Complejo Volcánico Superior ácido sobrejaciente; por esta razón Prian *et al.* (1999) considera que se trata de edades de rejuvenecimiento.

Al norte de la Ciudad Hidalgo del Parral (San Patricio y carretera hacia Chihuahua), Prian *et al.* (1999) dataron dos muestras de andesitas basálticas. Estas muestras estratigráficamente se localizan en la parte superior del Complejo Volcánico Inferior andesítico, debajo de los niveles de brechas de erosión y areniscas que marcan la discordancia con el Complejo Volcánico Superior. Las edades obtenidas (por medio del método K-Ar) son 36.85 ± 0.54 Ma, 39.04 ± 0.56 Ma y 37.25 ± 0.54 Ma, pertenecientes al Eoceno Superior. Las primeras dos dataciones fueron obtenidas en plagioclasa, y la tercera, en la matriz de la misma muestra. Estas andesitas son intruídas por el pórfido *El Parral* del Eoceno Medio por lo que se concluye que las andesitas identificadas en esta zona en general tienen un intervalo de edad del Eoceno Medio a Superior (Prian *et al.*, 1999).

Prian *et al.* (1999) interpretan la diversidad de edades de las andesitas entre las regiones de Santa Bárbara, Hidalgo del Parral y El Jaralito, como el emplazamiento diacrónico del vulcanismo andesítico del Complejo Volcánico Inferior entre el Campaniano y el Eoceno Superior.

Clark *et al.* (1979) y Damon (comunicación personal de Damon en Grant y Ruiz, 1988) dataron riolitas (derrames y diques) pertenecientes al Complejo Volcánico Superior en la región de Santa Bárbara. Las edades obtenidas son de 28.5 ± 0.6 Ma y 25.31 ± 0.29 Ma, lo que las ubica temporalmente en el Oligoceno Superior (Prian *et al.*, 1999).

Los derrames basálticos, que cubren a las lutitas y calizas de la Formación Parral (Aptiano-Albiano) y a las molasas conglomeráticas en la región de Santa Bárbara, fueron fechados a 6.87 ± 1.99 Ma y 7 Ma, correspondientes con el Mioceno Superior (comunicación personal de Damon, en Grant y Ruiz, 1988; Escudero *et al.*, 1990). El fechamiento mediante el método K-Ar de la matriz de un derrame basáltico ubicado en la parte superior del paquete de molasas conglomeráticas al oeste de la región de Santa Bárbara por Prian *et al.* (1999) dio un resultado de 7.58 ± 0.10 Ma, que es consistente con la secuencia estratigráfica.

Aproximadamente a 1 km de la Ciudad Hidalgo del Parral se dató un pórfido diorítico, que pertenece al pórfido El Parral, cuya edad (obtenida en hornblenda por medio del método K-Ar) es de 44.10 ± 0.50 Ma, que corresponde al Eoceno Medio (Prian *et al.*, 1999).

Prian *et al.* (1999) también realizaron dataciones de la tonalita de Villa Hidalgo y la diorita de San Fermín. Los fechamientos obtenidos son 91.70 ± 1.30 Ma y 95.80 ± 1.40 Ma, respectivamente (Cretácico Superior, Cenomaniano). Estos intrusivos cortan a las rocas plegadas del Grupo Mezcalera y de la Formación La Gloria; esto sugiere que la fase de deformación dúctil de la orogenia Larámide en este sector data de los inicios del Cretácico Superior (Prian *et al.*, 1999).

1.3.2. Manganeso en mineralizaciones epitermales

En algunos depósitos epitermales se ha descrito la presencia de óxidos de manganeso. De manera general, estos óxidos se encuentran como relleno de vetas, así como cementando brechas de falla (Mosier, 1986). Los principales óxidos identificados en este tipo de yacimientos incluyen pirolusita, criptomelano, psilomelano, holandita, coronadita y todoroquita. Respecto a los minerales de ganga o accesorios característicos se encuentran principalmente barita, fluorita, hematites, calcita y cuarzo (Norman, 1983; Mosier, 1986; Roy, 1997).

Teniendo en cuenta la clasificación de yacimientos epitermales de Hedenquist y Lowenstern (1994), son los del tipo de baja sulfuración aquéllos que favorecen la deposición de los óxidos de manganeso. En esos yacimientos, las características de los fluidos (su baja salinidad, pH intermedio y carácter reductor) favorecen que el manganeso sea transportado hasta las partes superficiales del sistema. Finalmente, un ambiente con alto potencial de oxidación propiciará la deposición como óxidos. La determinación del origen de los óxidos de manganeso puede ser de gran utilidad en proyectos de exploración, ya que un origen hipógeno podría indicar la presencia de una mineralización polimetálica en niveles más profundos del sistema (Hewett, 1964; Hewett, 1968; Norman, *et al.*, 1983).

Si bien en la mayoría de los casos las mineralizaciones de óxidos de manganeso se encuentran alojadas en rocas volcánicas terciarias de origen continental con un amplio rango composicional (riolita a basalto), también se pueden encontrar en rocas

sedimentarias de diferentes edades e incluso en cuerpos intrusivos (Hewett, 1964; Roy, 1981; Moiser, 1986; O'Reilly, 1992).

Las mineralizaciones de óxidos de manganeso asociadas a un ambiente epitermal están fuertemente controladas por sistemas de fallas y fracturas que facilitaron el ascenso de los fluidos mineralizantes y quizá el emplazamiento de cuerpos ígneos (Norman, 1983; O'Reilly 1992; Leal, 2004; Lueth *et al.*, 2004; Papavassiliou, 2017).

El enriquecimiento de manganeso en ambientes epitermales se da básicamente de dos formas: i) por un enriquecimiento de manganeso en los fluidos de etapas tardías en sistemas magmáticos, debido a la incompatibilidad del manganeso durante las primeras etapas de cristalización del magma; y ii) lixiviación de manganeso de rocas ígneas cuyos minerales ferromagnesianos pudieron alojar cantidades significativas de este elemento (Sidorov, *et al.*, 1980; Lueth, *et al.*, 2004). También puede darse la combinación de estos dos mecanismos.

El transporte de manganeso, principalmente como Mn^{2+} , es más favorable si se tiene un medio reducido y ácido (Roy, 1992). En presencia de azufre y carbonatos la movilidad del Mn^{2+} es menor y su precipitación como alabandita o rodocrosita es probable, pues estos dos minerales son estables en valores bajos-intermedios de potencial de oxidación y potencial de hidrógeno. Por otro lado, los óxidos de manganeso precipitarán únicamente en valores muy altos de potencial de oxidación y potencial de hidrógeno. Adicionalmente, el Mn^{2+} puede viajar como complejo con diferentes ligandos como Cl, SO_4 , generalmente acompañado de otros metales como sodio, potasio, hierro, zinc, rubidio, cesio, plata, estaño, plomo y talio (Heinrich, *et al.*, 1999).

De acuerdo con Crerar (1980), la precipitación de hierro y manganeso hidrotermales se da a través de la oxidación, principalmente por cambios en el Eh. Este autor ha demostrado que el hierro generalmente precipita a niveles más profundos que el manganeso, porque es oxidado en condiciones de Eh menor. Dicho comportamiento explica la disociación espacial entre los óxidos de hierro y manganeso en estos depósitos (Leal, 2004). La precipitación de los óxidos de manganeso se da en condiciones altamente oxidantes, probablemente relacionadas con zonas de mezcla de aguas (por ejemplo, fluidos hidrotermales y aguas superficiales con alto contenido de oxígeno libre; Hewett, 1964). Un ejemplo ilustrativo es el depósito epitermal de plata de Creede, en Colorado (Norman, *et al.*, 1983).

Hewett (1964) y Roy (1968, 1981) han propuesto un esquema de zonación de acuerdo con la mineralogía observada en los depósitos de manganeso hidrotermal:

1. Minerales reducidos como alabandita, rodocrosita y rodonita se depositan a altas temperaturas en asociación con depósitos de metales base (Cu-Pb-Zn) y también con depósitos de oro y plata;
2. Los óxidos de manganeso con valencia 2+ y 4+ como psilomelano, criptomelano, coronadita y pirolusita, tienen lugar en las vetas de barita-fluorita formadas a baja temperatura;
3. Óxidos de manganeso con valencia 4+ se forman en los depósitos superficiales a temperaturas aún más bajas, como en zonas de travertino y manantiales termales.

De acuerdo con algunos resultados del análisis de inclusiones fluidas en yacimientos de óxidos de manganeso, los fluidos presentan, de manera general, temperaturas alrededor de 300 °C y salinidades de ~ 4 wt. % NaCl equiv. No obstante, es posible la existencia de salinidades intermedias a altas por la capacidad del fluido para transportar metales en forma de complejos clorurados. Las profundidades estimadas de deposición son entre los 500 y 1000 m (Norman, *et al.*, 1983; Leal, 2004).

1.4. Marco geológico

1.4.1. Localización de la zona de estudio

El distrito manganesífero Talamantes se encuentra 20 km al este de la ciudad Hidalgo del Parral y pertenece al municipio Allende, ubicado al sureste del estado de Chihuahua (Fig. 1.1).

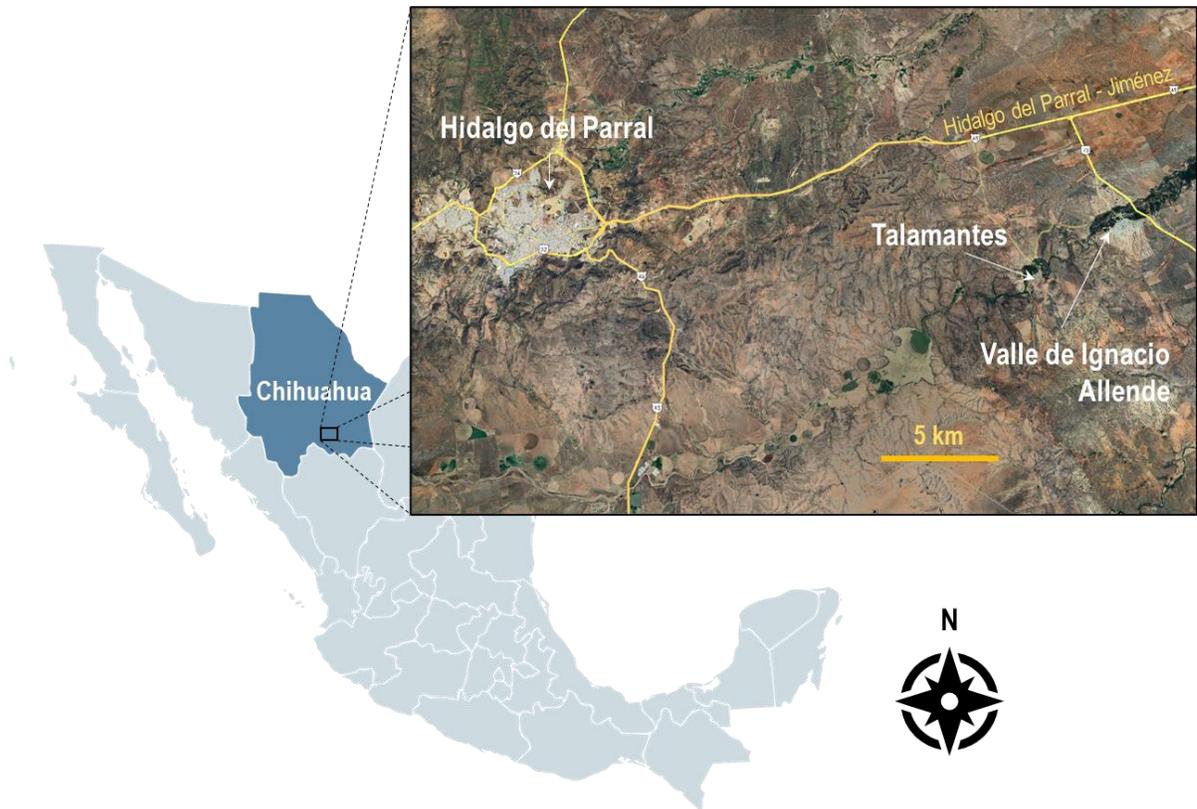


Figura 1.1. Localización de la zona mineralizada Talamantes. Se señalan las comunidades más cercanas a la zona de estudio

El acceso al poblado de Talamantes y al distrito está sobre la carretera Hidalgo del Parral-Jiménez. Fisiográficamente el distrito se encuentra en los bordes este y oeste de las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental y Provincia de Sierras y Cuencas, respectivamente (Prian *et al.*, 1999).

1.4.2. Contexto geológico

De acuerdo con Camprubí y Albinson (2006), la distribución espacial y temporal de los yacimientos epitermales en México está ligada a la evolución del vulcanismo de arco continental de la Sierra Madre Occidental (SMO) y Sierra Madre del Sur (SMS). Al respecto, Clark (1978) indica que en el estado de Chihuahua los yacimientos de origen magmático – hidrotermal están relacionados con *suites* magmáticas que varían de calcoalcalinas (oeste) a alcalinas (este); esta variación composicional estaría relacionada con la migración al oriente del arco continental de la Sierra Madre Occidental.

La estratigrafía de la Sierra Madre Occidental está conformada, de acuerdo con Ferrari (2007), por cinco complejos ígneos principales que van del Cretácico Tardío al

Pleistoceno. Estos complejos son el resultado de una serie de episodios magmáticos y tectónicos relacionados con la subducción de la placa Farallón por debajo la placa Norteamericana y con la apertura del Golfo de California (Ferrari, 2007).

Los cuerpos intrusivos y extrusivos que pertenecen a los complejos ígneos de la Sierra Madre Occidental fueron afectados por diferentes episodios de deformación relacionados con la orogenia Laramide (Ferrari, 2007). Las estructuras extensionales con tendencias ~E-W a ENE-WSW que afectan al Complejo Volcánico Inferior (CVI) son ejemplo de ello. De acuerdo con Ferrari (2007) estos episodios tuvieron lugar durante el periodo Paleoceno – Eoceno, correspondiente con los estadios finales de la orogenia Laramide.

En el Oligoceno inicia una tectónica extensional que genera *grabens* delimitados por fallas normales de alto ángulo a lo largo de la porción este de la Sierra Madre Occidental. Posteriormente, dicha tectónica extensional migró hacia el oeste. En general, las estructuras regionales que se formaron durante los diferentes episodios de deformación sirvieron como canales para el ascenso subsecuente de magmas, facilitando el emplazamiento de cuerpos ígneos que sirvieron como fuentes de calor, originando así el hidrotermalismo en la región. En este contexto, Clark (1978) propone que las principales estructuras que favorecieron el emplazamiento de las mineralizaciones en el estado de Chihuahua son fallas normales, cabalgaduras, pliegues y domos. Los eventos mineralizantes tuvieron lugar durante el Oligoceno, aunque el vulcanismo post-mineralización perduró hasta el Cenozoico tardío. Algunos sucesos contemporáneos registrados en el este de la cuenca del Pacífico sugieren que el tectonismo, magmatismo y metalogénesis son consistentes con un modelo de placas convergentes a lo largo de un margen continental (Clark, 1978).

1.4.3. Geología local

En la Figura 1.2 se presenta la geología superficial de la zona de interés. De acuerdo con la columna estratigráfica (Fig. 1.3) las unidades más antiguas que afloran corresponden a la Formación Mezcalera (Wilson y Rocha, 1948; Herrera y Herrera, 2001) que es parte de la cobertura sedimentaria de edad Jurásico-Cretácica del terreno tectono-estratigráfico Parral (Centeno, 2005). Campa y Coney (1987) definen al terreno Parral como una arenisca turbidítica parcialmente calcárea muy deformada que pertenece al Jurásico Superior - Cretácico Inferior. Sin embargo, Centeno (2005) considera una mayor complejidad para éste, siendo el basamento representado por rocas metamórficas

(esquisto de moscovita y clorita) que afloran en Santa María del Oro, Durango (localidad que se encuentra aproximadamente 100 km al sur de Talamantes). Además, Centeno (2005) incluye como parte de este terreno tectonoestratigráfico basaltos almohadillados interestratificados con rocas volcanoclásticas, localizados en contacto tectónico con estas rocas metamórficas.

En la zona de estudio, la Formación Mezcalera (definida por Mendieta y Partida, 1986), está representada por dos unidades. La primera es una secuencia tipo *flysh* de areniscas y lutitas negras en estratos delgados y rítmicos (KapAr-Lu) del Aptiano. La segunda es la evolución transicional y concordante de la primera hacia la cima a lutitas y calizas (KapaLu-Cz) del Aptiano-Albiano, denominada de manera informal Formación Parral por Grant y Ruiz (1988) y otros autores (Herrera y Herrera, 2001).

Los miembros de la Formación Mezcalera se encuentran fuertemente inclinados y plegados (Wilson y Rocha, 1948). Esta deformación afectó mayormente a las rocas de la secuencia, debido a su composición litológica con alto contenido de arcilla y de margas (Mendieta y Partida, 1986). De acuerdo con Fernández del Olmo (1980), la deformación tuvo lugar a finales del Cretácico. Sin embargo, Prian *et al.* (1999) mencionan que existen tres fases tectónicas que afectan al grupo. La primera es una fase de tectónica flexible pre-cenomaniana que posiblemente corresponde con la orogenia Sevier. La segunda es una fase de tectónica tangencial contemporánea a la orogenia Laramide que tuvo como resultado el plegamiento, fallamiento y algunas cabalgaduras (Mendieta y Partida; 1986). Por último, se tiene una fase de tectónica frágil post-laramídica polifásica que se manifiesta por numerosas fallas (normales o de rumbo) y veta-fallas asociadas al emplazamiento de los intrusivos (pórfidos, granodioritas) entre el Eoceno Medio y el Oligoceno Temprano, y diques de riolita del Oligoceno.

Durante el desarrollo de este trabajo se identificaron andesitas (KsA), aproximadamente a 200 km al SE de la zona de Talamantes, con una edad de 78 ± 1.10 Ma. Probablemente éstas corresponden a las reportadas por Prian *et al.* (1999), pertenecientes a la caldera El Jaralito. Dichas andesitas son diacrónicas, al menos en la región definida entre estas localidades. En Prian *et al.* (1999) y Librado *et al.* (2003) se reportan andesitas del Complejo Volcánico Inferior sobreyaciendo en discordancia a la Formación Mezcalera en la región de Santa Bárbara, aproximadamente a 75 km al oeste de la zona de estudio. Por ello, se considera posible que las andesitas identificadas en la zona de estudio

pertenezcan al Complejo Volcánico Inferior. Aunque no hay un registro anterior de estas andesitas, ni del tipo de contacto con la Formación Mezcalera, en localidades cercanas se ha reportado que éste es discordante (Herrera y Herrera, 2001).

Herrera y Herrera (2001) reportan dos unidades volcánicas: tobas andesíticas (TeTA) y traquitas (TeTq), que de acuerdo con su posición estratigráfica pertenecen al Eoceno. En algunos sectores ambas unidades cubren discordantemente a la secuencia sedimentaria del Cretácico. Aunque no existen descripciones del tipo de contacto entre las andesitas (KsA) y las tobas y traquitas, de acuerdo con Herrera y Herrera (2001) es muy probable que estas últimas se encuentren cubriendo de manera discordante al cuerpo andesítico del Complejo Volcánico Inferior (KsA).

Wilson y Rocha (1948) reportan que en la zona de estudio la Formación Mezcalera se encuentra en contacto con una riolita sobreyacente (TeR) por medio de una disconformidad angular pronunciada. Los autores interpretan que esta riolita fluyó sobre una superficie irregular, con desniveles de varios metros, y mencionan que la posición de este grupo dentro de la Mesa de Talamantes es variable en distancias cortas. De acuerdo con Wilson y Rocha (1948), estas riolitas pertenecen al evento magmático que dio origen a la Sierra Madre Occidental y se encuentran en la mayor porción de la Mesa, con un espesor aproximado de 120 m. Los autores describen esta riolita como masiva, afanítica, porfirítica y de coloración gris con manchas rojizas o negras en algunas localidades debido a la presencia de óxidos de manganeso.

Herrera y Herrera (2001) reportan una unidad de riolita fluidal de gran extensión identificada en Talamantes, en donde los espesores más potentes son del orden de 125 m. Los autores le asignan una edad oligocena en base a su correlación con la riolita de La Bufa en Santa Bárbara, fechada con 25.3 ± 0.29 Ma (comunicación personal de Damon, en Grant y Ruiz, 1988) y 28.5 ± 0.6 Ma. (Clark *et al.*, 1979). Tomando en cuenta el espesor mencionado, es muy probable que se trate de la riolita descrita por Wilson y Rocha (1948) en el párrafo anterior. En cuanto a las relaciones estratigráficas de esta unidad, Herrera y Herrera (2001) describen que las riolitas cubren de manera discordante a tobas riolíticas (ToTR). Wilson y Rocha (1948) observan una intercalación entre la riolita y la toba riolítica. De acuerdo con Herrera y Herrera (2001), la depositación del Grupo Volcánico Superior pudo iniciar en el Eoceno Medio en la zona de Talamantes. Estas estimaciones están basadas en edades K-Ar en una ignimbrita riolítica a 42.5 ± 0.9 Ma reportados por Clark *et*

a). (1979). Esta riolita aloja los yacimientos de manganeso más importantes dentro del distrito de Talamantes (Wilson y Rocha, 1948; Fernández del Olmo, 1984, Prian *et al.*, 1999). Composicionalmente la ignimbrita contiene fenocristales de cuarzo e inclusiones de toba, pómez, y fragmentos de riolita, inmersos en una matriz de fragmentos de vidrio desvitrificado y un agregado microcristalino de cuarzo y ortoclasa. Ésta se puede correlacionar con la toba riolítica (ToTR) descrita en por Herrera y Herrera (2001), a la cual le asignan una edad oligocena.

Sobreyaciendo discordantemente existen brechas volcánicas polimícticas (TeBvp), al parecer correspondientes con las identificadas por Wilson y Rocha (1948). Estas TeBvp están constituidas por fragmentos angulares de riolita y de tobas riolíticas desvitrificadas contenidas en una matriz roja arenosa, cementada por óxidos de hierro y materiales tufáceos de grano fino.

La brecha volcánica rojiza, un conglomerado y una arenisca tufácea están intercaladas cerca de la cima de esta secuencia (Wilson y Rocha, 1948). En general, la brecha volcánica está sobre la riolita, pero, al menos en una localidad, un flujo delgado de riolita está sobre la brecha. Todos los contactos entre la riolita y la brecha son aparentemente concordantes. La brecha cambia gradualmente a una arenisca tufácea roja de la misma naturaleza con matriz arenosa, en la que disminuye el contenido de fragmentos de riolita. La brecha volcánica contiene algunos depósitos pequeños de manganeso, particularmente en la propiedad El Pavo Real (Wilson y Rocha, 1948).

La brecha volcánica, el conglomerado y la arenisca tienen un espesor mínimo de 35 m; mientras los flujos de riolita y la toba intercalada tienen por lo menos 120 m de espesor en la Mesa de Talamantes, delimitada por las fallas La Concepción al este y La Reyna al oeste. El espesor completo no puede ser medido, ya que la base de los flujos se encuentra expuesta únicamente al este de la falla La Concepción, mientras la cima de los flujos está expuesta sólo en el oeste de la falla, y el desplazamiento a lo largo de la falla es desconocido.

Wilson y Rocha (1948) identifican como “Serie Volcánica de Talamantes” al conjunto de las rocas volcánicas riolíticas mencionadas y reconocen a ésta como parte de las rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental; esto las coloca dentro del evento que dio origen al Complejo Volcánico Superior (CVS) descrito por Ferrari (2005).

En la zona de estudio, de acuerdo con Herrera y Herrera (2001), las areniscas y lutitas de la Formación Mezcalera han sido intruídas por tonalitas y dioritas (TeTn y TeD, respectivamente) en forma de apófisis y diques aislados de poca extensión que provocaron metamorfismo y en menor grado metasomatismo de contacto desarrollando *hornfels* y *skarn* (Hf, Sk). Herrera y Herrera (2001) asocian estos cuerpos intrusivos al pórfido Parral que, de acuerdo con Prian *et al.* (1999), se extiende desde la zona de Santa Bárbara hasta Valle Allende. Este es un cuerpo hipovolcánico de gran amplitud, relacionado con afloramientos de pórfidos de diferente composición mineral dentro de la región. Uno de los cuerpos hipabisales que forma parte del pórfido Parral fue datado por Herrera y Herrera (2001) en 44.10 ± 0.50 Ma (K/Ar en hornblenda; i.e., Eoceno Medio). Estos cuerpos hipabisales deben haber intruído a las andesitas del Complejo Volcánico Inferior (KsA) y de acuerdo con Herrera y Herrera (2001) también es probable que hayan intruído la base de las tobas andesíticas y traquitas del Eoceno. Posteriormente, se emplazaron pórfidos riolíticos (ToPR), que intruyeron a las unidades antes descritas. Este conjunto de rocas del Oligoceno pertenece al Grupo Volcánico Superior de la Sierra Madre Occidental (Herrera y Herrera, 2001).

En el Mioceno se depositó un conglomerado polimíctico continental (TmCgp), constituido por fragmentos de riolita, toba riolítica y en menor proporción andesita, caliza y arenisca. Su contacto inferior es discordante y cubre a las rocas del Grupo Volcánico Superior. Es común encontrarlo en contacto por falla normal con riolitas y tobas riolíticas (Herrera y Herrera, 2001). Además, durante este periodo existió una tectónica distensiva en la que se generaron fosas y semifosas controladas por fallas de orientación NW-SE y N-S, que fueron rellenadas por este conglomerado (Mendieta y Partida, 1986; Herrera y Herrera, 2001).

Posteriormente en la secuencia aparecen depósitos lacustres (Qpthola) definidos por primera vez por Herrera y Herrera (2001). Dichos depósitos están conformados por limos y arcillas, con un espesor no mayor a 5 m. Existen conglomerados polimícticos (QpthoCgp) no consolidados del Pleistoceno que cubren de manera discordante a la secuencia de depósitos lacustres y se observan en áreas reducidas. Los conglomerados polimícticos no consolidados están constituidos por fragmentos de las rocas antes mencionadas, con poco transporte. Su espesor es menor a una decena de metros. Los depósitos de aluvión (Qhoal) del Holoceno se restringen a las márgenes de los ríos y arroyos y están

conformados por gravas, limos y arcillas no consolidadas. El espesor en los márgenes de los ríos no es mayor a 3 m (Herrera y Herrera, 2001).

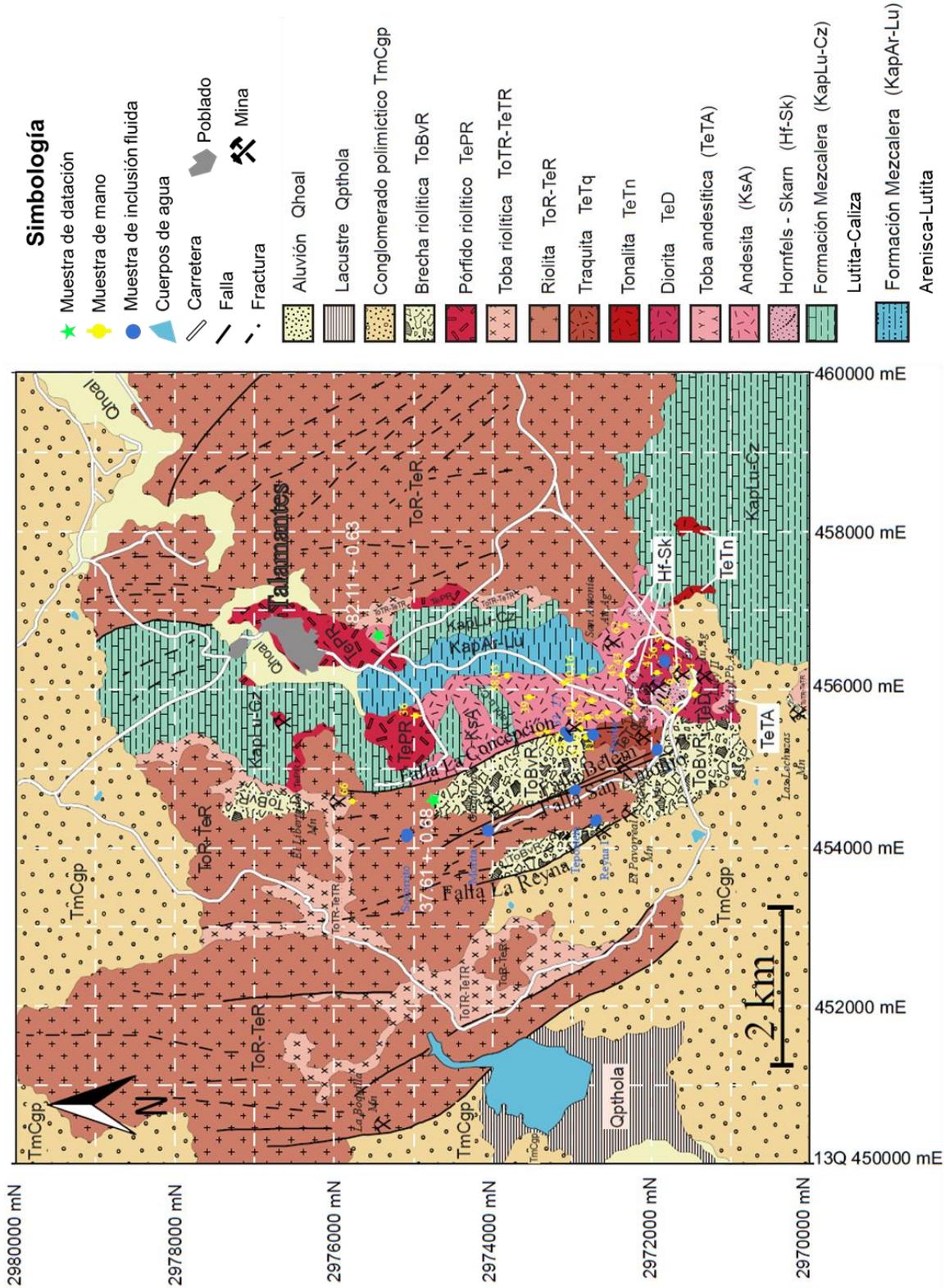


Figura 1.2. Mapa geológico de la zona de estudio. Modificado de Carta Geológico-Minera de Valle Allende G13 A58 Chihuahua, SGM.

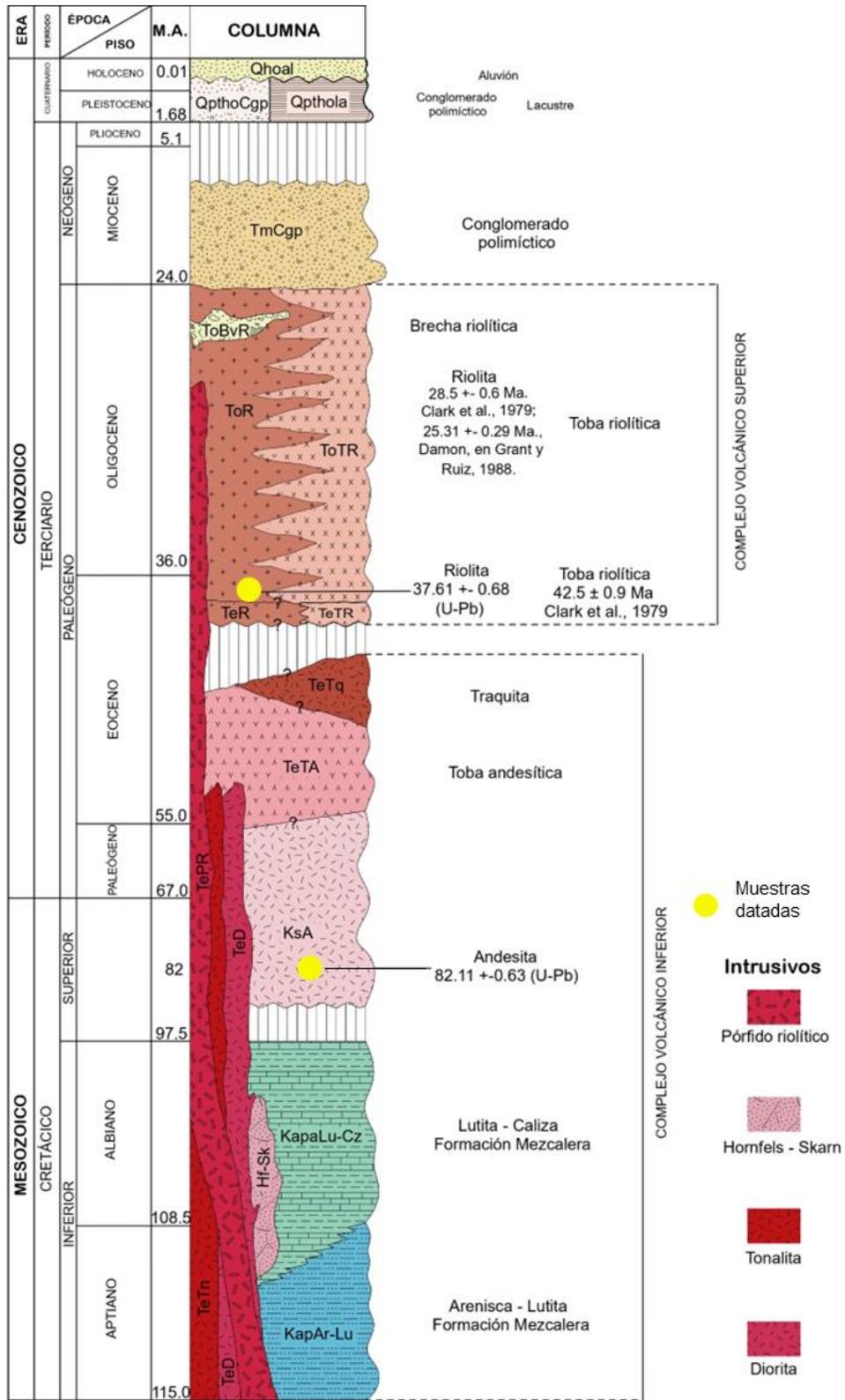


Figura 1.3. Columna estratigráfica del distrito minero Talamantes. Modificada de Carta Geológico-Minera de Valle Allende G13 A58 Chihuahua, SGM.

1.4.4. Geología estructural

De acuerdo con Herrera y Herrera (2001) las principales estructuras tectónicas en la secuencia sedimentaria se desarrollaron durante la orogenia Laramide en el Mesozoico, y son producto de esfuerzos compresivos. Se presentan como anticlinales y sinclinales cerrados de ejes N-S y NE-SW, con vergencias ligeramente al E y SE.

De acuerdo con Mendieta y Partida (1986) durante el Mioceno ocurrió una fase distensiva que probablemente ocasionó la inclinación y fallamiento de la Serie Volcánica de Talamantes observada por Wilson y Rocha (1948). Estos autores mencionan que en los casos en los que se puede determinar el desplazamiento de la falla, estas son normales. El rumbo de las fallas normales tiene una dirección general norte, con un promedio entre los $N 005^\circ - 010^\circ W$; el echado va de 90° a 60° de inclinación, al este o al oeste. Las brechas de falla asociadas tienen un espesor de menos de un metro, pero pueden alcanzar de manera puntual hasta 4 m. A lo largo de las fallas se pueden observar estrías y surcos en algunos lugares, comúnmente subhorizontales (Wilson y Rocha, 1948).

Wilson y Rocha (1948) mencionan que la Mesa de Talamantes es atravesada por cuatro fallas principales en la latitud de la mina San Antonio. Éstas tienen una tendencia principal hacia el norte y dividen la Mesa de Talamantes en una serie de bloques. De oeste a este, la Mesa consiste en: (1) un *horst*, delimitado al oeste por la falla *La Reyna* y al este por la falla San Antonio; (2) un *graben* menor, entre las fallas San Antonio y Belém y (3) un bloque inclinado al este, delimitado al oeste por la falla Belém y al este por un escarpe definido por la falla La Concepción.

La falla La Reyna, que delimita la Mesa al oeste en la mayoría de su longitud, presenta un escarpe de falla de 25 a 30 m de altura. La superficie de falla se observa en la mina La Reyna en donde hay una zona brechada a lo largo de 8 m. No es fácil observar esta superficie en otros lugares debido a que se encuentra cubierta en gran parte por aluvión. En este punto, el rumbo de la falla es $N 10^\circ W$ y buza $80^\circ W$. Un poco más al norte existe evidencia estratigráfica del fallamiento, ya que la brecha volcánica que sobreyace la riolita se ha caído en el lado oeste de la *Mesa* (Wilson y Rocha, 1984).

Las fallas definen en gran medida la morfología de la Mesa de Talamantes. Por ejemplo, las fallas San Antonio y Belém delimitan un pequeño *graben*. En el predio El Pavorreal, la falla La Reyna es intersecada por la falla San Antonio. La falla San Antonio no puede ser

trazada de manera continua en la superficie más allá de la mina del mismo nombre. No obstante, se sugiere que las vetas de la mina San Antonio continúan a lo largo de este mismo sistema de fallas. La falla Belém está seguida por vetas de barita que contienen óxidos de manganeso (Wilson y Rocha, 1984).

La falla normal La Concepción, enmarcada por un escarpe elevado, delimita el borde este de la Mesa de Talamantes. A pesar de la morfología del escarpe, de acuerdo con la estratigrafía, el bloque que ascendió fue el oriental. Las calizas de la Formación Mezcalera, que se encuentran en el lado este de la falla, están en contacto con la riolita y parcialmente con la brecha volcánica sobreyacentes. El aluvión del Río de Valle Allende no permite que la falla sea trazada hacia el norte. Sin embargo, de acuerdo con Wilson y Rocha (1948) hay dos posibles líneas de continuación. La primera, es el sistema de vetas El Libertador, directamente al norte. La otra es una falla con buzamiento y desplazamiento similares, que se encuentra al oriente de este sistema de vetas.

Wilson y Rocha (1948) reportan que existen muchas otras pequeñas fallas en el distrito que se ramifican a lo largo de su rumbo. Las fallas presentan en la mayoría de los casos un rumbo norte, y en menor medida, una tendencia al este.

1.4.5. Mineralizaciones de manganeso

La zona de Talamantes presenta estructuras mineralizadas con óxidos de manganeso en forma de vetas encajonadas tanto en rocas sedimentarias del Cretácico Inferior (Formación Mezcalera) como en rocas volcánicas del Terciario. Estas estructuras están asociadas a fallas normales y fracturas de orientación N-S con echados al W-E (Herrera y Herrera, 2002).

Los minerales de manganeso presentes (psilomelano, criptomelano, holandita-criptomelano y coronadita) están acompañados por calcita, calcedonia, cuarzo, óxidos de hierro y barita. La ley promedio de la mineralización es de 20 a 30 wt. % Mn. Sin embargo, por selección (i.e., extracción de los fragmentos de riolita en las zonas mineralizadas) se puede aumentar el contenido a 40 o 44 wt. % como en el caso de las minas "Las Coloradas", "El Libertador", "La Boquilla" y "Guadalupe" (Wilson y Rocha, 1948; Jurado *et al.*, 1979; Herrera y Herrera, 2002). La mineralización contiene entre 0.5 a 1.5 wt. % de WO_3 en psilomelano. El contenido de bario promedio del mineral es de 8 wt. % de BaO. El

material extraído de la mina contiene alrededor del 35 wt. % de sílice, pero después de la selección este disminuye aproximadamente a 9 wt. % (Wilson y Rocha, 1948).

Además de manganeso, dos muestras colectadas en la mina "La Cruz" devolvieron valores de 0.30 y 5.8 g/t Au, 0.10 y 0.26 wt. % Pb, y 0.14 y 1.84 wt. % Zn. En las minas "Lucy" y "Lucy II", los valores fueron de 2.0 y 2.3 g/t Au, 61 y 14 g/t Ag, 1.12, 0.07 wt. % Pb, y 0.61 y 27 wt. % Zn, respectivamente (Herrera y Herrera, 2002).

La mayoría de los depósitos de manganeso en el distrito Talamantes se localizan a lo largo de fallas. Los óxidos de manganeso se presentan como vetillas, cuerpos nodulares y masas irregulares que cementan los fragmentos de riolita. Alrededor de la mitad del volumen de las brechas está compuesto de fragmentos de roca encajonante. Algunas de las vetas de óxidos de manganeso presentan contactos muy definidos con las rocas encajonantes, son muy delgadas (hasta algunos centímetros de espesor, raramente alcanzando medio metro). En cambio, muchos de los depósitos de brecha tienen dos metros de espesor o más (Wilson y Rocha, 1948). En algunas de las minas de esta zona el contenido de manganeso disminuye con la profundidad, contrariamente al contenido de barita, por lo que la profundidad costeable promedio para la extracción del manganeso se estimó en 50 m (Jurado *et al.*, 1979).

Las vetas se encuentran alojadas en fallas que tienen un echado desde vertical hasta 60° E o W y el rumbo promedio es de algunos grados al oeste, aunque hay algunas fallas con rumbo ligeramente al este. Las fallas principales presentan ramificaciones por medio de pequeñas fracturas que exhiben diversos ángulos respecto a la estructura principal. Estas fracturas se encuentran rellenadas por óxidos de manganeso. En algunos lugares el echado de las fallas cambia de dirección ya sea a lo largo del rumbo o del echado (Wilson y Rocha, 1948).

En las minas "Belém", "La Reyna" y "El Pavo Real", las vetas de manganeso tienen una orientación NW, con inclinaciones de 68° a 70° al SW. En las inmediaciones del cerro "La Cruz" se presentan vetas con rumbo NE 60° - 85° SW, echados de 70° - 85° al NW y longitudes en superficie de hasta 130 m encajonadas en dioritas del Eoceno (Herrera y Herrera, 2002).

Algunos sistemas de vetas en este distrito tienen longitudes de cientos de metros. Los más importantes son "San Antonio", "El Libertador", "La Reyna", "Ampliación de La Reyna", "La

Vida Nueva" y "Amalia". El sistema de vetas "San Antonio", que consiste en por lo menos tres vetas, ha sido explorado de forma continua a lo largo de 1800 m (Jurado *et al.*, 1979), a pesar de que el espesor de la mineralización es variable. La veta "El Libertador" ha sido explorada a lo largo de 450 m (Wilson y Rocha, 1948). El espesor promedio del sistema de vetas en la mina "San Antonio" es de 2 m, y en algunos lugares es de hasta 4 m. La zona mineralizada de mayor potencia consiste en una brecha manganesífera de 8 m de espesor que se ubica en la concesión "La Reyna". La mayoría de los otros sistemas de veta y brechas tienen entre 1 y 2 m o menos (Wilson y Rocha, 1948).

Capítulo 2: Metodología

Para el presente estudio se realizó trabajo de campo, recolección de muestras litológicas, estudios mineralógicos, petrográficos, de inclusiones fluidas, geoquímicos y geocronológicos según se detalla a continuación.

Las muestras de la zona mineralizada Talamantes corresponden a rocas ígneas aflorantes, minerales de ganga (barita, calcita, cuarzo), muestras con mineralización metálica, y brechas con óxidos de manganeso que se enlistan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Relación de muestras colectadas en la zona de estudio.

MUESTRA	NAD 27 UTM 13N		DESCRIPCIÓN
	ESTE	NORTE	
Tala-5	456155	2972837	Andesita con alteración propilítica
Tala-6	456119	2971669	Granatita
Tala-7	455851	2972735	Andesita con alteración propilítica
Tala-8	455699	2972540	Andesita con alteración propilítica/Datación
Tala-9	455499	2972883	Andesita con alteración propilítica
Tala-10	455481	2972883	Andesita con alteración propilítica
Tala-11	455389	2972811	Flujo riolítico
Tala-12	455379	2971632	Brecha de falla
Tala-13	455513	2972737	Subvolcánico
Tala-14	455455	2972729	Subvolcánico
Tala-15	455478	2972763	Riolita/Datación
Tala-16	456077	2973081	Andesita con alteración propilítica
Tala-27	455461	2973083	Veta de fluorita, barita y cuarzo
Tala-28	455391	2973035	Toba arenosa
Tala-29	455336	2973050	Veta de barita
Tala-31	455490	2973031	Veta de barita
Tala-32	455429	2973121	Toba riolítica
Tala-33	455443	2973060	Veta de barita y sulfuros
Tala-34	454749	2974973	Brecha de óxidos de manganeso y barita
Tala-36	455662	2974958	Pórfido riolítico
Tala-38	456165	2973807	Andesita con alteración propilítica
Tala-39	455896	2973524	Andesita con alteración propilítica
Tala-40	456077	2973081	Andesita con alteración propilítica
Tala-41	455806	2972960	Andesita con alteración propilítica
Tala-42	455468	2973297	Andesita con alteración propilítica
Tala-43	456300	2972285	Andesita con alteración propilítica
Tala-44	455698	2972277	Andesita con alteración propilítica
Tala-45	456173	2972354	Andesita con alteración propilítica
Tala-46	455838	2972138	Andesita
Tala-47	456202	2971908	Diorita con alteración propilítica
Tala-48	455928	2971431	Andesita con alteración propilítica
Tala-50	455527	2971814	Veta de barita
Tala-51	455325	2971875	Veta de barita
Tala-52	455214	2971912	Brecha de óxidos de manganeso
Tala-53	455734	2971679	Diorita con alteración propilítica
Tala-53	456619	2972386	Andesita
Tala-54	455928	2971431	Veta de sulfuros
Tala-55	456211	2971665	Andesita con alteración propilítica
Tala-55-2	456344	2971824	Veta de cuarzo
Tala-56	456346	2971818	Granatita
Tala-57	456531	2971782	Andesita con alteración propilítica
Tala-58	456599	2972242	Brecha hidrotermal
Tala-60	456561	2972531	Andesita
Tala-61	456649	2972252	Stockwork
Tala-62	456801	2972309	Veta de calcita
Tala-63	456165	2973807	Andesita con alteración propilítica
Tala-64	456400	2973398	Veta de sulfuros
Tala-65	455639	2972783	Andesita con alteración propilítica
Tala-66	454579	2975760	Riolita con alteración propilítica
Socorruto	454140	2975070	Veta de barita
Morita	454196	2974049	Veta de barita y cuarzo

MUESTRA	NAD 27 UTM 13N		DESCRIPCIÓN
Tepostete	454716	2972954	Veta de barita y cuarzo
Reyna I	454330	2972682	Veta de barita y cuarzo
Pavito	455379	2972728	Veta de barita

2.1. Geocronología

La separación de zircones de muestras de rocas ígneas se llevó a cabo con técnicas convencionales en los laboratorios de Separación de Minerales de los Institutos de Geofísica y Geología de la UNAM y se realizó conforme a la secuencia descrita:

- (1) Fragmentación de aproximadamente 2 kg de muestra con una quebradora de quijadas.
- (2) Tamizado de la muestra quebrada.
- (3) Las muestras tamizadas se colocaron en el separador magnético Franz, empleando una corriente eléctrica de 2 A, recuperándose la fracción no magnética.
- (4) Se seleccionó la cantidad deseada de zircones.
- (5) Limpieza con ultrasonido y agua ionizada durante 15 minutos y, al final, limpieza con acetona.

El análisis de isótopos de U-Th-Pb se llevó a cabo en el Laboratorio de Estudios Isotópicos (LEI) del Centro de Geociencias de la UNAM, ubicado en Juriquilla, Querétaro, en donde se empleó el sistema *Resolution M-50* fabricado por *Resonetics LLC*, que consiste en un láser de ablación *excimer* (ArF) de 193 nm, ensamblado a una unidad de liberación de haz. La ablación tuvo lugar en una celda de nueva generación desarrollada por *Laurin Technic* (Australia). La muestra fue trasladada por medio de gases acarreadores al espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (*ICP-MS*, por sus siglas en inglés) *Thermo Xii*.

Los parámetros analíticos usados para la geocronología U-Pb en zircones fueron: energía constante de láser de ~160 mJ, desmagnificación de 25x y diámetro de *spot* de 34 μm . Estos parámetros corresponden a una fluencia de 8 J/cm^2 en el objetivo, produciendo un cráter con una profundidad de 25 μm después de 150 pulsos con una velocidad de repetición de 5 Hz.

Con la finalidad de corregir el fraccionamiento de masa y la deriva instrumental, la secuencia analítica de los zircones comprendió el análisis de muestras de vidrio RSM 612 (*Reference Standard Material*) del NIST (*National Institute of Standards and Technology*), el análisis del zircón estándar de edad conocida (PLE, Plešovice = ~337 Ma; Sláma *et al.*, 2008) y el análisis de los zircones muestra. La rutina inició con el vidrio RSM 612, seguido por cinco análisis del zircón estándar, cinco análisis de los zircones muestra y después un análisis en zircón estándar por cada cinco análisis en zircones muestra. La rutina finalizó con dos análisis del zircón estándar y uno del vidrio RSM 612. Aproximadamente 20 s de la señal generada por el gas de fondo fueron colectados antes de los 30 s correspondientes a la señal de ablación de ambos tipos de zircón (estándar y muestra), seguidos por 35 s post-análisis. Una vez que los niveles de fondo de la señal se alcanzaron, el tiempo restante se empleó para apuntar a la siguiente muestra.

Los datos adquiridos se procesaron en *Microsoft Excel*®, bajo el siguiente esquema:

- (1) Selección de periodos de tiempo correspondientes a la señal de fondo y a la señal de ablación. Debido a que, a profundidad del cráter, el fraccionamiento de los elementos tiene un efecto importante en las relaciones de Pb/Th y Pb/U, los sectores seleccionados y las condiciones analíticas fueron cuidadosamente empatados para ambos tipos de zircón, estándar y muestra.
- (2) Cálculo de las intensidades promedio para las señales de fondo y de ablación, eliminando los *outliners* en el nivel $\pm 2\sigma$.
- (3) Substracción de la señal de fondo promedio de la intensidad de señal promedio para cada isótopo.
- (4) Cálculo de las relaciones isotópicas: $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ así como sus errores estándar a 2σ (%).

Siguiendo el procedimiento de Paton *et al.* (2010), la incertidumbre observada en las relaciones $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ de los zircones estándar fue cuadráticamente agregada al error estándar, obtenido en las relaciones isotópicas calculadas para los zircones muestra, asumiendo que tal desviación fue similar entre el zircón estándar y los zircones muestra. Este procedimiento se hace para corregir la desviación del valor de las relaciones isotópicas medidas de U (Th)-Pb relacionadas al fraccionamiento de masa y a la deriva instrumental.

Las edades individuales de cada zircón fueron usadas para calcular la edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada y el MSWD (*Mean Square of Weigthed Deviates*) usando el programa computacional Isoplot (Ludwig, 2003). Para determinar la edad de la andesita (Tala-8) se analizaron 25 zircones, y para la de riolita (Tala-15), 20 zircones.

Los errores en las relaciones isotópicas se calcularon en porcentaje y los errores correspondientes a las edades en valores absolutos, ambos reportados a nivel 2σ . La edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada se reporta en valor absoluto a nivel 2σ . Todos los errores a nivel 2σ han sido propagados de acuerdo con la metodología de Paton *et al.* (2010).

Rho (ρ) es el valor de correlación de errores definido como el cociente de los errores (en porcentaje) de las relaciones isotópicas de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. El porcentaje de discordancia es obtenido usando la Ecuación 2.1, propuesta por Ludwig (2001), en donde valores positivos y negativos indican discordancias normales y discordancias inversas, respectivamente:

$$\frac{100 * [(edad \ ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) - (edad \ ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})]}{(edad \ ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})} \dots \text{Ecuación 2.1}$$

2.1. Mineralogía: microscopía óptica, microscopía electrónica, difracción de rayos X

Las rocas ígneas, sus alteraciones y las diferentes asociaciones minerales fueron estudiadas a detalle mediante estudios petrográficos, mineragráficos, de microscopía electrónica y/o de difracción de rayos X.

Los análisis petrográficos y mineragráficos de 46 láminas delgadas y 9 briquetas, se llevaron a cabo empleando los microscopios del Laboratorio Francisco J. Fabregat del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Las descripciones petrográficas o mineragráficas a detalle de las rocas ígneas y sus alteraciones, de sulfuros y sulfosales, de la asociación tardía y de los óxidos de manganeso se presentan en los anexos A, B, C y D.

Los estudios minerográficos se complementaron con los análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) en el Laboratorio de Petrografía y Microtermometría del Departamento de Recursos Naturales del Instituto de Geofísica empleando un equipo TM-1000 Hitachi operado con tiempos de adquisición y procesamiento de 31 y 4 seg, respectivamente, y un voltaje de aceleración de 15 kV. Los estudios de EDS se desarrollaron en sulfuros (esfalerita, arsenopirita), sulfosales y óxidos de manganeso (holandita y coronadita).

Los análisis con MEB-EDS se emplearon para identificar de manera preliminar minerales apenas diferenciables con el uso del microscopio óptico (p.ej. variedades de óxidos de manganeso y de sulfosales).

El detalle de los análisis de microscopía electrónica de barrido se puede consultar en el Anexo E.

A fin de identificar las fases de óxidos de hierro, se llevaron a cabo estudios de difracción de rayos X en el laboratorio del Departamento de Procesos Litosféricos del Instituto de Geología de la UNAM. El Laboratorio de Difracción de Rayos X cuenta con un Difractómetro Empryean, equipado con filtro de níquel (Ni), tubo de cobalto de foco fino y detector PIXcel3D a 45 kV y 40 mA, que fue empleado en los análisis.

Los análisis por difracción de rayos X se realizaron en varios tipos de muestra: dos muestras en polvo (DRX1 y DRX2), dos muestras en cristales (DRX3 y DRX4) y una lámina delgada (DRX5). La muestra DRX5 se midió utilizando una geometría puntual de haz; el resto se midieron utilizando un porta muestras de aluminio de doble carga. La medición se realizó en el intervalo angular 2θ de 5 a 80° en escaneo por pasos con un escalonamiento de 0.003° (2 Theta) y un tiempo de integración de 40 seg por paso.

Los cinco especímenes seleccionados para ser identificados mediante difracción de rayos X pertenecen a la muestra **Mina Barita # 27**. La quinta muestra corresponde a un óxido que fue recurrentemente identificado en las muestras de la asociación tardía.

Los difractogramas correspondientes a cada muestra analizada se encuentran en el Anexo F.

2.2. Química mineral (microsonda electrónica)

Los sulfuros analizados fueron esfalerita, arsenopirita y sulfosales en las muestras de briqueta Talamantes 50, 54, 55 y 64. Los óxidos de manganeso estudiados corresponden a los especímenes Talamantes 2, 28, 35, 52 y 66.

La esfalerita fue analizada en el Laboratorio de Microsonda Electrónica de la Universidad de Arizona con un equipo marca CAMECA modelo SX100 Ultra, mientras que el resto de los minerales (arsenopirita, eskimoita, tetraedrita-tennantita y óxidos de manganeso) fueron analizados en el Laboratorio Universitario de Petrografía (LUP) de la Universidad Nacional Autónoma de México con la microsonda electrónica de barrido marca JEOL modelo JXA8900-R. En ambos casos, se estableció para la operación del equipo una corriente eléctrica de 15 keV y 20 nA, tiempo de conteo de 15 s y el diámetro del haz de 1 μm .

Los estándares empleados en los análisis fueron: pirita (S K α), calcopirita (Fe K α y Cu K α), esfalerita (Zn K α , S K α), rodonita (Zn K α , ZnO K α , SiO₂ K α), arsenopirita (As L α , Fe K α , As₂O₅ L α , FeO K α), cuprita (Cu K α), olivino (Ni K α , Fe K α), galena (S K α , Pb M α , PbO M α), cinabrio (Hg L α), crocoita (Pb M α), estibina (Sb L α), sanidino (BaO L α), barita (K₂O K α), diópsido-Cr-Ca (Na₂O K α , Al₂O₃ K α) y kaersutita (MnO K α) naturales; germanio (Ge L α), cadmio (Cd L α), cobalto (Co K α), selenio (Se L α), talio (Tl L α), antimonio (Sb L α), telurio (Te L α), bismuto (Bi M α), estaño (Sn L α), vanadio (V K α), tungsteno (WO₃ L α), Cu (CuO K α) y GGG (Ga L α) sintéticos, y plata nativa (Ag L α).

Tabla 2.2. Elementos/óxidos analizados en cada fase mineral y límites de detección asociados.

Mineral	Elementos/Óxidos analizados y límites de detección (ppm)															
Mineral	Elemento	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Fe	Zn								
	Estadístico															
Esfalerita	mínimo	0.010	0.000	-0.386	-0.000077	0.048	345	1632								
	máximo	0.379	0.637	0.135	-0.000005	0.106	889	2528								
	promedio	0.369	0.093	0.038	-0.000012	0.094	694	2402								
	rango intercuartil	0.002	0.003	0.125	0.000005	0.010	44	64								
Arsenopirita	Co	Tl	As	Zn	Sb	Cu	Bi	Ni	S	Fe	Ag					
Tetraedrita-tennantita	Zn	As	Sb	Cu	S	Fe	Ag	Pb								
Eskimoita	Co	Zn	As	Sb	Cu	Ge	Bi	Ni	S	Fe	Hg	Sn	Ag	V	Te	Pb
Óxidos de manganeso	BaO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO ₂	As ₂ O ₃	PbO	ZnO	Al ₂ O ₃	CaO	WO ₃	SiO ₂	CuO	FeO			

Los análisis de microsonda de cada mineral pueden consultarse en el Anexo G en donde se incluye una breve caracterización estadística de datos relevantes.

2.3. Inclusiones fluidas

Con la finalidad de registrar el comportamiento de la salinidad y temperaturas de homogeneización de inclusiones fluidas se llevó a cabo el estudio petrográfico detallado en 12 secciones doblemente pulidas y posteriormente las mediciones microtermométricas correspondientes.

La caracterización petrográfica de inclusiones fluidas primarias y secundarias consideró los criterios establecidos por Roedder (1984). Únicamente las inclusiones de carácter primario fueron contempladas durante el estudio microtermométrico. La observación de diversas asociaciones de inclusiones fluidas (*FIA's*, por sus siglas en inglés de acuerdo con Goldstein, 1994) se realizaron en barita, fluorita y cuarzo. El alto contenido de hierro en esfalerita restringió la identificación de éstas, dando como resultado un número limitado de análisis.

Para el estudio microtermométrico se dispuso de una platina Linkam THMSG 600 acoplada a un microscopio Olympus BX60. Los programas de enfriamiento y calentamiento de las muestras se diseñaron empleando el software Linksys, con base en mediciones preliminares realizadas en el Instituto de Geología de la UNAM.

Tomando en cuenta las recomendaciones de Goldstein (1994), y las observaciones hechas por Bodnar y Bethke (1984) y Ulrich y Bodnar (1984), la medición de temperaturas de homogeneización (T_h) precedió a la estimación de temperaturas de fusión (T_m) en todas las fases sólidas criogénicas. No fue posible determinar la temperatura eutéctica ni la presencia de gases con los métodos y equipo empleados. Por ello, la interpretación de los datos y cálculos consecutivos consideraron un sistema $H_2O-NaCl$ (Goldstein, 1994).

La salinidad y presión de formación de las inclusiones fluidas se estimaron con la hoja de cálculo HokieFlinco_ $H_2O-NaCl$ de Steele-MacInnis *et al.* (2012). La ecuación definida por Bodnar (1993) fue considerada para calcular la salinidad. La densidad y la presión se obtuvieron de acuerdo con el procedimiento descrito en Bodnar (1983) y Atkinson (2002), respectivamente.

Las muestras estudiadas por microtermometría pertenecen a diferentes afloramientos en el área de interés. Las muestras Talamantes #27, Talamantes #33 y Pavito fueron recolectadas en estructuras en la falla *La Concepción*; las zonas mineralizadas Morita y

Tepostete se ubican en la falla *Belém*. Las muestras Talamantes #55, Talamantes #52 y La Reyna corresponden a otras estructuras.

2.4. Isótopos estables

2.4.1. Isótopos de azufre y oxígeno en sulfuros y sulfatos

La preparación de las muestras se realizó en el Laboratorio de Arcillas del Departamento de Procesos Litosféricos, IGL-UNAM. Las herramientas empleadas fueron: martillo de geólogo, pinzas, microscopio binocular, vasos de precipitados Pyrex, limpiador ultrasónico, acetona, mortero de porcelana y frascos *snap cap* 0.5 mL. Se seleccionaron muestras de arsenopirita, pirita, esfalerita, galena y barita.

Los análisis de isótopos de azufre y oxígeno en sulfatos se realizaron en la Facultat de Ciències de la Terra de la Universitat de Barcelona, empleando el espectrómetro de masas *EA-Delta Plus XP* de *Thermo Fisher Scientific®* para determinación de relaciones isotópicas.

Los estándares certificados empleados son parte del catálogo de la *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Para el análisis de isótopos de azufre en barita se emplearon los materiales de referencia de sulfato de bario NBS-127, SO-5 y SO-6, con valores de $\delta^{34}\text{S}$ de 20.3 ‰, 0.5 ‰ y -34.1 ‰, respectivamente. En el caso de los sulfuros, se emplearon los materiales de referencia de sulfuro de plata S-1, S-2 y S-3, y azufre elemental, S-4, cuyos valores de $\delta^{34}\text{S}$ son -0.30 ‰, 22.7 ‰, -32.3 ‰ y 16.9 ‰, respectivamente. Además de los estándares mencionados, el estándar interno YCEM ($\delta^{34}\text{S} = 12.8$ ‰) fue empleado en las mediciones.

En los análisis de isótopos de oxígeno se emplearon los estándares certificados de la IAEA: NBS-127 ($\delta^{18}\text{O} = 9.3$ ‰), CH3 ($\delta^{18}\text{O} = 32.2$ ‰) y CH6 ($\delta^{18}\text{O} = 36.4$ ‰). Los estándares internos empleados en este caso fueron YCEM ($\delta^{18}\text{O} = 17.6$ ‰), H_2SO_4 ($\delta^{18}\text{O} = 13.2$ ‰).

Para llevar a cabo la medición de los isótopos de azufre, el azufre fue transformado en gas (SO_2) mediante un proceso de combustión que consiste en calentar una mezcla de 0.2 a 3 mg de muestra y V_2O_5 contenida en una cápsula de estaño. El óxido de vanadio funciona como donante del oxígeno necesario para generar el dióxido de azufre. Posteriormente, los gases generados en esta reacción fueron acarreados por un gas inerte a una columna

cromatográfica, en donde tuvo lugar el análisis elemental y la separación del SO₂ a examinar en el espectrómetro de masas con la finalidad de definir la relación ³⁴S/³²S de la muestra. Este procedimiento es descrito detalladamente por Rees y Holt (1991).

El cálculo de δ³⁴S se hace empleando la ecuación 2.2

$$\delta^{34}\text{S}_{\text{muestra}}(\text{‰}) = \left(\frac{\left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{\text{muestra}}}{\left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}} \right)_{\text{VCDT}}} - 1 \right) \times 1000 \text{ --- Ecuación 2.2}$$

en donde el estándar es la troilita del Cañón del Diablo (*VCDT*, por sus siglas en inglés, *Vienna-Canyon Diablo Troilite*), cuya relación ³⁴S/³²S es 0.0450 (Ault y Jensen, 1963, en Seal, 2006).

Para la medición de los isótopos de oxígeno en sulfatos, el oxígeno fue transformado en gas (CO) mediante el calentamiento de 0.2 a 1 mg de la muestra y carbono como catalizador, contenidos en una cápsula de plata. Los gases generados en esta reacción fueron trasladados a una columna cromatográfica para la separación del CO a ser examinado en el espectrómetro de masas para definir la relación ¹⁶O/¹⁸O de la muestra. El valor de referencia usado para el cálculo de δ¹⁸O fue la composición isotópica media estándar del agua del océano (*VSMOW*, por sus siglas en inglés, *Vienna Standard Mean Ocean Water*) cuya relación ¹⁸O/¹⁶O es 0 ‰ (Coplen, 2002).

2.4.2. Isótopos de carbono y oxígeno en carbonatos

Se seleccionaron muestras de calcita. Las relaciones isotópicas de carbono y oxígeno en carbonatos fueron obtenidas en el Laboratorio de Isótopos Estables del Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía, del Instituto de Geología de la UNAM. Se empleó un sistema de introducción y preparación de gas *GasBench II*, acoplado a un espectrómetro de masas *Thermo Finning MAT 253* ambos de la marca *Thermo Scientific*®.

El gas (CO₂) obtenido a partir de la reacción química entre la muestra de calcita y ácido ortofosfórico fue analizado en el espectrómetro de masas. Las relaciones isotópicas ¹⁸O/¹⁶O y ¹³C/¹²C de cada una de las muestras se obtuvieron teniendo como referencia los estándares certificados NBS 19, NBS 18 y LSVEC, que son parte del catálogo de la IAEA.

Los resultados se muestran con respecto al *Vienna PeeDee Belemnite* (VPDB) para ambos elementos. Además, para el oxígeno, se hace una comparación respecto al *Vienna Standard Mean Ocean Water* (VSMOW).

Capítulo 3: Resultados

3.1. Geocronología

Las muestras fechadas en este trabajo corresponden a una andesita (Tala-8) y una riolita (Tala-15). Las edades medias ponderadas, obtenidas mediante el método U-Pb en zircones son 82.11 ± 0.63 Ma y 37.61 ± 0.68 Ma, respectivamente. Las edades (y los correspondientes errores 2σ) empleadas para el cálculo de la edad ponderada se presentan en las Tablas 3.1 y 3.2, y en las Figuras 3.1 y 3.2 se muestran los diagramas de concordia.

Tabla 3.1. Datos geocronológicos mediante U-Th-Pb en zircones de muestras de andesita en Talamantes, Chihuahua.

Análisis/Zircón	RELACIONES ISOTÓPICAS CORREGIDAS											EDADES CORREGIDAS (Ma)						Mejor edad (Ma)	$\pm 2\sigma$		
	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	err %	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	err %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	err %	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	err %	Rho	% disc	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 2\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 2\sigma$				
TALA8-2	113	36	0.32	0.05360	14.9	0.09200	15.2	0.01227	3.8	0.00448	12.5	0.252	12	78.6	3.0	89.0	13.0	630	110	78.60	± 3.00
TALA8-6	541	350	0.65	0.04730	7.2	0.08110	6.4	0.01251	1.8	0.00384	4.2	0.274	-1	80.1	1.4	79.0	4.9	258	60	80.10	± 1.40
TALA8-19	502	245	0.49	0.04900	7.6	0.08560	7.4	0.01254	2.2	0.00406	5.7	0.293	4	80.4	1.7	84.1	5.7	329	91	80.40	± 1.70
TALA8-4	552	339	0.61	0.04590	9.4	0.08120	9.2	0.01260	1.7	0.00384	4.2	0.180	-2	80.7	1.4	79.0	7.1	334	87	80.70	± 1.40
TALA8-25	587	283	0.48	0.04650	8.6	0.08110	7.3	0.01263	2.9	0.00388	7.0	0.403	-2	80.9	2.3	79.1	5.6	201	93	80.90	± 2.30
TALA8-23	546	353	0.65	0.05210	8.3	0.09110	7.9	0.01265	2.2	0.00435	5.1	0.280	8	81.1	1.8	88.4	6.7	460	120	81.10	± 1.80
TALA8-22	190	107	0.56	0.04650	11.2	0.08300	10.7	0.01268	3.0	0.00387	8.0	0.279	-1	81.2	2.5	80.6	8.3	520	120	81.20	± 2.50
TALA8-9	347	291	0.84	0.04740	9.5	0.08210	8.6	0.01270	2.8	0.00384	4.7	0.319	-2	81.3	2.2	79.9	6.7	296	81	81.30	± 2.20
TALA8-18	577	549	0.95	0.04980	7.6	0.08830	6.9	0.01275	2.1	0.00407	3.7	0.307	6	81.7	1.7	86.5	5.5	314	72	81.70	± 1.70
TALA8-15	467	195	0.42	0.04860	8.0	0.08680	7.4	0.01277	2.3	0.00409	6.1	0.308	3	81.8	1.8	84.3	6.0	275	75	81.80	± 1.80
TALA8-24	486	323	0.66	0.05030	7.4	0.08940	6.9	0.01282	1.9	0.00411	3.9	0.270	5	82.1	1.5	86.8	5.8	352	80	82.10	± 1.50
TALA8-11	553	321	0.58	0.04790	8.1	0.08660	7.4	0.01283	2.0	0.00437	3.7	0.274	2	82.2	1.6	84.1	6.0	385	99	82.20	± 1.60
TALA8-16	367	237	0.65	0.05050	9.5	0.08720	8.8	0.01286	3.1	0.00402	5.7	0.352	3	82.4	2.5	84.6	7.2	450	77	82.40	± 2.50
TALA8-3	221	80	0.36	0.04750	10.3	0.08500	9.6	0.01289	3.2	0.00396	8.1	0.330	0	82.5	2.6	82.5	7.6	326	68	82.50	± 2.60
TALA8-10	283	141	0.50	0.05020	9.6	0.08770	9.4	0.01290	2.5	0.00417	7.0	0.265	3	82.6	2.0	85.1	7.6	429	87	82.60	± 2.00
TALA8-12	399	263	0.66	0.04960	10.1	0.08720	9.6	0.01291	2.7	0.00408	7.4	0.281	2	82.7	2.2	84.7	7.8	370	120	82.70	± 2.20
TALA8-17	615	427	0.69	0.04380	6.8	0.07860	6.5	0.01296	1.6	0.00430	3.0	0.250	-8	83.0	1.3	76.8	4.8	117	53	83.00	± 1.30
TALA8-5	504	371	0.74	0.04960	8.1	0.08760	7.3	0.01298	2.2	0.00419	5.3	0.295	2	83.1	1.8	85.1	6.0	216	53	83.10	± 1.80
TALA8-8	135	61	0.45	0.05040	14.5	0.08900	13.5	0.01302	4.1	0.00405	10.6	0.302	3	83.4	3.3	86.0	11.0	590	130	83.40	± 3.30
TALA8-7	583	329	0.56	0.04850	8.5	0.08750	7.8	0.01318	1.9	0.00430	3.5	0.244	1	84.4	1.6	85.0	6.4	292	63	84.40	± 1.60
TALA8-21	240	110	0.46	0.04760	9.0	0.08720	8.3	0.01321	3.1	0.00414	6.5	0.376	0	84.6	2.6	84.7	6.8	351	73	84.60	± 2.60
TALA8-13	643	151	0.23	0.04760	7.4	0.08790	6.6	0.01326	2.1	0.00458	7.0	0.320	1	84.9	1.8	85.5	5.4	178	63	84.90	± 1.80
TALA8-20	381	253	0.66	0.04730	7.8	0.08660	7.3	0.01327	2.1	0.00432	4.9	0.290	-1	85.0	1.8	84.2	5.9	267	95	85.00	± 1.80
TALA8-14	661	335	0.51	0.04900	7.1	0.08810	6.7	0.01341	2.2	0.00439	4.3	0.323	1	85.9	1.8	86.4	5.7	326	78	85.90	± 1.80
TALA8-1	552	400	0.72	0.05720	4.9	0.57400	4.4	0.07297	0.9	0.02258	2.2	0.214	1	454.0	4.1	460.0	16.0	447	76	454.00	± 4.10
n = 25																		Edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada =	82.11	± 0.63	
(2 σ , MSWD = 2.3; n = 21)																					

Nota: †Relaciones isotópicas corregidas con relación al zircón estándar de edad conocida (PLE, Plešovice = ~337 Ma; Sláma et al., 2008). Rho es el valor de correlación de errores definido como el cociente de los errores (en porcentaje) de las relaciones isotópicas de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ y $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. MSWD: Mean Square of Weigthed Deviates.

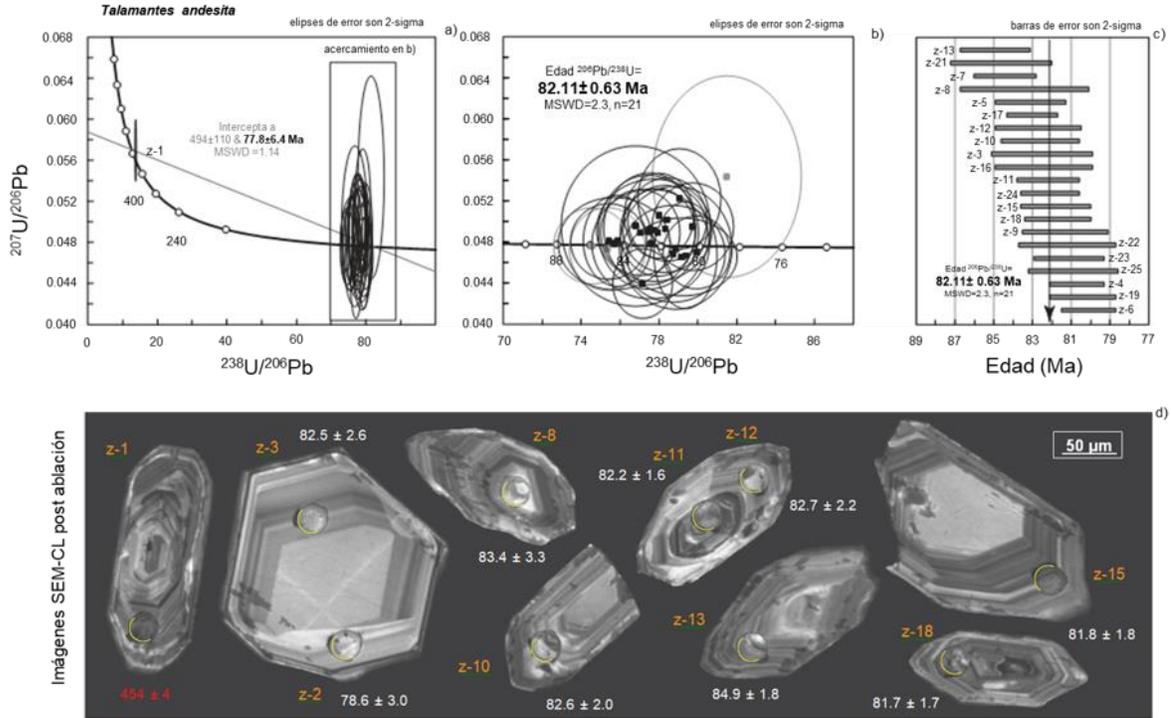


Figura 3.1. Arriba: a) Concordia de los zircones analizados. b) Acercamiento a la concordia en zona de mayor densidad de información. c) Edad media ponderada estimada a partir de los intervalos de edad para cada una de las zonas analizadas considerando un error 2 σ . Abajo: imágenes SEM-CL post ablación de algunos zircones analizados en andesita, muestra Tala-8.

Tabla 3.2. Datos geocronológicos mediante U-Th-Pb en zircones de muestras de riolita en Talamantes, Chihuahua.

Análisis/Zircón	RELACIONES ISOTÓPICAS CORREGIDAS										EDADES CORREGIDAS (Ma)									
	U [#] (ppm)	Th [#] (ppm)	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb †	err %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U †	err %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U †	err %	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th †	err %	Rho	% disc	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ±2σ	Mejor edad (Ma)	± 2σ		
TALA15-8	771	275	0.36	0.05670	8.1	0.04620	7.6	0.00573	1.7	0.00244	6.1	0.228	20	36.8	0.6	45.8	3.4	575	90	36.82 ± 0.63
TALA15-9	524	428	0.82	0.05550	10.1	0.04470	10.1	0.00573	2.4	0.00206	5.8	0.243	17	36.8	0.9	44.3	4.4	540	100	36.84 ± 0.89
TALA15-3	547	231	0.42	0.05130	8.6	0.04190	8.6	0.00575	3.0	0.00192	8.3	0.344	11	37.0	1.1	41.6	3.5	441	84	37.00 ± 1.10
TALA15-12	280	136	0.49	0.05400	18.5	0.04340	17.7	0.00579	7.1	0.00222	20.7	0.399	14	37.2	2.6	43.1	7.5	810	300	37.20 ± 2.60
TALA15-10	423	383	0.91	0.05970	14.1	0.04800	12.9	0.00590	4.1	0.00184	9.2	0.315	20	37.9	1.6	47.5	6.0	700	160	37.90 ± 1.60
TALA15-19	397	365	0.92	0.06330	8.5	0.05070	8.5	0.00591	3.2	0.00199	6.0	0.379	24	38.0	1.2	50.1	4.2	800	100	38.00 ± 1.20
TALA15-7	309	248	0.80	0.04640	11.6	0.03910	11.5	0.00592	3.5	0.00191	7.3	0.308	2	38.1	1.4	38.8	4.4	469	84	38.10 ± 1.40
TALA15-13	169	79	0.47	0.08600	15.1	0.07000	15.7	0.00594	5.6	0.00316	14.9	0.354	44	38.2	2.1	68.0	11.0	1440	170	38.20 ± 2.10
TALA15-6	261	137	0.52	0.05750	13.9	0.04740	11.8	0.00597	4.2	0.00246	7.7	0.354	18	38.4	1.6	46.8	5.4	680	150	38.40 ± 1.60
TALA15-1	484	470	0.97	0.06150	8.9	0.04990	8.0	0.00601	3.5	0.00213	5.6	0.436	22	38.6	1.4	49.4	3.9	740	110	38.60 ± 1.40
TALA15-2	301	406	1.35	0.07980	12.0	0.06440	10.9	0.00603	3.8	0.00201	5.5	0.351	39	38.8	1.5	63.2	6.7	1250	120	38.80 ± 1.50
TALA15-14	68	47	0.68	0.05500	23.6	0.05000	22.0	0.00605	7.4	0.00216	14.4	0.338	22	38.9	2.9	50.0	10.0	1120	190	38.90 ± 2.90
TALA15-20	175	74	0.42	0.05310	14.7	0.04380	15.1	0.00621	5.2	0.00225	13.3	0.342	8	39.9	2.0	43.3	6.4	650	140	39.90 ± 2.00
TALA15-11	157	94	0.60	0.08100	17.3	0.07500	18.7	0.00623	6.6	0.00364	12.6	0.353	45	40.0	2.7	73.0	13.0	1430	210	40.00 ± 2.70
TALA15-5	310	202	0.65	0.04600	14.3	0.04060	12.8	0.00626	3.5	0.00215	8.4	0.274	0	40.2	1.4	40.2	5.1	497	91	40.20 ± 1.40
TALA15-18	343	254	0.74	0.07490	11.3	0.06700	9.4	0.00646	2.9	0.00237	9.3	0.313	37	41.5	1.2	65.7	6.0	1070	160	41.50 ± 1.20
TALA15-15	236	135	0.57	0.06400	18.8	0.05950	15.1	0.00656	4.7	0.00261	8.8	0.312	28	42.1	2.0	58.4	8.6	860	160	42.10 ± 2.00
TALA15-16	219	188	0.86	0.06100	21.3	0.05000	20.0	0.00655	6.0	0.00212	9.0	0.298	17	42.1	2.5	51.0	10.0	860	200	42.10 ± 2.50
TALA15-17	549	503	0.92	0.19400	8.2	0.18900	7.9	0.00721	2.8	0.00462	4.8	0.350	74	46.3	1.3	175.0	13.0	2730	100	46.30 ± 1.30
TALA15-4	421	388	0.92	0.07360	9.1	0.07690	8.5	0.00764	3.5	0.00366	7.4	0.418	35	49.0	1.7	75.0	6.1	980	110	49.00 ± 1.70
n = 20													Edad ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U media ponderada =			37.61	± 0.68			

Nota: †Relaciones isotópicas corregidas con relación al zircón estándar de edad conocida (PLE, Plešovice = ~337 Ma; Sláma et al., 2008). Rho es el valor de correlación de errores definido como el cociente de los errores (en porcentaje) de las relaciones isotópicas de ²⁰⁶Pb/²³⁸U y ²⁰⁷Pb/²³⁵U. MSWD: Mean Square of Weighed Deviates.

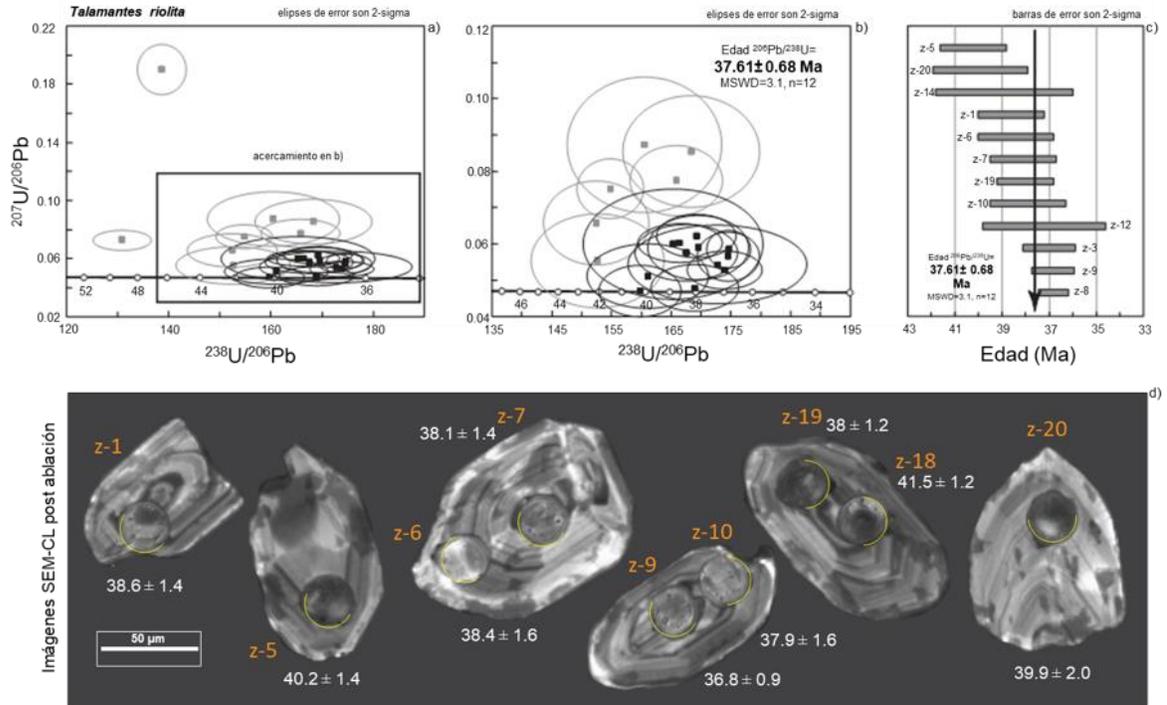


Figura 3.2. Arriba: a) Concordia de los zirrones analizados. b) Acercamiento a la concordia en zona de mayor densidad de información. C) Edad media ponderada estimada a partir de los intervalos de edad para cada una de las zonas analizadas considerando un error 2σ . Abajo: imágenes SEM-CL post ablación de algunos zirrones analizados en riolita, muestra Tala-15.

La edad media ponderada obtenida para las andesitas (82 ± 0.63 Ma) las ubica temporalmente en el Campaniano (Cretácico Superior); la edad media ponderada de la riolita (37.61 ± 0.68 Ma) corresponde al Eoceno (Bartoniano).

3.2. Petrografía y mineralogía

3.2.1. Rocas ígneas

Las rocas ígneas que afloran en la zona de estudio pertenecen al Complejo Volcánico Inferior y Superior y presentan alteración hidrotermal.

Las andesitas presentan una textura porfídica y contienen fenocristales de plagioclasa (20 a 55 % modal) y minerales ferromagnesianos (posiblemente hornblenda, del 10 al 40 %) inmersos en una matriz criptocristalina (que comprende entre el 15 y el 60%). El contenido de cuarzo es bajo (<5 %). Ocasionalmente se observan feldespatos alcalinos y, como minerales accesorios, zircón y apatito.

El pórfido riolítico está conformado por ~ 55 % de una matriz criptocristalina que aloja fenocristales de cuarzo de hasta 6 mm de longitud (18 %), feldespato potásico (12 %), plagioclasas (10 %) y cerca del 5% de minerales ferromagnesianos. El zircón es accesorio en esta roca.

La diorita está mineralógicamente compuesta por 70% de plagioclasas, 25 % de minerales ferromagnesianos (posiblemente augita y/o pigeonita) y ~ 5 % de cuarzo. Los minerales accesorios presentes son zircón y apatito. La distribución de estas fases da lugar a una textura hipidiomórfica.

La riolita en la región de interés presenta una estructura de flujo y textura vitrofídica. Está compuesta por fenocristales de feldespatos, cuarzo y biotita, además de algunos fragmentos líticos en una matriz vítrea. El cuerpo ignimbrítico, de coloración rojiza, está constituido básicamente por vidrio, presenta esferulitos y diversas axiolitas y exhibe una textura vitro-clástica.

En la zona de estudio afloran diferentes tobas: una toba arenosa constituida principalmente por fenocristales de cuarzo (algunos de ellos sobrecrecidos) presenta fragmentos líticos de riolitas, andesitas y pómez, éstos últimos con cierto grado de devitrificación; otra toba de composición riolítica compuesta por fenocristales de cuarzo, plagioclasa, fragmentos de pómez y posiblemente otras rocas extrusivas; por último una toba en la que se reconocen únicamente fenocristales de feldespato y cuarzo, este último probablemente como producto de alteración.

La matriz de las rocas volcánicas mencionadas muestra cierto grado de devitrificación dando como resultado la generación de feldespatos y/o cuarzo. En gran parte de las muestras estudiadas se observaron vetillas rellenas de calcita, cuarzo, epidota y/o pirita.

3.2.2. Alteraciones

Las andesitas en general presentan alteración propilítica de intensidad moderada, en donde los minerales ferromagnesianos (posiblemente hornblenda) fueron reemplazados pseudomórficamente por clorita, calcita, epidota y pirita. Las plagioclasas han sido parcialmente reemplazadas y presentan diferentes grados de alteración relacionados con la variación composicional de esta fase. Ejemplo de ello son las plagioclasas con alteraciones que siguen la zonación original de los cristales. Los minerales de alteración

son principalmente sericita y calcita y en cantidades menores, epidota, cuarzo, piritita y arcillas (Fig. 3.3 a, b y c).

Los feldespatos presentes en el pórfido riolítico fueron reemplazados principalmente por calcita. Los minerales ferromagnesianos están completamente reemplazados por cuarzo, epidota y piritita. Los fenocristales de cuarzo presentan fracturas rellenas por calcita y epidota, además de bahías de corrosión regularmente rellenas por sericita. La matriz devitrificada presenta sectores de epidota, calcita, sericita y minerales opacos como producto de alteración.

Los fenocristales de feldespato en la riolita fueron reemplazados parcialmente por sericita y en algunos casos, por epidota. Los minerales ferromagnesianos han sido sustituidos completamente por epidota y cuarzo. Los fragmentos líticos se encuentran alterados.

La ignimbrita muestra cierto grado de devitrificación además de vetillas rellenas de cuarzo y óxidos. También es observable una oxidación general debido a intemperismo.

En las tobas, los feldespatos, dado caso estén presentes, se encuentran reemplazados parcialmente por calcita, sericita, epidota, piritita y cuarzo. En la toba arenosa, los granos de cuarzo están sobrecrecidos y ocasionalmente se conforma un cementante intergranular.

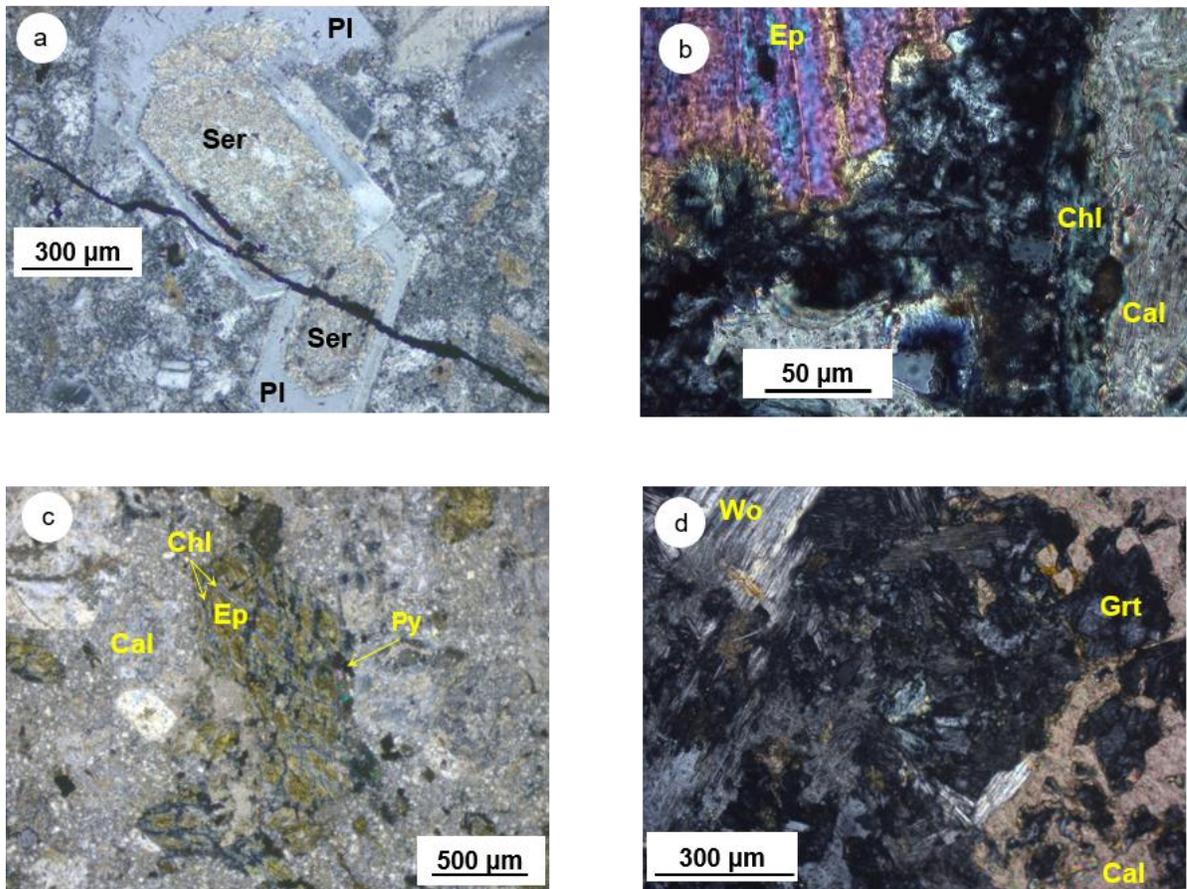


Figura 3.3. En niclos cruzados: a) Plagioclasa con alteración a sericita, la alteración sigue el zoneamiento de crecimiento del cristal. b) Asociación Ep + Chl + Cal, que reemplaza minerales ferromagnesianos. c) Pseudomorfo de mineral ferromagnesiano que ha sido totalmente reemplazado por Chl + Cal + Ep + Py; se distingue el crucero característico de anfíboles, quizá hornblenda. d) Wo + Cal + Grt correspondientes a la zona de *skarn*. Abreviaciones: Cal: calcita, Chl: clorita, Ep: epidota, Grt: granate, Py: pirita, Ser: sericita (agregado de micas blancas de grano fino), Wo: wollastonita.

Se utilizaron dos muestras para caracterizar petrográficamente la zona de *skarn*. Una de estas es clasificada como una granatita y está constituida principalmente por grosularia, cuarzo, calcita, clorita, epidota y minerales opacos. La segunda presenta granate, wollastonita, calcita, clorita, epidota y cuarzo, algunas de las fases identificadas en esta muestra se presentan en la Figura 3.3 d.

3.2.3. Asociación de sulfuros

En orden de abundancia, los sulfuros presentes se encuentran como relleno de veta y son: pirita, esfalerita y galena, que en conjunto representan más del 50% del volumen de la muestra. La arsenopirita, eskimoita y tetraedrita-tennantita se encuentran en proporciones

volumétricas menores a 5%. Como rellenos en las zonas intersticiales entre los sulfuros se observan calcita y cuarzo, este último en cantidades menores (entre un 5 y 10%).

La arsenopirita se encuentra en cantidades menores, presenta propiedades ópticas homogéneas, los cristales de morfología subhedral generalmente se encuentran rodeados o en intercrecimiento con pirita; se observan facetas bien desarrolladas en algunos cristales de arsenopirita (Fig. 3.4 a).

En la mayoría de los casos la pirita es de morfología subhedral, bordeando facetas bien desarrolladas de este mineral se observan otros sulfuros como galena y esfalerita.

La esfalerita es anhedral, a veces es reemplazada por calcita y con inclusiones de calcopirita como producto de exsolución (Fig. 3.4 b). La galena eventualmente crece a costa de la esfalerita según se deduce de la existencia de algunos bordes cóncavos de galena en esfalerita (Fig. 3.4 c).

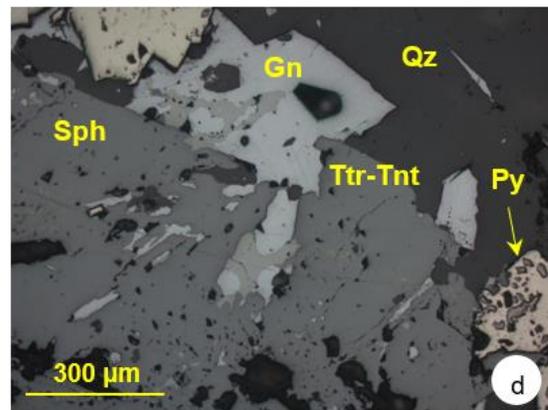
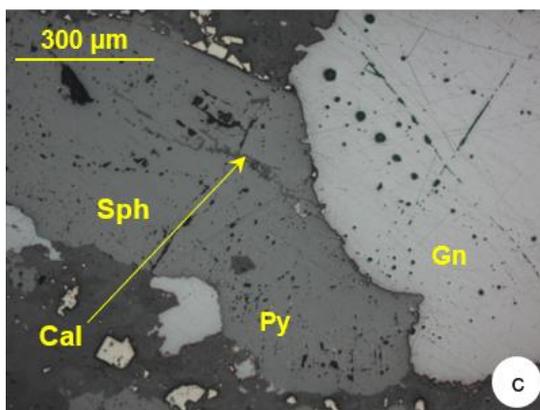
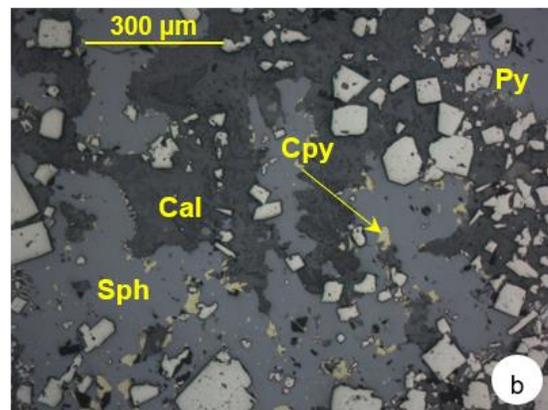
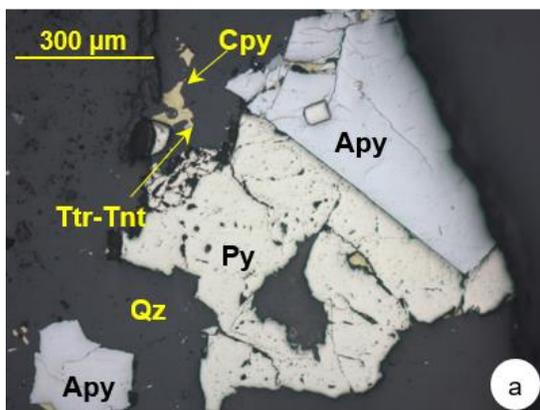


Figura 3.4. a) Arsenopirita euahedral rodeada por pirita; además se observa calcopirita anhedral y tetraedrita-tennantita, todos ellos inmersos en cuarzo (muestra Tala-50). b) Cristales subhedrales de pirita rodeados por esfalerita anhedral con exsolución de calcopirita, la calcita rellena los espacios entre los minerales mencionados (muestra Tala-54). c) Sectores convexos de esfalerita invadidos por galena. Reemplazamiento de esfalerita por calcita (muestra Tala-64). d) Esfalerita reemplazada por galena, posteriormente galena reemplazada por tetraedrita-tennantita; en la porción inferior derecha de la imagen se presenta pirita parcialmente reemplazada por galena, el cuarzo precipita relleno espacios (muestra Tala-55). Simbología: Apy: arsenopirita; Cal: calcita; Cpy: calcopirita; Gn: galena; Qz: cuarzo; Py: Pirita; Sph: esfalerita; Ttr-Tnt: tetraedrita-tennantita.

La pirita presenta diferentes texturas, en algunas muestras se encuentra en intercrecimiento con calcita, en otras con galena, en un par de muestras presenta textura cataclástica y en ocasiones es reemplazada parcialmente por galena.

Eskimoita y tetraedrita-tennantita en cantidades traza reemplazan parcialmente a galena (Fig. 3.4 d), calcopirita y arsenopirita (Fig. 3.4 a). En galena, las sulfosales se encuentran en zonas centrales y bordes de los cristales, mientras en calcopirita y arsenopirita reemplazan los bordes (Fig. 3.5 a y b).

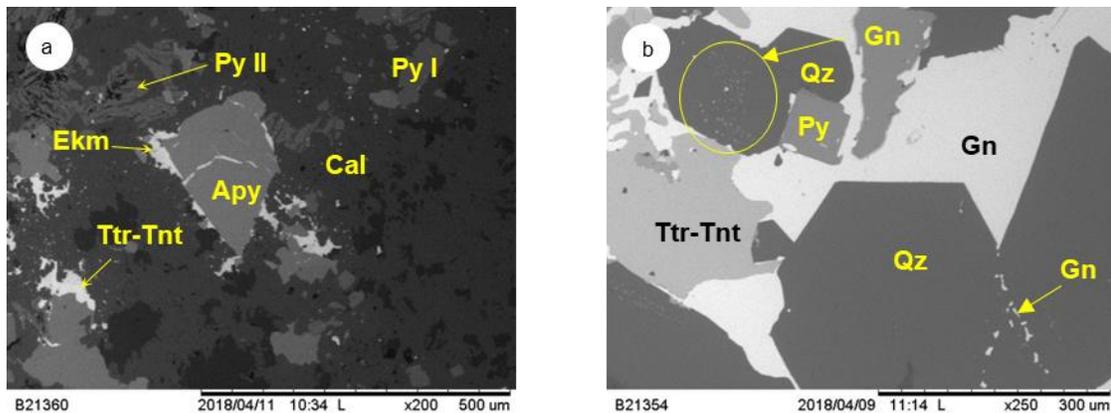


Figura 3.5. Microfotografías tomadas con MEB. a) Cristales irregulares de Apy, con fracturas rellenas y rodeadas por galena (Gn), la galena está siendo parcialmente reemplazada por eskimoita y tetraedrita-tennantita (Tala-50). b) Galena rodeando cristales euahedrales de Qz y Py, reemplazada en porciones centrales por tetraedrita-tennantita (Tala-55). Simbología: Apy: arsenopirita, Cal: calcita, Ekm: eskimoita, Gn: galena, Py: pirita, Qz: cuarzo y Ttr-Tnt: tetraedrita-tennantita.

La calcita y el cuarzo en general se encuentran relleno los espacios entre los sulfuros y sulfosales mencionados conformando la parte final de la secuencia paragenética de esta sucesión. Sin embargo, en la muestra Tala-55 se observa a la galena como relleno de los intersticios entre cristales euahedrales de pirita y cuarzo, además de presentarse como inclusiones solidas en planos de crecimiento algunos cristales de cuarzo (Fig. 3.5 b).

3.2.4. Asociación tardía

Los minerales que conforman esta asociación son: barita, calcita, fluorita, cuarzo, goethita y óxidos de manganeso. La barita forma cristales euhedrales y subhedrales que presentan algunos planos de crecimiento enmarcados ligeramente por la presencia de óxidos (Fig. 3.6 a) y calcita. El resto de los minerales crecen bordeando las facetas de los cristales de barita.

La fluorita presenta dos relaciones con la barita:

- 1.- cristales respetando las facetas de la barita y
- 2.- intercrecimiento de algunos cristales de barita y fluorita

Por lo que se deduce que la fluorita es posterior y tiene periodos de precipitación simultánea con la barita (Fig. 3.6 b). En la mayoría de las muestras se observa que la periferia de los cristales de barita y fluorita se encuentran reemplazados por cuarzo e incluso se presentan bahías de corrosión (Fig. 3.6 c); en gran medida el cuarzo rellena espacios entre los minerales anteriores y presenta una morfología anhedral. Se han identificado dos generaciones de cuarzo:

1. cuarzo de la asociación tardía (barita-fluorita-cuarzo), y
2. amatista, tentativamente asociada con la deposición de óxidos de manganeso.

Al primer grupo pertenecen las muestras **Talamantes 27**, **Talamantes 33**, **Morita 7a**, **Reyna I**, **Socorrito** y **Tepostete**.

Si bien los óxidos precipitan durante toda la secuencia en cantidades menores, su abundancia aumenta durante la cristalización del cuarzo, llegando a enmarcar algunas zonas de crecimiento de manera evidente (Fig. 3.6 d). La presencia dominante de los óxidos es relleno de los espacios vacíos entre las fases anteriores.

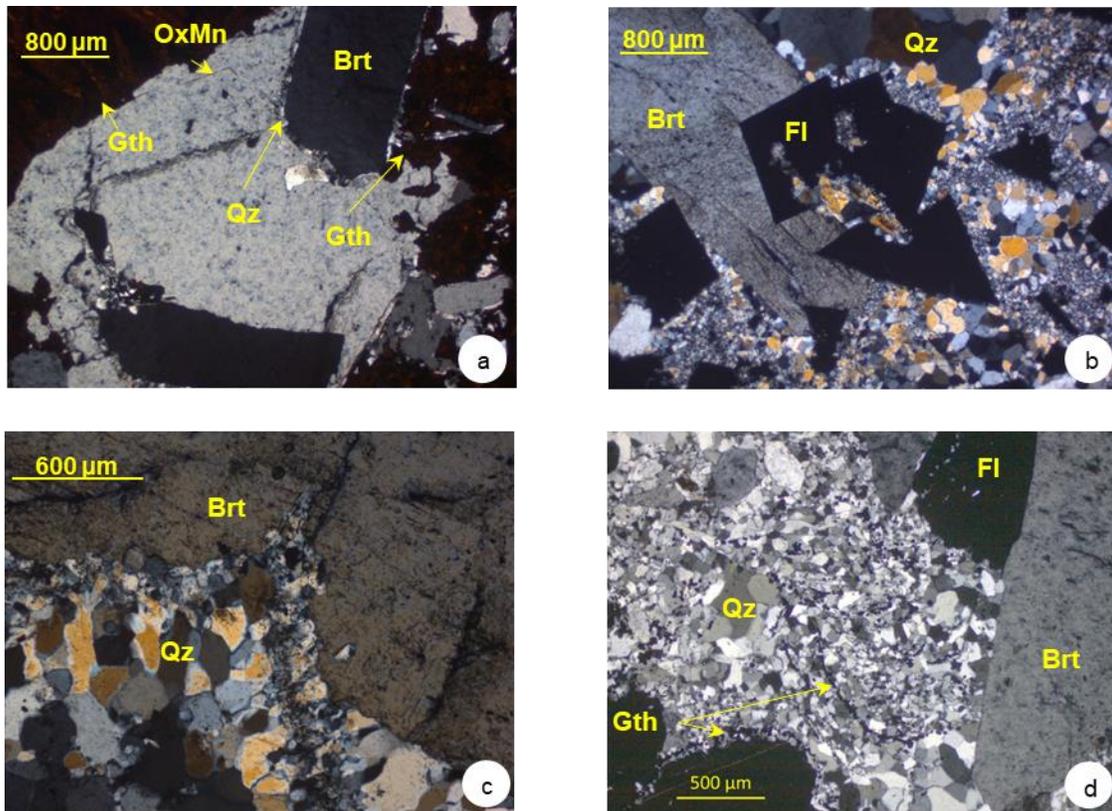


Figura 3.6. a) Cristales de barita subhedrales con inclusiones sólidas de óxidos (cantidades pequeñas que enmarcan el crecimiento de la barita en el sector centro-superior de la imagen); el cuarzo crece en los bordes de la barita; en la zona derecha y superior izquierda de la imagen se observa goethita, en agregados aciculares, rodeando cristales de barita y cuarzo (muestra **Barita 3**). b) Intercrecimiento de cristales euhedrales de fluorita y barita; el cuarzo se observa en los bordes de la barita, los bordes de algunos cristales de barita se presentan corroídos; el cuarzo rellena espacios entre las fases mencionadas (muestra **Veta Reyna I**). c) Bahía de corrosión en cristal de barita rellena por cuarzo (**Veta Reyna I**). d) En el extremo derecho cristal de fluorita relleno el espacio entre dos cristales de barita, cuarzo de textura *jigsaw* llena los espacios restantes, se observa goethita en lineamientos (muestra **Mina Barita 2**). Simbología: Brt: barita; Fl: fluorita; Gth: goethita; OxMn: óxidos de manganeso; Qz: cuarzo.

3.2.5. Óxidos de manganeso

Los óxidos de manganeso se encuentran en dos formas:

1. como parte de **rellenos de veta** acompañados por óxidos de hierro, cuarzo y barita principalmente, y posiblemente con algunos silicatos de manganeso y plomo, de acuerdo con resultados obtenidos con SEM-EDS; y
2. en **brechas**, como cementante de fragmentos de riolita.

En el primer caso se tienen las variedades coronadita y holandita que se observan en cantidades menores como inclusiones sólidas en barita, fluorita y cuarzo; y son más

abundantes rellenando espacios entre estas fases, por lo que se considera que el pulso de mayor importancia en la precipitación de óxidos de manganeso es ligeramente posterior a la formación de las fases de la asociación tardía.

En la muestra Talamantes 28, relleno de veta, el cuarzo y óxidos de hierro y manganeso crecen siguiendo los bordes de cristales de barita (Fig. 3.7 a), la barita en algunos casos presenta bahías de corrosión rellenadas por mushketovita; en los espacios vacíos entre barita y cuarzo precipitaron óxidos de hierro y manganeso. La coronadita se encuentra rellenando espacios entre las fases precursoras. La holandita forma microbandeamientos que siguen la morfología de la veta o crecimiento botroidal (Fig. 3.7 b y d). Las bandas individuales se distinguen por las variaciones de color a nivel microscópico. Una secuencia paragenética *grosso modo* de esta asociación, podría ser: barita-cuarzo-óxidos de hierro-óxidos de manganeso y el reemplazamiento de hematita por magnetita (mushketovitización).

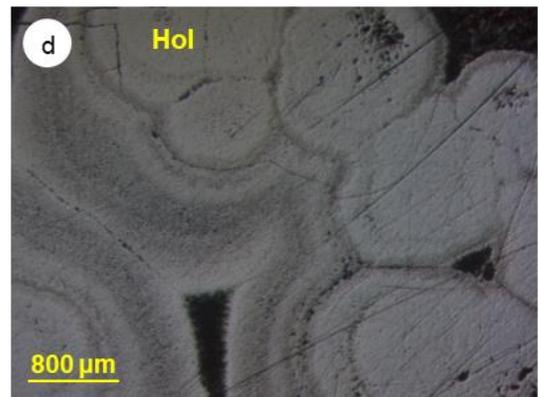
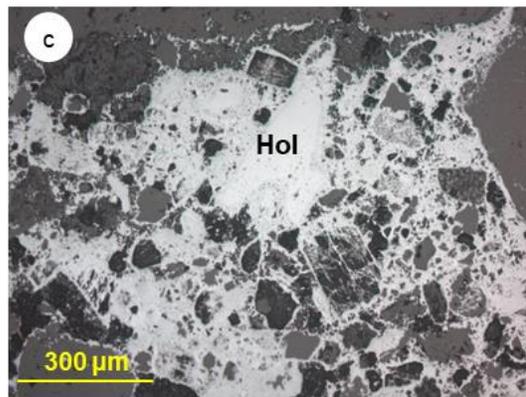
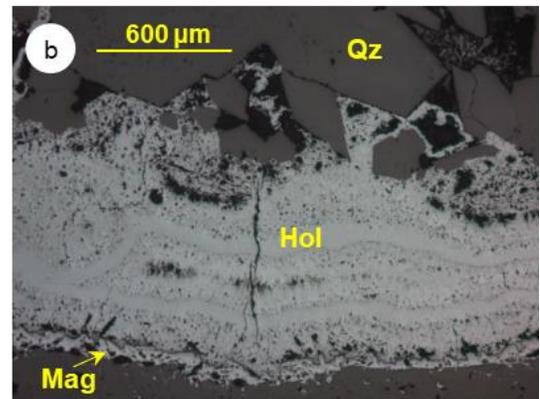
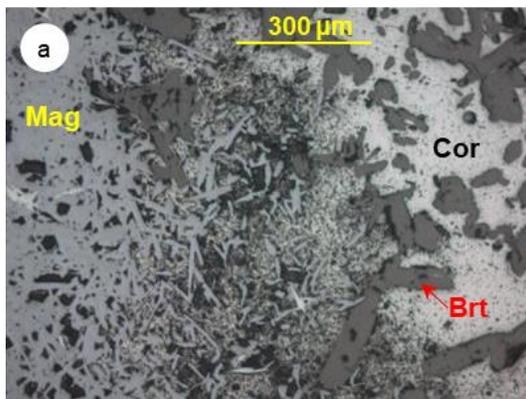


Figura 3.7. Microfotografías de algunas muestras de Talamantes. a) Mushketovita en el extremo izquierdo de la imagen, junto con cristales subhedrales de barita, la coronadita (color blanco) rellena los espacios, (muestra **Talamantes 28**). b) Holandita bandeada, con mushketovita en uno de sus bordes, y cuarzo en los extremos superior e inferior (muestra **Talamantes 52**). c) Fragmentos de roca encajonante cementados por holandita; algunos fragmentos presentan cierto grado de reemplazamiento principalmente en los bordes (muestra **Talamantes 35**). d) Bandeamiento colorforme que ilustra el crecimiento secuencial de los óxidos de Mn, con intercalaciones de óxido de hierro (hematita) (muestra **Talamantes 2**). Simbología: Brt: barita; Cor: coronadita; Hol: holandita; Mag: magnetita; Qz: cuarzo.

En las micro-brechas, la holandita conforma el cementante (Fig. 3.7 c), además de llegar a reemplazar los bordes e incluso invadir de manera parcial los fragmentos líticos de riolita.

En la Figura 3.8 se observan las texturas de los óxidos de manganeso identificados en la muestra Talamantes 28, en ambas microfotografías tomadas con EDS se observa que los óxidos tienen como límite los bordes de cristales de barita.

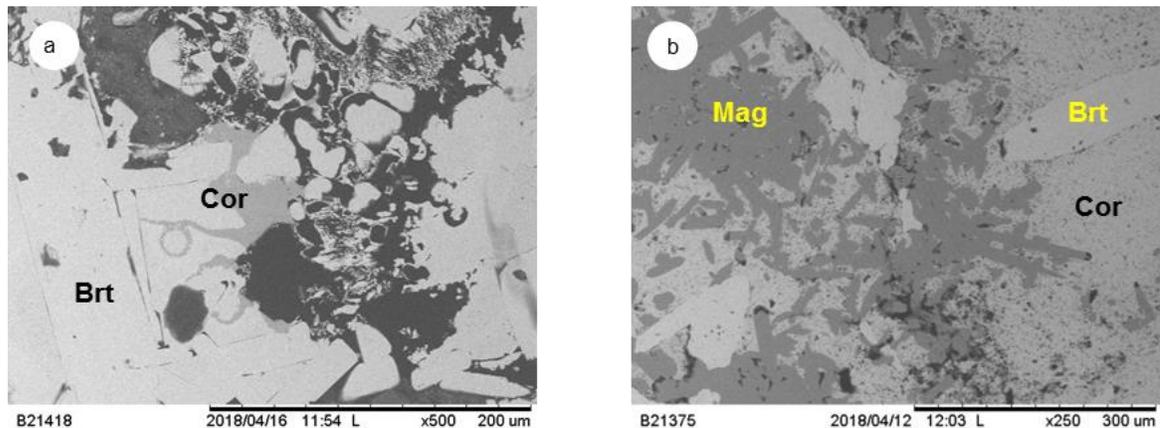


Figura 3.8. Microfotografías de la muestra Talamantes 28. a) Identificación de coronadita relleno espacios entre cristales de barita. b) Mushketovita, algunos cristales tienen como límite de crecimiento a los cristales de barita, la coronadita se encuentra relleno espacios entre las fases mencionadas. Simbología: Brt: barita, Cor: coronadita, Mag: magnetita.

Las fases de óxidos identificadas mediante difracción de rayos X corresponden a hematitas y goethita y se encuentran intercalados en bandeamientos, mientras algunos cristales de mimetita se observaron dentro de cavidades.

La presencia de inclusiones sólidas de galena euédral en planos de crecimiento de un cristal de barita es la evidencia de la relación temporal entre la precipitación de los sulfuros y los minerales de la etapa tardía (Fig. 3.9).

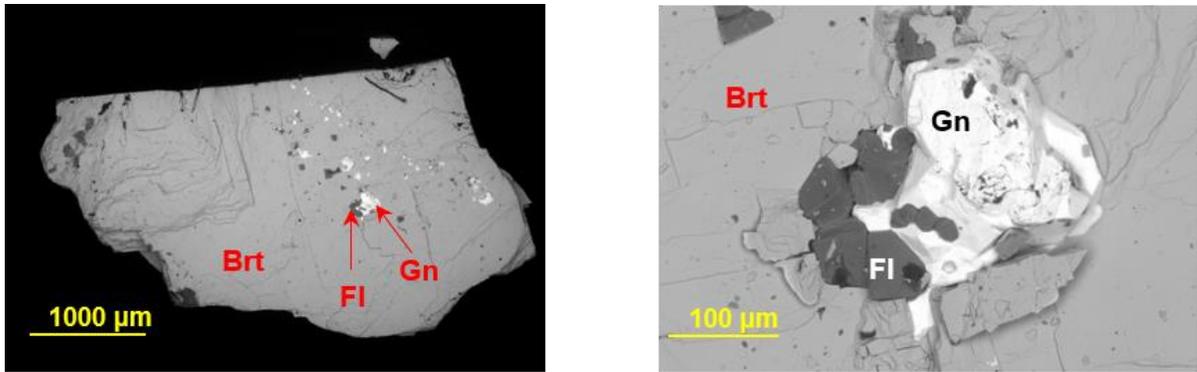


Figura 3.9. Galena (Gn) subhedral coprecipitando con fluorita (Fl) en plano de crecimiento de un cristal de barita (Brt) (muestra Talamantes 31).

3.3. Secuencia paragenética

Las observaciones realizadas durante el desarrollo de la petrografía y minerografía permiten establecer que la precipitación de los sulfuros tuvo lugar en el siguiente orden: arsenopirita, pirita, esfalerita, calcopirita y galena. Posteriormente, como parte de un segundo evento mineralizante o debido a cambios en las condiciones fisicoquímicas de los fluidos mineralizantes, tetraedrita-tennantita y eskimoita reemplazaron parcialmente algunos cristales de arsenopirita, calcopirita y galena. Aparentemente la precipitación de cuarzo tuvo lugar antes, durante y después de la formación de los sulfuros, mientras que la calcita es posterior a esta.

De acuerdo con lo observado en la petrografía de los minerales de la asociación tardía, la barita es la fase inicial de esta asociación. Se observan evidencias de coprecipitación de barita y fluorita, pero en la mayoría de los casos la fluorita es posterior; el cuarzo es ulterior a ambas fases y los óxidos de manganeso y hierro se interpretan como las fases terminales.

De acuerdo con lo descrito anteriormente se propone la secuencia paragenética de los yacimientos minerales de Talamantes mostrada en la Figura 3.10.

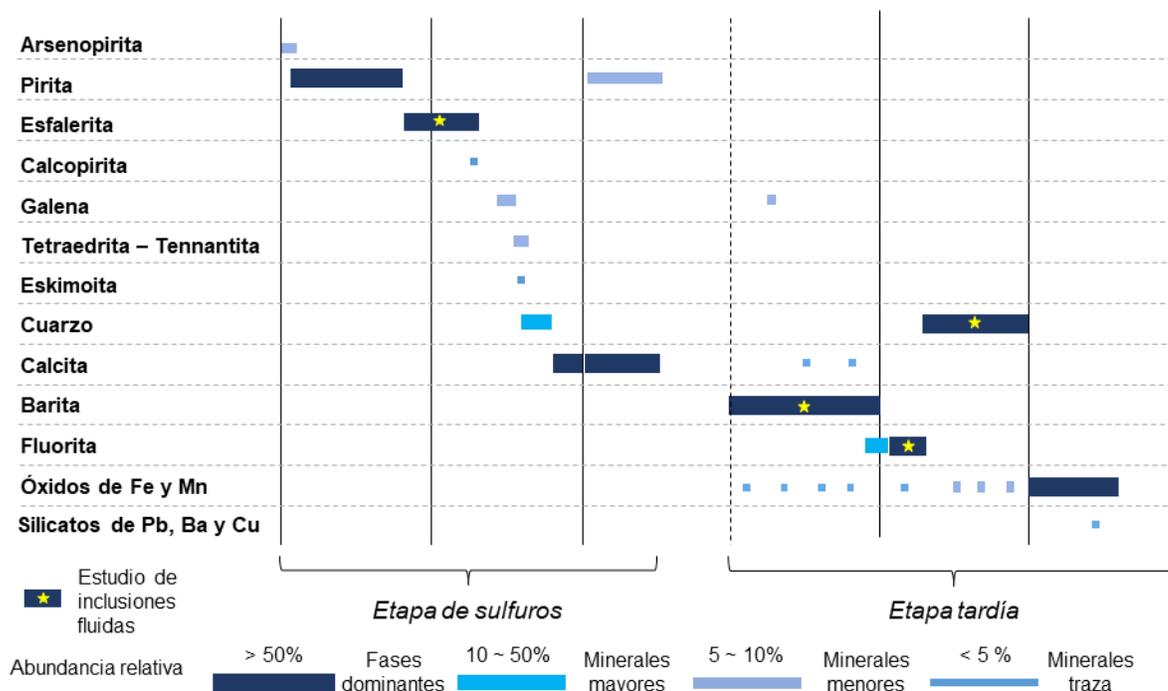


Figura 3.10. Secuencia paragenética de los yacimientos de Talamantes.

3.4. Química mineral

Esfalerita

Los análisis se distribuyeron en forma de perfiles a lo largo de cristales de esfalerita con la finalidad de determinar posibles variaciones químicas en los contenidos elementales y se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Concentraciones mínima, máxima, promedio y rango intercuartil en % wt. de los elementos analizados en cristales de esfalerita.

Muestra	Estadígrafo	Fe (wt. %)	Zn (wt. %)	S (wt. %)	Cu (wt. %)	Ga (wt. %)	Cd (wt. %)
Tala-50	mínimo	9.187	56.289	32.807	0.021	0.000	0.263
	máximo	10.000	57.746	33.398	0.806	0.032	0.429
	promedio	9.484	57.068	33.054	0.192	0.006	0.342
	rango intercuartil	0.243	0.547	0.198	0.050	0.000	0.039
Tala-54_A	mínimo	9.153	55.009	32.781	0.000	0.000	0.471
	máximo	11.264	57.081	33.498	0.196	0.050	0.608
	promedio	10.280	56.102	33.060	0.094	0.010	0.560
	rango intercuartil	0.191	0.550	0.152	0.061	0.017	0.055
Tala-54_B	mínimo	9.671	54.552	32.620	0.038	0.000	0.605
	máximo	11.211	56.815	33.128	0.189	0.045	0.733
	promedio	10.425	55.580	32.909	0.093	0.011	0.667
	rango intercuartil	0.413	0.801	0.175	0.049	0.022	0.078
Tala-54_C	mínimo	8.115	56.331	32.771	0.060	0.000	0.415

Muestra	Estadígrafo	Fe (wt. %)	Zn (wt. %)	S (wt. %)	Cu (wt. %)	Ga (wt. %)	Cd (wt. %)
	máximo	10.150	58.768	33.376	0.272	0.071	0.528
	promedio	8.847	57.688	33.004	0.124	0.017	0.489
	rango intercuartil	1.042	1.427	0.179	0.027	0.029	0.037
Tala-64_A	mínimo	8.560	50.058	29.662	0.000	0.000	0.201
	máximo	12.673	57.981	33.266	0.140	0.071	0.380
	promedio	10.368	55.729	32.658	0.030	0.010	0.278
	rango intercuartil	2.172	2.620	0.269	0.031	0.007	0.071
Tala-64_B	mínimo	8.951	53.936	32.634	0.000	0.000	0.198
	máximo	12.042	57.921	33.318	0.204	0.094	0.381
	promedio	10.899	55.374	33.048	0.047	0.014	0.274
	rango intercuartil	0.857	1.359	0.207	0.053	0.019	0.036
Tala-64_C	mínimo	9.776	55.357	33.100	0.000	0.000	0.186
	máximo	11.491	57.335	33.409	0.091	0.058	0.267
	promedio	10.651	56.153	33.246	0.041	0.012	0.216
	rango intercuartil	1.135	1.080	0.186	0.040	0.000	0.040
Tala-64_D	mínimo	8.321	55.765	32.935	0.000	0.000	0.210
	máximo	10.272	58.519	33.190	0.091	0.083	0.281
	promedio	9.093	57.397	33.036	0.043	0.029	0.264
	rango intercuartil	1.018	1.163	0.168	0.035	0.055	0.008
Tala-55_A	mínimo	1.968	58.780	32.484	0.027	0.000	0.470
	máximo	7.112	63.135	33.040	1.026	0.054	0.619
	promedio	3.787	61.822	32.741	0.254	0.010	0.550
	rango intercuartil	0.393	0.980	0.230	0.091	0.011	0.032
Tala-55_B	mínimo	1.594	60.587	32.326	0.040	0.000	0.500
	máximo	5.072	63.429	32.953	1.943	0.054	0.640
	promedio	3.714	61.723	32.642	0.356	0.009	0.551
	rango intercuartil	1.417	1.072	0.352	0.271	0.009	0.050
Tala-55_C	mínimo	1.378	61.504	32.556	0.000	0.000	0.467
	máximo	4.419	65.031	32.890	0.811	0.024	0.618
	promedio	3.254	62.835	32.744	0.276	0.003	0.539
	rango intercuartil	1.346	1.298	0.122	0.400	0.000	0.029
Tala-55_D	mínimo	3.325	62.244	32.461	0.000	0.000	0.484
	máximo	3.799	63.244	32.915	0.114	0.056	0.624
	promedio	3.540	62.615	32.737	0.049	0.010	0.545
	rango intercuartil	0.345	0.420	0.173	0.017	0.003	0.069

Se encontraron dos rangos de valores de porcentaje molar (mol %) de FeS:

1. de 14 a 21 mol % FeS, en las muestras **Talamantes 50, 54 y 64** y
2. valores de 2.4 a 8.6 mol % FeS, en la muestra **Talamantes 55**.

El promedio de cobre y cadmio son 0.19 mol % y 0.38 mol %, respectivamente, presentando un comportamiento relativamente homogéneo en todas las muestras. El galio se encuentra en cantidades traza (<0.1 mol %, 0.01 mol % en promedio); el germanio se encuentra por debajo del límite de detección de este método.

Arsenopirita

En la Tabla 3.4 se presentan los resultados de los análisis por medio de microsonda electrónica de diferentes cristales de arsenopirita.

Tabla 3.4. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los elementos analizados en cristales de arsenopirita.

Muestra	Estadigrafo	Co (wt. %)	Tl (wt. %)	As (wt. %)	Zn (wt. %)	Sb (wt. %)	Cu (wt. %)	Bi (wt. %)	Ni (wt. %)	S (wt. %)	Fe (wt. %)	Ag (wt. %)
50A	mínimo	0.005	0.000	40.922	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20.112	34.322	0.000
	máximo	0.054	0.433	44.881	0.360	0.858	0.040	0.147	0.034	23.146	35.169	0.047
	promedio	0.026	0.155	43.475	0.033	0.121	0.019	0.008	0.008	21.336	34.867	0.009
	rango intercuartil	0.014	0.167	1.028	0.021	0.063	0.019	0.000	0.015	0.602	0.318	0.011
50B	mínimo	0.012	0.000	42.900	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	20.699	34.611	0.000
	máximo	0.059	0.362	44.393	0.308	0.376	0.033	0.021	0.029	21.570	35.067	0.037
	promedio	0.029	0.138	43.625	0.179	0.186	0.010	0.004	0.007	21.145	34.840	0.010
	rango intercuartil	0.019	0.212	0.826	0.223	0.251	0.017	0.000	0.008	0.095	0.173	0.016
54A	mínimo	0.031	0.000	43.269	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	21.128	34.785	0.000
	máximo	0.073	0.326	44.737	0.005	0.022	0.020	0.021	0.038	21.725	35.045	0.027
	promedio	0.046	0.142	44.094	0.001	0.006	0.005	0.005	0.011	21.461	34.906	0.013
	rango intercuartil	0.020	0.234	1.017	0.001	0.006	0.005	0.005	0.013	0.432	0.162	0.012
54B	mínimo	0.024	0.000	42.955	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.229	32.569	0.000
	máximo	0.135	0.291	45.268	0.024	1.154	0.223	0.479	0.045	21.434	34.896	0.115
	promedio	0.060	0.149	44.164	0.006	0.091	0.067	0.057	0.015	20.795	34.537	0.022
	rango intercuartil	0.019	0.198	1.232	0.009	0.020	0.090	0.000	0.025	0.336	0.205	0.029
54C	mínimo	0.048	0.000	42.464	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	20.189	34.571	0.000
	máximo	0.095	0.300	44.857	0.000	0.079	0.026	0.000	0.055	22.268	35.366	0.025
	promedio	0.067	0.156	43.877	0.000	0.024	0.008	0.000	0.018	21.074	34.852	0.009
	rango intercuartil	0.031	0.081	0.699	0.000	0.014	0.008	0.000	0.034	0.784	0.295	0.013
54D	mínimo	0.042	0.028	43.887	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20.845	34.488	0.000
	máximo	0.084	0.330	45.518	0.020	0.042	0.014	0.000	0.022	21.243	34.746	0.022
	promedio	0.061	0.127	44.596	0.004	0.008	0.003	0.000	0.007	21.056	34.633	0.009
	rango intercuartil	0.024	0.093	1.116	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.201	0.178	0.022
55C	mínimo	0.012	0.077	42.769	0.004	0.022	0.012	0.000	0.000	20.986	34.615	0.000
	máximo	0.031	0.223	42.892	0.008	0.197	0.032	0.032	0.000	21.477	34.743	0.062
	promedio	0.022	0.150	42.831	0.006	0.110	0.022	0.016	0.000	21.232	34.679	0.031
	rango intercuartil	0.010	0.073	0.061	0.002	0.088	0.010	0.016	0.000	0.246	0.064	0.031
64A	mínimo	0.001	0.000	41.880	0.000	0.163	0.000	0.000	0.000	20.257	34.386	0.000
	máximo	0.051	0.373	44.774	0.018	1.045	0.032	0.011	0.019	21.937	34.746	0.012
	promedio	0.030	0.136	42.998	0.003	0.533	0.011	0.002	0.005	21.221	34.559	0.005
	rango intercuartil	0.023	0.130	1.270	0.000	0.378	0.020	0.000	0.006	1.130	0.111	0.008

En la mayoría de los cristales se identificó deficiencia de arsénico compensada por azufre, correspondiendo a una fórmula estructural generalizada de la forma $As_{1-x}Fe_1S_{1+x}$. El porcentaje atómico de arsénico se encuentra entre 30.8 % y 32.0 %. El resto de los elementos considerados como impurezas se encuentran en cantidades mínimas.

Tetraedrita-tennantita

La sulfosal identificada en la muestra **Talamantes 50** es freibergita. Las relaciones molares $Ag/(Ag+Cu)$ y $Zn/(Zn+Fe)$ en esta muestra son respectivamente 0.50 y 0.11; en la Tabla 3.5 se presentan estadígrafos de los porcentajes en peso de los elementos detectados en la muestra.

Tabla 3.5. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los elementos analizados en cristales de freibergita.

Muestra	Estadígrafo	Zn (wt. %)	As (wt. %)	Sb (wt. %)	Cu (wt. %)	S (wt. %)	Fe (wt. %)	Ag (wt. %)	Pb (wt. %)
50A	mínimo	0.389	0.595	25.293	14.121	20.264	5.803	23.010	0.000
	máximo	1.217	0.921	26.572	21.183	22.637	7.279	32.909	0.187
	promedio	0.858	0.737	25.875	17.031	21.361	6.270	28.664	0.030
	rango intercuartil	0.197	0.237	0.604	1.792	0.380	0.151	2.917	0.012

El valor promedio de la relación $Ag/(Ag+Cu)$ es 0.38, y 0.45 el de la relación $Zn/(Zn+Fe)$ en los análisis de esta tetraedrita rica en plata.

En la posición de los metaloides dentro de la estructura de la freibergita y tetraedrita rica en plata, el antimonio corresponde a casi 4 moles y se complementa con arsénico.

Estadígrafos de los porcentajes en peso de los elementos reconocidos en la muestra de tetraedrita se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los elementos analizados en cristales de tetraedrita.

Muestra	Estadígrafo	Zn (wt. %)	As (wt. %)	Sb (wt. %)	Cu (wt. %)	S (wt. %)	Fe (wt. %)	Ag (wt. %)	Pb (wt. %)
55B	mínimo	2.983	0.708	26.051	19.978	22.423	3.135	21.584	0.000
	máximo	3.712	0.947	26.861	22.050	23.221	3.750	24.304	0.251
	promedio	3.350	0.813	26.401	21.568	22.786	3.493	22.063	0.055
	rango intercuartil	0.366	0.031	0.443	0.347	0.301	0.454	0.258	0.079

Eskimoita

La eskimoita pertenece a la serie de homólogos de la lillianita, los estadígrafos de los porcentajes de peso de los elementos identificados en esta fase se registran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los elementos analizados en cristales de eskimoita.

Muestra	Estadígrafo	Zn (wt. %)	Sb (wt. %)	Cu (wt. %)	Bi (wt. %)	Ni (wt. %)	S (wt. %)	Fe (wt. %)	Ag (wt. %)	Pb (wt. %)
54C	mínimo	0.001	6.743	0.102	36.147	0.000	14.546	0.516	7.57	28.07
	máximo	2.445	10.792	0.158	41.095	0.020	16.176	1.178	9.164	31.202
	promedio	1.283	8.266	0.136	37.425	0.010	15.158	0.712	8.48	29.16
	rango intercuartil	1.903	1.213	0.020	1.290	0.019	0.720	0.241	1.124	1.113

Óxidos de manganeso – Holandita

El bandeamiento observado en el microscopio petrográfico está relacionado con variaciones de la composición química de esta fase, en particular a su contenido en tungsteno, cuyos valores máximos son de alrededor del 5.70 wt. % WO_3 y los mínimos menores a 1 wt. % WO_3 . Otros elementos que varían de manera directa (Al) e inversa (K y Ca) a la concentración del tungsteno se encuentran en cantidades menores (< 1 wt. %), los resultados se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Mínimo, máximo, promedio y rango intercuartil en wt. % de los óxidos analizados en óxidos de manganeso.

Muestra	Estadígrafo	BaO (wt. %)	K ₂ O (wt. %)	Na ₂ O (wt. %)	MnO ₂ (wt. %)	As ₂ O ₃ (wt. %)	PbO (wt. %)	ZnO (wt. %)	Al ₂ O ₃ (wt. %)	CaO (wt. %)	WO ₃ (wt. %)	SiO ₂ (wt. %)	CuO (wt. %)	FeO (wt. %)
52D	mínimo	13.82	0.12	0.02	73.49	0.88	0.00	0.05	0.64	0.08	2.79	0.14	0.99	0.08
	máximo	14.20	0.26	0.13	77.88	0.94	1.27	0.12	0.65	0.17	6.87	0.24	1.38	0.17
	promedio	14.03	0.18	0.09	74.88	0.92	0.90	0.08	0.64	0.12	5.71	0.17	1.24	0.10
	rango intercuartil	0.16	0.04	0.04	1.39	0.02	0.33	0.03	0.01	0.03	1.12	0.03	0.10	0.03
52E	mínimo	12.62	0.12	0.11	73.27	0.30	0.00	0.03	0.17	0.06	0.05	0.04	0.41	0.02
	máximo	15.49	2.18	0.29	81.96	1.19	4.01	0.24	0.70	0.21	6.81	0.19	1.57	0.21
	promedio	14.16	0.76	0.19	78.04	0.59	0.36	0.12	0.54	0.12	3.10	0.13	0.88	0.08
	rango intercuartil	1.38	0.75	0.07	4.32	0.39	0.00	0.06	0.15	0.10	4.27	0.06	0.57	0.03
52F	mínimo	14.45	0.10	0.10	73.90	0.70	0.00	0.03	0.57	0.06	1.71	0.09	0.83	0.06
	máximo	15.20	0.52	0.26	78.33	0.97	0.00	0.14	0.73	0.13	7.43	0.14	1.36	0.10
	promedio	14.73	0.25	0.19	74.84	0.82	0.00	0.08	0.64	0.09	6.11	0.11	1.21	0.07
	rango intercuartil	0.11	0.08	0.12	0.15	0.08	0.00	0.09	0.07	0.04	0.23	0.04	0.09	0.01

3.5. Inclusiones fluidas

3.5.1. Petrografía de inclusiones fluidas

La petrografía de inclusiones fluidas se realizó en minerales de las muestras Talamantes # 27, #28, #30, #33, #35, #66, Pavito, Morita 7, Morita 7A, Tepostete, Tepostete Z; Reyna I, Reyna II y Socorrito.

Barita

En los cristales de barita se identificaron únicamente 3 inclusiones fluidas primarias. Estas presentan morfología de cristal negativo, son bifásicas ricas en líquido con grado de relleno de 0.90 a 0.95 (Fig. 3.11 d) de alrededor de 10 μ m. La mayoría de las inclusiones fluidas observadas son secundarias y se encuentran alojadas en los planos de clivaje (Fig. 3.11 a).

En la Figura 3.11 se muestran diferentes asociaciones de inclusiones secundarias, con dimensiones menores a 10 μ m; éstas son unifásicas de líquido (L) y su morfología es

prismática o planar con tendencias lineales (Fig. 3.11 a). El estrangulamiento (Fig. 3.11 b) es común según evidencian morfologías irregulares y la proporción dominante de inclusiones unifásicas de líquido. Se observan algunos bordes de crecimiento enmarcados por óxidos (Fig. 3.11 c). Existen inclusiones fluidas monofásicas de vapor (V), posiblemente generadas por decrepitación durante algún episodio de deformación de los cristales.

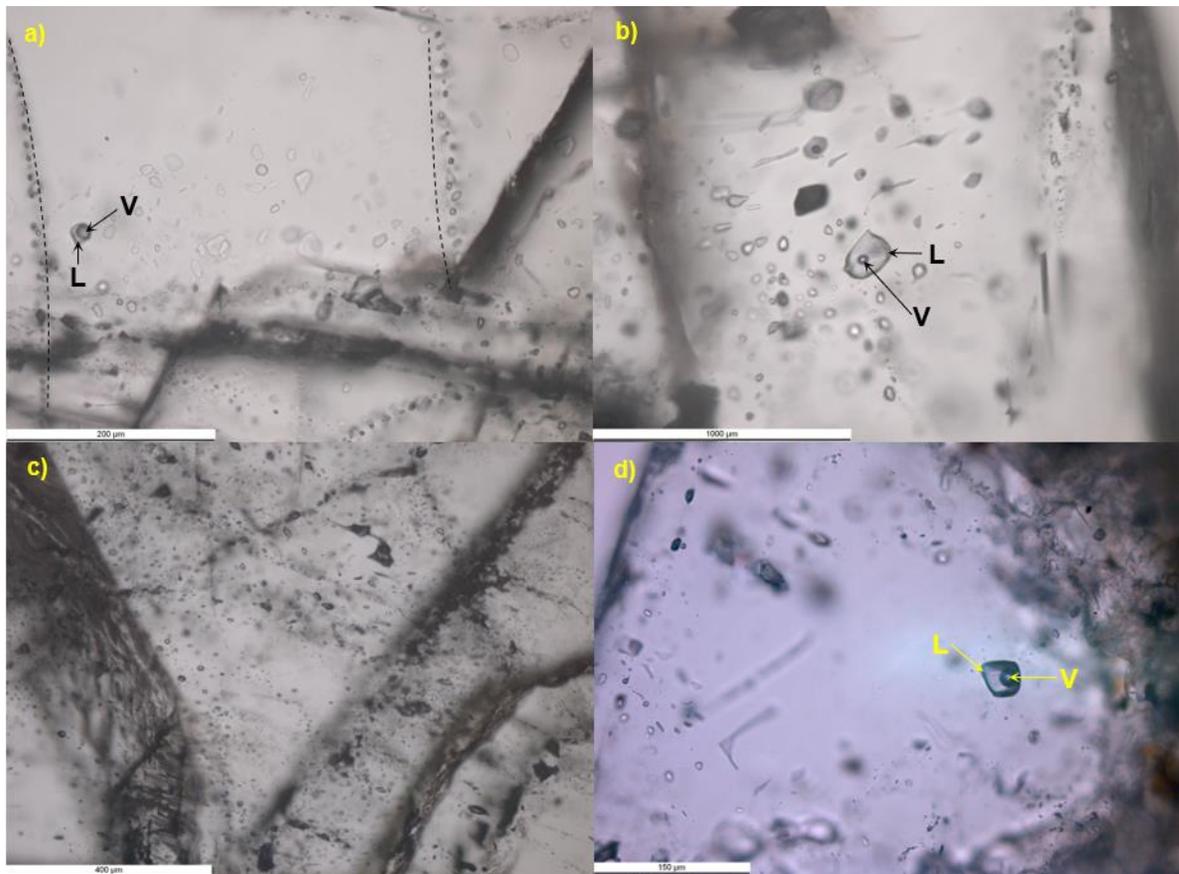


Figura 3.11. Inclusiones fluidas en barita. a) Asociación de inclusiones planares secundarias monofásicas de líquido (centro de la imagen,); en negro se señalan tendencias de dos asociaciones de inclusiones secundarias relacionadas con fracturas; al centro- derecha de la imagen se observa una inclusión bifásica con un grado de relleno de 0.65. b) Rasgos de estrangulamiento de inclusiones fluidas, la mayoría monofásicas de líquido, y algunas bifásicas ricas en líquido con grados de relleno entre 0.90 y 0.95. c) Bordes de crecimiento de cristales de barita delineados por la presencia de óxidos. d) Inclusión fluida primaria bifásica rica en líquido ($F = 0.85$), con morfología de cristal negativo. Simbología: L: Líquido; V: Vapor.

Fluorita

Las inclusiones primarias en los cristales de fluorita se encuentran en el centro y en las zonas de crecimiento, generalmente acompañadas por inclusiones sólidas (posiblemente

epidota). Son inclusiones bifásicas ricas en líquido y algunas presentan cristales atrapados del mineral que conforma las inclusiones sólidas mencionadas. Su grado de relleno, prácticamente constante, es de alrededor de 0.90; la morfología es de cristal negativo en la mayoría de los casos y su tamaño, de entre 5 y 20 μm (Fig. 3.12 a-d).

Ejemplos de asociaciones de inclusiones secundarias se muestran en la Figura 3.12 a. Presentan tendencias lineales que siguen los planos de clivaje típicos; estas inclusiones son bifásicas ricas en líquido y de menor tamaño que las primarias, con grados de relleno constantes dentro de cada asociación, de entre 0.90 y 0.95. Algunas asociaciones de inclusiones fluidas (Fig. 3.12 b) son producto de estrangulamiento evidenciado por las morfologías irregulares y alargadas que presentan.

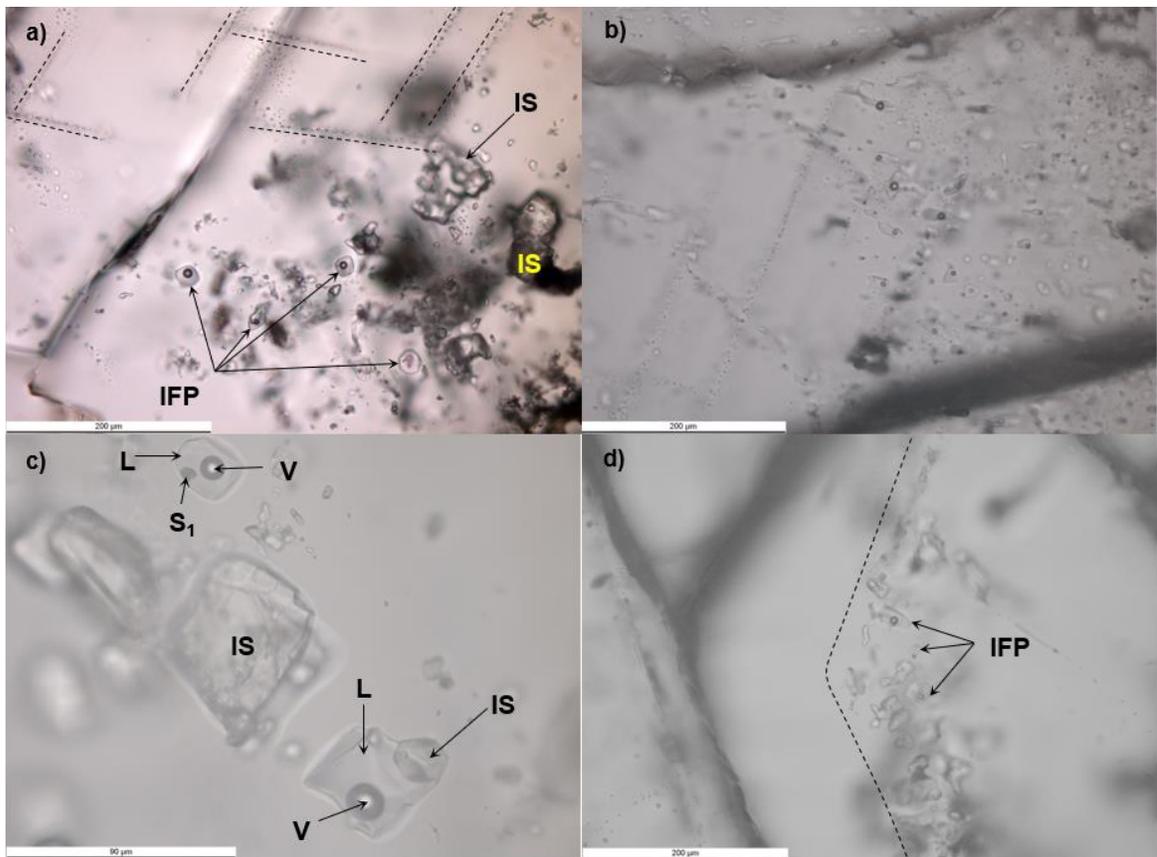


Figura 3.12. Inclusiones fluidas en fluorita. a) Inclusiones primarias bifásicas ricas en líquido con un grado de relleno de 0.90, con morfología de cristal negativo; se observan además inclusiones sólidas (posiblemente epidota). En la parte superior de la imagen existen asociaciones de inclusiones secundarias que siguen planos de clivaje de la fluorita (línea punteada negra). b) Inclusiones fluidas de morfología irregular de grado de relleno variable. c) Inclusiones primarias; arriba a la izquierda se muestra inclusión con cristal atrapado (S1), en la parte inferior derecha inclusión fluida alojada a la sombra de inclusión sólida. d) Borde de crecimiento de cristal de fluorita enmarcado por inclusiones sólidas (en negro), que favoreció la formación de inclusiones fluidas primarias. Simbología: IS: inclusión sólida; IFP: Inclusiones fluidas primarias; L: líquido; S1: sólido 1; V: Vapor.

Esfalerita

El alto contenido de hierro en esta fase obstruyó la visibilidad en la mayoría de los cristales, por lo que únicamente se identificaron cuatro inclusiones primarias. La morfología de éstas es irregular (Fig. 3.13 a-c). Son inclusiones bifásicas del tipo L+V; un par contienen cristales atrapados. Algunas inclusiones secundarias que se encuentran alineadas están relacionadas con fracturamiento (Fig. 3.13 d).

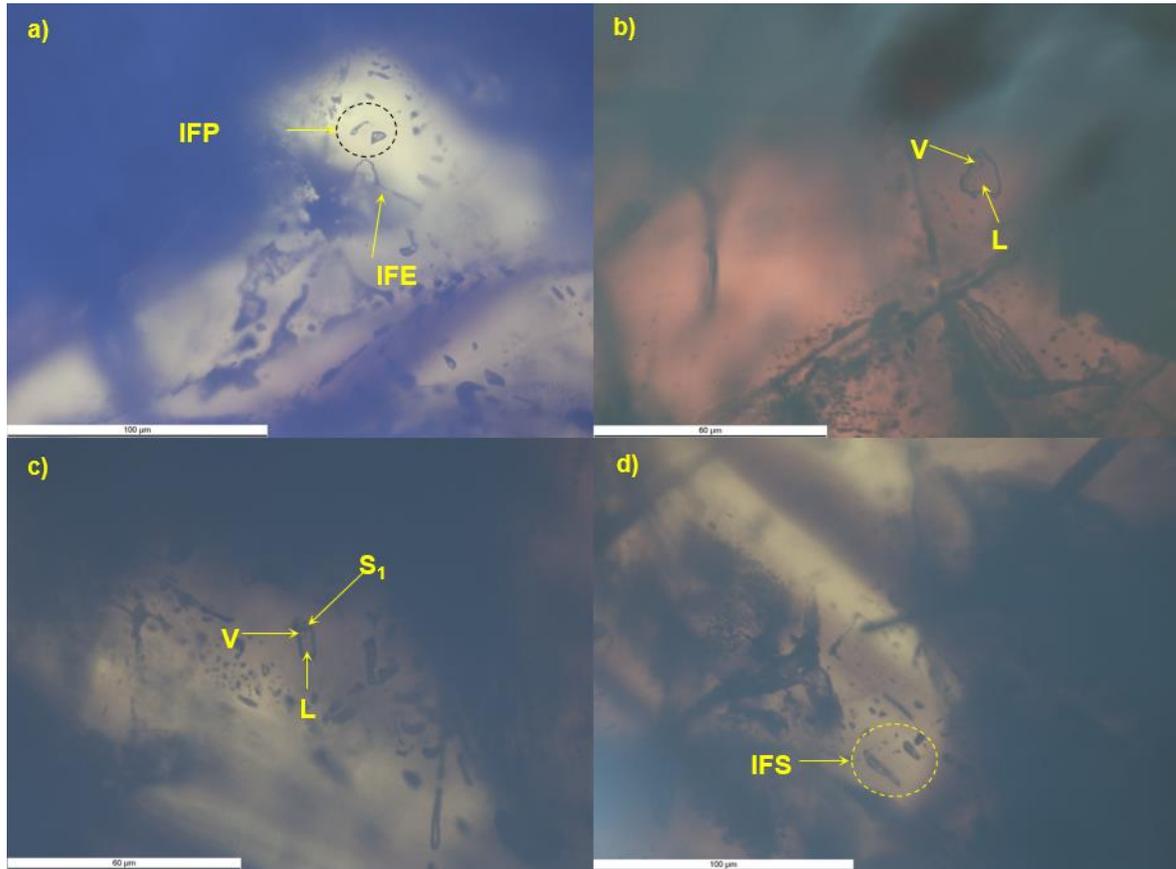


Figura 3.13. Inclusiones fluidas identificadas en esferita. a) Inclusiones primarias bifásicas, una con un cristal atrapado; al centro inclusión con rasgos de estrangulamiento. b) Inclusión primaria bifásica (L+V) de morfología irregular, con un grado de relleno de 0.95. c) Inclusión fluida primaria, bifásica del tipo L+V, el sólido (S₁) presente se interpreta como un cristal atrapado. d) Inclusiones secundarias alineadas con fracturas observadas, son bifásicas (L+V) con un grado de relleno aproximado de 0.80 y de morfología irregular. Simbología: IFE: Inclusión fluida estrangulada; IFP: Inclusión fluida primaria; IFS: Inclusión fluida secundaria; L: líquido; V: vapor; S₁: sólido 1.

Cuarzo amatista

Las inclusiones fluidas primarias en cuarzo amatista (muestra **Talamantes 52**) se encuentran aisladas (Fig. 3.14 a-d). En general son bifásicas ricas en líquido, con un grado de relleno de 0.90 y morfología irregular. También se observaron inclusiones fluidas secundarias asociadas a fracturas, e inclusiones fluidas con modificaciones postatrapamiento como estrangulamiento (Fig. 3.14 e-f). Se observaron asociaciones de inclusiones unifásicas de líquido relacionadas al cierre de fracturas.

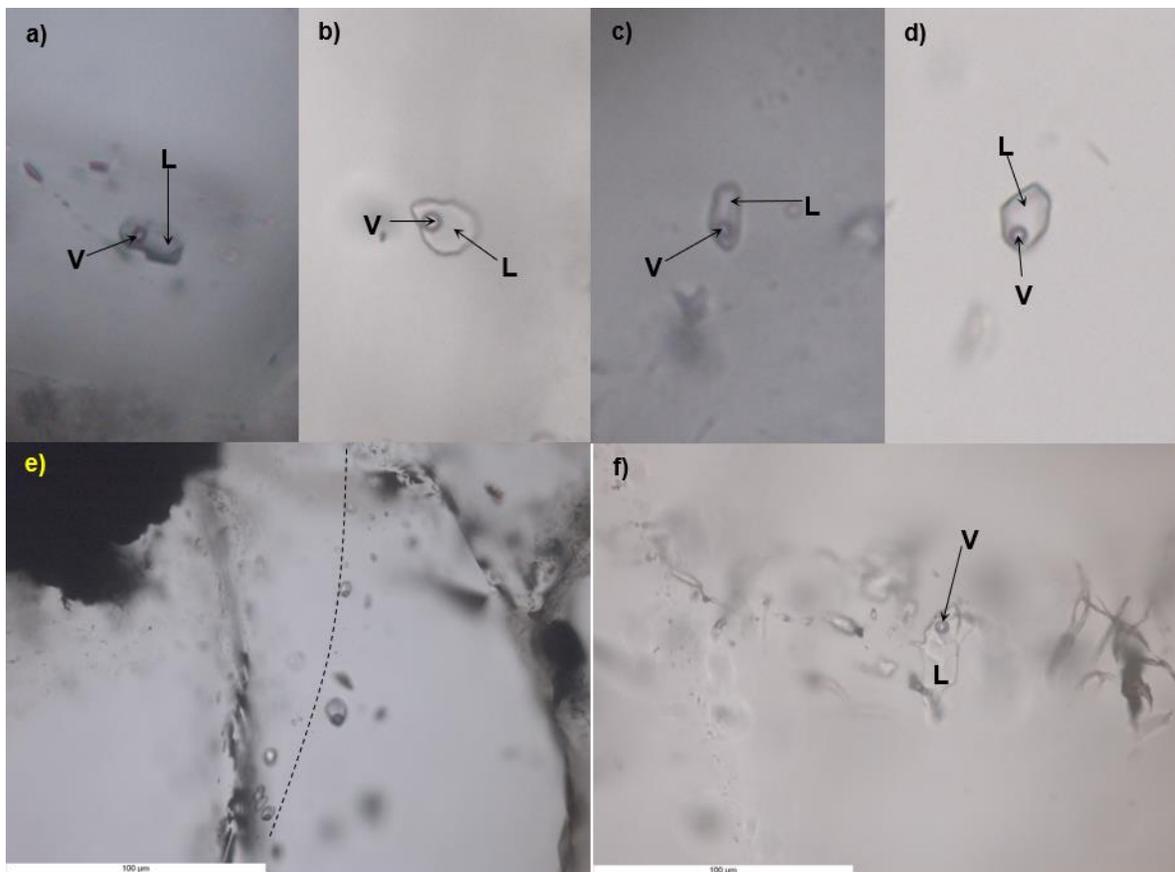


Figura 3.14. Inclusiones fluidas en cuarzo amatista. a), b), c) y d) Inclusiones primarias bifásicas ricas en líquido (grado de relleno de 0.90), la mayoría de morfología irregular. En d) la morfología es de cristal negativo. e) Inclusiones secundarias asociadas con una fractura, de morfología irregular y grado de relleno de aproximadamente 0.90. f) Inclusiones fluidas de morfología irregular y grado de relleno variable, localizadas en una zona de crecimiento. Simbología: L: líquido; V: vapor.

3.5.2. Microtermometría de inclusiones fluidas

Barita, fluorita y cuarzo de la etapa tardía

En la muestra Talamantes #27, las inclusiones fluidas alojadas en las fluoritas A y B presentan valores de salinidad que se encuentran entre 13.8 y 16.8 wt. % NaCl equiv. y 14.9 y 16.6 wt. % NaCl equiv., respectivamente. Las correspondientes al cuarzo tienen salinidades en el rango de 13 a 17.3 wt. % NaCl equiv. Los rangos de temperatura de homogeneización para cada una de las fases son entre 150.95 °C y 172.03°C, 155.49 °C y 168.09 °C y 136.14 °C y 187.06 °C, respectivamente, con lo que se definen las temperaturas más variables para las inclusiones alojadas en cuarzo (Fig. 3.15).

La salinidad correspondiente a las inclusiones alojadas en barita de la muestra Talamantes #33 es de entre 3.9 y 15 wt. % NaCl equiv. y las temperaturas de homogeneización son de entre 164 °C y 168 °C. Las salinidades determinadas para las inclusiones en fluorita y cuarzo van de 15 a 17 wt. % NaCl equiv. y de 14 a 16 wt. % NaCl equiv., respectivamente. Las temperaturas de homogeneización estimadas se encuentran en los intervalos de 154 °C a 177 °C y de 133 °C a 197 °C (Figura 3.15).

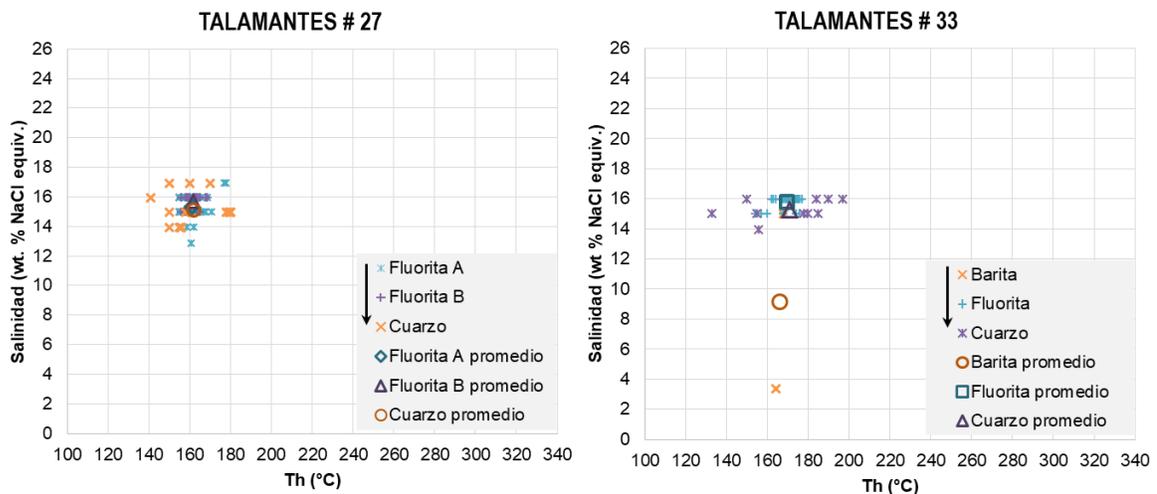


Figura 3.15. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad para las muestras Talamantes # 27 y # 33. La flecha señala la relación temporal de las fases estudiadas.

Las inclusiones fluidas en las baritas A y B de la muestra Pavito, presentan salinidades entre 17.8 y 20.5 wt. % NaCl equiv. y 19.5 y 21.7 wt. % NaCl equiv., respectivamente. Las temperaturas de homogeneización se encuentran en el rango de 188 °C a 207 °C y de 174 °C a 210 °C (Fig. 3.16).

Las inclusiones fluidas en barita de la muestra Morita 7 presentan salinidades entre 12.9 y 16.9 wt. % NaCl equiv. y temperaturas de homogeneización de 154 °C a 175 °C. Para las inclusiones fluidas alojadas en cuarzo de la muestra Morita 7A se estimaron salinidades de 23.2 wt. % NaCl equiv. y temperaturas de homogeneización entre 189 °C y 191 °C (Fig. 3.16).

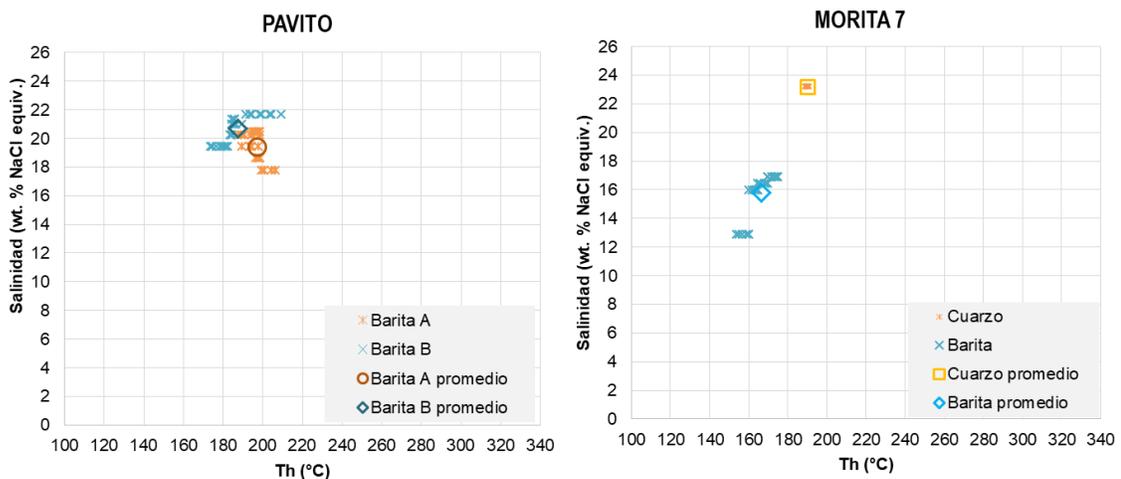


Figura 3.16. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) *versus* salinidad para las muestras correspondientes a las zonas mineralizadas Pavito y Morita 7.

Las salinidades en las inclusiones alojadas en barita de la muestra Tepostete son de 23.7 wt. % NaCl equiv., y las temperaturas de homogeneización van de 185 °C a 190 °C; para el cuarzo la salinidad registrada es de 23.7 wt. % NaCl equiv. y las temperaturas se encuentran entre 185 y 187 °C. La salinidad promedio de las inclusiones en barita de la muestra Tepostete Zocabón es de 23.1 wt. % NaCl equiv., y las temperaturas de homogeneización se encuentran entre los 180 y 188 °C (Fig. 3.17).

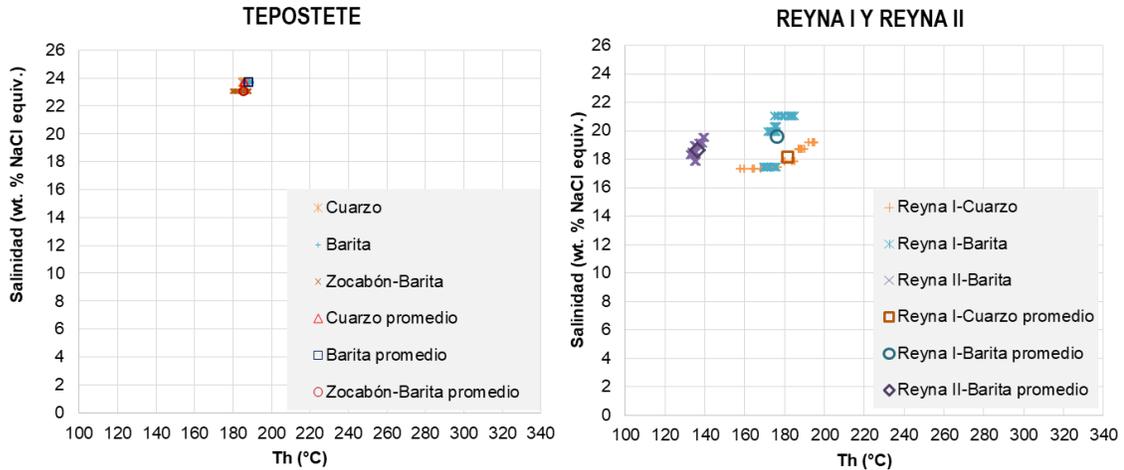


Figura 3.17. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) versus salinidad para las muestras colectadas en las zonas mineralizadas Tepostete y Reyna.

En la muestra Reyna I las inclusiones alojadas en barita presentaron salinidades entre 17.3 y 21 wt. % NaCl equiv. y temperaturas de homogeneización de 170 °C a 185 °C; las salinidades de las inclusiones en cuarzo van de 17.3 a 19.1 wt. % NaCl equiv. y las temperaturas de homogeneización se encuentran entre los 158 y 195 °C. Las salinidades de las inclusiones en barita de la muestra Reyna II van de 17.8 a 19.5 wt. % NaCl equiv. y las correspondientes temperaturas de homogeneización están en el rango de 133 a 140 °C (Fig. 3.17).

Las mediciones de microtermometría de la muestra Socorrito se hicieron en inclusiones fluidas alojadas en cuarzo, en donde se determinaron salinidades de 16.9 a 20.6 wt. % NaCl equiv. con temperaturas de homogeneización entre 168 °C y 183 °C (Fig. 3.18).

En la muestra Talamantes #28 las mediciones de microtermometría se realizaron en inclusiones fluidas alojadas en cuarzo. Las salinidades registradas van de 22.4 a 22.9 wt. % NaCl equiv. y las temperaturas de homogeneización se encuentran entre 180 y 187 °C (Fig. 3.18).

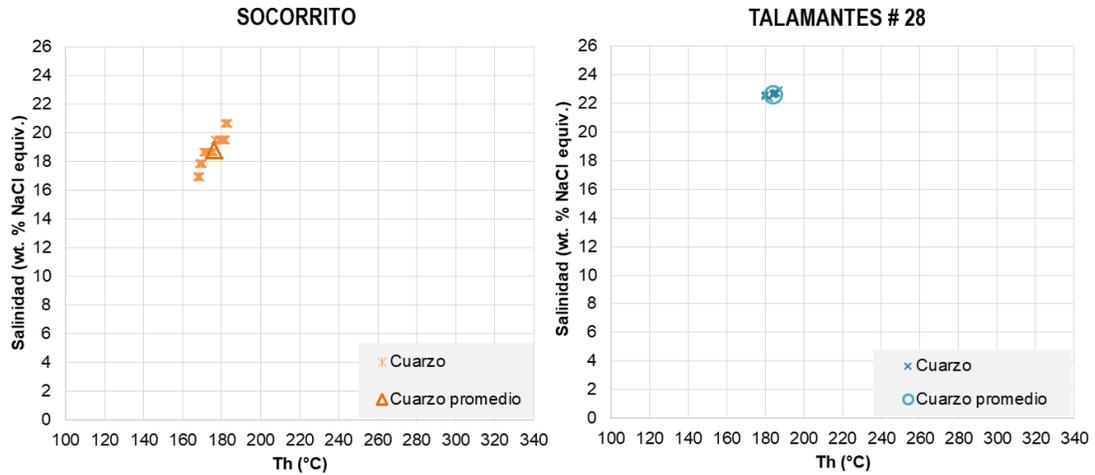


Figura 3.18. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) versus salinidad para las muestras Socorrito y Talamantes # 28.

En las muestras Talamantes #30, #35 y #66 las mediciones de microtermometría contemplaron a las inclusiones fluidas alojadas en cuarzo. Para la muestra Talamantes #30 la salinidad estimada es de 21.7 wt. % NaCl equiv. y las temperaturas de homogeneización van de los 108 °C a los 132 °C. En el caso de la muestra Talamantes #35 se definió una salinidad de 21 wt. % NaCl equiv. con temperaturas de homogeneización entre 115 °C y 128 °C. Las inclusiones medidas en la muestra Talamantes #66 presentan salinidades entre 20.1 y 20.4 wt. % NaCl equiv. y las temperaturas de homogeneización se encuentran entre 150 °C y 156 °C (Fig. 3.19).

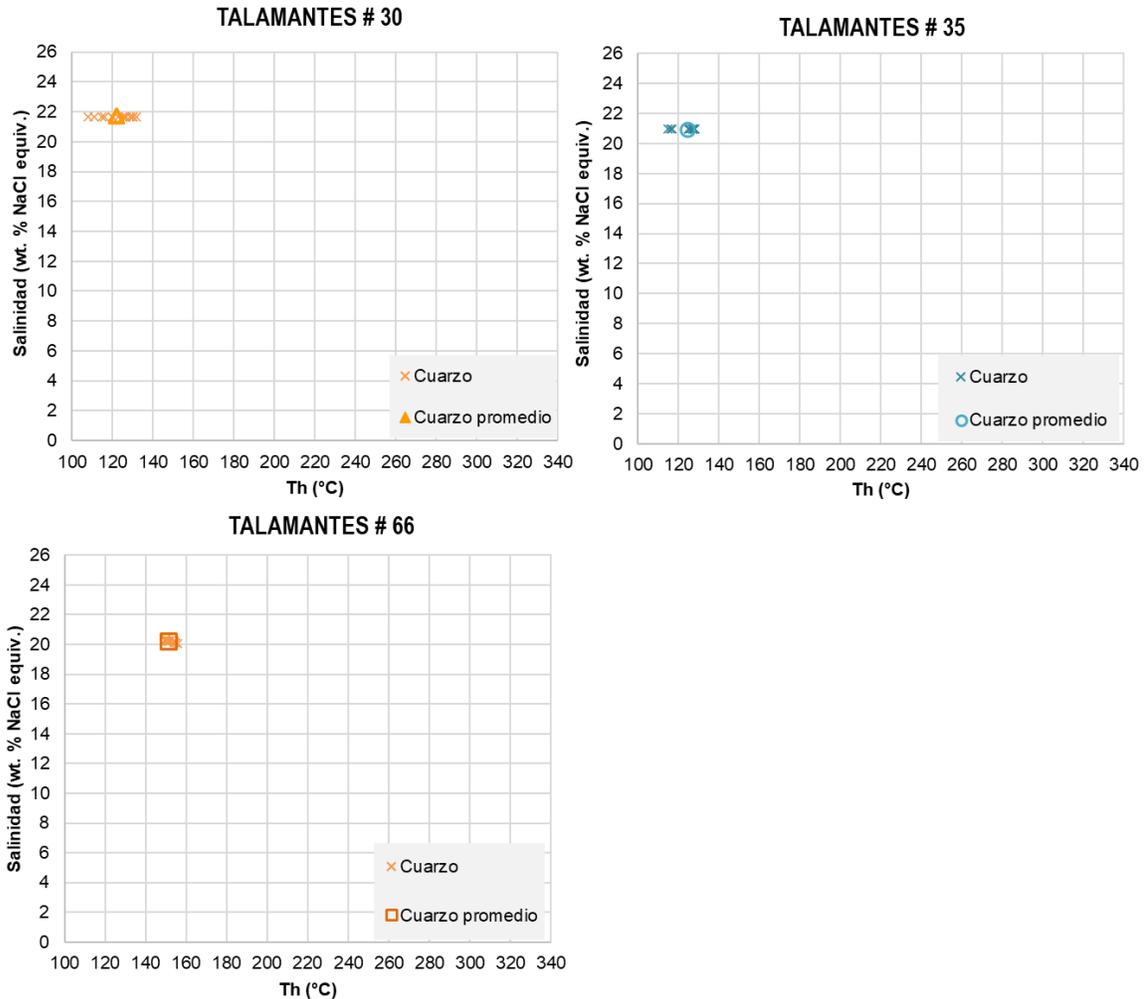


Figura 3.19. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) versus salinidad para las muestras Talamantes # 30, # 35 y # 66.

En resumen, esta asociación mineral presenta valores de salinidad promedio que van del 12.9 al 23.7 wt. % NaCl equiv. y temperaturas de homogeneización en el rango de 108 °C a 210 °C.

Las presiones de formación estimadas para esta asociación son menores a las correspondientes a la esfalerita y van de los 2.5 a los 12.5 bar, por lo que se presumen de formación más somera.

Esfalerita

De acuerdo con los resultados obtenidos en las mediciones microtermométricas de las cuatro inclusiones primarias identificadas en esta fase, la esfalerita tiene su origen a partir

de fluidos con salinidad entre 1.7 y 5 wt. % NaCl equiv., con temperaturas de precipitación entre 174 °C y 325 °C (Fig. 3.20).

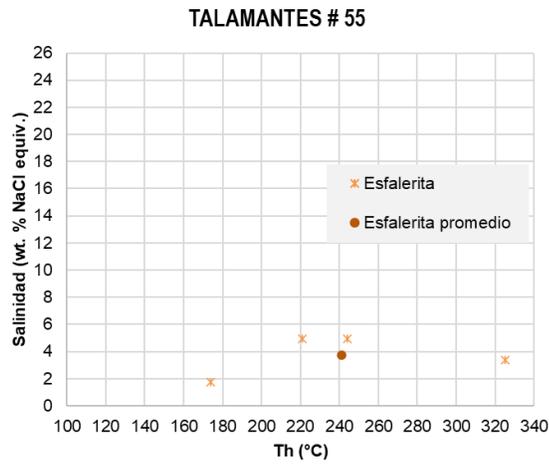


Figura 3.20. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) versus salinidad para la muestra Talamantes # 55.

En cuanto a la presión de formación estimada, se tiene un valor promedio de 46 bar, por lo que se infiere una profundidad aproximada de 200 m, al considerar un gradiente de presión litostático de 226 bar/km (Goldstein, 1994).

Cuarzo amatista

Las mediciones microtermométricas de inclusiones fluidas alojadas en el cuarzo de la muestra Talamantes #52, asociado con uno de los pulsos principales de óxidos de manganeso, arrojan salinidades entre 9.2 y 15 wt. % NaCl equiv., con valores poco menores a lo obtenido en diversas muestras de la asociación tardía; la temperatura de homogeneización presenta valores en el rango de 137 °C a 227 °C (Fig. 3.21). La presión promedio de formación estimada es de 10.83 bar.

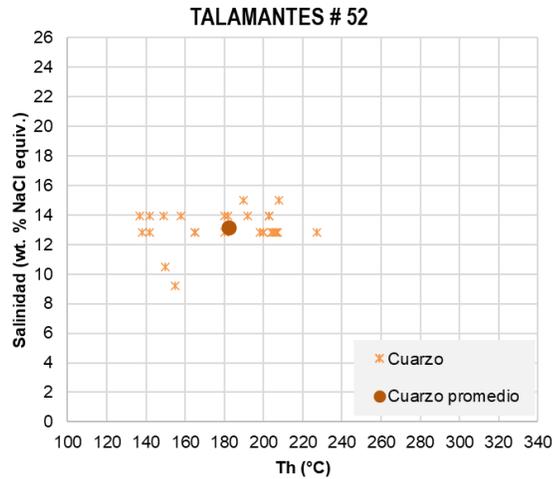


Figura 3.21. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) versus salinidad para la muestra Talamantes #52.

En la Figura 3.22 se presenta la correlación entre la temperatura de homogeneización y la salinidad de todos los datos obtenidos. En la Tabla 3.9 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos registrados de salinidad, temperatura de homogeneización y de fusión de hielo para cada FIA.

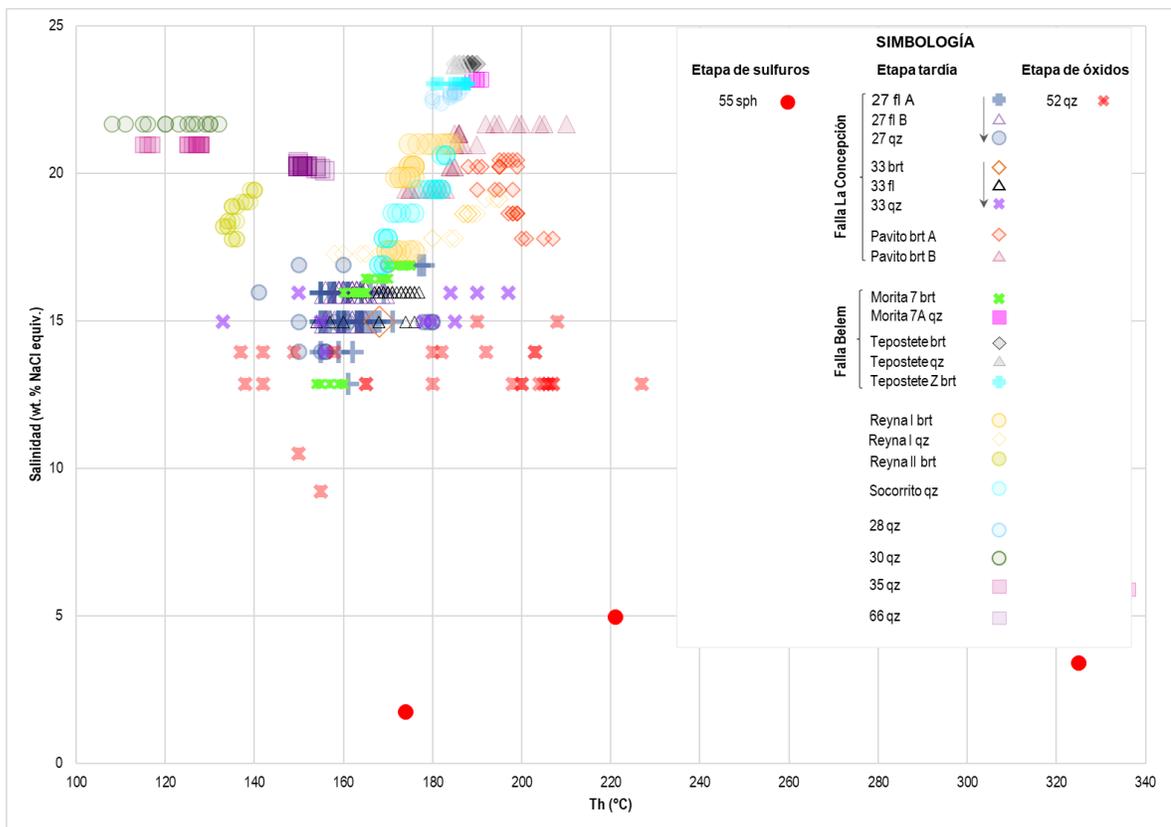


Figura 3.22. Diagrama de la temperatura de homogeneización (Th) versus salinidad de las mediciones de las muestras analizadas. Las flechas, en la simbología señalan la relación temporal entre los minerales de la muestra. Abreviaciones: brt: barita; fl: fluorita; qz: cuarzo; sph: esfalerita.

Tabla 3.9. Temperaturas de homogeneización, de fusión de hielo y salinidades medidas en las asociaciones de inclusiones fluidas primarias identificadas en diferentes muestras.

MUESTRA	MINERAL	NÚMERO DE INCLUSIONES	Temperatura de homogeneización			Temperatura de fusión de hielo			Salinidad		
			(°C)			(°C)			(wt. % NaCl equiv.)		
			Min.	Prom.	Máx.	Min.	Prom.	Máx.	Min.	Prom.	Máx.
Talamantes #27	Fluorita-A	47	155.00	161.49	178.00	-13.00	-11.32	-9.00	12.85	15.28	16.89
Talamantes #27	Fluorita-B	33	156.00	161.79	169.00	-12.00	-11.76	-11.00	14.97	15.72	15.96
Talamantes #27	Cuarzo	15	141.00	161.60	180.00	-13.00	-11.20	-10.00	13.94	15.15	16.89
Talamantes #33	Barita	2	164.00	166.00	168.00	-11.00	-6.50	-2.00	3.39	9.18	14.97
Talamantes #33	Fluorita	39	159.18	169.59	180.00	-12.60	-11.82	-11.04	15.01	15.78	16.55
Talamantes #33	Cuarzo	10	133.00	170.80	197.00	-12.00	-11.30	-10.00	13.94	15.26	15.96
Talamantes #52	Cuarzo	28	137.00	182.11	227.00	-11.00	-9.29	-6.00	9.21	13.14	14.97
Talamantes #55	Esfalerita	4	174.00	241.00	325.00	-3.00	-2.25	-1.00	1.74	3.76	4.96
Morita 7	Barita	31	154.00	166.39	175.00	-13.00	-11.87	-9.00	12.85	15.78	16.89
Morita 7A	Cuarzo	13	189.00	190.00	191.00	-21.20	-21.20	-21.20	23.18	23.18	23.18
Pavito	Barita-A	26	188.00	196.85	207.00	-17.30	-15.98	-14.00	17.79	19.41	20.45
Pavito	Barita-B	31	174.00	187.26	210.00	-19.00	-17.63	-16.00	19.45	20.67	21.68
Reyna I	Barita	32	170.00	175.94	185.00	-18.00	-16.28	-13.50	17.34	19.62	20.97
Reyna I	Cuarzo	28	158.00	181.54	195.00	-15.60	-14.44	-13.40	17.26	18.15	19.13
Reyna II	Barita	24	133.00	136.13	140.00	-16.00	-15.00	-14.00	17.79	18.63	19.45
Socorro	Cuarzo	28	168.00	175.89	183.00	-17.50	-15.25	-13.00	16.89	18.80	20.60
Tepostete	Barita	28	185.00	188.21	190.00	-22.00	-22.00	-22.00	23.70	23.70	23.70
Tepostete	Cuarzo	26	185.00	185.96	187.00	-22.00	-22.00	-22.00	23.70	23.70	23.70
Tepostete Z	Barita	17	180.00	185.65	188.00	-21.00	-21.00	-21.00	23.05	23.05	23.05
Talamantes #28	Cuarzo	11	180.00	183.82	187.00	-20.80	-20.40	-20.00	22.38	22.65	22.91
Talamantes #30	Cuarzo	14	108.00	122.29	132.00	-19.00	-19.00	-19.00	21.68	21.68	21.68
Talamantes #35	Cuarzo	14	115.00	124.57	128.00	-18.00	-18.00	-18.00	20.97	20.97	20.97
Talamantes #66	Cuarzo	20	150.00	151.55	156.00	-17.20	-17.00	-16.80	20.07	20.22	20.37

3.6. Isótopos estables

3.6.1. Isótopos de azufre

Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ para los minerales analizados se enlistan en la siguiente Tabla y se representan en el histograma de la Figura 3.23.

Tabla 3.10. Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ para los minerales analizados.

Muestra	Mineral	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ (‰)	Muestra	Mineral	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ (‰)
Talam 27-1	barita	15.6	Talam 50-1	barita	9.6
Talam 27-2	barita	15.5	Talam 50-2	barita	9.3
Talam 27-3	barita	15.2	Talam 54-3	arsenopirita	-0.6
Talam 31-1	barita	14.1	Talam 54-1	pirita	-1.7
Talam 31-2	barita	15.9	Talam 55-1	pirita	-1.4
Talam 31-3	barita	15.5	Talam 54-2	esfalerita	-1.4
Talam 33-1	barita	15.9	Talam 55-2	esfalerita	-1.1
Talam 33-2	barita	14.9	Talam 55-3	galena	-3.9
Talam 33-3	barita	16.6	Talam 64-1	galena	-7
Talam 34-1	barita	5.6			

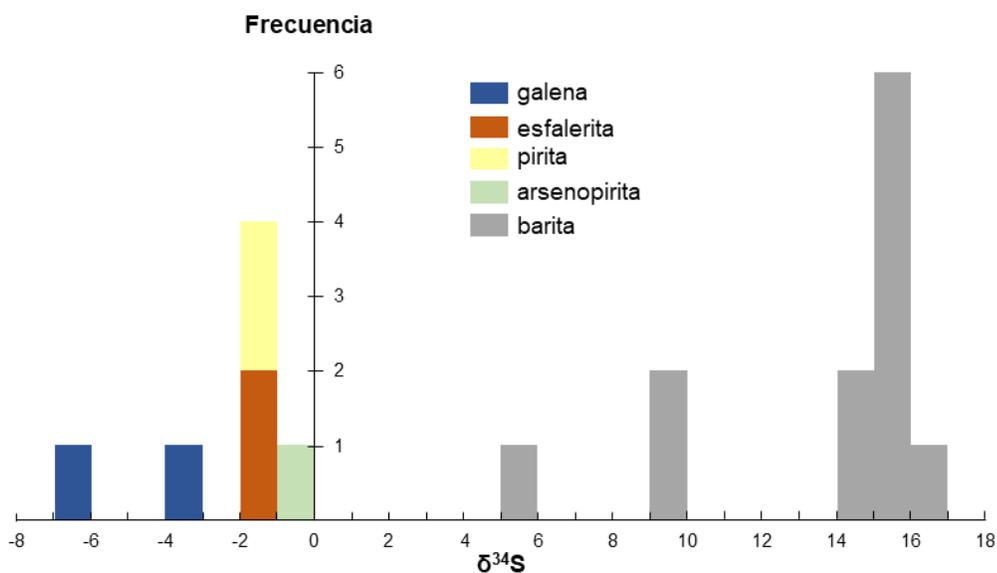


Figura 3.23. Histograma de $\delta^{34}\text{S}$ de acuerdo con la mineralogía. Se analizó un total de doce muestras de barita. En cuanto a la galena, pirita y esfalerita se tomaron dos muestras de cada fase y una de arsenopirita.

Los valores $\delta^{34}\text{S}$ de la barita son siempre positivos y van desde 5.6 hasta 16.6 ‰. En los sulfuros son siempre negativos, desde -0.6 ‰ (arsenopirita) hasta -7.0 ‰ (galena).

3.6.2. Isótopos de oxígeno en sulfatos y carbonatos

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ se obtuvieron en la mayoría de las muestras de barita analizadas por isótopos de azufre. Sin embargo, en la muestra Talamantes #33 los resultados obtenidos son inconsistentes, posiblemente debido a la presencia de impurezas, por lo que no se consideran en este trabajo. Por otra parte, debido a que la cantidad de muestra de barita de las muestras Talamantes # 31-1 y # 34-1 disponible fue insuficiente, por lo que el análisis no se llevó a cabo. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ para el resto de las muestras de esta fase se encuentran entre 6.8 y 11.4 ‰.

En cuanto a los carbonatos, las muestras de calcita analizadas por isótopos de carbono y oxígeno corresponden a diferentes estadios de la mineralización. En el caso de los especímenes Talamantes # 54 y # 57 se trata de calcita posterior a sulfuros, en rellenos de veta. Las muestras Talamantes # 60 y # 62 se recolectaron en brechas hidrotermales sin presencia de sulfuros. El resto de las muestras son considerablemente posteriores a la mineralización, en estos casos la calcita se obtuvo de pequeñas vetas que cortaban diversas litologías de la zona de estudio, rocas ígneas extrusivas e hipabisales y rocas sedimentarias. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ en carbonatos son en general mayores a los de sulfatos y van de 12 a 25 ‰. En la Tabla 3.11 se muestran los valores $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ para cada una de las fases analizadas, en la Figura 3.24 se presenta el histograma correspondiente.

Tabla 3.11. Los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ para los minerales analizados.

Muestra	Mineral	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	Muestra	Mineral	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)
Talam 27-1	barita	7.61	Talam 34-3	barita	10.60
Talam 27-2	barita	6.79	Talam 50-1	barita	9.80
Talam 27-3	barita	6.98	Talam 50-2	barita	9.90
Talam 31-1	barita		Talam 62	calcita	8.20
Talam 31-2	barita	7.30	Talam 60	calcita	14.83
Talam 31-3	barita	7.20	Talam 57	calcita	11.95
Talam 33-1	barita		Talam 54	calcita	14.70
Talam 33-2	barita		Talam 35	calcita	21.13
Talam 33-3	barita		Talam 37	calcita	19.33
Talam 34-1	barita		Talam 50	calcita	24.37
Talam 34-2	barita	11.40	Talam 64	calcita	18.29

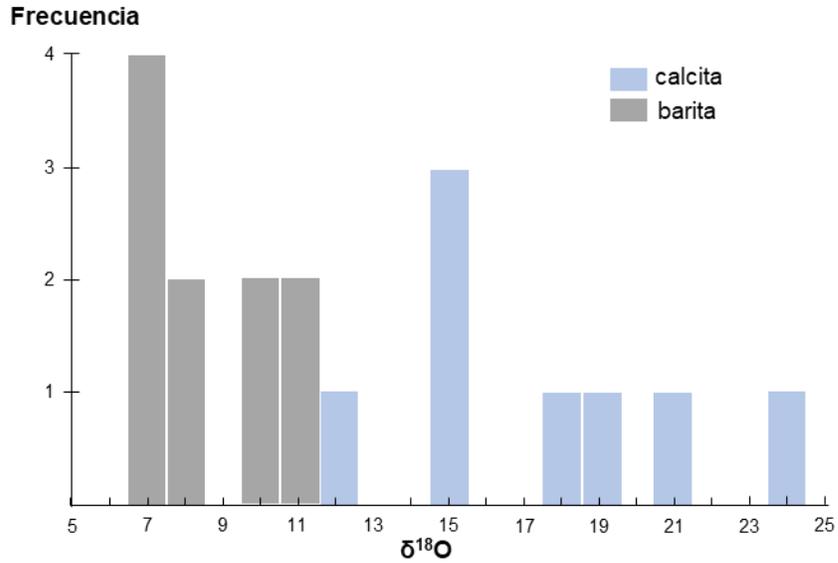


Figura 3.24. Histograma de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ de acuerdo con la mineralogía.

3.6.3. Isótopos de carbono

Los valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ van de -8 a 6 ‰. En las muestras Talamantes #54 y #57, relacionadas de manera directa con la mineralización de sulfuros el $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ es de -5.63 y -7.94 ‰ respectivamente; la muestra Talamantes #35 presenta un valor de -6.27 ‰. El resto están relativamente enriquecidas en este isótopo con valores mayores a -1.96 ‰ y hasta 5.56 ‰.

Capítulo 4: Discusión y conclusiones

4.1. Discusión

4.1.1. Geocronología

De acuerdo con las relaciones temporales interpretadas entre la mineralización y las edades de las rocas ígneas datadas, la formación de los yacimientos de óxidos de manganeso del Distrito Minero Talamantes está asociada al magmatismo que dio origen a la Sierra Madre Occidental.

La andesita (Tala-8) con una edad media ponderada de 82.11 ± 0.63 Ma presenta una edad similar a las reportadas para andesitas de *El Jaralito* (78 ± 1.10 Ma) a 200 km de Talamantes; otros autores reportan andesitas del Complejo Volcánico Inferior a 75 km al oeste de la zona de estudio. Con base en la edad obtenida en la muestra Tala-8 y la presencia de unidades andesíticas en la cercanía se interpreta que las andesitas de Talamantes pertenecen al emplazamiento diacrónico del vulcanismo andesítico del Complejo Volcánico Inferior interpretado por Prian *et al.* (1999) entre el Campaniano y el Eoceno Superior en la región.

Ferrari (2007) define un evento magmático (precursor del magmatismo ignimbrítico del Oligoceno) en el Eoceno que inicia hace 46 Ma y continúa de manera casi ininterrumpida hasta hace 27.5 Ma. La edad media ponderada de la riolita de 37.61 ± 0.68 Ma (Eoceno, Bartoniano) se encuentra dentro de los límites temporales establecidos por Ferrari para dicho evento, por lo que la riolita de Talamantes se considera parte de este.

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, la mineralización de óxidos de manganeso se encuentra alojada en fracturas de la riolita en la *Mesa de Talamantes*, por lo que la edad de la mineralización debe ser menor a 37 Ma.

Ambas unidades, andesitas y riolitas, están relacionadas al magmatismo calco-alcalino asociado a la subducción de la placa *Farallón* bajo la placa *Norteamericana*. Este tipo de magmatismo ha sido relacionado con los yacimientos epitermales, y en México, de acuerdo con Albinson *et al.* (2001) y Camprubí y Albinson (2006, 2007), está relacionado con la mayoría de los yacimientos epitermales de sulfuración intermedia y baja.

Respecto a la geología estructural de la zona se han reconocido al menos cuatro fallas (Fernández del Olmo, 1980; Wilson y Rocha, 1984), relacionadas al emplazamiento de la mineralización en Talamantes. Diferentes autores (Henley, 1985; Sibson, 1987; Simmons *et al.*, 2005 en Findley, 2010) hacen referencia a lo favorables que son este tipo de estructuras, dependiendo de su extensión, ya sea para el emplazamiento de cuerpos ígneos que propicien la actividad hidrotermal o como vías de ascenso de fluidos mineralizantes.

4.1.2. Mineralogía y química mineral, similitudes con otros yacimientos

Los yacimientos en el Distrito Minero Talamantes se expresan en forma de brechas y vetas en las diferentes zonas mineralizadas. La asociación de sulfuros está constituida por arsenopirita, pirita, esfalerita, calcopirita, galena, tetraedrita–tennantita y eskimoita y la asociación tardía está representada por barita, fluorita, hematita, goethita, holandita y coronadita, en este orden de precipitación.

La sucesión mineral paragenética de la etapa de sulfuros en los yacimientos de Talamantes (arsenopirita, pirita, esfalerita, calcopirita, galena y sulfosales de plata y plomo) es similar a la señalada en depósitos clasificados como epitermales de sulfuración intermedia, por ejemplo: *Creede* (Plumlee, 1994), *La Guitarra* (Camprubí, 2001; Camprubí y Albinson, 2007), *Yerranderie* (Downes, 2007), *Fresnillo* (Velador, 2010), *Miguel Auza* (Findley, 2010), *Cheshmehe Hafez* (Mehrabi y Siani, 2012), entre otros. Sillitoe y Hedenquist (2003) y Wang *et al.* (2019) mencionan que los yacimientos de sulfuración intermedia se caracterizan por la presencia de pirita-esfalerita-galena-calcopirita-tetraedrita/tennantita y sulfosales de plata, además de cuarzo-carbonatos manganesíferos ± adularia ± silicatos manganesíferos ± barita e illita como alteración mineral proximal. Hedenquist *et al.* (2000) clasifican a los yacimientos que presentan este tipo de asociación como un subgrupo de los yacimientos de baja sulfatación. Estos autores señalan que el contenido de FeS de la esfalerita es en general bajo. Sin embargo, Wang *et al.* (2019) indica que es posible encontrar esfalerita rica en Fe. De acuerdo con Findley (2010), el incremento en el contenido de FeS en la esfalerita refleja la disminución de la fugacidad de S a ciertas temperaturas. Wang *et al.* (2019) mencionan que este incremento puede tener su origen en eventos intermitentes como ebullición, interacción local con rocas o pulsos reducidos de origen magmático o sedimentario. Scott y Barnes (1971), Czamanske (1974) y Einaudi *et al.* (2003) indican que los cambios en el porcentaje molar de FeS de la

esfalerita que coexiste con pirita o pirrotina reflejan la variabilidad del estado de sulfuración en un sistema dado.

La esfalerita analizada durante el desarrollo de este trabajo presenta dos tendencias en el porcentaje molar de FeS:

1. valores dentro del rango de 14 a 21 % (muestras Talamantes #50, #54 y #64) y
2. valores de 2.4 a 8.6 % (muestra Talamantes #55),

De acuerdo con Barton *et al.* (1977) y Einaudi *et al.* (2003), el mol % de FeS en esfalerita en los sistemas de sulfuración intermedia varía típicamente de <1 a 10 mol %, pero se han reportado valores por encima de 20 mol %, lo que contrasta con los valores reportados para yacimientos de alta sulfuración (0.05 a 1 mol % de FeS) y baja sulfuración (20 a 40 mol % de FeS) (Scott y Barnes, 1971; Czamanske, 1974; Einaudi *et al.* 2003).

Scott (1983), Lusk *et al.* (1993) y Vaughan y Craig (1997) entre otros, mencionan que las propiedades refractarias de la esfalerita y arsenopirita permiten la estimación de la actividad de azufre (a_{S_2}) y de temperaturas de formación, ya que en particular el mol % de FeS y el at % de arsénico (As) en esfalerita y arsenopirita, respectivamente, reflejan las condiciones fisicoquímicas durante la precipitación de estas fases (Scott y Barnes, 1971; Scott, 1983).

Con la finalidad de estimar los parámetros mencionados, los valores promedio del contenido de FeS (en esfalerita) y arsénico (en arsenopirita) de cada una de las muestras fueron graficados en el diagrama construido por Scott (1983) con aportaciones de diferentes autores (Fig. 4.1). Los pares mol % FeS y at % de arsénico se encuentran en el campo de estabilidad de la pirita. Las muestras Talamantes #50, #54 y #64 se encuentran próximos al campo de estabilidad de la pirrotina. Mientras que los datos de la muestra Talamantes #55 no pertenecen a ninguno de los campos definidos, probablemente debido a un desequilibrio químico entre la esfalerita y arsenopirita; de acuerdo con Scott (1983) el mol % de FeS en esfalerita en equilibrio con pirita y arsenopirita es de, por lo menos, 10 %.

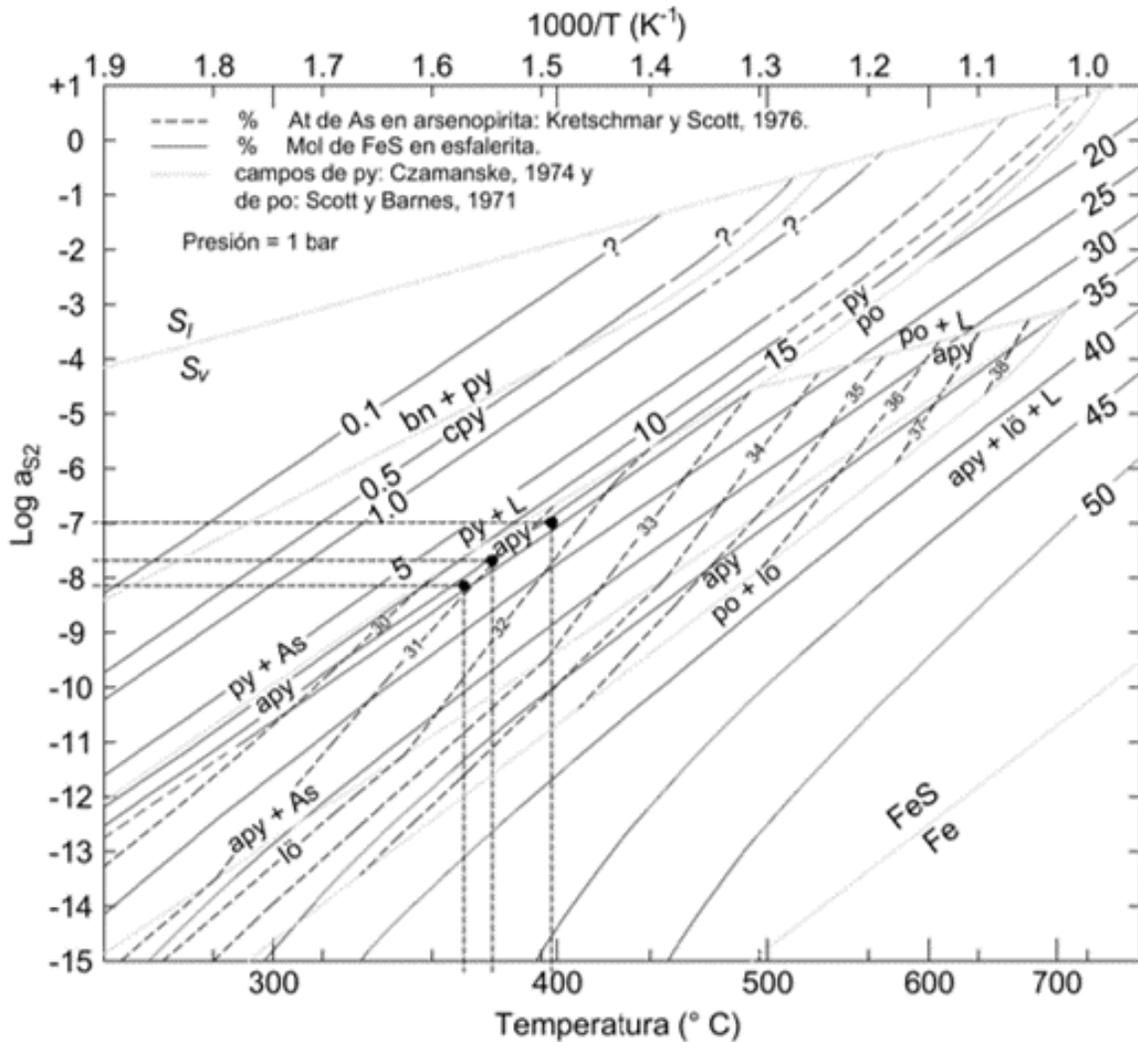


Figura 4.1. Campos de estabilidad mineral con isopletas mol % de FeS en esfalerita y at % de As en arsenopirita, a 1 bar de presión. Los campos en los que se grafican pares de datos mol % FeS y at % de As (promedio) correspondientes en muestras de Talamantes, Chihuahua. Tomado de Scott (1983).

Las temperaturas de formación estimadas de manera gráfica van de 350 a 380 °C, aproximadamente. Los valores de la actividad de azufre se encuentran en el intervalo de 10⁻⁸ a 10⁻⁷. Por otra parte, la diferencia del contenido de hierro en esfalerita de la muestra Talamantes #55 respecto al resto, puede estar relacionada a un cambio súbito en la actividad de S₂ (a_{S2}) en el ambiente de deposición, quizá como parte del desequilibrio mencionado con la arsenopirita.

El uso de la serie tetraedrita-tennantita como un indicador de procesos petrogenéticos radica en su capacidad para la formación de soluciones sólidas, particularmente si la composición original se conserva o puede ser reconstruida (Sack y Ebel, 2006, Sack,

2016). Sack (2005), con información actualizada de los parámetros termoquímicos que rigen el comportamiento de estas fases, estableció las isothermas asociadas a las relaciones molares $Ag/(Ag+Cu)$ y $Zn/(Zn+Fe)$ en tetraedrita-tennantita coexistiendo con miargirita, pirargirita y esfalerita. Si bien las isothermas han sido calculadas de acuerdo con la asociación mineral mencionada, su uso como geotermómetro se ha extendido a casos en los que la asociación está incompleta. Lo anterior, considerando que las temperaturas estimadas, sobre todo en los casos en que la miargirita no se encuentra presente, deben ser asumidas como las mínimas de cristalización (Chutas & Sack, 2004).

En la Figura 4.2 se muestran las isothermas establecidas por Sack (2005) y la localización correspondiente a cada uno de los análisis realizados en freibergita de la muestra Talamantes #50, así como en tetraedrita rica en plata de la muestra Talamantes #55.

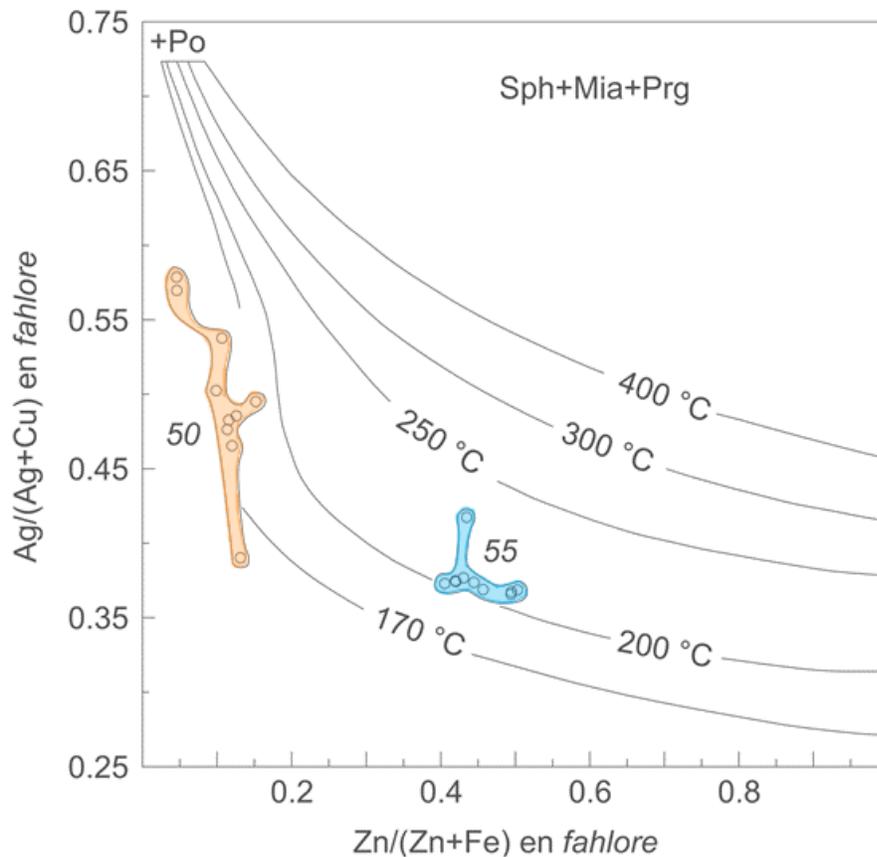


Figura 4.2. Isotermas establecidas por Sack (2005), con la asociación mineral *fahrole* + miargirita (Mia) + pirita + esfalerita (Sph). Graficadas las relaciones molares $Zn/(Zn+Fe)$ y $Ag/(Ag+Cu)$ de cada uno de los análisis en freibergita y tetraedrita rica en plata de las muestras Talamantes #50 y #55 (anaranjado y azul, respectivamente).

Las relaciones obtenidas en freibergita ubican la temperatura de formación alrededor de la isoterma de los 170 °C. Las relaciones elementales estimadas en tetraedrita están ligeramente sobre la isoterma de 200 °C. Ambas temperaturas serán consideradas como temperaturas mínimas de precipitación.

La temperatura mínima de formación estimada en tetraedrita rica en plata de la muestra Talamantes #55 es de poco más de 200 °C, mientras para la esfalerita coexistente está entre los 174 y 325 °C. En esta muestra la tetraedrita se encuentra reemplazando de manera parcial las zonas centrales de cristales de galena. De acuerdo con Chutas y Sack (2004) existen dos procesos que pudieron haber dado lugar a la formación de esta fase:

1. la interacción de galena con un fluido hidrotermal ligeramente posterior al que dio origen a la asociación de sulfuros pirita + arsenopirita + esfalerita + galena o
2. la exsolución de la tetraedrita a partir del reequilibrio químico de galena inicialmente mezclada con tetraedrita-tennantita.

La freibergita que reemplaza los bordes de algunos cristales de calcopirita en la muestra Talamantes #50 presenta una temperatura mínima de formación de 170 °C.

Otro mineral identificado durante este estudio es la eskimoita, perteneciente a la serie de homólogos de la lillianita (sulfosales ricas en bismuto). Daqing (1987) y Foard y Shawe (1989) han definido un rango de temperaturas de estabilidad para las fases que integran el sistema $Ag_2S - PbS - Bi_2S_3$, que va de los 200 a los 400 °C. De acuerdo con Daqing (1987) estas fases se encuentran asociadas con galena, especialmente en yacimientos minerales hipogénicos y de acuerdo con Foard y Shawe (1989) este mineral cristaliza o exsuelve en un ambiente con exceso de bismuto.

La asociación tardía es una serie reactiva compuesta por barita-fluorita-cuarzo en donde existen manifestaciones de óxidos de hierro y manganeso; estos minerales han sido identificados en yacimientos epitermales de óxidos de manganeso, en particular algunas manifestaciones de barita han sido relacionadas a aumentos súbitos en el potencial de oxidación de los fluidos mineralizantes. De acuerdo con Leal (2004) en el Distrito de Manganeso de las Sierras Pampeanas, la mayoría de los minerales de ganga, entre ellos

barita y fluorita, fueron precipitados principalmente debido a cambios de pH y temperatura, sugiriendo que la oxidación de H_2S , para formar SO_4 , generó la precipitación de la barita.

En el Distrito Hiendelaencina, España, se presenta cierta distribución mineralógica que consiste en abundante barita en la parte superior del sistema, mientras la parte inferior es rica en sulfuros como resultado de un zoneamiento en la fugacidad de oxígeno, de acuerdo con Concha *et al.* (1992).

Hewett *et al.* (1963) analizaron óxidos de manganeso de diferentes ambientes geológicos. Concluyeron que la presencia de Ba es más usual en óxidos de manganeso de origen hipógeno que supérgeno, por lo que la holandita es más común en mineralizaciones hipógenas. Por otra parte, señalan que la existencia de más de 0.10 wt. % (porcentaje en peso) de tungsteno (W) en óxidos de manganeso indica un origen hipógeno. En el presente estudio, si bien la holandita analizada presenta una variación composicional, existen sectores ricos en W cuyos máximos son de alrededor de 5.5 wt. %, correspondiendo de acuerdo con Hewett *et al.* (1963) a un origen hipógeno para los óxidos presentes en la zona de Talamantes. Wilson y Rocha (1948) reportan la presencia de WO_3 en un 2.92 wt. % en un psilomelano de la mina San Antonio —dato retomado por Fernández del Olmo (1980) aún sin considerar una relación entre el origen de los óxidos y la presencia de W. Existen diferentes estudios en los que se ha definido que el enriquecimiento de W está asociado a procesos magmático-hidrotermales, en particular respecto a óxidos de manganeso se tienen el Depósito Hidrotermal Vani al NW de la Isla Milos en Grecia (Papavassiliou, *et al.*, 2017), el Distrito de Manganeso de las Sierras Pampeanas en Argentina (Leal, 2004) y los depósitos de Mn de New Ross en Canadá (O'Reilly, 1992).

4.1.3. *Etapas tardías e inclusiones fluidas*

Para los minerales de la asociación tardía se determinaron las siguientes temperaturas de formación: barita de 133 °C a 210 °C, fluorita 155 °C a 180 °C y cuarzo de 133 °C a 195 °C con salinidades entre 3.4 y 23.1 wt. % NaCl equiv., de 12.9 a 16.9 wt. % NaCl equiv. y 13.9 y 23.7 wt. % NaCl equiv., respectivamente.

Diferentes autores han establecido intervalos de temperaturas de homogeneización y salinidad para los yacimientos epitermales de sulfuración intermedia. Camprubí y Albinson (2006, 2007) establecen temperaturas entre 230 y 300 °C y salinidades de 7.5 a 23 wt. %

NaCl equiv., para esta tipología en México. Wang (2019) define un rango más amplio para estas variables, con temperaturas de 150 a 350 °C y salinidades de 0 a 23 wt. % NaCl equiv. Hedenquist *et al.* (2000), Sillitoe y Hedenquist (2003) concluyen que temperaturas de 160 a 320 °C son típicas para esta clase de yacimientos. Findley (2010) menciona que los depósitos de sulfuración intermedia han sido interpretados como precipitados a partir de fluidos moderadamente salinos (5-20 wt. % NaCl equiv.), y de temperatura moderada (150-300 °C). Los valores obtenidos en minerales de la zona de Talamantes se encuentran de manera general en los intervalos citados.

Las variaciones de salinidad y temperatura observadas pudieron ser originadas por una mezcla de fluidos (sea por debajo del ambiente epidermal o dentro de éste), o por la participación de diferentes pulsos hidrotermales en la formación del depósito, ya que de acuerdo con Gemmell *et al.* (1988), Albinson y Rubio (2001), Camprubí *et al.* (2001) y Camprubí y Albinson (2006, 2007) la mayoría de los depósitos epitermales en México tienen un carácter polifásico y multiepisódico, dando como resultado variaciones de las propiedades de los fluidos mineralizantes.

Ruaya y Seward (1986) concluyen que los metales base y la plata son transportados preferentemente como complejos clorurados, lo que implica una mayor capacidad de transporte de los fluidos con el incremento de la salinidad (Camprubí y Albinson, 2007). Por ello, es probable que los fluidos hidrotermales de la zona mineralizada de Talamantes hayan tenido una gran capacidad de transporte considerando las salinidades registradas en este estudio para los minerales de la asociación tardía.

4.1.4. Isótopos estables

Diferentes autores (Field, 1985; Faure y Mensing, 2005; Misra, 2012) han concluido que el valor $\delta^{34}\text{S}$ en sulfuros cercano a cero se debe a que el azufre relacionado al origen de estos minerales proviene de una fuente magmática. No obstante, de acuerdo con Ohmoto (1972) la composición isotópica de azufre y carbono en los minerales hidrotermales es fuertemente controlada por la fugacidad de oxígeno (f_{O_2}), el pH de los fluidos hidrotermales, la temperatura y la composición isotópica original. Por lo anterior, el valor de $\delta^{34}\text{S}$ en sulfuros cercano a cero, no necesariamente implica un origen magmático del S.

Ohmoto (1972) calcula el fraccionamiento isotópico del azufre en sulfatos y sulfuros a diversas temperaturas, considerando la fugacidad de oxígeno, el pH, la composición

isotópica de los fluidos y la concentración de S; además toma en cuenta los campos de estabilidad de las fases minerales involucradas. Los contornos de valores $\delta^{34}\text{S}$ obtenidos para pirita y barita, precipitando a partir de un fluido magmático ($\delta^{34}\text{S}=0\text{‰}$), a una temperatura de 250 °C, así como los campos de estabilidad de los minerales del sistema Fe-S-O para diferentes concentraciones de S, y la frontera de solubilidad de la barita, se muestran en la Figura 4.3.

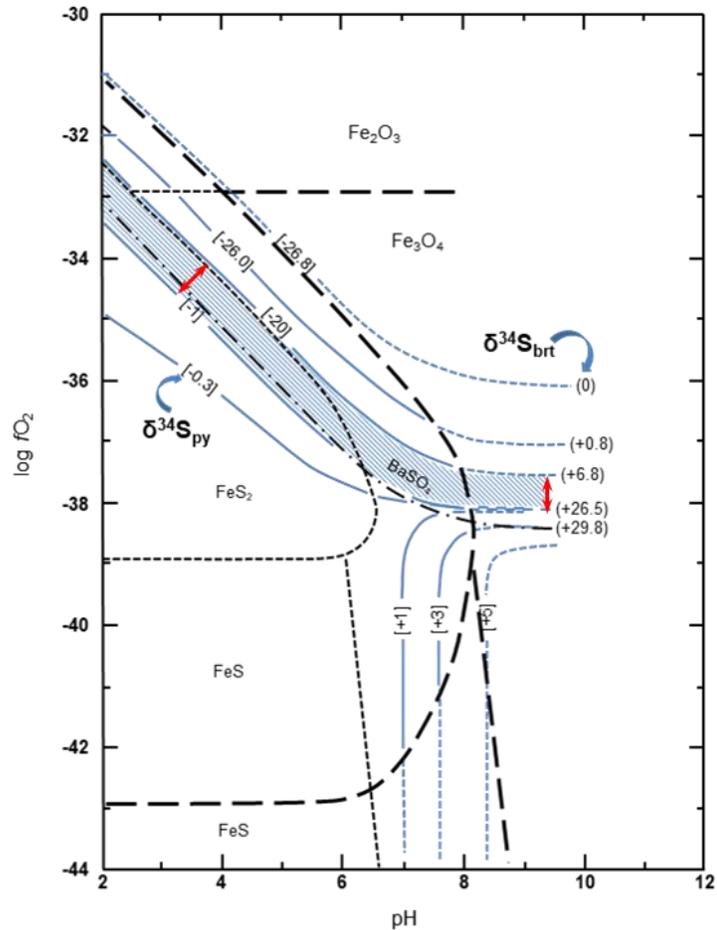


Figura 4.3. Comparación de las posiciones de los contornos $\delta^{34}\text{S}$ con los campos de estabilidad de minerales del sistema Fe-S-O y barita. T =250°C.

- : Contornos $\delta^{34}\text{S}$. Los valores en corchetes [] corresponden a la pirita; los paréntesis () a la barita, a partir de un fluido con $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}} = 0\text{‰}$.
 - : Fe-S-O fronteras de mineral a $\Sigma\text{S} = 0.1$ moles/kg H_2O .
 - : Fe-S-O fronteras de mineral a $\Sigma\text{S} = 0.001$ moles/kg H_2O .
 - · - · - : Fronteras de barita soluble/insoluble en $m_{\text{Ba}^{2+}} * m_{\Sigma\text{S}} = 10^{-4}$.
- Bajo estas condiciones de temperatura un incremento de $m_{\text{Ba}^{2+}}$ o de $m_{\Sigma\text{S}}$ de un orden de magnitud, baja la frontera por alrededor de 0.5 unidades de $\log f\text{O}_2$. Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ obtenidos para sulfuros y sulfatos corresponden aproximadamente a la zona sombreada en azul. Tomado de Ohmoto, 1972.

Los resultados obtenidos en este estudio se ubican en la zona definida por Ohmoto (1972) entre los valores de $\delta^{34}\text{S}$ de -1 a -20 ‰ para la pirita y de 26.5 a 6.8 ‰ para la barita. Si empleamos estos resultados como trazadores del origen del azufre asociado a la mineralización, los valores obtenidos para sulfuros (negativos cercanos a 0 ‰) y sulfatos (positivos) se encuentran dentro del intervalo identificado para mineralizaciones relacionadas con azufre de origen magmático de acuerdo con Field (1985), Faure y Mensing (2005) y Misra (2012), entre otros. Además, Albinson *et al.* (2001) y Camprubí *et al.* (2006) han notado una relación cercana entre la presencia de fluidos magmáticos y la precipitación de minerales metálicos en los depósitos epitermales mexicanos.

Diversos autores han analizado las composiciones isotópicas de carbono en diferentes sistemas geológicos. Por ejemplo, los valores $\delta^{13}\text{C}$ para el CO_2 en gases volcánicos va de -6 a -2 ‰, de acuerdo con Faure (2005). Berger y Bethke (1985), asignan a las rocas ígneas valores de -10 a 3 ‰ y a las carbonatitas, de -10 a 2 ‰. Ohmoto (1979) define un rango menos variable, de -5 ± 2 ‰, en minerales precipitados a partir de fluidos magmáticos. De acuerdo con Misra (2012), valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -10 y -5 ‰, pueden ser producidos por fluidos de diferentes fuentes si el pH y la f_{O_2} son tales que $\delta^{13}\text{C} \approx \delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{C}}$, es probable que la fuente de C sea magmática, pero no es la única posibilidad (Rye y Ohmoto, 1974, en Misra, 2012).

Por otra parte, datos de sistemas geotérmicos modernos sugieren que en los fluidos geotermiales de los depósitos de baja temperatura ($T < 250^\circ\text{C}$), el equilibrio isotópico de carbono entre CO_2 y CH_4 no se alcanza. Por esta razón, la variación de $\delta^{13}\text{C}$ en especies fluidas y minerales es probablemente un reflejo de la variación de la fuente de carbono, como lo menciona Ohmoto (1986). Además, el mismo autor sugiere valores de $\delta^{13}\text{C}$ determinados en aguas juveniles de alrededor de -6 ‰.

Si tomamos como referencia los datos antes mencionados, sobre todo el intervalo definido por Ohmoto (1979), el carbono en las muestras Talamantes #35, #54 y #57, podría considerarse de origen mayoritariamente magmático; además, al menos en la muestra Talamantes #54, los carbonatos están asociadas directamente con sulfuros, en los que se ha determinado un origen magmático para el azufre. El resto de las muestras se alejan un tanto de este rango de valores, en general hacia valores más positivos. Esto, en principio, se puede explicar al considerar la naturaleza de las muestras, que como se mencionó,

forman parte de etapas tardías, por lo que los fluidos debieron ser distintos, probablemente con una mayor influencia del carbono en las rocas encajonantes.

De acuerdo con Berger y Bethke (1985) es posible identificar el origen del oxígeno en los fluidos empleando los valores $\delta^{18}\text{O}$. Por un lado, los minerales formados en ambientes sedimentarios están notablemente enriquecidos en este isótopo, respecto a los correspondientes magmáticos. Adicionalmente, los magmas presentan valores de $\sim 6 - 10$ ‰, enriquecidos en ^{18}O con respecto al agua de mar. Este enriquecimiento se debe a los grandes fraccionamientos permitidos a bajas temperaturas que prevalecen en la hidrosfera. Por otra parte, el oxígeno es el mayor constituyente de la corteza ($\sim 46.6\%$), por lo que la composición isotópica de este elemento tiene una alta probabilidad de ser alterada por las reacciones agua-roca; esto indicará la interacción del fluido con otras fuentes de oxígeno.

En la Figura 4.4 se muestra una compilación de las distribuciones de $\delta^{18}\text{O}$ en los diferentes ambientes geológicos (Berger y Bethke, 1985), y se señalan los campos de valores correspondientes a carbonatos y sulfatos en muestras de la zona de estudio.

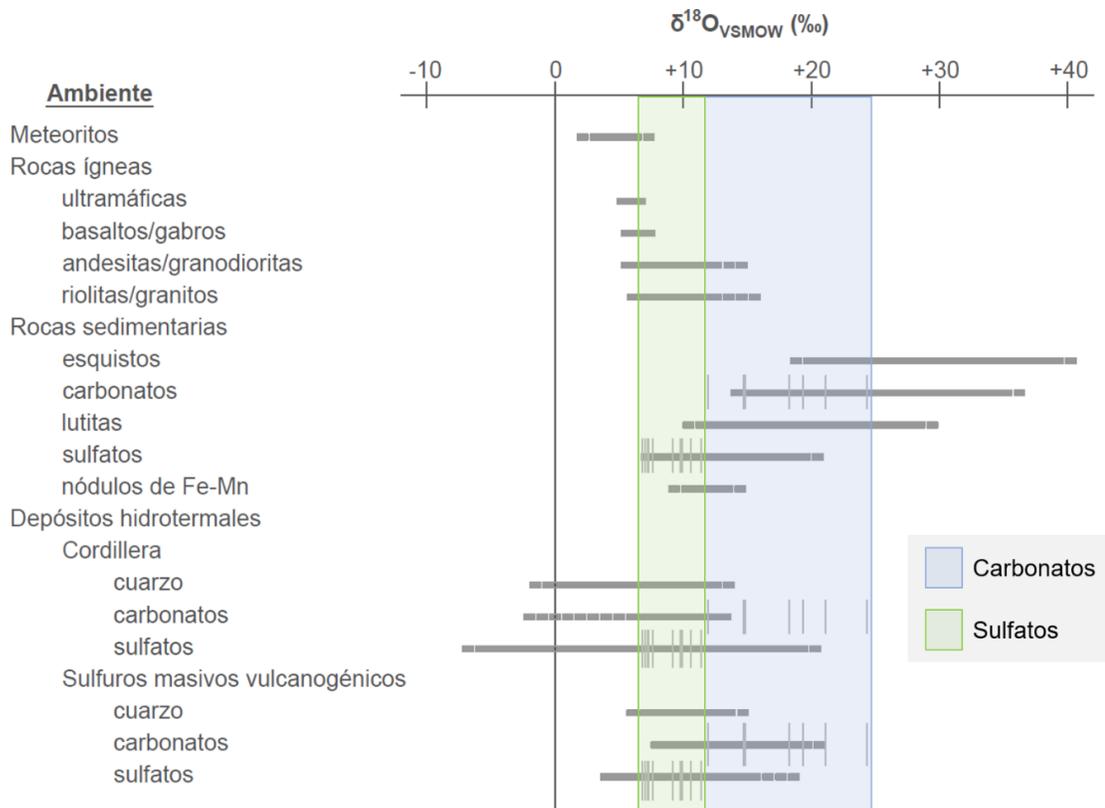


Figura 4.4. Distribución de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ en ambientes geológicos y valores registrados en las muestras de sulfatos y carbonatos del proyecto. Tomado de Berger y Bethke (1985).

Los valores de isótopos de oxígeno obtenidos en carbonatos son variables y están relacionados con la naturaleza de la calcita en cada una de las muestras que como se mencionó con anterioridad, pertenecen a diferentes etapas de la mineralización. El valor menor resultó para la muestra Talamantes #57, siendo de 11.95 ‰, que de acuerdo con la recopilación de Berger y Bethke (1985) se encuentra en el rango establecido para carbonatos de depósitos hidrotermales precipitados a partir de aguas magmáticas. Los valores alrededor de 14.5 ‰ y mayores, considerando lo establecido por los autores y la naturaleza de las muestras de calcita, se interpretan como representantes de fluidos que han interactuado con las rocas encajonantes.

En la Figura 4.5 se muestran los campos de composición isotópica de carbonatos de diferentes ambientes geológicos. Las calcitas analizadas en este estudio, si bien presentan cierta dispersión, en su mayoría se encuentran dentro o cerca del campo de las carbonatitas.

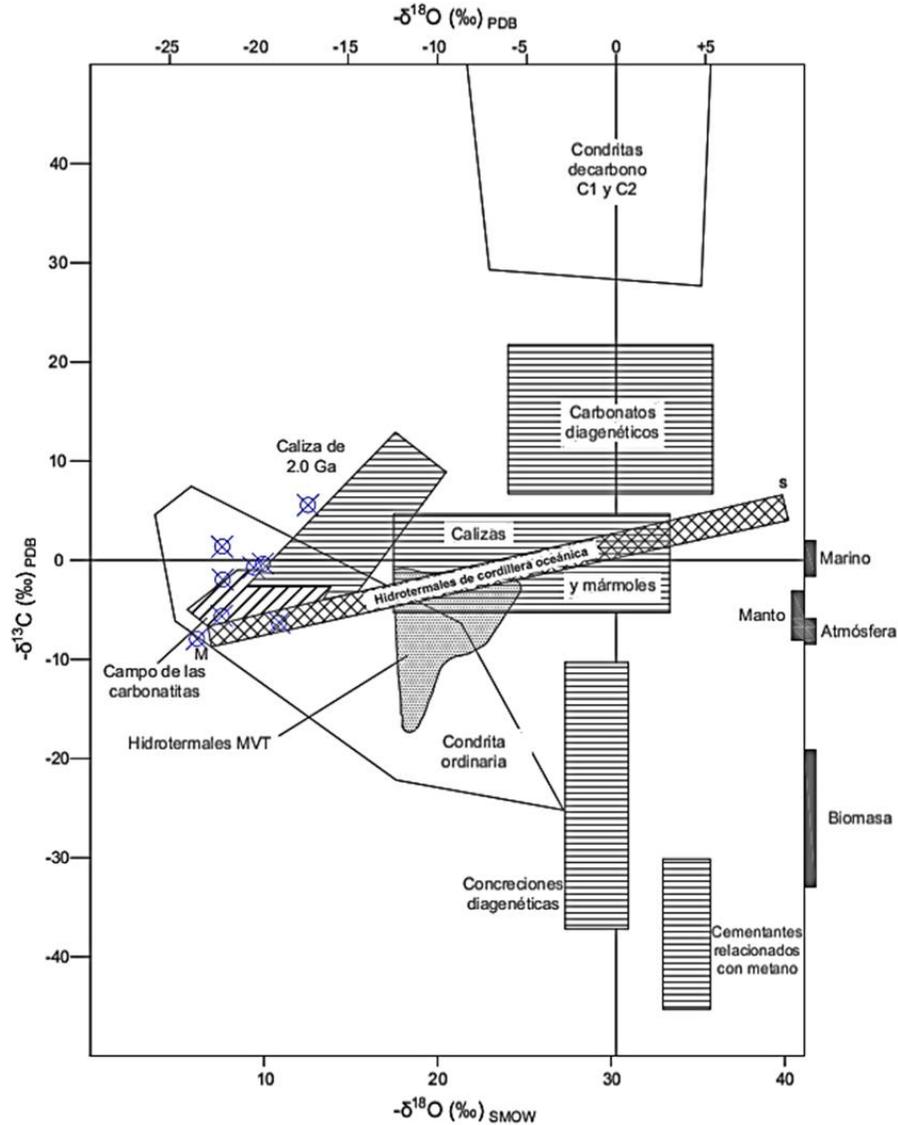


Figura 4.5. Campos de composición isotópica de carbonatos de diferentes ambientes geológicos, en azul los valores obtenidos para las calizas de la zona de estudio. Tomado de Rollinson, 1993.

Como complemento se cuenta con el análisis de isótopos de oxígeno en barita, cuyos valores $\delta^{18}\text{O}$ se encuentran en el intervalo de 7.6 a 11.4 ‰, coincidentes con los valores establecidos para sulfatos en depósitos hidrotermales, en rocas sedimentarias y en depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos.

4.1.5. Clasificación tipológica

La presencia de zonas con skarnificación y de diferentes rocas ígneas alteradas en el área de estudio son evidencia de la actividad hidrotermal que tuvo lugar en algún momento. En particular, la presencia de andesitas, en su mayoría con alteración propilítica moderada, puede tener alguna relación con las andesitas identificadas por Prian *et al.* (1999) al norte de Hidalgo del Parral, cuyas edades de rejuvenecimiento son de 36.85 ± 0.54 Ma, 39.04 ± 0.56 Ma y 37.25 ± 0.54 Ma, correlacionables con la edad de la riolita de Talamantes determinada en este trabajo. De acuerdo con Prian *et al.* (1999) las andesitas se encuentran intruídas por el pórfido *Parral* que se extiende desde *Santa Bárbara* hasta *Valle de Ignacio Allende*, por lo que se considera probable que este pórfido tenga alguna relación con el hidrotermalismo en la zona de estudio.

Hedenquist y Lowenstern (1994), Hedenquist *et al.* (2000) y Simmons *et al.* (2006) coinciden al asociar los yacimientos epitermales de sulfuración intermedia con la existencia de alteración propilítica de extensión regional. Hedenquist y Lowenstern (1994) proponen que esto se debe a que la neutralización de los vapores magmáticos ocurre a profundidad y gran escala. Respecto a un zoneamiento de alteraciones en estos epitermales, Hedenquist (2000) menciona la existencia de alteración argílica proximal; Simmons *et al.* (2005) definen la existencia de minerales arcillosos, carbonatos y zeolitas, en los niveles superiores, y como minerales de alteración proximal cuarzo, adularia, illita y pirita. Sí bien algunas de las muestras analizadas en este trabajo presentan alteración argílica, la información recabada no permite ser concluyente respecto a la distribución de las alteraciones presentes. Por otra parte, de acuerdo con Leal (2004) en este tipo de yacimientos es posible que el proceso de alteración se presente incompleto debido a la baja temperatura a la cual tiene lugar el evento hidrotermal.

Wang *et al.* (2019) concluyen que los yacimientos de sulfuración intermedia están relacionados con rocas volcánicas andesíticas que pueden y se han asociado con la presencia de pórfidos, y probablemente ser co-magmáticos con estos.

La zona mineralizada Talamantes se encuentra en el borde este de la Sierra Madre Occidental. Los eventos que dieron origen a esta provincia geológica han sido relacionados, por diversos autores (Camprubí y Albinson, 2007; Findley, 2010), con la presencia de yacimientos epitermales en México.

Es común que el manganeso en los yacimientos epitermales de sulfuración intermedia precipite en forma de alabandita y/o rodocrosita, ya que es más usual encontrar las condiciones fisicoquímicas que favorezcan la precipitación del manganeso en estas dos fases. Sin embargo, al parecer en los yacimientos de Talamantes se reunieron las condiciones para que el manganeso precipitara como óxidos, dentro de las cuales podemos mencionar como probables: la baja disponibilidad de carbonato y azufre y la existencia de un medio reducido y ácido (Roy, 1992) en niveles profundos del sistema. Estas condiciones permitirían el ascenso del manganeso con ligantes como Cl^- y SO_4^{2-} (Heinrich *et al.*, 1999) a horizontes más someros con fugacidades de oxígeno extremadamente altas que, de acuerdo con Norman *et al.* (1983) y Roy (1968), son necesarias para la precipitación de este elemento en forma de óxidos (Crerar *et al.*, 1980; Roy, 1981). En algunos yacimientos se ha determinado la mezcla de fluidos, como uno de los mecanismos de precipitación, ya que resuelve las altas fugacidades de oxígeno necesarias al considerar la participación de aguas meteóricas (Hewett, 1964; Norman *et al.*, 1983).

Estilos de mineralización similares al del distrito de Talamantes se presentan en las Islas de Milos (Papavassiliou, 2017), en donde los sulfuros anteceden a los óxidos de manganeso. En el Distrito de manganeso de Sierras Pampeanas, Argentina la mineralización de óxidos de manganeso es acompañada por barita y fluorita (Leal, 2004). De acuerdo con Crerar *et al.* (1980), los depósitos de manganeso epitermal pueden clasificarse en tres grupos, dentro de los cuales Talamantes podría incluirse en los de baja temperatura que contienen fluorita y barita. Depósitos similares a los de Talamantes se han descrito antes en México, Argentina, Francia, Marruecos e Italia y más de 200 depósitos al SW de Estados Unidos.

De acuerdo con los estudios de isótopos estables realizados existe la participación de una fuente magmática, aunque también existen otras aportaciones, quizá de aguas meteóricas o de las rocas encajonantes de la zona de estudio. El hecho de que exista una combinación de fluidos de diferentes fuentes en los yacimientos epitermales de sulfuración intermedia y baja en México ha sido antes notada por Camprubí y Albinson (2007).

A pesar de que la ebullición es el mecanismo de precipitación más importante para la precipitación de minerales metálicos en los yacimientos epitermales de intermedia y baja sulfuración en México (Simmons *et al.*, 1988; Simmons, 1991; Albinson y Rubio, 2001;

Albinson *et al.*, 2001; Camprubí *et al.*, 2001), en este caso la evidencia de ebullición para la precipitación de la asociación de sulfuros es únicamente la presencia de cuarzo *jigsaw* en algunas de las muestras, por lo que se considera tuvo lugar en niveles restringidos de la mineralización. Si bien la mezcla de fluidos como un mecanismo para la precipitación de minerales en el ambiente epitermal es comúnmente sujeto de debate, en este caso parece ser altamente probable, al menos para la asociación tardía y los óxidos de manganeso. De acuerdo con Corbett y Leach (1998) la mezcla de un fluido ascendente rico en metales y cloruro con aguas oxidadas descendentes de bajo pH puede tener lugar y llevar a la precipitación de minerales debido a la insolubilización de complejos bisulfurados, además en yacimientos de óxidos de manganeso este mecanismo ha sido citada.

4.2. Conclusiones

- (1) Los yacimientos de Talamantes se circunscriben a las características de los yacimientos epitermales de sulfuración intermedia.
- (2) Los fluidos mineralizantes alcanzan salinidades de hasta 23 wt. % NaCl equiv. y temperaturas entre 133 y 325 °C.
- (3) Las temperaturas de formación de los sulfuros van de 350 a 380 °C con actividad de azufre de 10^{-9} a $10^{-6.5}$ y las temperaturas mínimas de formación de las sulfosales se estimaron en freibergita 170 °C y en tetraedrita 200 °C.
- (4) Las composiciones isotópicas de C y O de los fluidos mineralizantes son compatibles con un origen mayoritariamente magmático de éstos, con una posible componente de origen sedimentaria y meteórica.
- (5) Las composiciones isotópicas del azufre constitutivo de sulfuros y sulfatos de la mineralización proceden de fuentes mayoritariamente magmáticas, con una componente adicional de fuentes posiblemente sedimentarias.
- (6) Las edades de las riolitas en que se emplazan los yacimientos epitermales de Talamantes (37.61 ± 0.68 Ma) indican que la mineralización se originó durante uno de los eventos magmáticos que dio lugar a la formación de la Sierra Madre Occidental.

(7) Las mineralizaciones de Mn constitutivas de la parte superior de las estructuras mineralizadas son congruentes con un origen hipogénico de las mismas y corresponden a la expresión superficial del sistema hidrotermal.

(8) Es posible que en la formación de los yacimientos de Talamantes hayan participado diferentes pulsos hidrotermales.

Referencias Bibliográficas

- Albinson, T., Norman, D. I., Cole, D., Chomiak, B. (2001). *Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data*. Special Publication-Society of Economic Geologists,8, 1-32.
- Albinson, T., Rubio, M. A. (2001). *Mineralogic and thermal structure of the Zuloaga vein, San Martín de Bolaños district, Jalisco, Mexico*. Special Publication-Society of Economic Geologists,8, 115-132.
- Atkinson Jr, A. B. (2002). *A model for the PTX properties of H₂O-NaCl* (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Berger, B. R., Bethke, P. M. (Eds.). (1985). *Geology and geochemistry of epithermal systems*. Society of economic geologists.
- Bodnar, R. J. (1983). *A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids*. Economic Geology, 78(3), 535-542.
- Bodnar, R. J., Bethke, P. M. (1984). *Systematics of stretching of fluid inclusions; I, Fluorite and sphalerite at 1 atmosphere confining pressure*. Economic Geology, 79(1), 141-161.
- Bodnar, R. J., Reynolds, T. J, Kuehn, C. A. (1985). *Fluid inclusion systematics in epithermal systems*. Review in Economic Geology, v. 2.
- Bodnar, R. J. (1993). *Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 57(3), 683-684.
- Bodnar, R. J. (1994). *Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions* in Fluid inclusions in minerals: methods and applications, 117-130.
- Burisch, M., Walter, B. F., Markl, G. (2017). *Silicification of hydrothermal gangue minerals in Pb-Zn-Cu-fluorite-quartz-baryte veins*. The Canadian Mineralogist, 55(3), 501-514.
- Campa, M. F., Coney, P. J. (1983). *Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico*. Canadian Journal of Earth Sciences, 20(6), 1040-1051.

Camprubí, A., Canals, À., Cardellach, E., Prol-Ledesma, R. M., Rivera, R. O. (2001). *The La Guitarra Ag-Au low-sulfidation epithermal deposit, Temascaltepec district, Mexico: vein structure, mineralogy, and sulfide-sulfosalt chemistry*. Special Publication-Society of Economic Geologists, 8, 133-158.

Camprubí, A., Ferrari, L., Cosca, M. A., Cardellach, E., Canals, À. (2003). *Ages of epithermal deposits in Mexico: regional significance and links with the evolution of Tertiary volcanism*. Economic Geology, 98(5), 1029-1037.

Camprubí, A., Chomiak, B. A., Villanueva-Estrada, R. E., Canals, À., Norman, D. I., Cardellach, E., Stute, M. (2006). *Fluid sources for the La Guitarra epithermal deposit (Temascaltepec district, Mexico): Volatile and helium isotope analyses in fluid inclusions*. Chemical Geology, 231(3), 252-284.

Camprubí, A., Albinson, T. (2007). *Epithermal deposits in México—Update of current knowledge, and an empirical reclassification*. Geological Society of America Special Papers, 422, 377-415.

Camprubí, A. (2013). *Tectonic and metallogenic history of Mexico*. Tectonics, metallogeny, and discovery: the North American Cordillera and similar accretionary settings: Society of Economic Geologists, Special Publication, 17, 201-243.

Centeno-García, E., Anderson, T. H., Nourse, J. A., McKee, J. W., Steiner, M. B. (2005). *Review of Upper Paleozoic and Lower Mesozoic stratigraphy and depositional environments, central and west Mexico: Constraints on terrane analysis and paleogeography*. Special Papers-Geological Society of America, 393, 233.

Chutas, N. I., Sack, R. O. (2004). *Ore genesis at La Colorada Ag-Zn-Pb deposit in Zacatecas, Mexico*. Mineralogical Magazine, 68(6), 923-937.

Clark, K. F., De la Fuente, F. E. (1978). *Distribution of mineralization in time and space in Chihuahua, Mexico*. Mineralium Deposita, 13(1), 27-49.

Clark, K. F. (1980). *Magmatismo en el norte de México en relación a los yacimientos metalíferos*. Consejo de Recursos Minerales.

- Concha, A., Oyarzun, R., Lunar, R., Sierra, J., Doblás, M., Lillo, J. (1992). *The Huelmo epithermal silver-base metal district, Central Spain: tectonic and mineralizing processes*. *Mineralium Deposita*, 27(2), 83-89.
- Coplen, T. B. (2002). *Compilation of minimum and maximum isotope ratios of selected elements in naturally occurring terrestrial materials and reagents* (Vol. 1, No. 4222). US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Coney, P. J., Campa, M. F. (1987). *Lithotectonic terrane map of Mexico*: US Geological Survey Miscellaneous Field Studies map. MF-1874-D.
- Crerar, D. A., Cormick, R. K., Barnes, H. L. (1980). *Geochemistry of manganese: an overview*. *Geology and geochemistry of manganese*, 1, 293-334.
- Daqing, W. (1987). *Phase relations in the systems Cu₂S-PbS-Bi₂S₃ and Ag₂S-PbS-Bi₂S₃ and their mineral assemblages*. *Chinese Journal of Geochemistry*, 6(3), 225-233.
- Downes, P. M. (2007). *Yerranderie a Late Devonian Silver–Gold–Lead Intermediate Sulfidation Epithermal District, Eastern Lachlan Orogen, New South Wales, Australia*. *Resource Geology*, 57(1), 1-23.
- Faure, G., & Mensing, T. M. (2005). *Isotopes: principles and applications*. Wiley-Blackwell.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Bryan, S. (2007). *Magmatism and tectonics of the Sierra Madre Occidental and its relation with the evolution of the western margin of North America*. *Geological Society of America Special Papers*, 422, 1-39.
- Fernández del Olmo, S. A., (1980). *Yacimientos de manganeso en México*, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM. 85-88.
- Field, C. W. (1985). *Light stable-isotope systematics in the epithermal environment. in Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*. *Reviews in Economic Geology*, 2, 99-128.
- Findley, A. (2010). *Structural, mineralogical and geochronological constraints of the Miguel Auza intermediate-sulfidation Ag-rich polymetallic mineralization deposit, Zacatecas, Mexico* (Doctoral dissertation).

- Foard, E. E., Shawe, D. R. (1989). *The Pb-Bi-Ag-Cu-(Hg) chemistry of galena and some associated sulfosalts: a review and some new data from Colorado, California and Pennsylvania*. Canadian Mineralogist, 27, 363-382.
- Ford, C. E. (1993). *Phase relations in the Fe-Zn-S system to 5 kbars and temperatures between 325 degrees and 150 degrees C*. Economic Geology, 88(7), 1880-1903.
- Goldstein, H. R. (1994). *Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals*. SEPM short course, 31, 199.
- Hedenquist, J. W., Lowenstern, J. B. (1994). *The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits*. Nature, 370(6490), 519-527
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., González, E. (2000). *Exploration for epithermal gold deposits*. Reviews in Economic Geology, 13(2), 45-77.
- Heinrich, C. A., Günther, D., Audétat, A., Ulrich, T., Frischknecht, R. (1999). *Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions*. Geology, 27(8), 755-758.
- Herrera, D., Herrera, J. (2001). *Texto explicativo: Carta Valle de Allende, Clave G13-A58, Escala 1:50,000, Estado de Chihuahua, Cartografía Geológico-Minera y Geoquímica. Chihuahua*. Consejo de Recursos Minerales.
- Herrera, D., Herrera, J. (2002). *Carta Geológica Minera – Valle de Allende G13-A58, Chihuahua*. Servicio Geológico Mexicano, Secretaría de Economía.
- Hewett, D. F. (1964). *Veins of hypogene manganese oxide minerals in the southwestern United States*. Economic Geology, 59(8), 1429-1472.
- Hewett, D. F. (1968). *Silver in veins of hypogene manganese oxides*. US Geological Survey, 553 (9).
- Jurado, A., Segura, R., de la Fuente, F. (1979). *Proyecto de Exploración en el fundo La Protección, Tit. 100750, Municipio de Valle de Allende, Chihuahua*. CRM.

- Keith, M., Haase, K. M., Schwarz, U., Klemd, R., Petersen, S., Bach, W. (2014). *Effects of temperature, sulfur, and oxygen fugacity on the composition of sphalerite from submarine hydrothermal vents*. *Geology*, 42(8), 699-702.
- Leal, P. R. (2004). *Mineralogy and geochemistry of an epithermal manganese district, Sierras Pampeanas, Argentina*. *International Geology Review*, 46(1), 75-90.
- Librado, J., López, J., Arriaga, H., Bustos, J. L. (2003). *Informe final complementario de la Carta Geológico-Minera y Geoquímica Santa Bárbara Clave G13-A57 Escala 1:50,000*. Consejo de Recursos Minerales.
- Lueth, V. W., Chamberlin, R. M., Peters, L. (2004). *Age of mineralization in the Luis Lopez manganese district, Socorro County, New Mexico, as determined by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of cryptomelane*. *Bull. New Mex. Bur. Min. Mineral Resour*, 160, 239-249.
- Lusk, J., Scott, S. D., Ford, C. E. (1993). *Phase relations in the Fe-Zn-S system to 5 kbars and temperatures between 325 degrees and 150 degrees C*. *Economic Geology*, 88(7), 1880-1903.
- Mehrabi, B., Siani, M. G. (2012). *Intermediate Sulfidation Epithermal Pb-Zn-Cu (\pm Ag-Au) Mineralization at Cheshmeh Hafez Deposit, Semnan Province, Iran*. *Journal of the Geological Society of India*, 80(4), 563-578.
- Mendieta, J. A., Partida, R. A. (1986). *Estudio tectónico—sedimentario, en el mar mexicano estados de Chihuahua y Durango*. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 43-87.
- Misra, K. (2012). *Understanding Mineral Deposits*. Springer Science & Business Media.
- Mosier, D. L. (1986). *Descriptive model of epithermal Mn*. *Mineral deposit models: US Geological Survey Bulletin*, 1693, 165.
- Norman, D. I., Bazrafshan, K., Eggleston, T. L. (1983). *Mineralization of the Luis Lopez epithermal manganese deposits in light of fluid inclusion and geologic studies*. *Socorro region II: New Mexico Geological Society, Guidebook*, 34, 247-251.
- Ohmoto, H. (1979). *Isotopes of sulfur and carbon*. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 509-567.

- O'Reilly, G. A. (1992). *Petrographic and geochemical evidence for a hypogene origin of granite-hosted, vein-type Mn mineralization at the New Ross Mn deposits, Lunenburg County, Nova Scotia, Canada*. *Economic Geology*, 87(5), 1275-1300.
- Papavassiliou, K., Voudouris, P., Kanellopoulos, C., Glasby, G., Alfieris, D., Mitsis, I. (2017). *New geochemical and mineralogical constraints on the genesis of the Vani hydrothermal manganese deposit at NW Milos island, Greece: Comparison with the Aspro Gialoudi deposit and implications for the formation of the Milos manganese mineralization*. *Ore Geology Reviews*, 80, 594-611.
- Paton, C., Woodhead, J. D., Hellstrom, J. C., Hergt, J. M., Greig, A., Maas, R. (2010). *Improved laser ablation U - Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3).
- Plumlee, G. S. (1994). *Fluid chemistry evolution and mineral deposition in the main-stage Creede epithermal system*. *Economic Geology*, 89(8), 1860-1882.
- Prian, J. P., Herrera, D., De los Santos, J., Sánchez, E., Arrollo, E. y Tarín, G. (1999), *Texto explicativo: Carta Hidalgo del Parral, Clave G13-5, Estado de Chihuahua, Escala 1: 250,000, Cartografía Geológico-Minera y Geoquímica*. Consejo de Recursos Minerales.
- Rees, C. E., Holt, B. D. (1991). *The isotopic analysis of sulphur and oxygen*. In *Stable isotopes: Natural and Anthropogenic sulphur in the environment*.
- Roedder, E. (1984). *Volume 12: Fluid inclusions*. Mineralogical Society of America.
- Rollinson, H. R. (1993). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. British Library Cataloguing-in-Publication Data (RR Hugh Edt), second edition, England, 133-142.
- Roy, S. (1968). *Mineralogy of the different genetic types of manganese deposits*. *Economic Geology*, 63(7), 760-786.
- Roy, S. (1981). *Manganese deposits*. Academic press.
- Roy, S. (1992). *Environments and processes of manganese deposition*. *Economic Geology*, 87(5), 1218-1236.

- Roy, S. (1997). *Genetic diversity of manganese deposition in the terrestrial geological record*. Geological Society, London, Special Publications, 119(1), 5-27
- Sack, R. O. (2005). *Internally consistent database for sulfides and sulfosalts in the system Ag₂S-Cu₂S-ZnS-FeS-Sb₂S₃-As₂S₃: Update*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(5), 1157-1164.
- Sack, R. O., Ebel, D. S. (2006). *Thermochemistry of sulfide mineral solutions*. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 61(1), 265-364.
- Sack, R. O. (2017). *Fahlore thermochemistry: Gaps inside the (Cu, Ag) 10 (Fe, Zn) 2 (Sb, As) 4 S 13 cube*. *Petrology*, 25(5), 498-515.
- Scott, S. D. (1983). *Chemical behaviour of sphalerite and arsenopyrite in hydrothermal and metamorphic environments*. *Mineralogical magazine*, 47(345), 427-435.
- Seal, R. R. (2006). *Sulfur isotope geochemistry of sulfide minerals*. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 61(1), 633-677.
- Sidorov, A. A., Naiborodin, V. I., Savva, N. E. (1980). *Manganese mineral associations in gold-silver deposits*. *Geology and geochemistry of manganese*, 1, 285-289.
- Silberling, N. J., Jones, D. L. (1984). *Lithotectonic terrane maps of the North American Cordillera (No. 84-523)*. US Geological Survey.
- Solari, L. A., Gómez - Tuena, A., Bernal, J. P., Pérez - Arvizu, O., Tanner, M. (2010). *U - Pb zircon geochronology with an integrated LA - ICP - MS microanalytical workstation: Achievements in precision and accuracy*. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 34(1), 5-18.
- Spycher, N. F., Reed, M. H. (1989). *Evolution of a broadlands-type epithermal ore fluid along alternative PT paths; implications for the transport and deposition of base, precious, and volatile metals*. *Economic Geology*, 84(2), 328-359.
- Steele-MacInnis, M., Lecumberri-Sanchez, P., Bodnar, R. J. (2012). *Short note: HokieFlincks_H2O-NaCl: a Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric*

data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O-NaCl. Computers & Geosciences, 49, 334-337.

Ulrich, M. R., Bodnar, R. J. (1988). *Systematics of stretching of fluid inclusions; II, Barite at 1 atm confining pressure.* Economic Geology, 83(5), 1037-1046.

Vaughan, D. J., Craig, J. R. (1997). *Sulfide ore mineral stabilities, morphologies, and intergrowth textures*, in Barnes, H. L. (Ed.). (1997). *Geochemistry of hydrothermal ore deposits.* John Wiley & Sons.

Velador, J. M. (2010). *Timing and origin of intermediate sulfidation epithermal veins and geochemical zoning in the Fresnillo District, Mexico: constrained by ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology, fluid inclusions, gas analysis, stable isotopes, and metal ratios* (Doctoral dissertation, New Mexico Institute of Mining and Technology).

Wang, L., Qin, K. Z., Song, G. X., Li, G. M. (2019). *A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification.* Ore Geology Reviews.

Wilkinson, J. J. (2001). *Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits.* Lithos, 55(1-4), 229-272.

Wilson, I. F., Rocha, V. S. (1948). *Manganese deposits of the Talamantes district near Parral, Chihuahua, Mexico (No. 954).* US Government Printing Office.

Zaldívar, R. J., Garduño, M. V. (1984). *Estudio estratigráfico y estructural de las rocas del Paleozoico Superior de Santa María del Oro. Durango y sus implicaciones tectónicas.* Sociedad Geológica Mexicana, Memorias 7^a Convención Nacional, 28-3

Anexo A: Petrografía de rocas ígneas y sus alteraciones

En este anexo se tiene el detalle de la petrografía de las rocas ígneas de la zona de estudio, se clasificó cada una de las muestras con base en el diagrama de Strekeisen y en lo observado en cada lámina delgada.

Las alteraciones se definieron con base en la mineralogía identificada y el grado de alteración de las fases observadas. Las abreviaturas empleadas en la descripción de las láminas son las siguientes: Bt: biotita, Cal: calcita, Chc: calcedonia, Chl: clorita, Ep: epidota, FgLt: fragmento lítico, Fm: ferromagnesiano, Fsp: feldespato, Grs: grosularia, Hbl: hornblenda, Hem: hematita, Ox: óxidos, Pgt: pigeonita, Pl: plagioclasa, Py: pirita, Qz: cuarzo, Ser: sericita, Zeo: zeolitas, Zrn: zircón.

Muestra: Talamantes 38 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(25 %) Plagioclasas: alterando a sericita, calcita y arcillas, ocasionalmente pirita, algunos parecen estar cloritizando, se observan vetillas de calcita atravesando algunos cristales.

(24 %) Ferromagnesianos: Por la morfología es posible que el mineral primario haya sido hornblenda, los cristales están totalmente alterados a clorita (probablemente penina), calcita (en ocasiones con impurezas), pirita y cuarzo. Se observan vetillas con óxidos cortando cristales.

(50 %) Matriz: devitrificada criptocristalina, al parecer a feldespatos y con alteración a sericita.

(1 %) Cuarzo

Minerales de alteración:

Plagioclasas: Sericita + calcita + arcillas ± clorita

Ferromagnesianos: Clorita + calcita + pirita + cuarzo

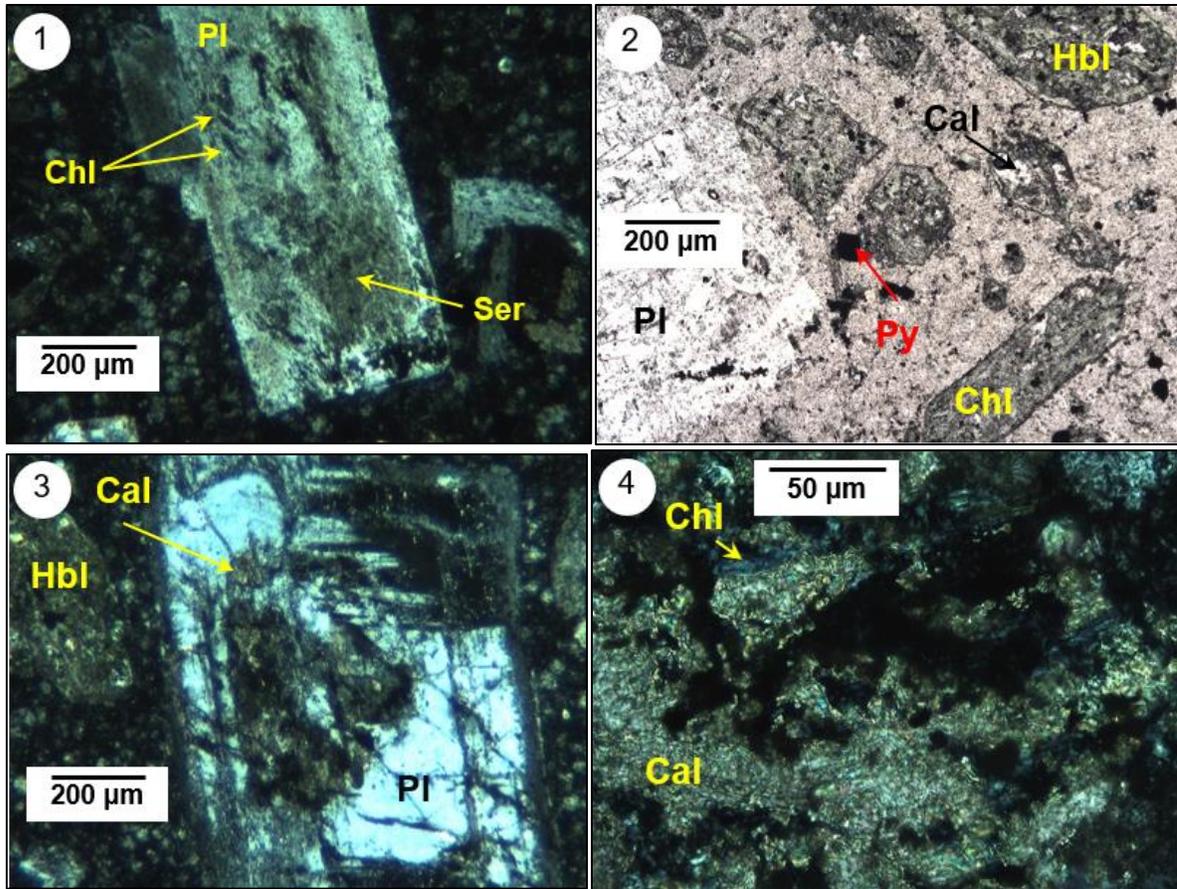


Figura 1. 1) En nicoles cruzados, plagioclasa alterando a clorita y arcillas; la clorita se presenta en las zonas de coloración oscura, mientras las arcillas dan un aspecto “sucio” al cristal. 2) En nicoles paralelos se observa en el extremo izquierdo de la imagen una plagioclasa, con alteración a sericita y pirita. Los pseudomorfos de ferromagnesianos sobresalen por la coloración verde de la clorita, se observan algunos cristales de pirita, mientras las zonas blancas dentro de estos pseudomorfos corresponden con la presencia de calcita. 3) En nicoles cruzados, plagioclasa con alteración a calcita, sericita y arcillas, se trata de un cristal euhedral en el que es evidente la macla polisintética. 4) En nicoles cruzados la clorita presenta un color azul- verde oscuro y la calcita presenta los colores de interferencia característicos.

Muestra: Talamantes 39 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(54%) Plagioclasas: Se reconocen por su macla polisintética y zoneamiento, algunos cristales presentan zonas más alteradas que otras, esto debido a las variaciones composicionales del mismo cristal, a veces sigue la macla polisintética o el zoneamiento, la alteración es sericita, algunos cristales se encuentran ligeramente cloritizados, epidota

eventualmente en algunos cristales como producto de alteración; apatitos y zircones como inclusiones sólidas.

(15%) Ferromagnesianos: Solo quedan las formas del cristal, han sido alterados completamente, probablemente hornblenda (por la morfología), la alteración es clorita (penina) –calcita (contaminada con arcillas y opacos)-opacos – epidota, se distinguen tres fases de alteración (punto 1). Calcita en ocasiones con IF (punto 3 tomado en 1).

(30%) Matriz: La matriz es criptocristalina de feldespatos con alteración sericita. Hay apatito en la matriz y uno tiene IS de alta birrefringencia (zircón), también hay epidota y calcita de alteración. Se observan vetas rellenas de calcita. En algunas zonas en donde llega el aporte de calcita por medio de vetillas la calcita está concentrada.

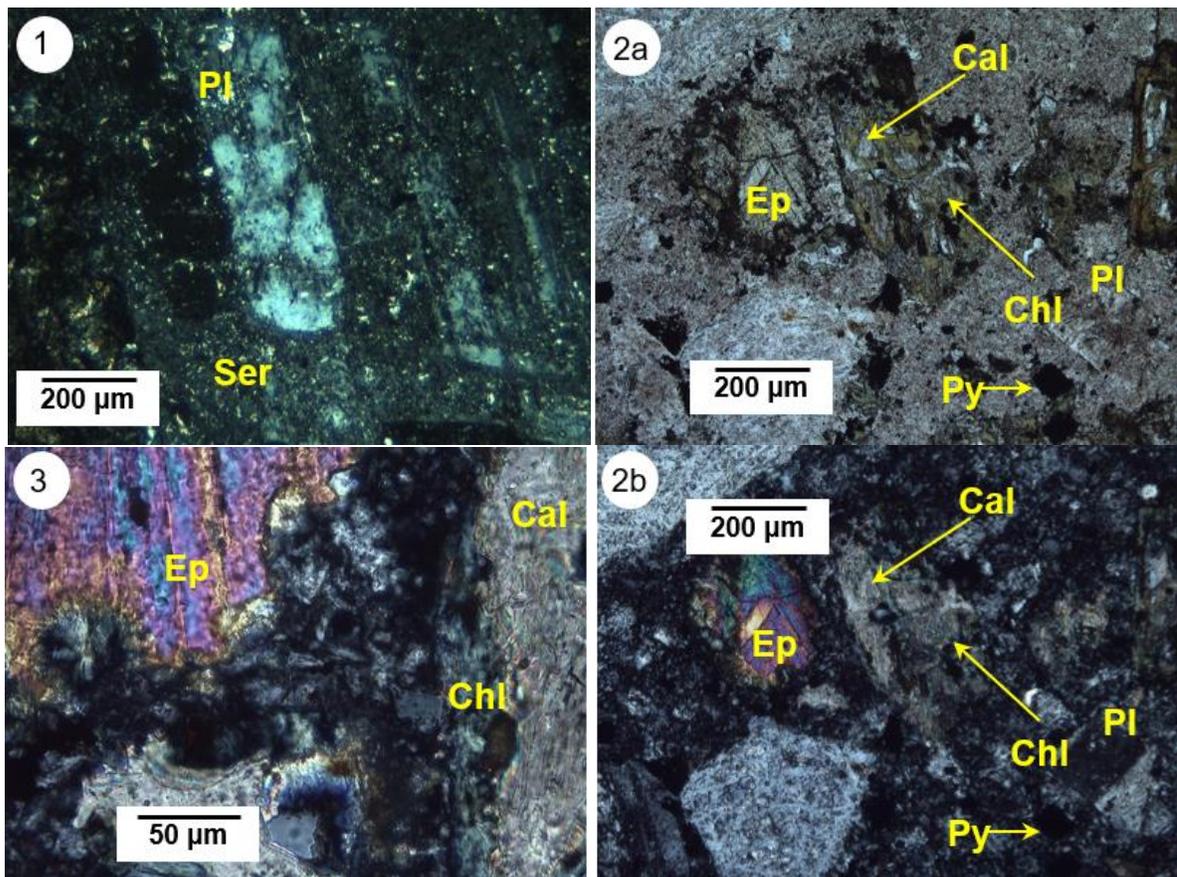


Figura 2. 1) En nicols cruzados se observa al centro de la imagen una plagioclasa con alteración diferencial a sericita que sigue el zoneamiento del cristal, se presentan algunos opacos dentro del cristal. 2a) En nicols paralelos plagioclasas con alteración a sericita (aspecto sucio en cristales), pseudomorfos de ferromagnesianos reemplazados por clorita (verde), calcita (blanco) y opacos, además, se observa un cristal de epidota, producto de alteración. 2b) Misma zona en nicols

cruzados, en donde los colores de interferencia de la epidota son evidentes. 3) Acercamiento a la zona en 2) Se observan cristales de epidota, clorita y calcita reemplazando a ferromagnesianos.

Muestra: Talamantes 40 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(20%) Plagioclasas: se encuentran alteradas, la principal alteración es calcita, algunos cristales están atravesados por fracturas rellenas de calcita y calcita con óxidos (en color marrón), algunos cristales presentan opacos y clorita (en el centro de los cristales), se presenta sericita en cantidades menores. En los cristales que presentan zoneamiento muy marcado, la alteración sigue las zonas de crecimiento, algunas zonas dentro del cristal están mucho más alteradas que otras. También se observan algunos cristales más alterados que otros.

(19%) Ferromagnesianos: totalmente reemplazados por clorita, calcita y opacos; se llegan a presentar óxidos en menor cantidad que en las plagioclasas. Los ferromagnesianos llegan a tener zircones como inclusiones sólidas. En la calcita el crucero se presenta muy tenue. La clorita llega a presentar hábito acicular.

(1%) Cuarzo: en cristales inmersos en la matriz.

(60%) Matriz: Devitrificada criptocristalina, probablemente a feldespatos, alteración a calcita, óxidos, opacos y cuarzo en agregados, en algunas zonas específicas hay fracturas de calcita con óxidos

Minerales de alteración:

Plagioclasas: Calcita (en ocasiones con óxidos) ± clorita ± opacos

Ferromagnesianos: Clorita + calcita + opacos

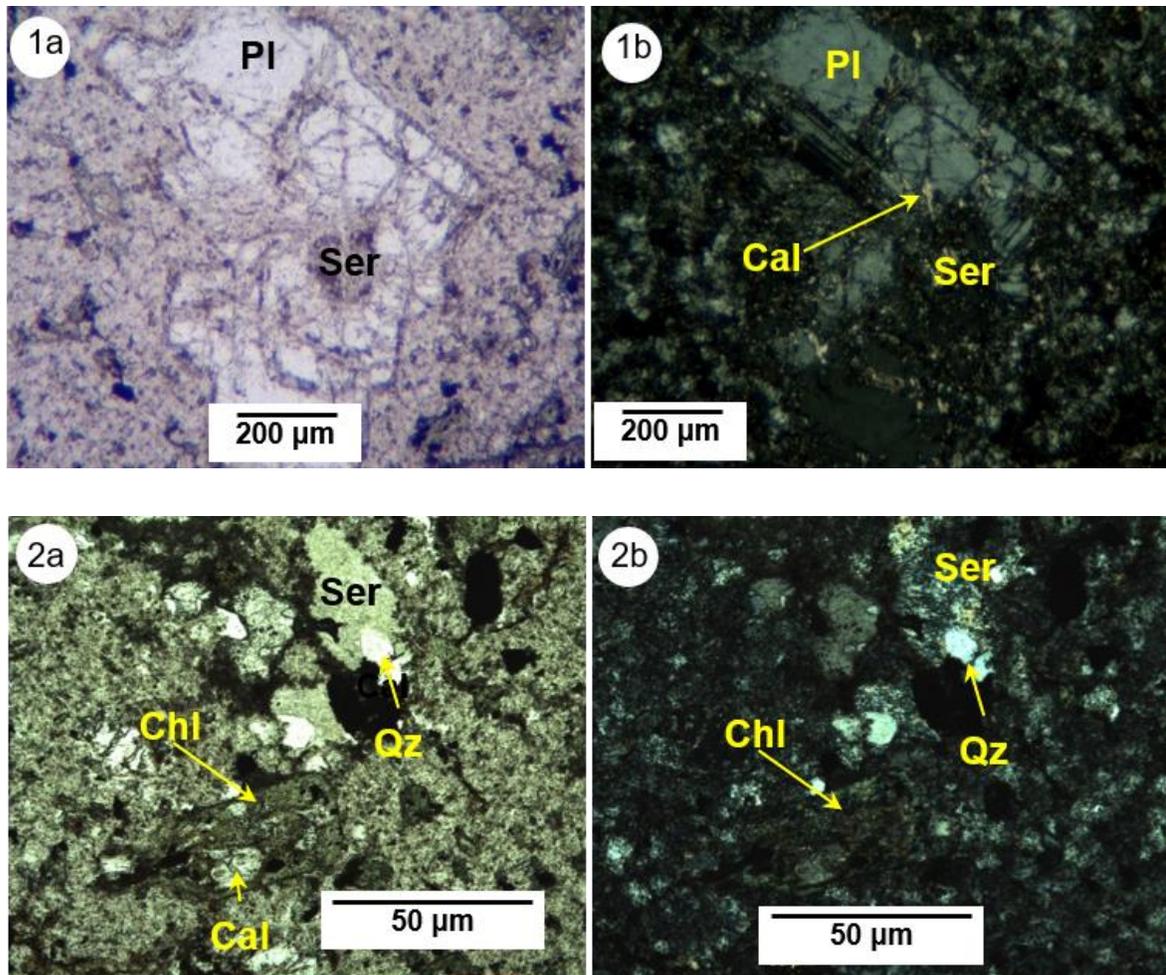


Figura 3. 1a) En nicols paralelos plagioclasa alterando a calcita (en ocasiones con óxidos) y a sericita, se observa que la alteración sigue algunas de las zonas de crecimiento del cristal. 1b) Misma zona en nicols cruzados. 2a) En nicols paralelos, se observan todos los minerales de alteración, en la sección inferior un pseudomorfo de ferromagnesiano que ha sido totalmente sustituido por clorita, calcita y pirita principalmente, en el sector superior derecho, se observa sericita y cuarzo; en algunas zonas calcita que se reconoce por sus colores de interferencia. 2b) Misma zona en nicols cruzados.

Muestra: Talamantes 41 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(35%) Plagioclasas: alteradas, se observa que tienen vetillas de calcita además están alterando a calcita y arcillas principalmente, ocasionalmente a clorita y pirita, la alteración no está distribuida de manera uniforme, algunas zonas están más alteradas que otras.

(10%) Ferromagnesianos: totalmente alterados a clorita, calcita, pirita, sericita y cuarzo. Se observan “huellas” del crucero 60-120°, por lo que algunos de los minerales primarios podrían haber sido anfíboles. Tienen inclusiones solidas de apatitos y zircones.

(5%) Cuarzo microcristalino: afectado por fracturas rellenas de calcita, todos los fenocristales se observan con una extinción ondulante, los bordes del cuarzo no se observan bien definidos; en algunas zonas está recrystalizando a cuarzo.

(50%) Matriz: Devitrificada microcristalina en su mayoría feldespatos, alterando principalmente a calcita, y con fracturas rellenas de calcita.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: Calcita ± sericita ± clorita ± opacos

Ferromagnesianos: Clorita ± calcita ± opacos ± cuarzo

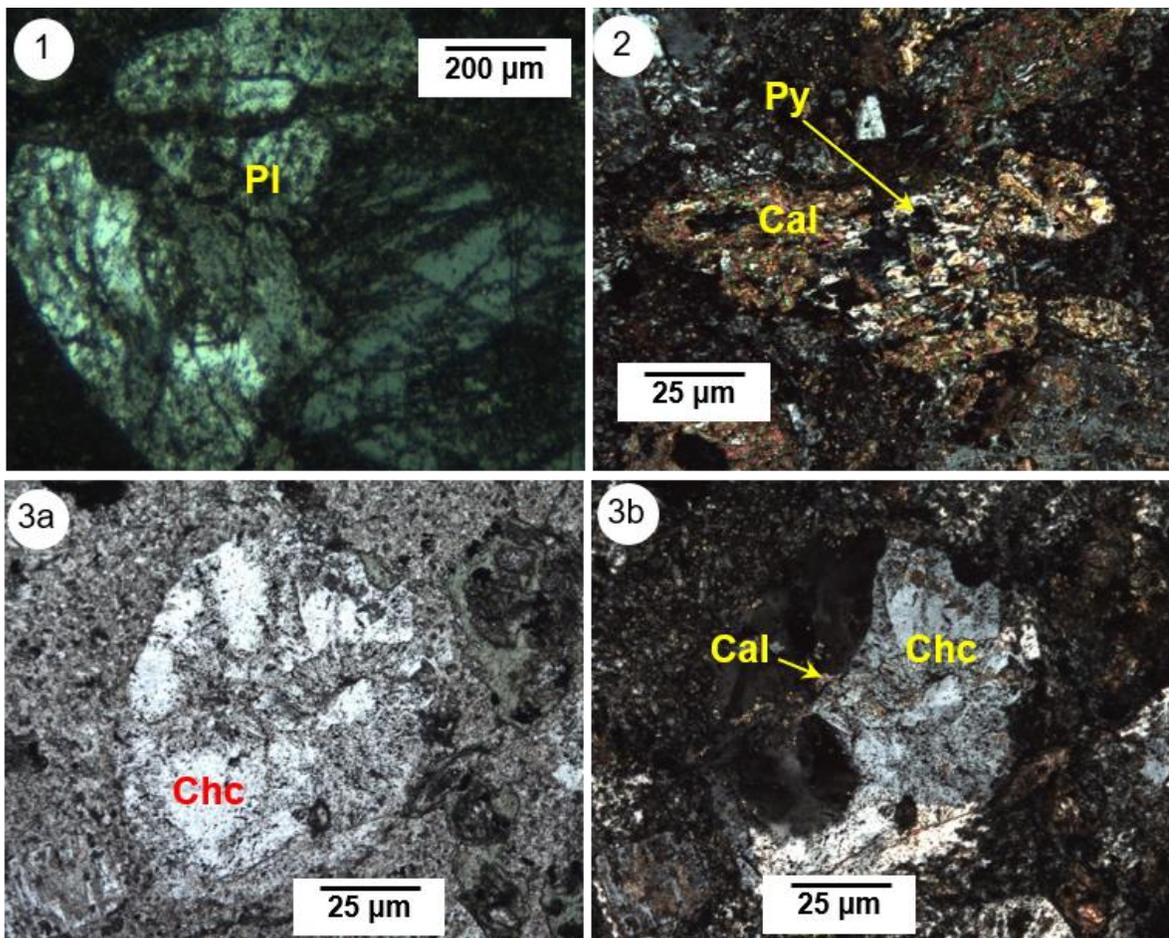


Figura 4. 1) En nicoles paralelos se muestra una plagioclasa alterando a calcita y arcillas la calcita se presenta en fracturas intracristal, mientras las arcillas afectan al cristal siguiendo las zonas de crecimiento de este. 2) Pseudomorfos de ferromagnesianos, estos han sido totalmente reemplazados por clorita, calcita, opacos y cuarzo principalmente. 3a) Agregado de calcedonia con extinción ondulante característico, en los bordes de los agregados la calcita aparenta estar invadiendo a la calcedonia, esto es debido al tamaño de los cristales, lo que permite una especie de intercrecimiento calcita - calcedonia. 3b) la misma zona en nicoles cruzados, en donde se observan colores de interferencia característicos de cada fase presente.

Muestra: Talamantes 42 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(40 %) Plagioclasas: algunas presentan alteración diferencial; el mineral secundario es principalmente calcita (ocasionalmente contaminada por arcillas), ocasionalmente se observa clorita como parte de la alteración. Hay apatitos como inclusiones sólidas.

(15 %) Ferromagnesianos: totalmente alterados a clorita (posiblemente penina), calcita (contaminada con arcillas), pirita, cuarzo.

(45 %) Matriz: Devitrificada probablemente a feldespatos alterando al parecer a calcita, arcillas y cuarzo. Como minerales accesorios zircones y apatitos.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: Calcita + óxidos + clorita

Ferromagnesianos: Clorita + calcita + pirita + cuarzo

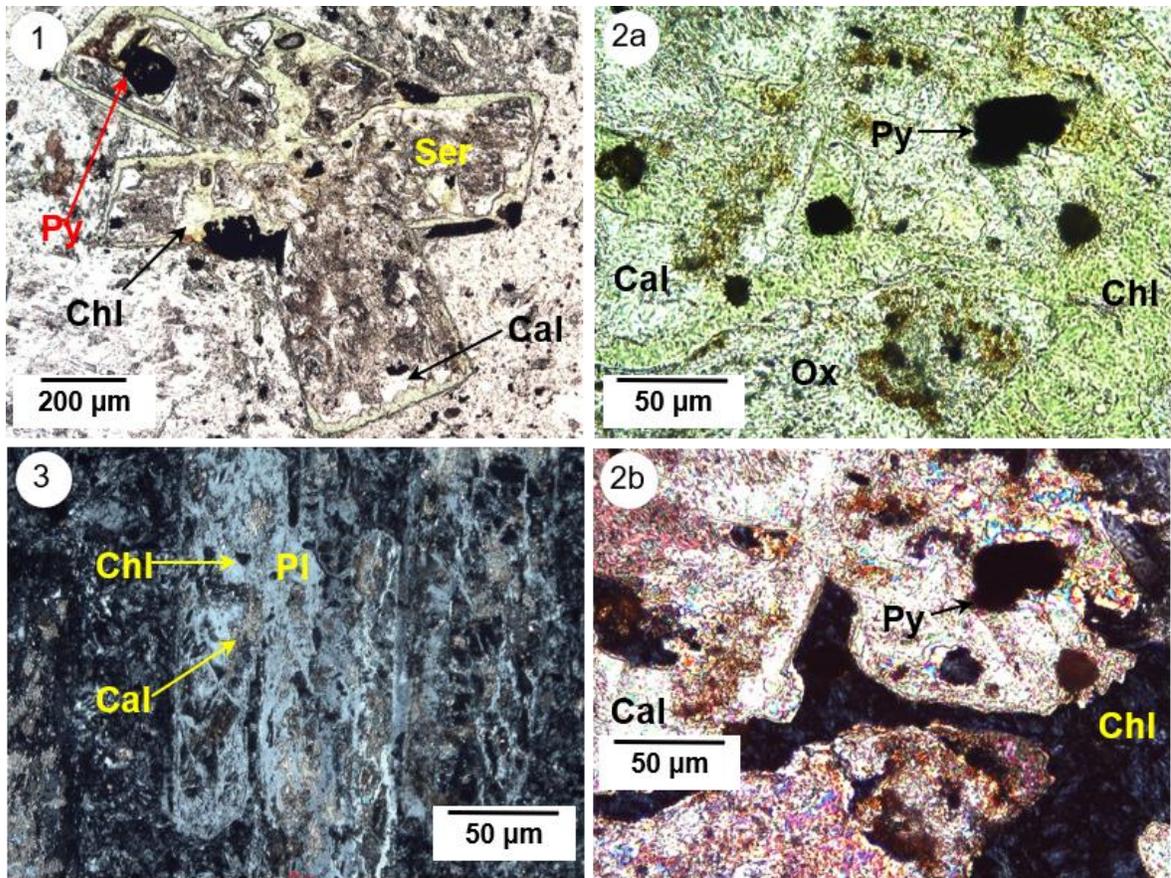


Figura 5. 1) En nicols paralelos pseudomorfos de ferromagnesianos, totalmente reemplazados por clorita (penina), calcita (en ocasiones contaminada por arcillas y óxidos), pirita y epidota. 2a) Acercamiento a zona 1) en donde en nicols paralelos se observa el color verde correspondiente a la clorita, mientras en las zonas traslucidas se tiene calcita, se observan zonas contaminadas con óxidos (en marrón) y algunos cristales de pirita. 2b) Zona correspondiente a la imagen de 2a en nicols cruzados, en azul oscuro se presenta la clorita; en la imagen se puede observar la macla y los colores de interferencia de la calcita. 3) En nicols cruzados se muestran plagioclasas alterando a clorita y calcita, ambas fases de alteración se reconocen por colores característicos; en la porción izquierda se observa la matriz con cierto grado de devitrificación.

Muestra: Talamantes 43 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(30 %) Plagioclasas: probablemente ricas en calcio, alterando a calcita principalmente, y en menor proporción a epidota y cuarzo. Se observan vetillas de calcita en vetillas. Como inclusiones sólidas se tienen apatitos y zircones.

(30 %) Ferromagnesianos: Totalmente alterados a cuarzo y epidota además de pirita, se distingue fase por la morfología. La epidota en algunas ocasiones se presenta fibrosa y en

otras tiene un aspecto micro y criptocristalino. En algunas zonas se acumula el sulfuro al centro de lo que fue el mineral primario.

(40 %) Matriz: Devitrificada microcristalina en su mayoría a feldespatos, alterando a calcita, epidota y cuarzo.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: Calcita ± epidota

Ferromagnesianos: Epidota + cuarzo + pirita ± calcita

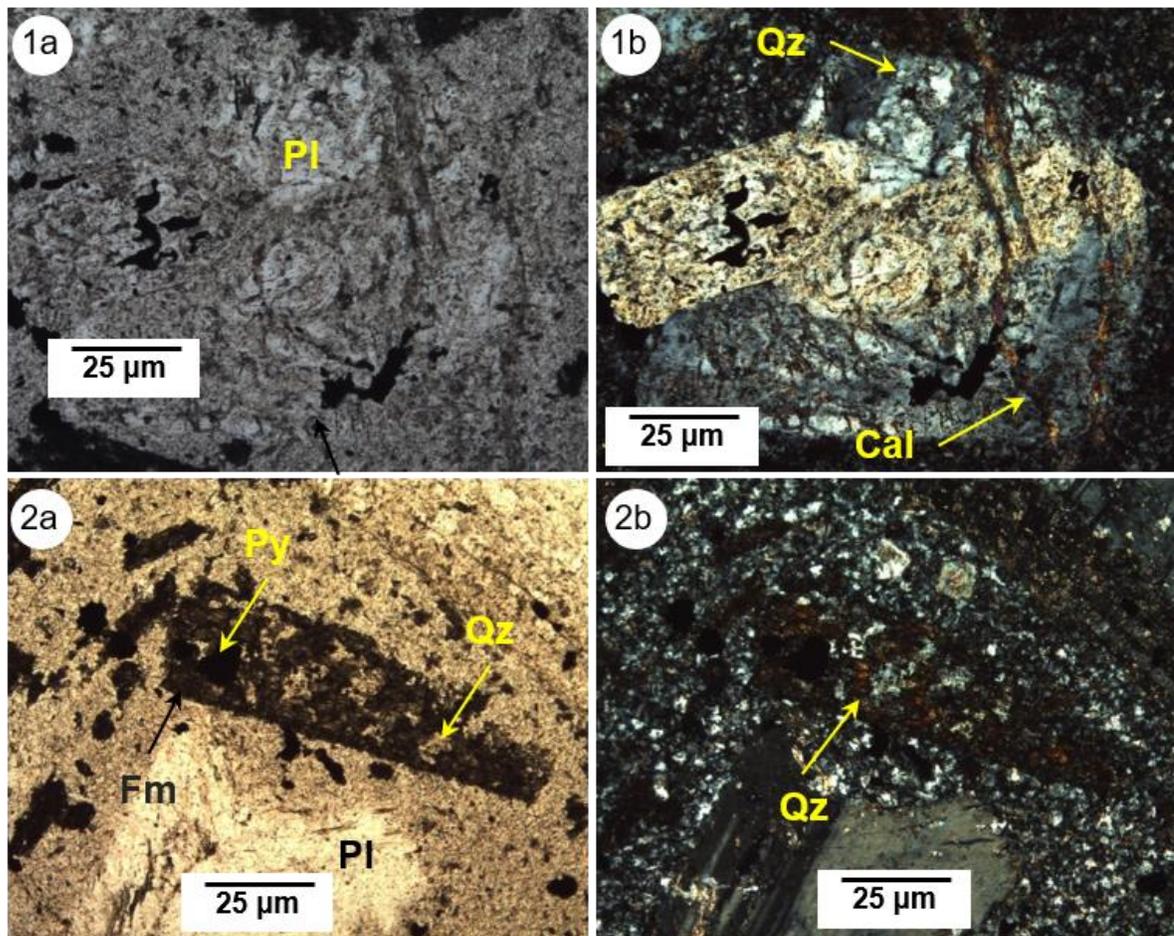


Figura 6. 1a) Plagioclasa, muy probablemente cálcica por su coloración, alterando a calcita, pirita y probablemente a arcillas, se presentan vetillas de calcita afectando algunos cristales. 1b) Misma zona en nicoles cruzados. 2a) Ferromagnesiano alterando principalmente a epidota, cuarzo y pirita en matriz microcristalina. 2b) Misma zona en nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 44 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(40 %) Plagioclasas: alteradas, en algunos casos de forma diferencial. El principal mineral de alteración es calcita, por lo que es probable que se trate de plagioclasas ricas en Ca; en menos cantidad se observan sericita y epidota.

(40 %) Ferromagnesianos: probablemente hornblenda, en algunos cristales que se interpretan como secciones basales se distingue el cruceo $120^\circ - 60^\circ$ característico de los anfíboles. Se encuentran alterando a clorita, calcita, epidota y opacos.

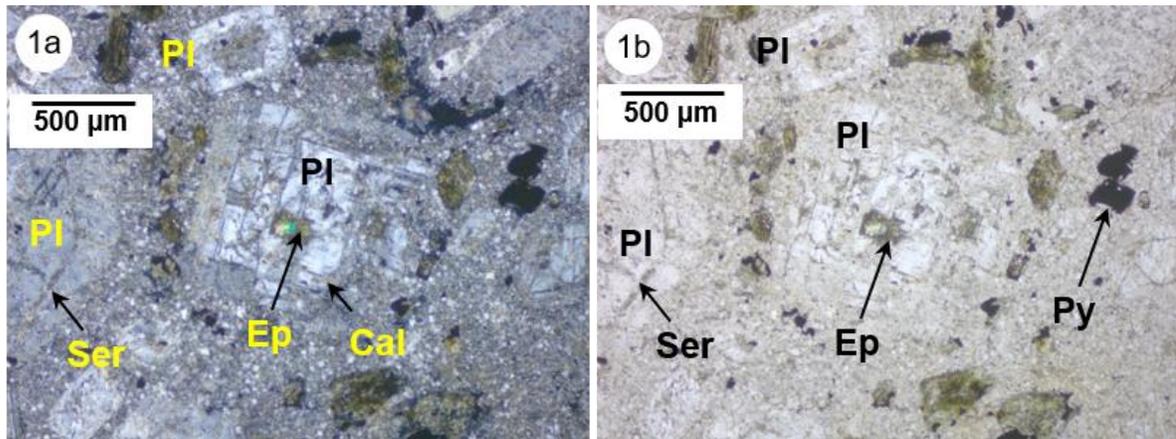
(20 %) Matriz: devitrificada a feldespatos, criptocristalina con alteración a calcita, epidota, pirita y óxidos principalmente.

Minerales accesorios: apatito y zircón.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: calcita \pm sericita \pm epidota

Ferromagnesianos: clorita + calcita + epidota \pm opacos



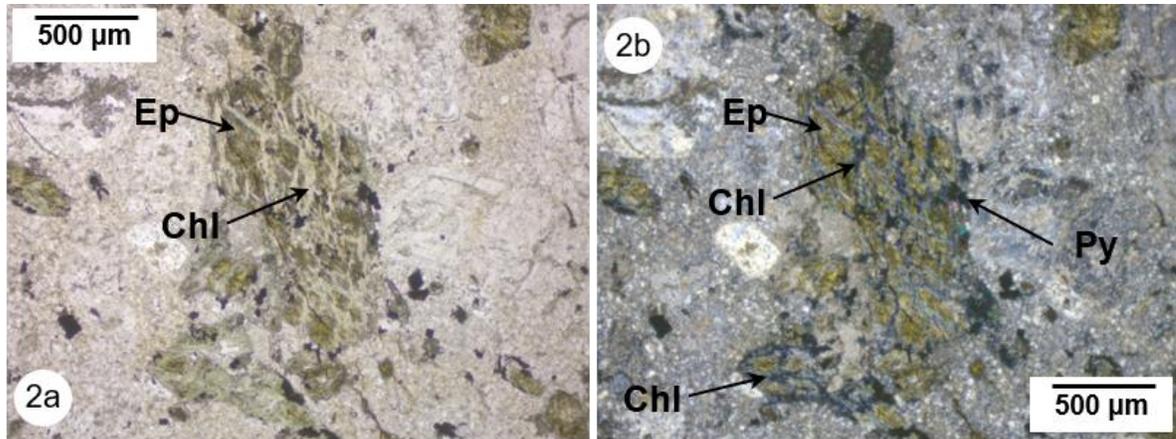


Figura 7. 1a) Plagioclasas alterando a calcita, epidota y sericita en una matriz microcristalina. La plagioclase de la porción superior presenta alteración diferencial. 1b) Misma zona en nicols paralelos. 2a) Ferromagnesiano con minerales de alteración clorita, calcita, epidota y pirita, se distingue el cruceo característico de anfíboles, quizá hornblenda. 2b) Misma imagen en nicols cruzados.

Muestra: Talamantes 45 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(30 %) Plagioclasas: plagioclasas alterando a calcita y epidota principalmente en algunos casos a sericita. Se observa alteración diferencial ocasionalmente. Se llegan a observar vetillas de calcita atravesando cristales.

(20 %) Ferromagnesianos: probablemente hornblenda, han sido totalmente reemplazados, alterando a epidota, cuarzo y pirita principalmente.

(50 %) Matriz: criptocristalina, devitrificada a feldespato, se observa alteración a calcita, epidota y opacos principalmente.

Minerales accesorios: apatitos y zircones.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: calcita + epidota ± sericita

Ferromagnesianos: epidota + cuarzo + opacos

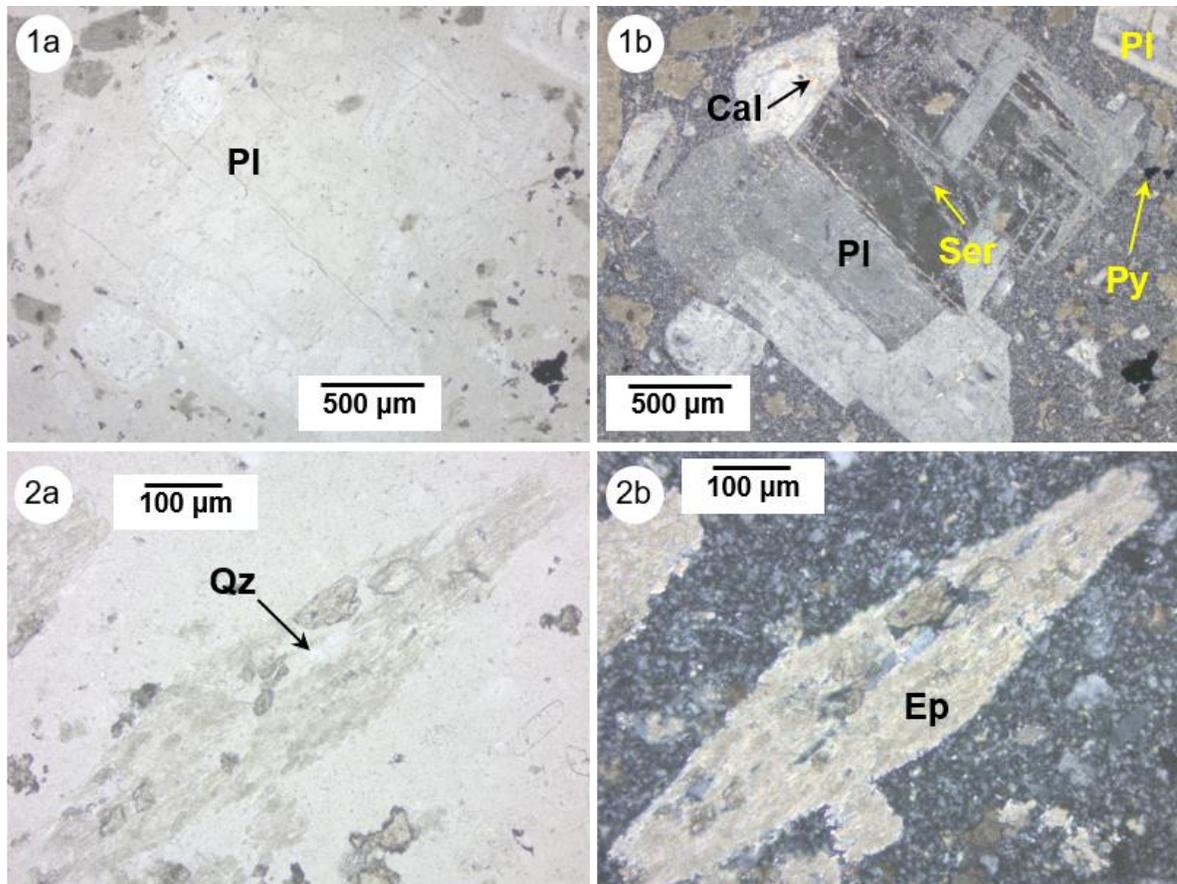


Figura 8. 1a) Plagioclasa con alteración calcita, epidota y sericita. 1b) En nicoles cruzados, se observa la macla polisintética característica de la plagioclasa y los diferentes minerales de alteración. 2a) Ferromagnesiano con alteración a epidota y cuarzo. 2b) En nicoles cruzados, colores característicos de los minerales de alteración.

Muestra: Talamantes 54 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(50 %) Plagioclasas: se encuentran muy alteradas principalmente a sericita y calcita, ocasionalmente a cuarzo y pirita; la alteración es diferencial.

(35%) Ferromagnesianos: los minerales de alteración son clorita, sericita, pirita y cuarzo, ocasionalmente se tiene epidota. En algunos cristales se observa el crucero característico de los anfíboles que es delineado por los minerales secundarios.

(15%) Matriz: microcristalina, devitrificando a cuarzo.

Minerales accesorios: apatitos y zircones.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: sericita + calcita ± pirita ± cuarzo

Ferromagnesianos: clorita (con arcillas) + pirita + cuarzo + epidota ± sericita

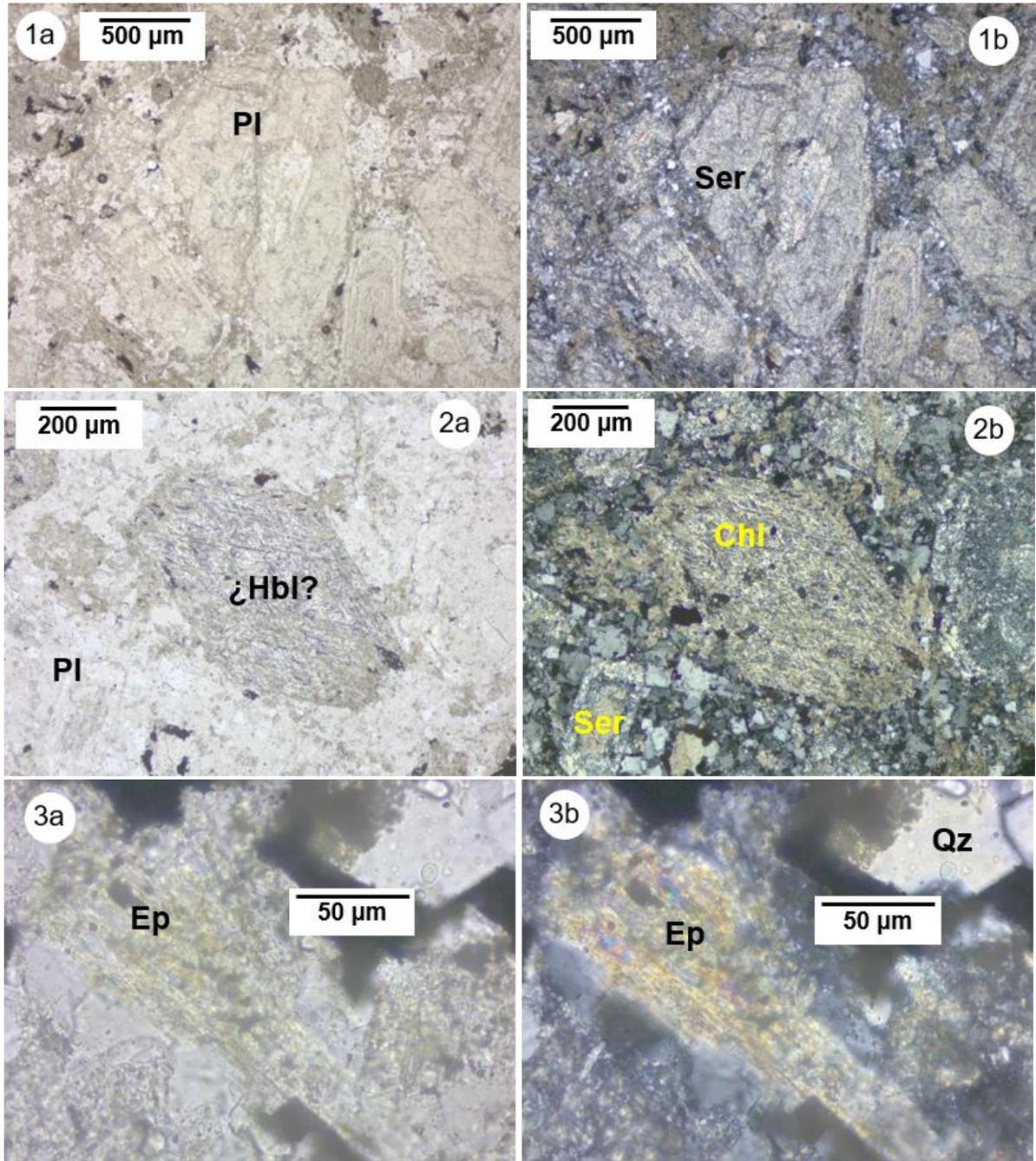


Figura 9. 1a) Diversos cristales de plagioclasa con alteración diferencial a sericita. 1b) En nicols cruzados. 2a) Ferromagnesiano, posiblemente hornblenda con alteración clorita y sericita que

siguen el cruceo 120-60°. 2b) En nicoles cruzados. 3a) Cristal de epidota en la matriz microcristalina, además se observan algunos cristales de cuarzo. 3b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 54 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(55%) Plagioclasas: en algunos cristales se presenta alteración diferencial, las principales fases secundarias son calcita y sericita, sin embargo, también epidota y piritita.

(15%) Ferromagnesianos: totalmente reemplazados por epidota, cuarzo y piritita principalmente, probablemente la fase primaria haya sido hornblenda.

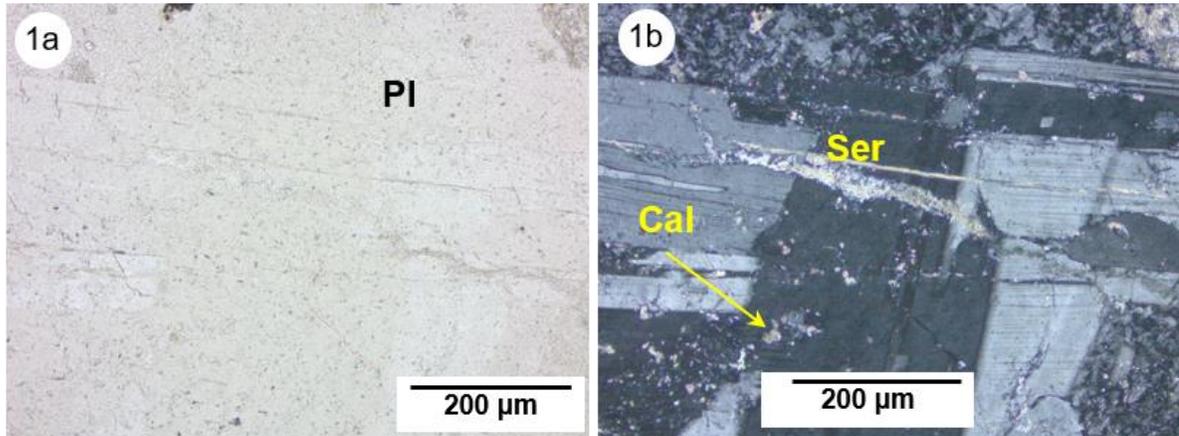
(2%) Cuarzo: presente como agregados en la matriz.

(28%) Matriz: criptocristalina devitrificada muy probablemente a feldespatos, alteraciones calcita, epidota, sericita y cuarzo.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: calcita + sericita ± epidota ± opacos

Ferromagnesianos: epidota + cuarzo + opacos ± biotita ± calcita.



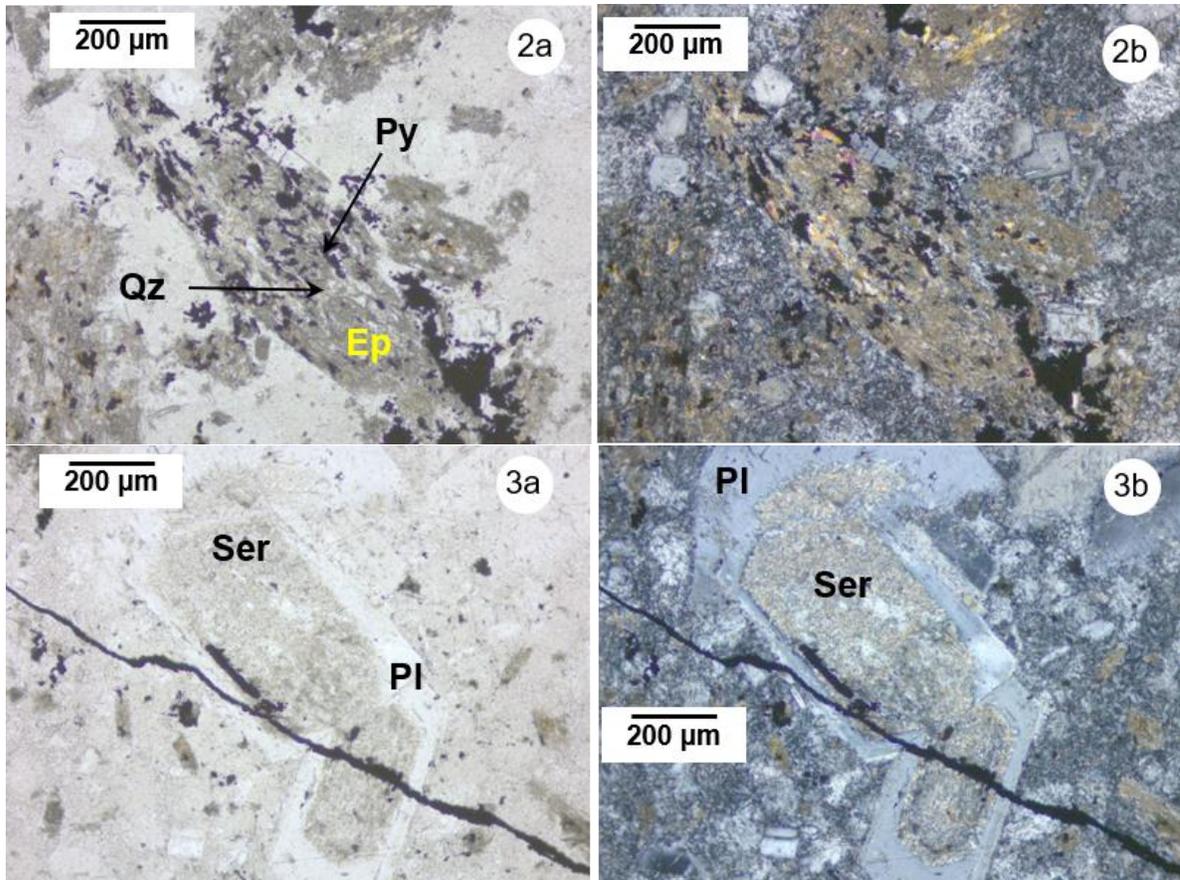


Figura 10. 1a) Plagioclasa con macla polisintética alterando a sericita y calcita; se observa una vetilla, rellena de sericita y sectores pequeños de calcita de alteración. 1b) En nicoles cruzados. 2a) Ferromagnesiano con principales minerales de alteración, epidota, piritita y cuarzo. 2b) En nicoles cruzados. 3a) Plagioclasa con alteración diferencial a sericita que sigue el zoneamiento de crecimiento del cristal. 3b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 57-2 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(45 %) Plagioclasas: aparentemente ricas en calcio, se presentan alteradas a calcita en agregados; la alteración es diferencial; en menor cantidad se observa sericita como mineral de alteración.

(15 %) Ferromagnesianos: alterando principalmente a epidota, cuarzo y piritita.

(5 %) Cuarzo: algunos cristales inmersos en la matriz.

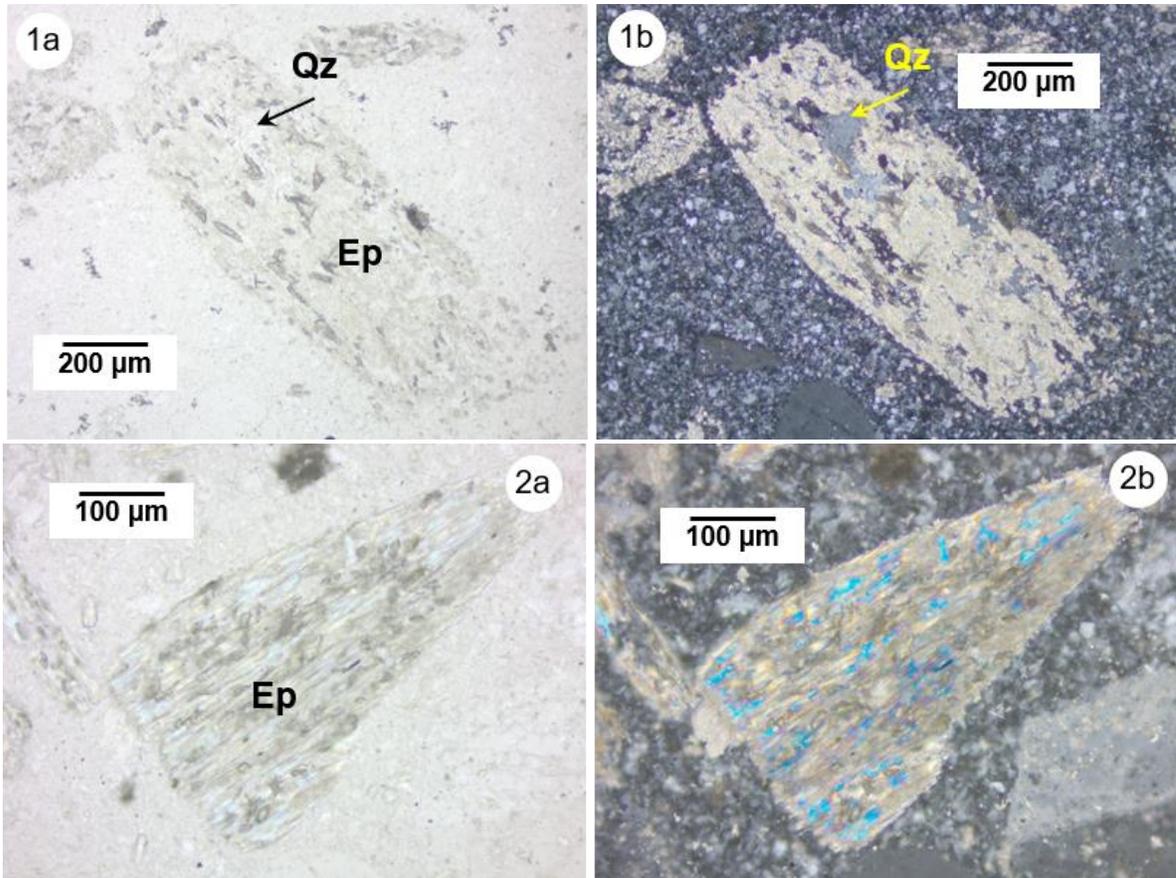
(35 %) Matriz: Criptocristalina de feldespatos, alterando a calcita, epidota y cuarzo principalmente.

Minerales accesorios: zircones y apatitos.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: calcita ± sericita ± epidota ± cuarzo ± opacos

Ferromagnesianos: epidota + cuarzo + opacos



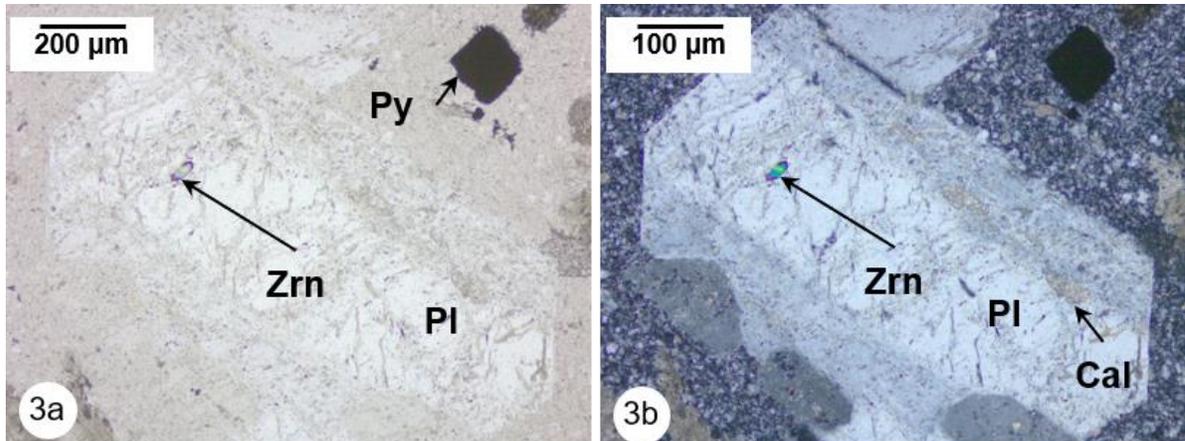


Figura 11. 1a) Ferromagnesiano alterando a epidota y cuarzo. 1b) En nicoles cruzados. 2a) Ferromagnesiano alterando a epidota y cuarzo. 2b) En nicoles cruzados. 3a) Plagioclasa con alteración a calcita e inclusión sólida de zircón. 3b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 63 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(25%) Plagioclasas: se encuentran alteradas principalmente a sericita, además de calcita y pirita. Hay algunas fracturas rellenas de calcita afectando algunos cristales.

(15 %) Ferromagnesianos: totalmente reemplazados por clorita, calcita, pirita y cuarzo. Es probable con base en la morfología que el mineral primario haya sido hornblenda.

(60 %) Matriz: devitrificada a feldespatos criptocristalina alterando a calcita y óxidos principalmente.

Minerales accesorios: apatito, zircón, biotita.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: sericita ± calcita (en ocasiones con óxidos) ± pirita

Ferromagnesianos: clorita + calcita + opacos ± cuarzo

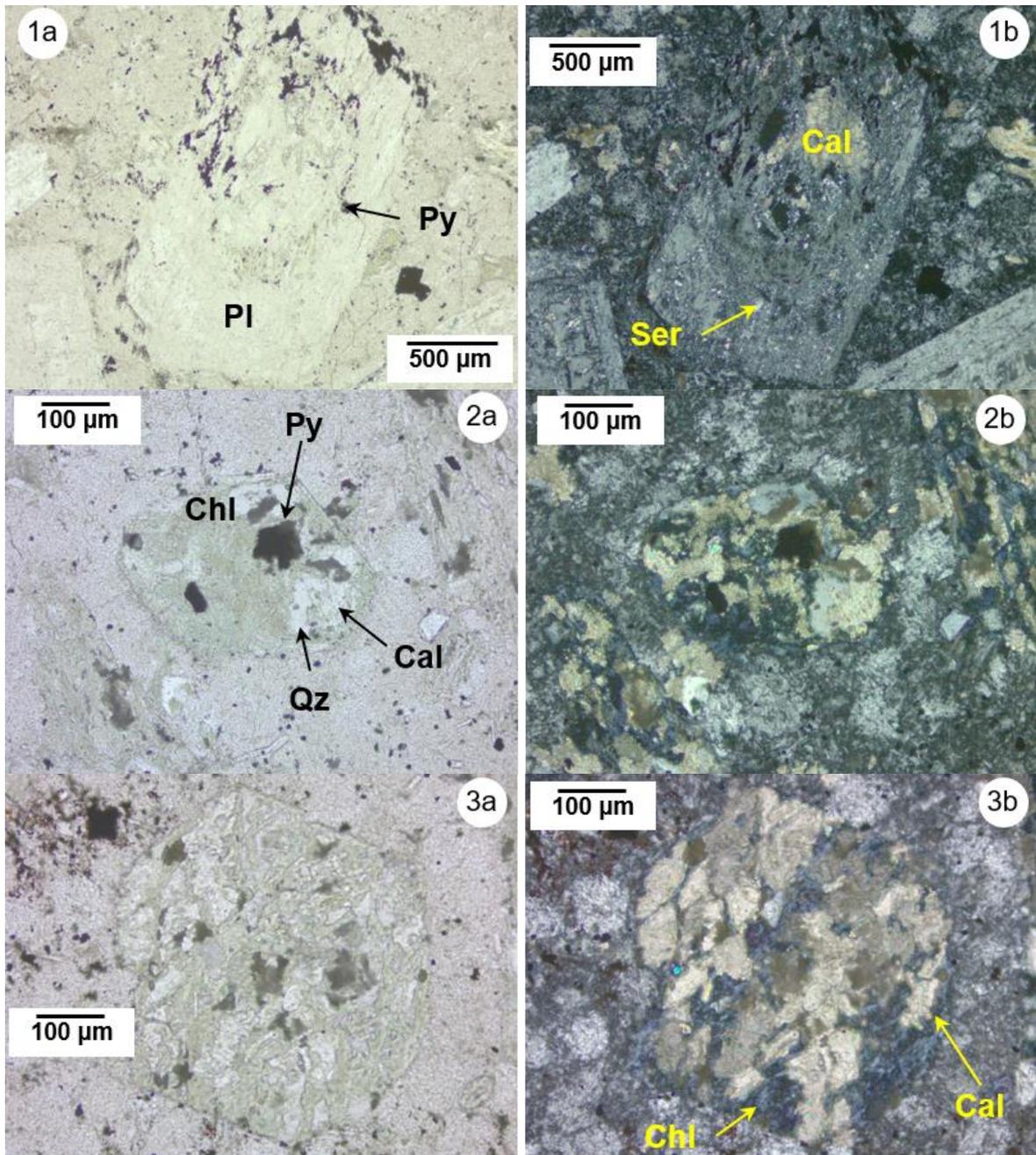


Figura 12. 1a) Plagioclasa con los principales minerales de alteración, sericita, calcita, opacos y algo de clorita. 1b) En nicols cruzados. 2a) Ferromagnesiano con principales minerales de alteración clorita, calcita, pirita y cuarzo. 2b) En nicols cruzados. 3a) Pseudomorfo con crucero 120° - 60° característico de anfíboles, posiblemente hornblenda con minerales de alteración clorita y calcita.

Muestra: Talamantes 65 - Andesita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(25 %) Plagioclasas: se encuentran alteradas principalmente a sericita, además de calcita, clorita, óxidos y pirita en algunos casos.

(10 %) Ferromagnesianos: Totalmente reemplazados por clorita, calcita, epidota y pirita principalmente, además de cuarzo y óxidos en cantidades menores.

(5 %) Cuarzo: como agregados en la matriz.

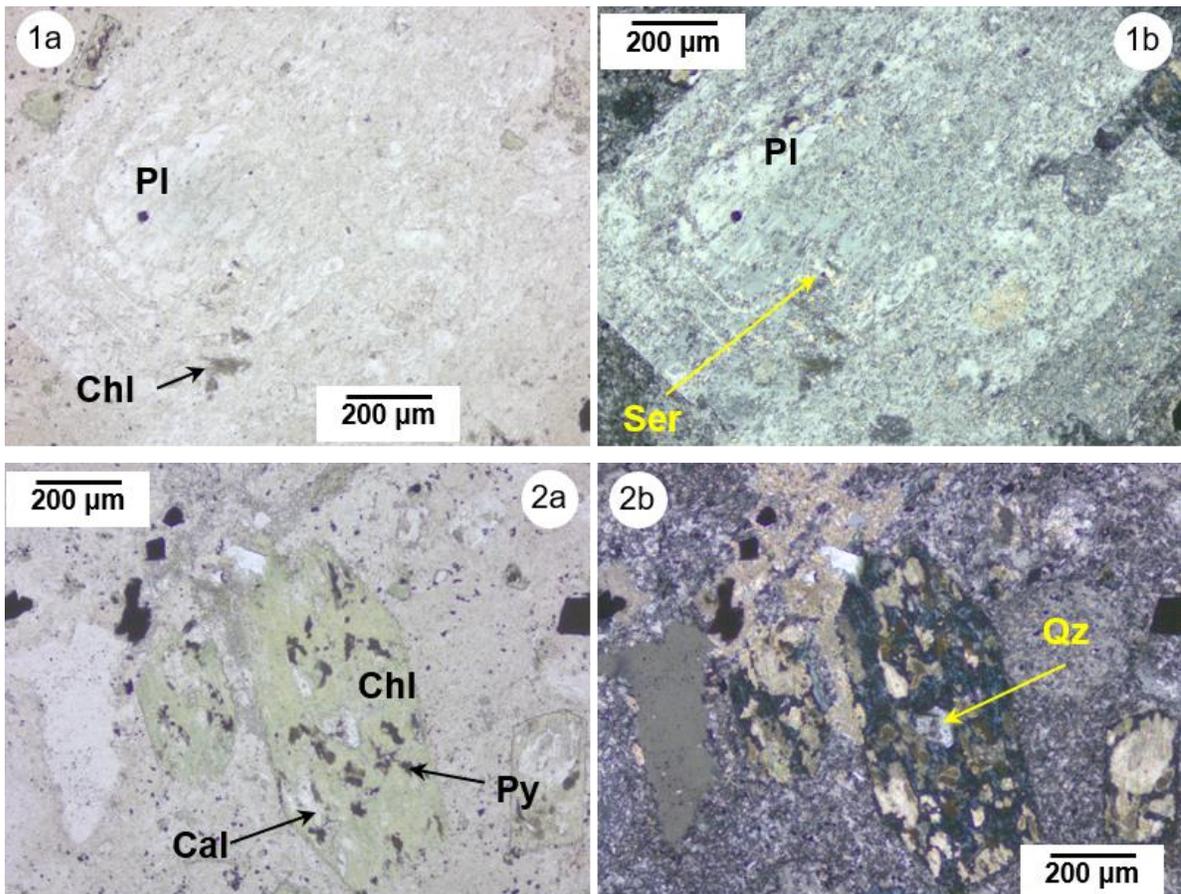
(60%) Matriz: devitrificada microcristalina, de feldespatos en general y alterando a calcita, óxidos y probablemente a sericita.

Minerales accesorios: apatitos y zircones.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: sericita ± calcita ± clorita ± óxidos ± pirita ± epidota

Ferromagnesianos: clorita + calcita ± cuarzo ± pirita ± epidota



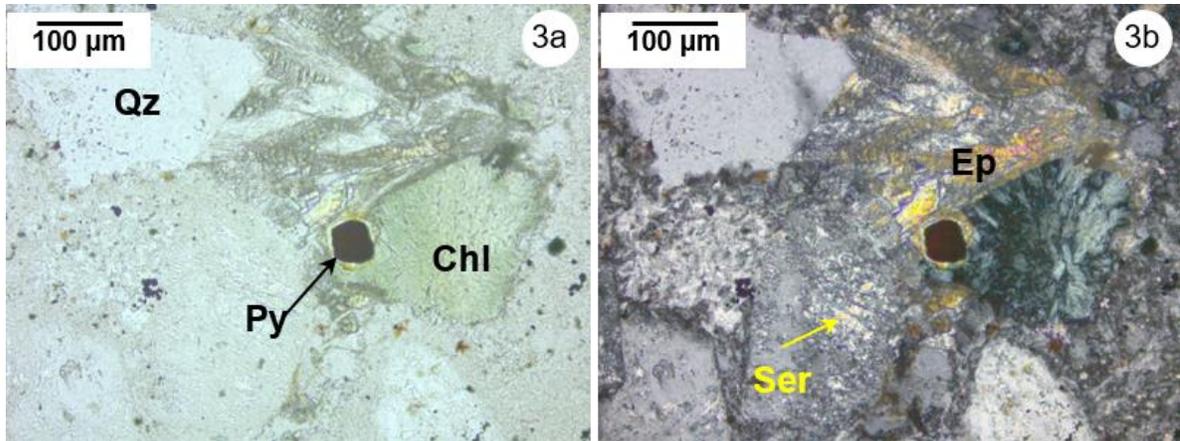


Figura 13. 1a) Plagioclasas con alteraciones sericita y clorita. 1b) En nicoles cruzados. 2a) Ferromagnesiano con alteración clorita, calcita y pirita. 2b) En nicoles cruzados. 3a) Diferentes minerales de alteración: epidota, cuarzo, sericita y clorita. 3b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 47 – Diorita con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(70 %) Plagioclasas: plagioclasas alterando a calcita, epidota, sericita y ocasionalmente a cuarzo. La alteración en algunos cristales es diferencial.

(20 %) Ferromagnesianos: probablemente el mineral primario era augita, los minerales de alteración de esta fase son epidota, cuarzo y pirita principalmente.

(10 %) Cuarzo: anhedral y parece estar rellenando espacios.

Minerales accesorios: apatitos y zircones.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: calcita + epidota ± sericita ± cuarzo ± pirita

Ferromagnesianos: epidota + cuarzo + pirita

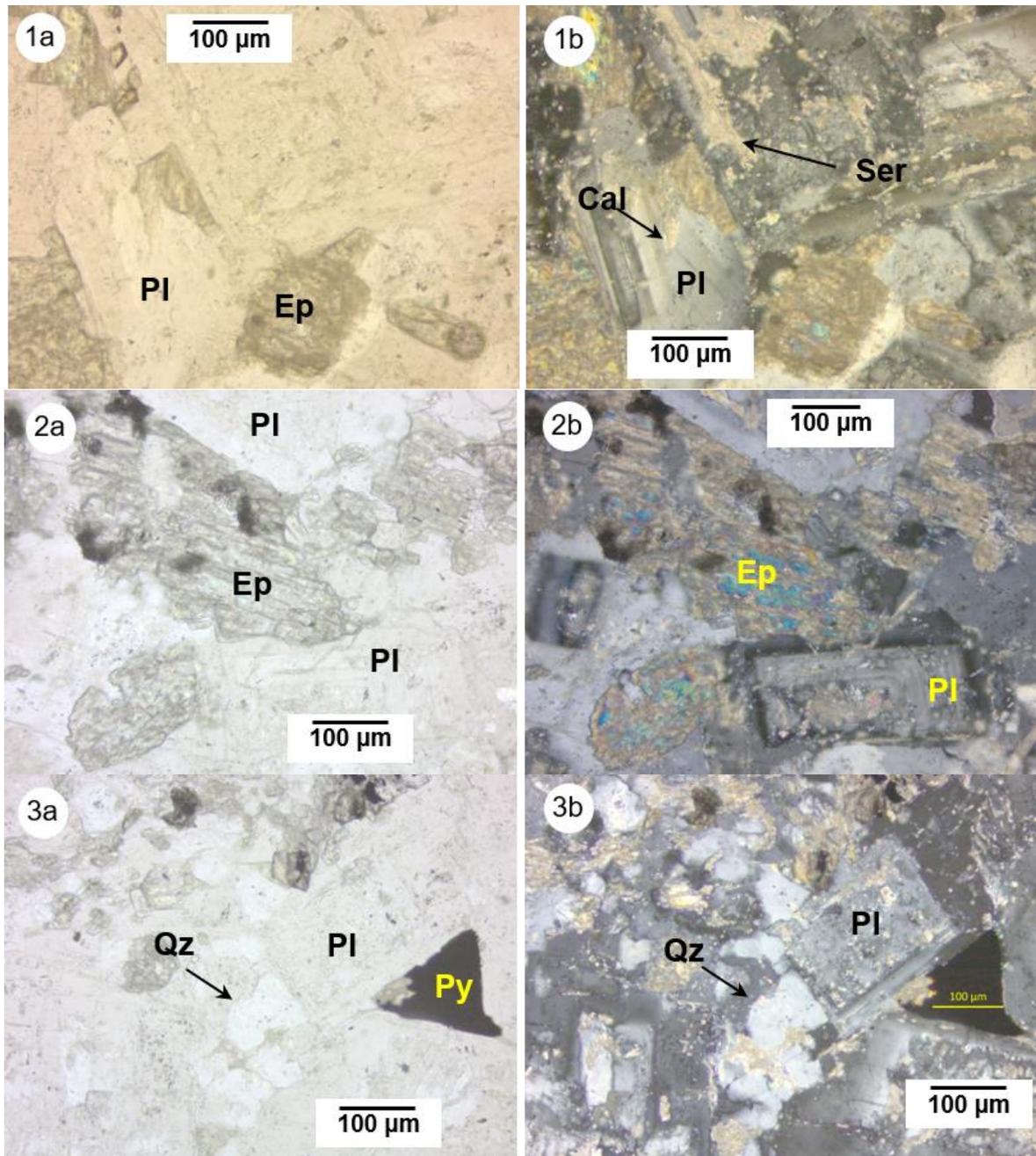


Figura 14. 1a) Plagioclasa con macla polisintética y parches de alteración calcita y sericita. 1b) En nicoles cruzados. 2a) Ferromagnesiano alterando a epidota. 2b) En nicoles cruzados. 3a) Cuarzo relleno espacios intercrystalinos, se observan además plagioclasas alterando a sericita. 3b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 48 – Diorita con alteración propilitica fuerte

Minerales primarios:

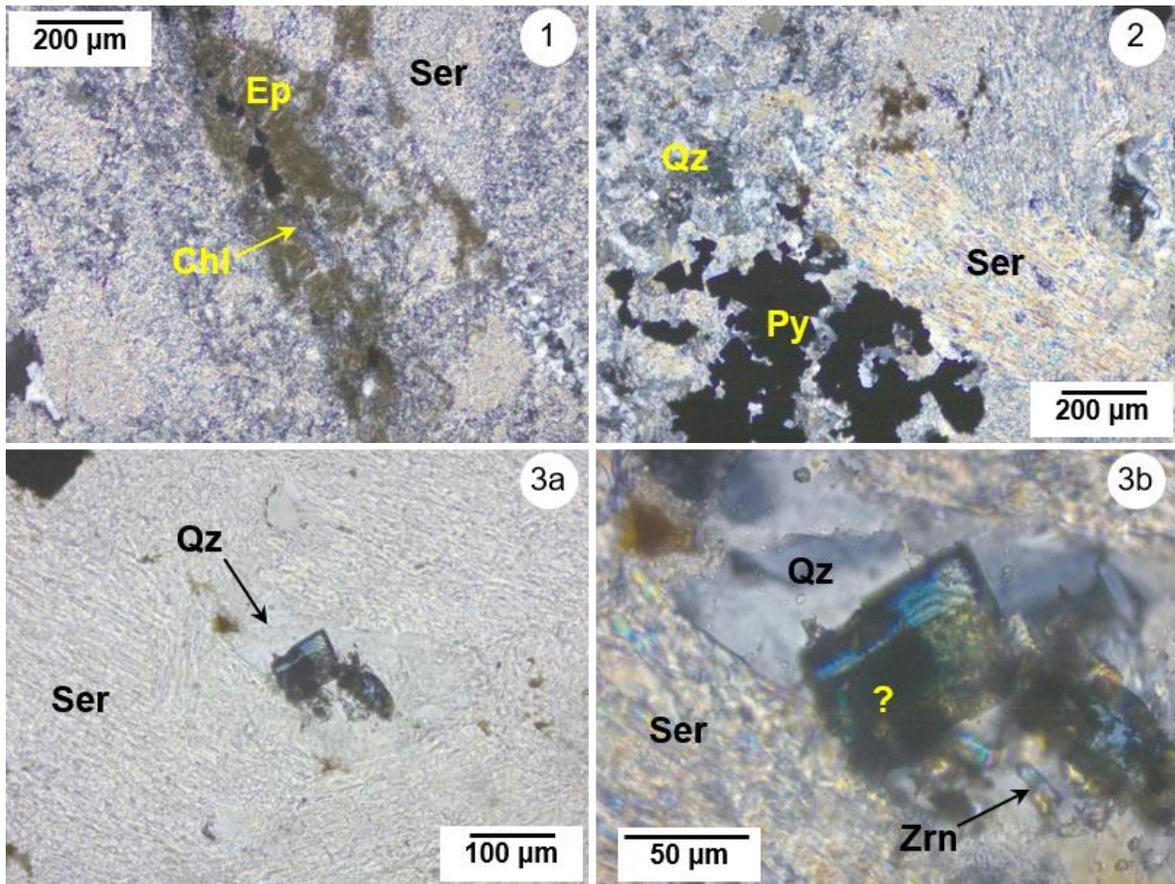
No se reconocen.

Minerales accesorios: zircones y apatitos.

No se puede dar una clasificación ya que los minerales primarios no se reconocen debido al grado de alteración. Sin embargo, de acuerdo a la muestra de mano podría tratarse de una **diorita**.

Minerales de alteración:

Sericita + epidota + cuarzo + opacos ± clorita



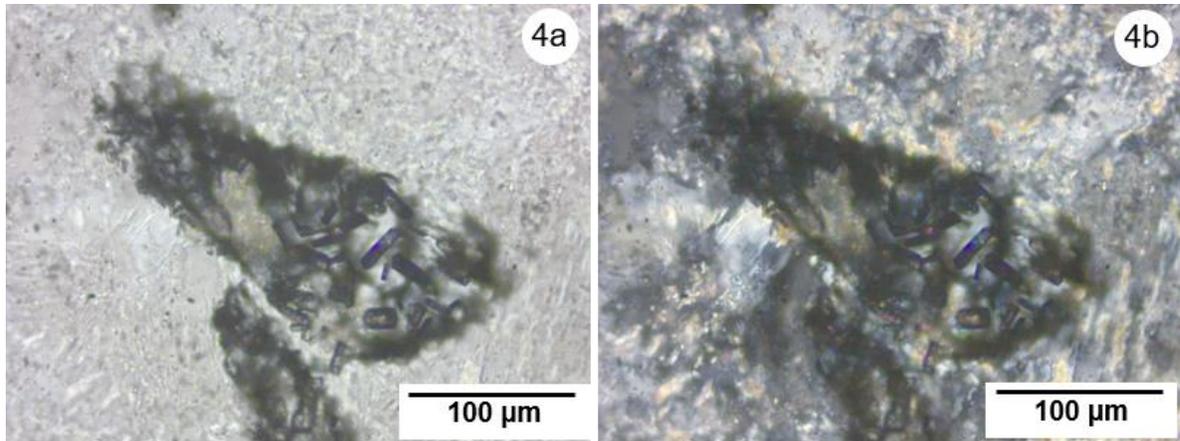


Figura 15. 1) Veta rellena de epidota y clorita; se observa alteración sericita alrededor de estos minerales de alteración. 2) Sericita con colores de interferencia característicos, se observa pirita de hábito cubico y un mosaico de cuarzo en el que se observa sericita. 3a) Sericita y cuarzo que rodean a un mineral azul no identificado que presenta zoneamiento y es acompañado por zircones. 3b) Acercamiento en 3a. 4a) Zona con concentración de zircones rodeados por sericita. 4b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 53 – Diorita con alteración propilítica débil

Minerales primarios:

(70%) Plagioclasas: con inclusiones sólidas de apatito y zircón, la alteración es diferencial, las fases secundarias son sericita, epidota, pirita y cuarzo.

(25%) Ferromagnesianos: probablemente augita y/o pigeonita se reconoce por sus colores de interferencia de tercer orden y macla, con alteración parcial a epidota, clorita, pirita y cuarzo. Otra de las fases primarias presentes es la biotita.

(5%) Cuarzo: en mucho menor cantidad que las demás fases.

Minerales accesorios: zircones y apatitos, como inclusiones sólidas en plagioclasas y clinopiroxenos.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: sericita + arcillas + epidota + pirita + cuarzo

Ferromagnesianos: epidota + clorita + pirita + cuarzo

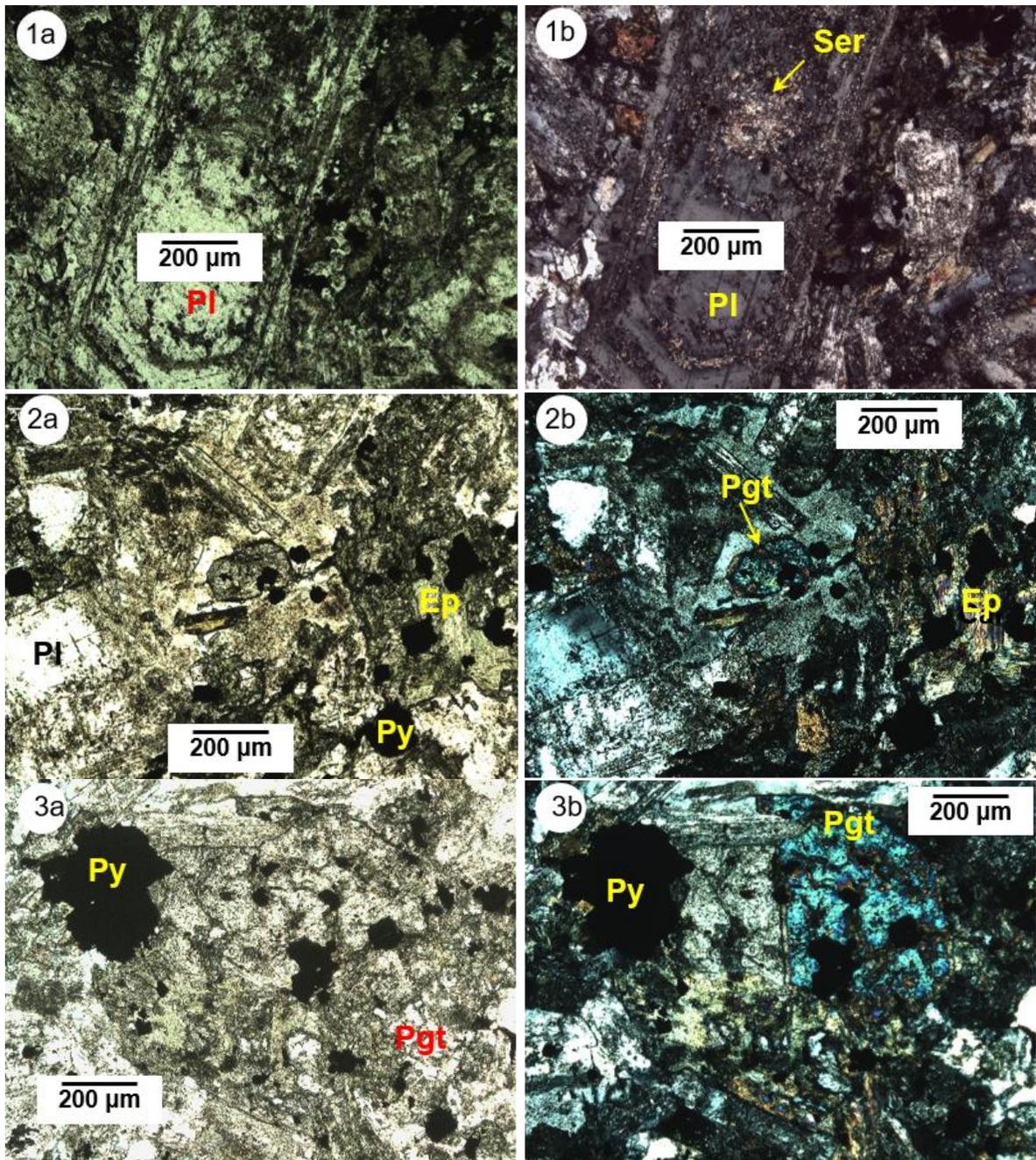


Figura 16. 1a) Plagioclasa con alteración diferencial a sericita. 1b) En nicoles cruzados. 2a) Plagioclases con diferentes grados de alteración; al centro de la imagen un cristal de pigeonita, con pirita como parte de la alteración. 2b) En nicoles cruzados, se hace evidente el cristal de pigeonita con colores de interferencia de tercer orden, además en extremo derecho un cristal de epidota. 3a) Cristal de pigeonita con alteración clorita, epidota y pirita. b) En nicoles cruzados, se hace evidente la macla del cristal de pigeonita y sus colores de interferencia.

Muestra: Talamantes 56 – Skarn

Minerales primarios: no se reconoce ningún mineral primario que ayude a la clasificación del protolito.

Minerales de alteración:

Granate: variedad grosularia, hay algunos cristales que presentan bordes de alteración a epidota, y en ocasiones está se encuentra invadiendo al cristal. En ocasiones dentro de los cristales de granate se observa pirita u óxidos.

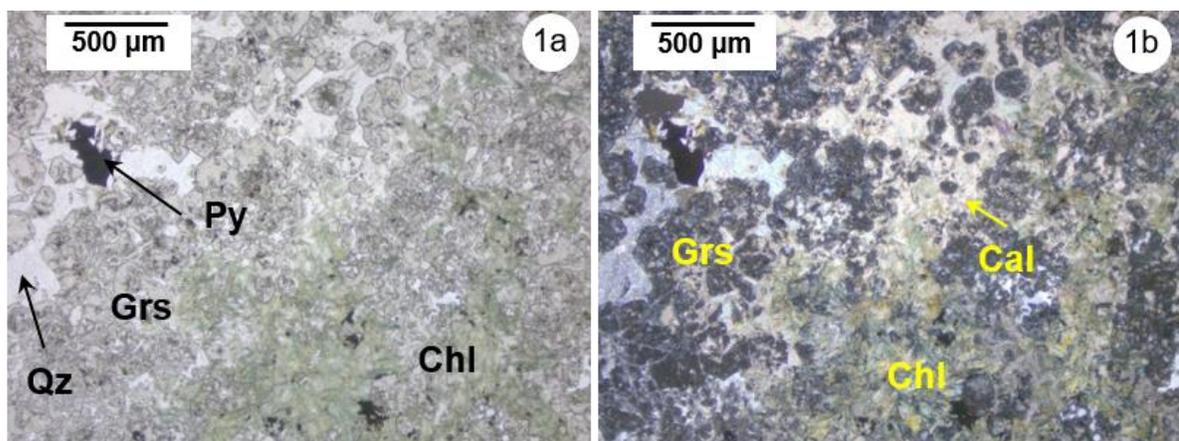
Cuarzo: se observa alrededor de los cristales de granate, por lo tanto, posterior.

Calcita: precipita siguiendo los bordes de los granates y del cuarzo. En algunos sectores la calcita tiene inclusiones sólidas de epidota.

Clorita: a pesar de que se observa la variedad penina, es más abundante la chamosita que se reconoce por su coloración verde y fuerte pleocroísmo a un verde más intenso; los cristales de clorita están delimitados por los de granate, por lo que deben ser posteriores a este.

Pirita: algunos cristales como inclusiones sólidas en granate, y algunas acumulaciones acompañando a la clorita.

Epidota: Principalmente como bordes de reacción de algunos de los cristales de granate y como inclusiones sólidas en la calcita tardía



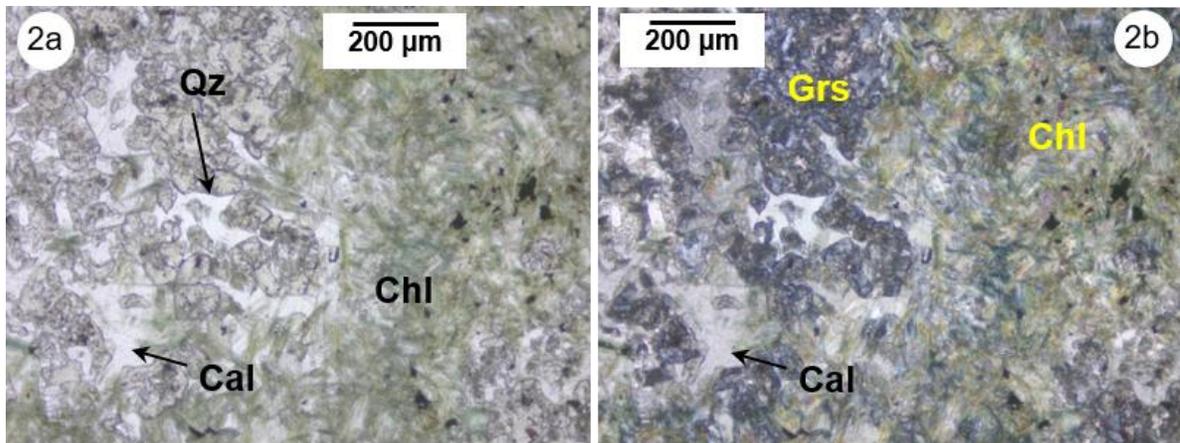


Figura 17. 1a) Minerales de alteración, en orden de aparición de acuerdo con lo observado: grosularia, cuarzo, calcita, clorita y pirita, esta última con una morfología irregular. 1b) En nicoles cruzados, se aprecian mejor los colores de interferencia de la calcita, así como la isotropía del granate. 2a) Se observa el crecimiento escalonado de los cristales, posiblemente relacionado con el crecimiento rápido y desordenado de los mismos, posteriormente al cuarzo y la calcita rellenan los espacios, y al final se tiene la precipitación de clorita. 2b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 56 – Ignimbrita

La muestra corresponde a una ignimbrita, está compuesta básicamente de vidrio, presenta cierto grado de devitrificación, probablemente a feldespato.

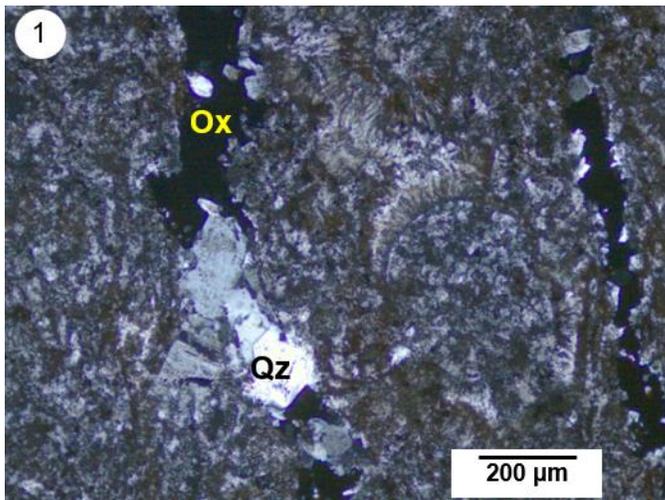


Figura 18. Matriz vítrea en proceso de devitrificación se observa al menos unas axiolita y un esferulito, además un par de vetillas en las que el relleno está conformado por cuarzo y óxidos. Se Puede mencionar que la coloración rojiza que presenta la muestra es originada por los óxidos presentes en la matriz.

Muestra: Talamantes 36 – Pórfido riolítico con alteración propilítica moderada

Minerales primarios:

(7%) Plagioclasas: alteradas a sericita y calcita; cuarzo microcristalino (calcedonia) de manera ocasional, en algunos casos la alteración es diferencial.

(30%) Cuarzo: cristales de 4-5 mm, en espacios intergranulares hay zonas alteradas a sericita, además presentan bahías y fracturas.

(3%) Biotita: en general sana.

(5%) Ferromagnesianos: probablemente hornblenda, se observan algunos bordes de deshidratación.

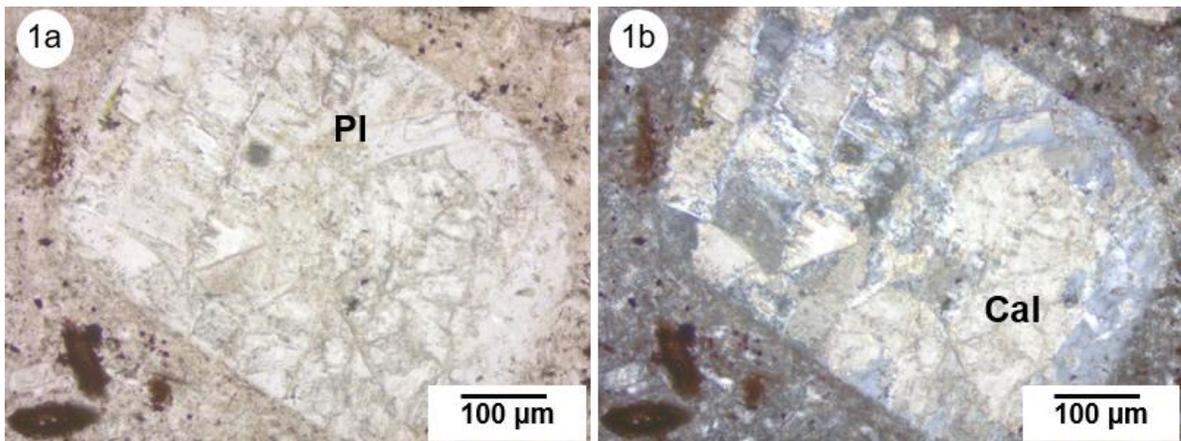
(55 %) Matriz: devitrificada criptocristalina, probablemente a feldespato, las alteraciones que se encuentran afectando a la matriz son calcita, pirita y cuarzo.

Minerales accesorios: zircon

Minerales de alteración:

Plagioclasas: sericita + calcita + arcillas ± calcedonia ± opacos

Ferromagnesianos: calcita ± illita ± opacos



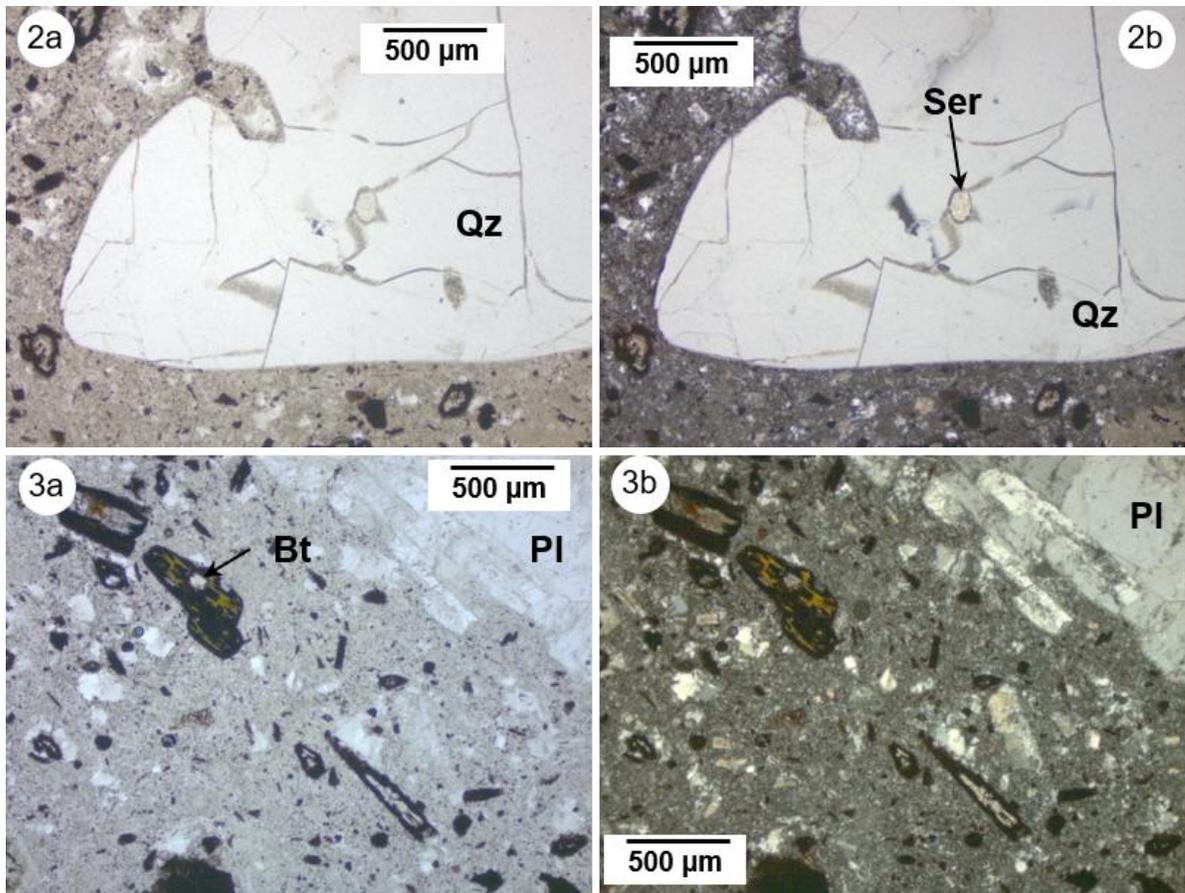


Figura 19. 1a) Plagioclasa alterando a calcita en una matriz criptocristalina. 1b) En nicoles cruzados se observan colores de interferencia típicos. 2a) Cuarzo con bahía de reacción rellena por sericita; en los espacios intergranulares se observa sericita. 2b) En nicoles cruzados. 3a) Ferromagnesianos con bordes de deshidratación y biotita en una matriz criptocristalina. 3b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 37 – Pórfido riolítico con alteración propilítica intensa

Minerales primarios:

(10 %) Plagioclasas: alterando a calcita principalmente, muy pocas se observan con la macla polisintética característica.

(12 %) Feldespatos potásicos: alterando a calcita principalmente; presentan arcillas ocasionalmente.

(18 %) Cuarzo: se observan fenocristales de hasta 6 mm de longitud, presentan fracturas rellenas por calcita y epidota principalmente. Se encuentran redondeados y tienen bahías en las que en ocasiones se observa alteración a sericita.

(5 %) Ferromagnesianos: totalmente destruidos, en ocasiones se observan solo las formas, reemplazadas totalmente por pirita y cuarzo.

(55 %) Matriz: criptocristalina devitrificando probablemente a feldespato o cuarzo, como alteración se observa epidota, parches de calcita, cuarzo, sericita y opacos.

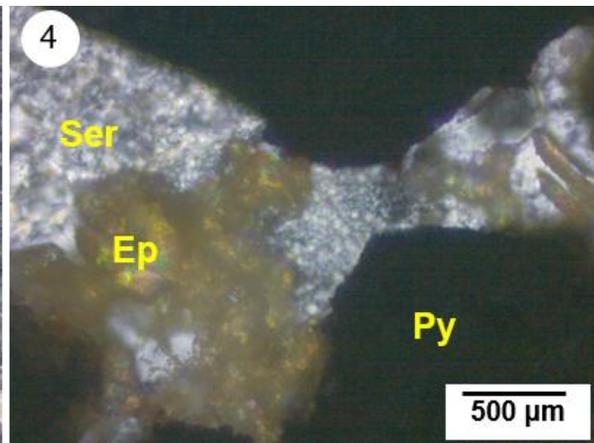
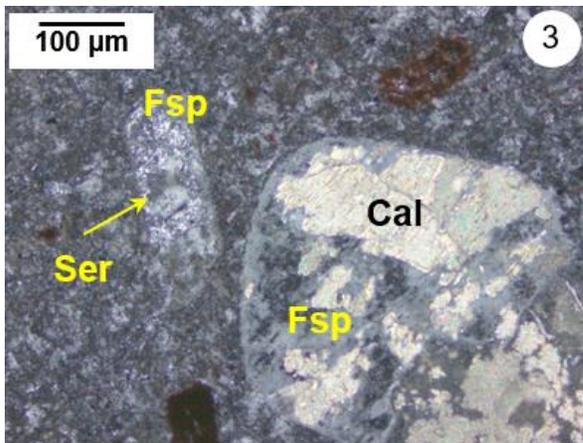
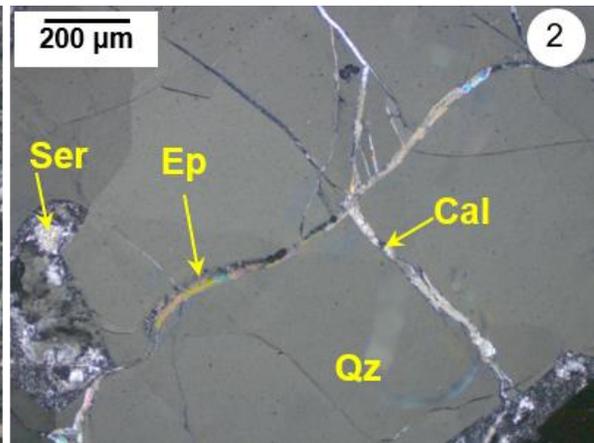
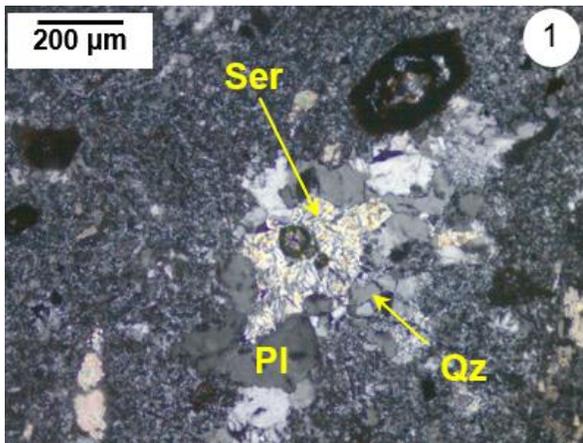
Minerales accesorios: apatitos y zircones.

Minerales de alteración:

Plagioclasas: calcita + sericita.

Feldespato potásico: calcita + arcillas

Ferromagnesianos: opacos + cuarzo + epidota



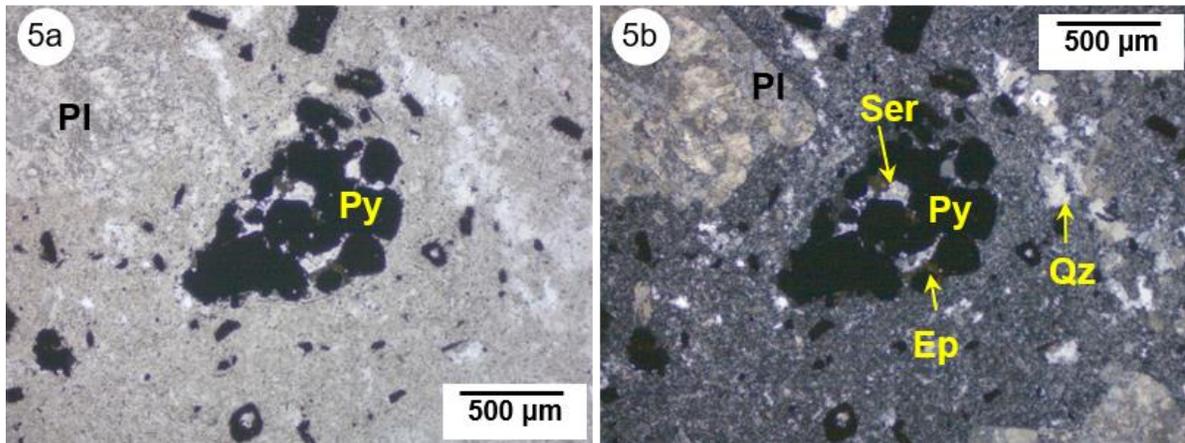


Figura 20. 1) Alteración a sericita en el centro de un agregado de cuarzo en una matriz criptocristalina. 2) Fenocristal de cuarzo de 3 mm de ancho con fracturas intramineral rellenas de calcita y epidota, se observa una bahía rellena de sericita. 3) Feldespatos alterando a calcita (esquina inferior derecha) y feldespato alterando a sericita (centro izquierda) en matriz criptocristalina. 4) Minerales de alteración epidota pirita y sericita. 5a) Al centro posible reemplazamiento de ferromagnesiano por pirita, en los intersticios se observa alteración sericita y epidota. 5b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 66 – Riolita con alteración propilítica

Minerales primarios:

Fenocristales de feldespato: alterando a sericita principalmente, en algunos casos a epidota.

Fenocristales de cuarzo: en cantidades menores, algunos probablemente sean producto de recristalización.

Ferromagnesianos: que han sido alterados por completo a epidota y cuarzo.

Minerales de alteración:

Sericita + cuarzo ± epidota

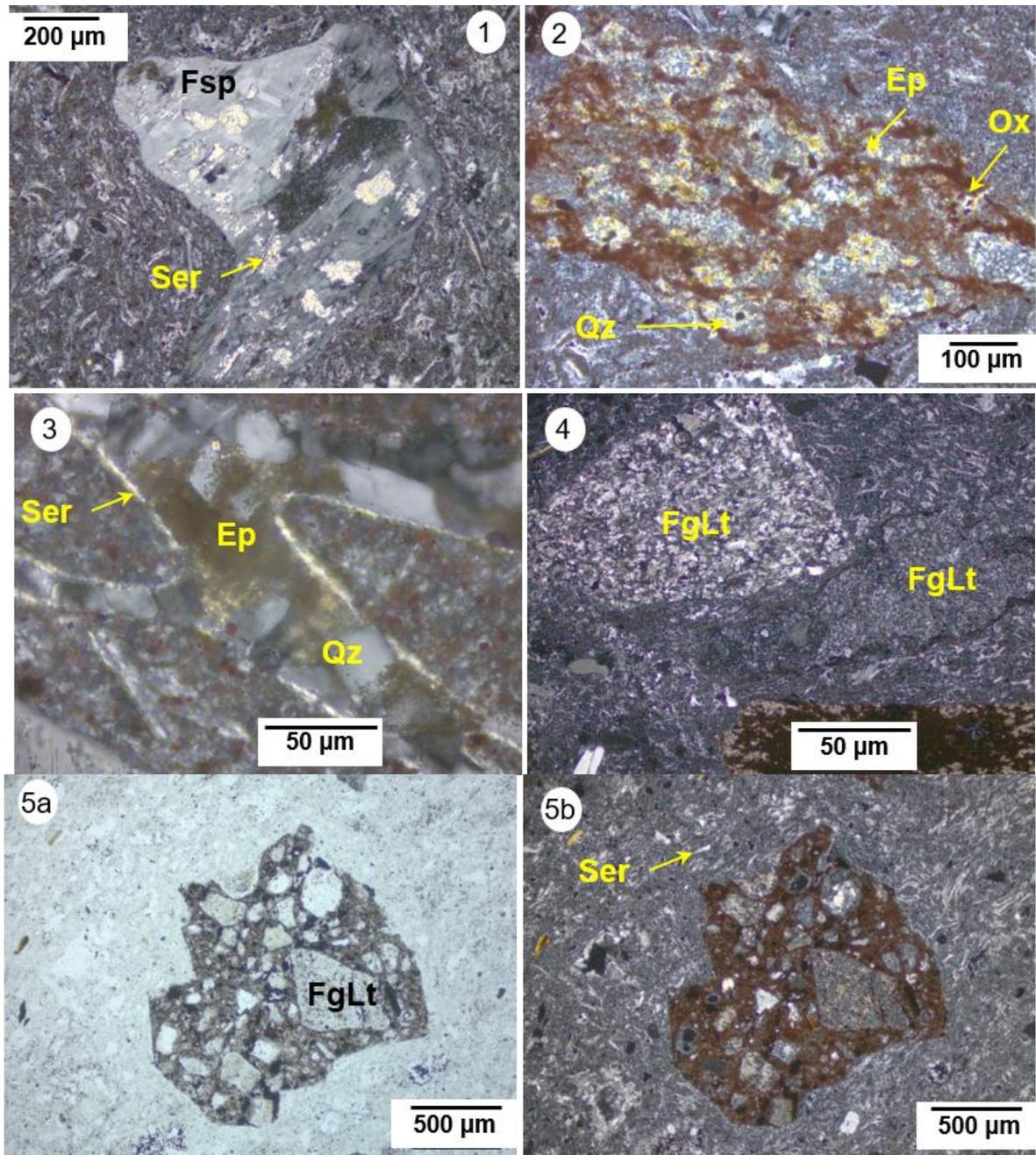


Figura 21. 1) Feldespato con alteración sericita, en la matriz algunos alineamientos también presentan alteración, es probable que la matriz tenga una composición feldespática. Y debido a ello esos bordes tengan alteración sericita. 2) Ferromagnesiano alterando a epidota y cuarzo principalmente, se presentan algunos óxidos que al parecer enmarcan el cruceo ($120 - 60^\circ$) de lo que pudo ser un anfíbol. 3) Cuarzo enmarcado por bordes de esferulitas con sericitización. 4) Diversos fragmentos líticos en una matriz; en la porción inferior de la muestra un ferromagnesiano que ha sido totalmente alterado a epidota y óxidos. 5a) Clasto de fragmentos líticos de diferentes formas y tamaños, en la matriz riolítica. 5b) En nicols cruzados se aprecia la sericitización que enmarca textura fluidal.

Muestra: Talamantes 39 – Toba

Minerales primarios:

Feldespatos: fenocristales anhedrales alterando a arcillas.

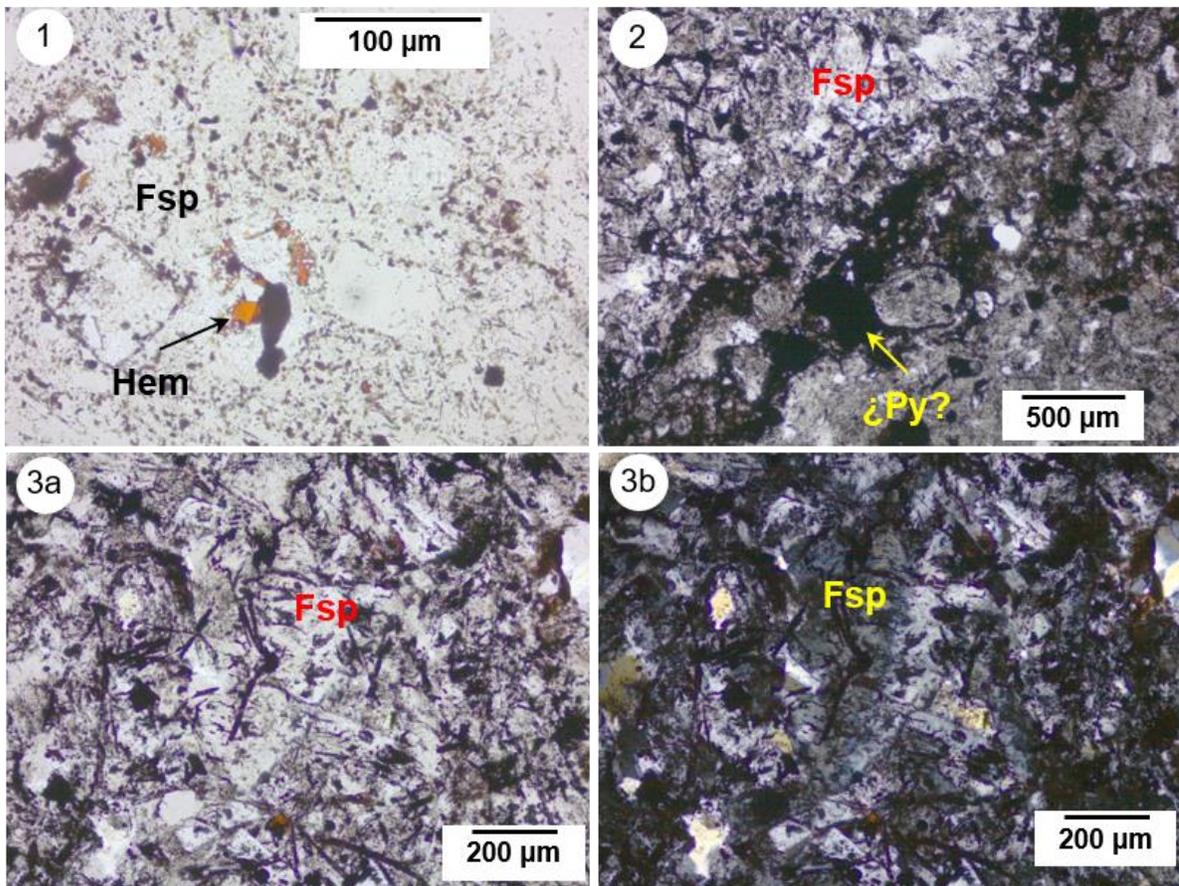
Cuarzo: mosaicos de fenocristales.

Matriz: vítrea.

Minerales accesorios: no se observan.

Minerales de alteración:

Óxido + cuarzo + arcillas



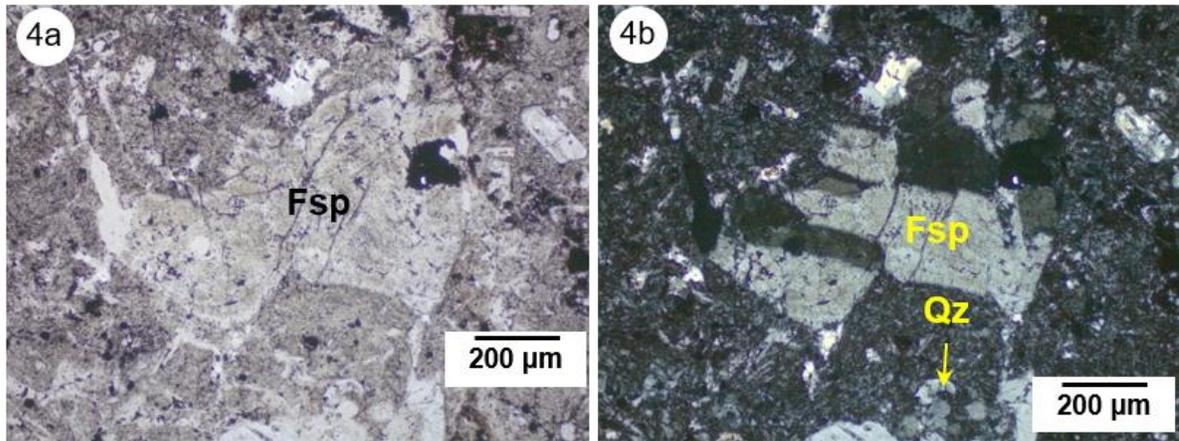


Figura 22. 1) En su mayoría fenocristales de feldespato, algunos óxidos, en marrón probablemente hematita. 2) Se observa una vetilla rellena de pirita, esta vetilla es el límite entre dos texturas diferentes de la roca. 3a) Posiblemente feldespato con de extinción ondulante al centro de la foto rodeado por la matriz vítrea. 3b) En nicoles cruzados. 4a) Se observa fenocristal anhedral de feldespato alterando a arcillas; en algunos sectores se aprecian mosaicos de cuarzo, en ocasiones parecen tener la forma de algún cristal, por lo que se interpreta que el mosaico está reemplazando a alguna fase mineral o rellenando vacuolas. 4b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 28a – Toba arenosa con alteración propilítica débil

Se trata de una **toba arenosa** granosoportada constituida principalmente por fenocristales de cuarzo, algunos de estos cuarzos se encuentran sobrecrecidos y en algunos casos la sílice se encuentra como cementante.

Además, se observan fragmentos líticos y fenocristales de feldespato, estos últimos se encuentran alterando a sericita, óxidos calcedonia y epidota. Los fragmentos líticos corresponden a rocas ígneas extrusivas de la zona de estudio, por ejemplo, de flujo riolítico, andesitas, pómez con diferentes grados de devitrificación, en general los fragmentos se encuentran rodeados por óxidos.

En algunas zonas se observa una matriz heterogénea y vítrea, con cierto grado de devitrificación.

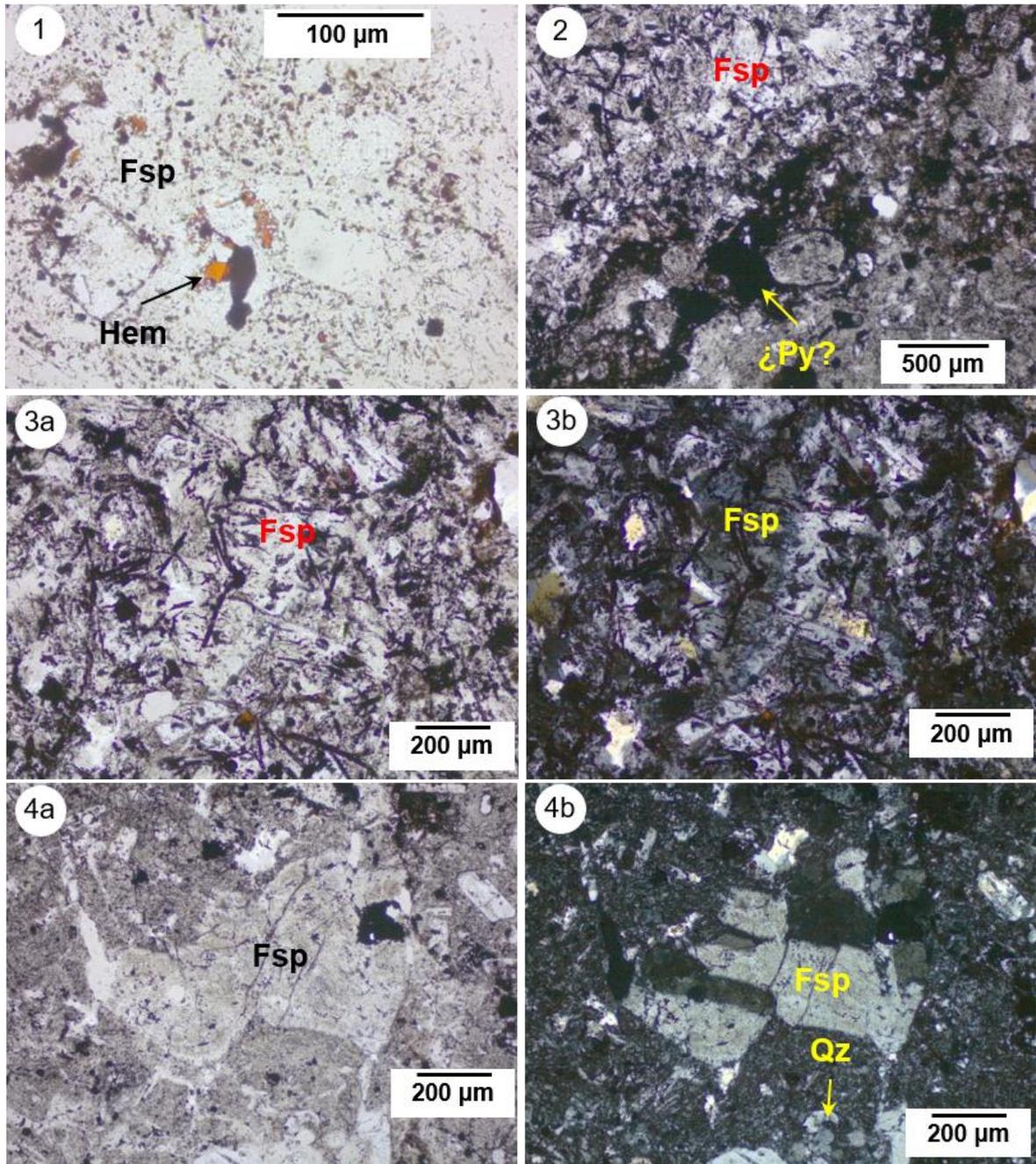


Figura 23. 1a) Fenocristales de cuarzo y feldespatos, algunos de estos últimos se encuentran alterando a arcillas. 1b) En nicols cruzados. 2) Fenocristal de cuarzo fracturado en una matriz vítrea con óxidos. 3) Diversos fragmentos líticos, algunos en sus bordes presentan óxidos, además se observan algunos fenocristales de cuarzo. 4) Fenocristales de feldespato en una matriz vítrea; se observan algunas zonas con coloración rojiza, que se debe a la presencia de óxidos. 5) Fragmentos líticos y fenocristales de feldespato, se observan los bordes de estos, delineados por óxidos en la mayoría de los casos.

Muestra: Talamantes 32 – Toba riolítica con alteración propilítica

Minerales primarios:

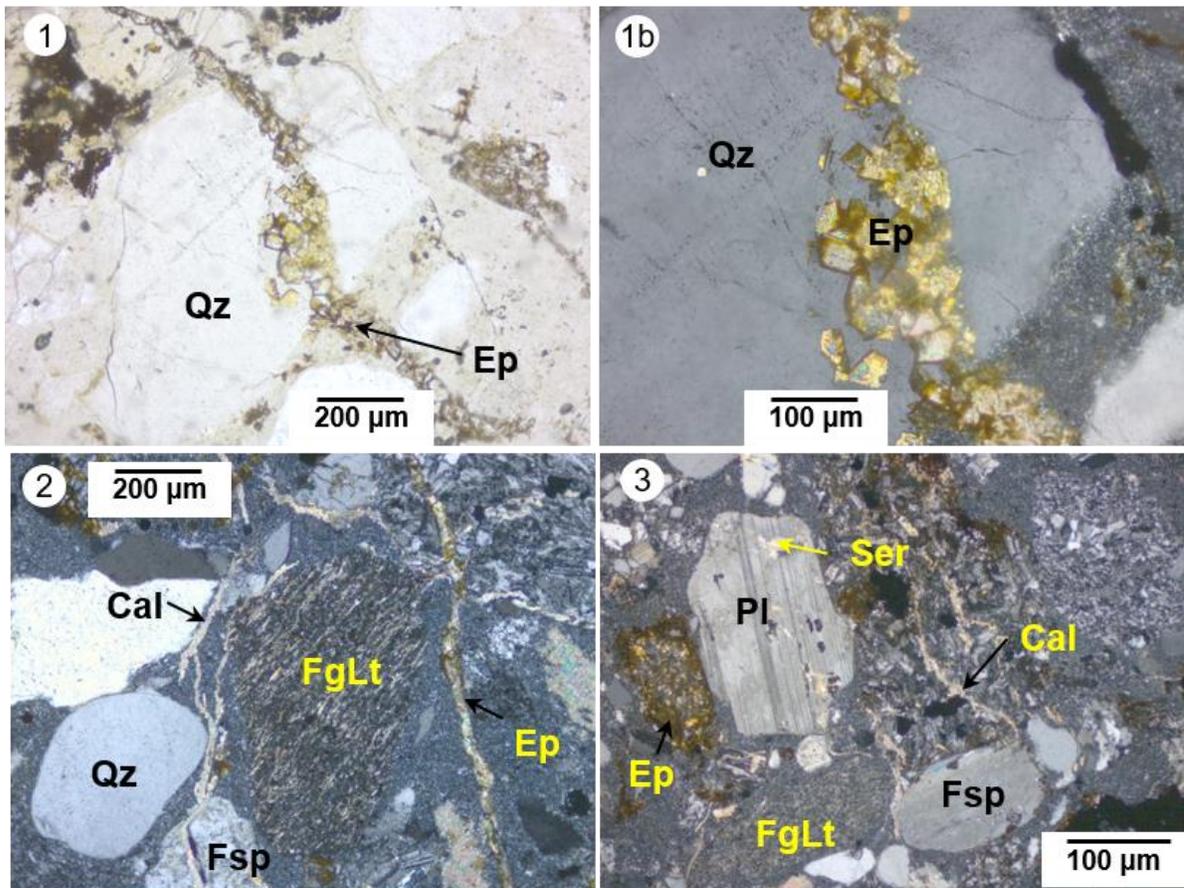
Se observan fenocristales de cuarzo y plagioclasas, además de fragmentos líticos en una matriz fina con cierto grado de devitrificación.

Minerales accesorios:

Zircón

Minerales de alteración:

Calcita + epidota + pirita ± sericita ± cuarzo



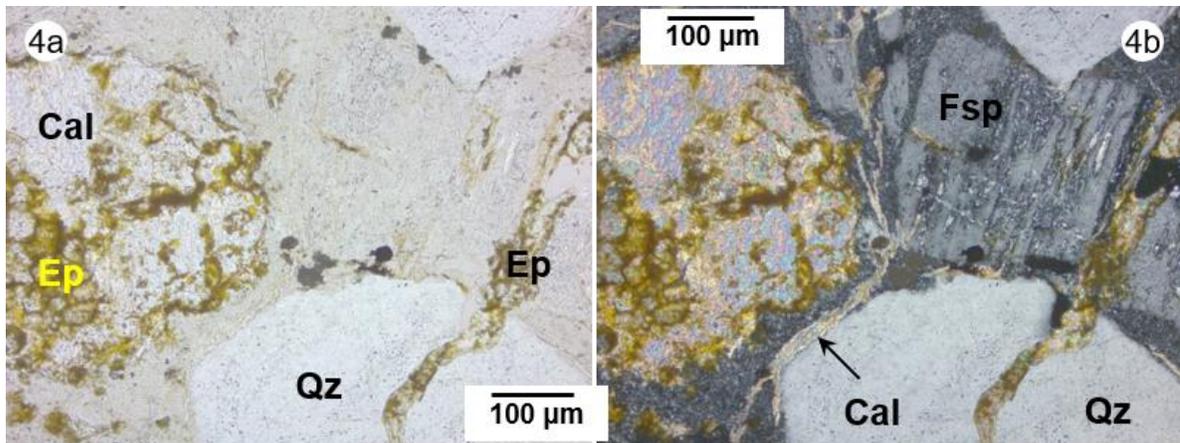


Figura 24. 1a) Fenocristal de cuarzo con vetilla rellena de epidota, los cristales de epidota son euhedrales, esta fase se reconoce por sus colores de interferencia. 1b) Acercamiento de 1a.2) Al centro fragmento lítico con textura fluidal, algunas zonas están alterando a epidota siguiendo la textura, además se observan fenocristales de cuarzo y feldespato; algunas vetillas de epidota y/o calcita. 3) Fenocristal de plagioclasa alterando a calcita, epidota, pirita y cuarzo; algunos fragmentos líticos son atravesados por vetillas principalmente de calcita; otros han sido alterados a epidota; varios fenocristales de cuarzo están presentes, todo lo anterior en un matriz en devitrificación. 4a) Fenocristal de feldespato con alteración sericita, en la porción inferior se observa fenocristal de cuarzo con fractura rellena de calcita y epidota; el extremo izquierdo de la imagen otro fragmento que ha sido reemplazado completamente por calcita y epidota. 4b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes 62 – Toba riolítica con alteración propilítica

Se trata de una veta de calcita, en su mayoría constituida por este carbonato, incluso es evidente su macla característica; se observan algunos fragmentos del encajonante, básicamente fragmentos de texturas micro y criptocristalina probablemente de cuarzo y/o feldespato, es probable que este tipo de materiales se encontrara ya alterado o en proceso de alteración cuando formó parte de la veta.

En algunas zonas se observan zeolitas que se reconocen por su extinción radial y parecen estar relleno de espacios irregulares entre los cristales anhedral de calcita. Se identificó pirita que presentan cierta asociación espacial con las zonas que corresponden a los fragmentos de matriz identificados en la veta.

Los minerales de alteración presentes son calcita, pirita y (posiblemente calcedonia o zeolitas) en ese orden de abundancia, se observan óxidos en bordes de reacción de algunos cristales de pirita.

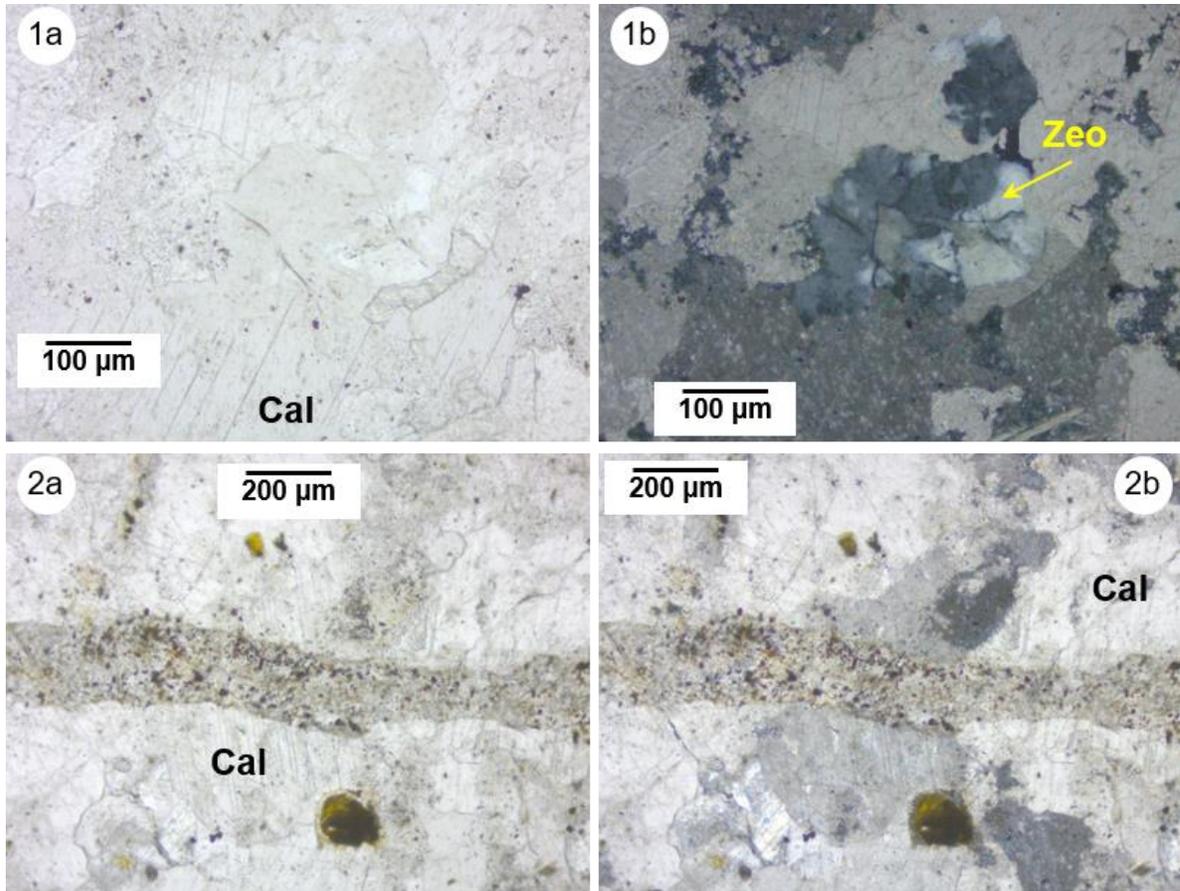


Figura 62. 1a) Se observa la macla característica de la calcita en gran parte de la imagen, en algunas zonas se observan pequeños cristales de pirita. 1b) En el centro, es evidente una zeolita rodeada por calcita. 2a) Vetilla de calcita con pirita y óxidos en los bordes del sulfuro. 2b) En nicoles cruzados se observan los colores de interferencia característicos de la calcita.

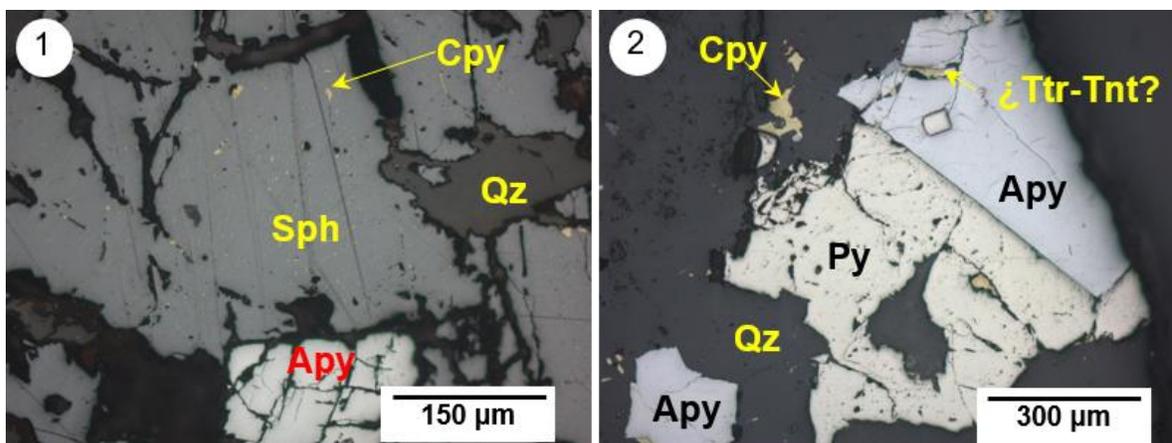
Anexo B: Minerografía de sulfuros y sulfosales

En este anexo se detalla la minerografía de sulfuros y sulfosales de las muestras correspondientes. En cada una de ellas se definió una secuencia paragenética, en la que se apoyó el establecimiento de la secuencia de los yacimientos de Talamantes que conciernen a este estudio.

Las abreviaturas empleadas en la descripción de las láminas son las siguientes: Apy: arsenopirita, Cal: calcita, Cpy: calcopirita, Gn: galena, Hbl: hornblenda, Py: pirita, Qz: cuarzo, Sfs: sulfosales, Sph: esfalerita, Ttr-Tnt: tetraedrita-tennantita.

Muestra: Talamantes 50

Esta muestra es parte de un relleno de veta compuesta por pirita euهدral-subهدral posterior y en coprecipitación con arsenopirita, esta última en cantidades traza y con morfología euهدral-subهدral. Posterior a ambas fases se presentan esfalerita y calcopirita anhedrales; la calcopirita se encuentra en cantidades traza y en ocasiones rellenando fracturas, asociada a esta última fase encontramos tetraedrita-tennantita. En su mayoría, los espacios vacíos entre los minerales anteriores se encuentran rellenos por cuarzo. Posteriormente a lo antes mencionado se tiene la precipitación de calcita, en cantidades menores siderita (en agregados) y hematita, que reemplaza los bordes de la siderita.



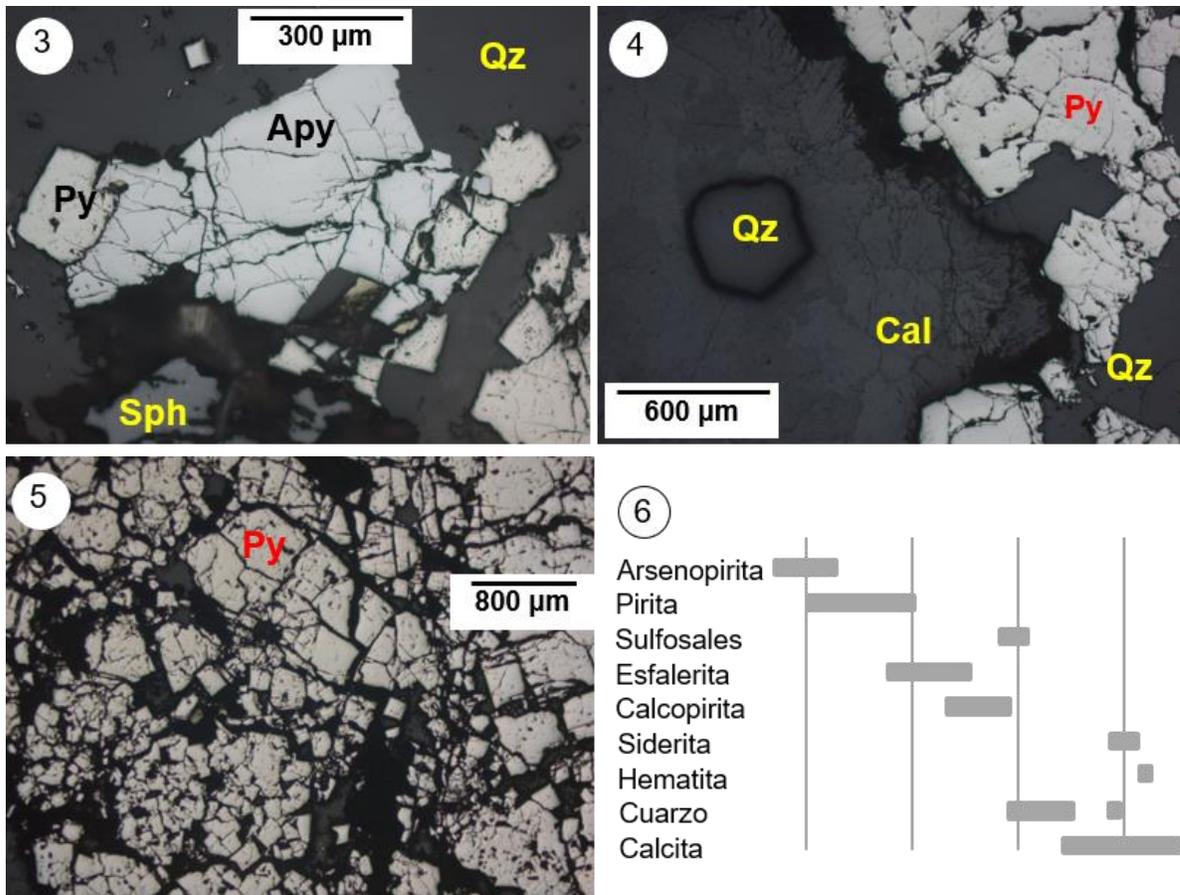


Figura 26. 1) La esfalerita presenta exsolución de calcopirita (chalcopyrite disease); en la parte inferior de la foto se observa arsenopirita, probablemente anterior a la esfalerita. 2) Arsenopirita euhedral, rodeada por pirita; además, se observa calcopirita anhedral, acompañada de sulfosales, todos ellos inmersos en cuarzo. 3) Intercrecimiento del pirita y arsenopirita, la arsenopirita presenta algunas inclusiones sólidas de pirita. 4) Crecimiento euhedral de pirita, seguido por la precipitación de cuarzo; finalmente, la deposición de calcita siguiendo los límites de ambas fases mencionadas. 5) Pirita subhedral - euhedral, los cristales fracturados denotan al menos un evento de deformación posterior. 6) Paragénesis de las fases identificadas en la muestra.

Muestra: Talamantes 54

Se trata de un relleno de veta con dos episodios principales de mineralización. La pirita del primer evento es de subhedral a euhedral, se presenta arsenopirita en coprecipitación y es posterior a la pirita. La esfalerita se encuentra en los espacios entre cristales de pirita, en algunos casos acompañada de calcopirita que, además, llega a presentarse como exsolución. La calcita se encuentra rellenando espacios entre los minerales mencionados. Además, parece haber al menos un evento de deformación que afectó a los minerales que corresponden al primer episodio de mineralización. El segundo evento está conformado principalmente por calcita y un intercrecimiento de calcita-pirita.

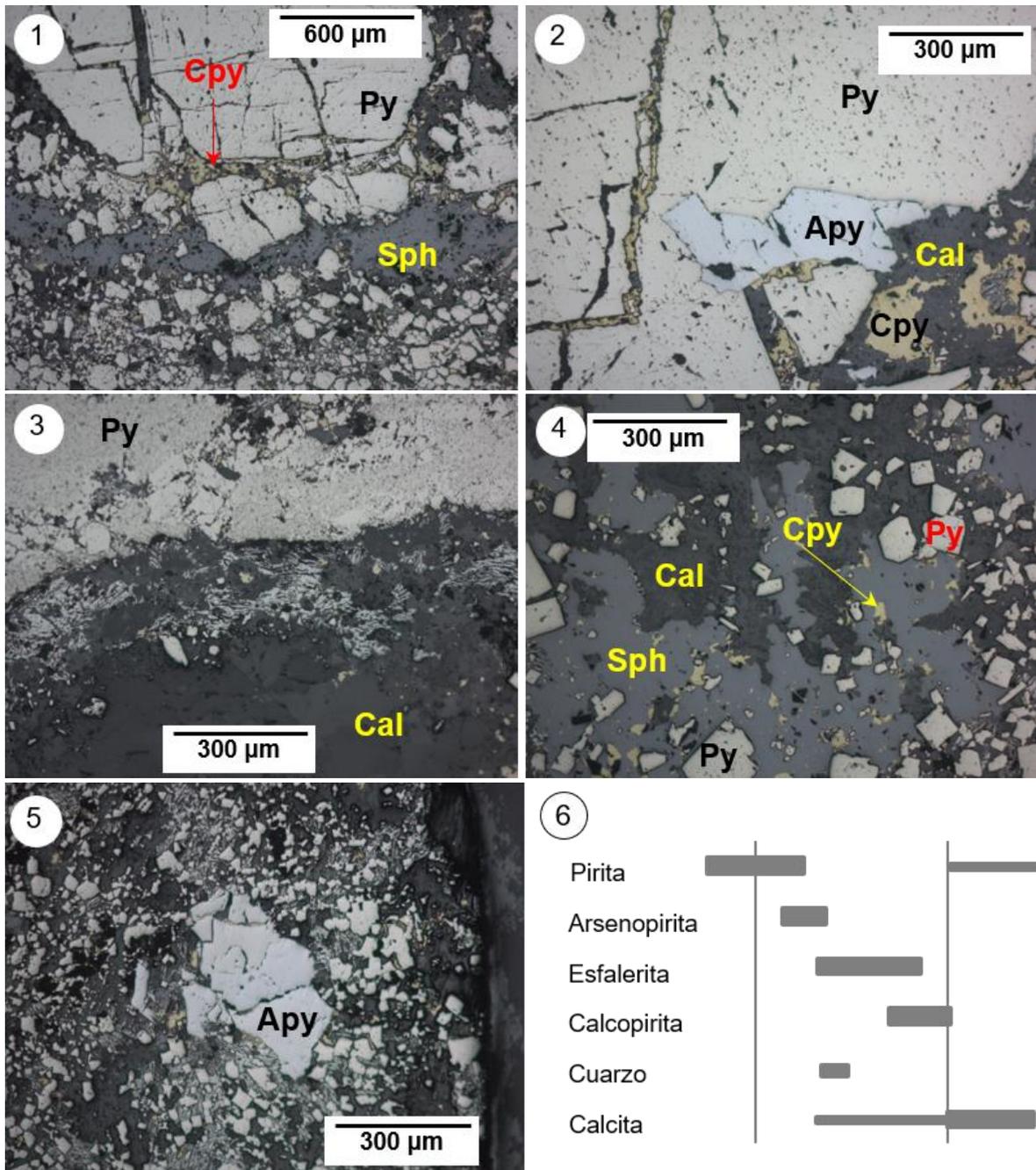


Figura 27. 1) Bandeamiento en la zona con sulfuros predominantes, en la parte superior se observan pirita subhedral fracturada y calcopirita rellenando las fracturas; se observa un nivel en donde predomina la esfalerita. En el sector inferior de la muestra pirita subhedral – euhedral de menor tamaño de grano y pirita y calcita tardías rodeando los cristales de pirita del primer evento. 2) Pirita en coprecipitación con arsenopirita, se observan calcita y calcopirita posteriores. 3) Contacto entre la zona de sulfuros predominantes (sector superior) y la zona de calcita predominante (sector inferior) en donde se presenta el intercrecimiento de pirita y calcita, además de fragmentos de pirita. 4) Pirita subhedral - euhedral rodeada por esfalerita y calcita, calcopirita como exsolución de esfalerita. 5) Arsenopirita fracturada, las fracturas se encuentran rellenas por calcita y calcopirita, en los bordes calcita y pirita tardías. 6) Paragénesis.

Muestra: Talamantes 55

Se trata de un relleno de veta en el que predominan sulfuros y cuarzo; además, se observa reemplazamiento parcial de diversas fases. La pirita es principalmente euhedral y está reemplazada parcialmente por galena; de manera posterior, se tiene la precipitación de esfalerita anhedral que es reemplazada por sulfosales y las sulfosales a su vez son reemplazadas por galena; por último, se tiene la precipitación de cuarzo.

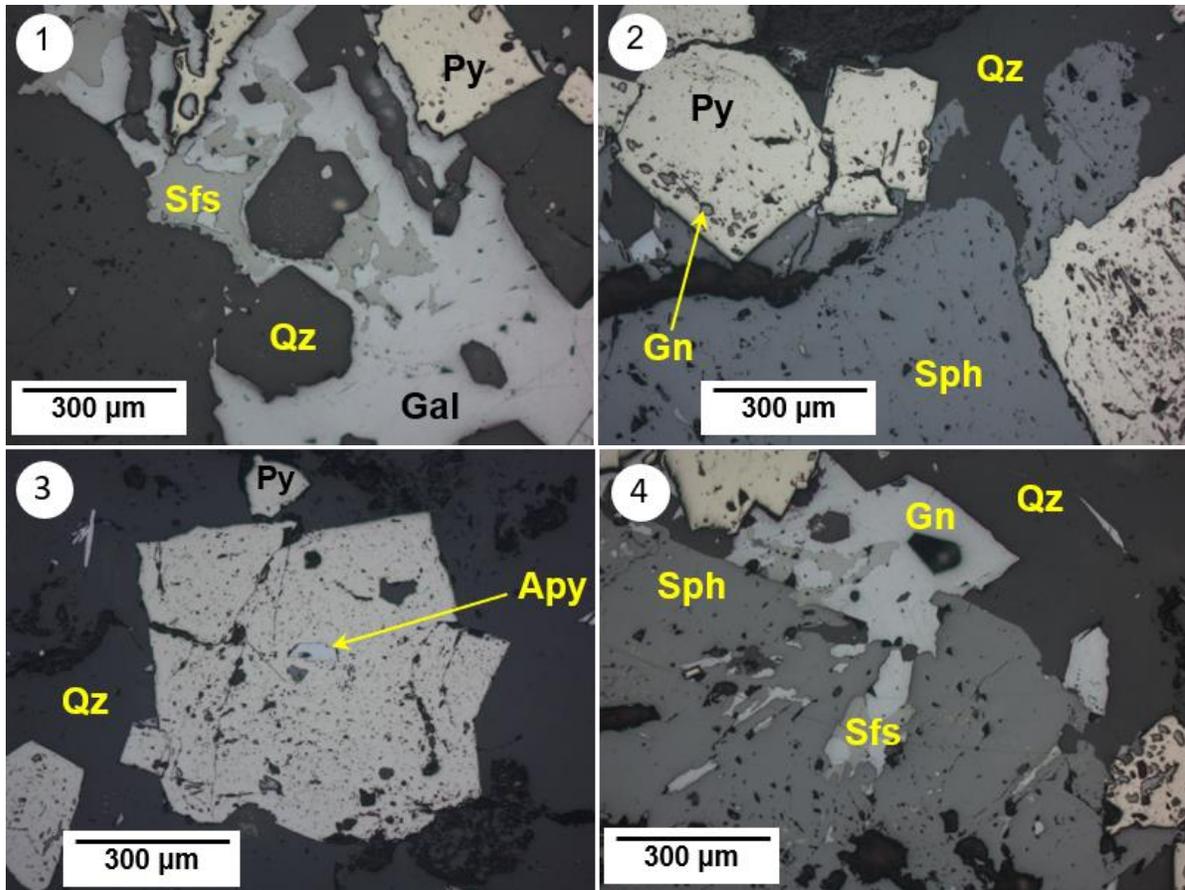
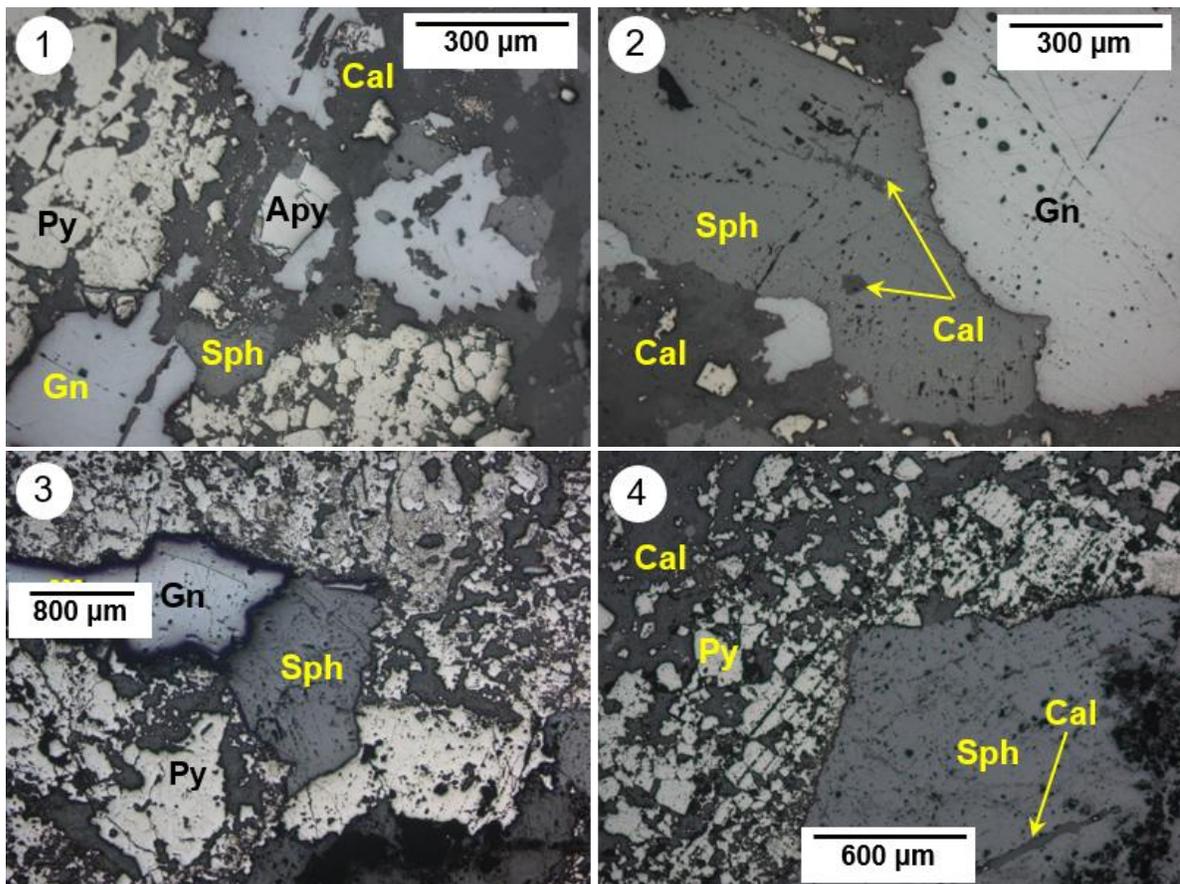


Figura 28. 1) Cuarzo y pirita subhedral, la pirita está siendo reemplaza por galena; la galena es reemplazada por sulfosales, y estas últimas llegan a presentarse como inclusiones sólidas en el cuarzo. 2) Esfalerita posterior y en coprecipitación con pirita; pirita reemplazada por galena en algunos sectores. 3) Pirita subhedral con inclusión sólida de arsenopirita y de cuarzo; se observan algunas fracturas que han sido rellenas por cuarzo. 4) Esfalerita reemplazada por galena, posteriormente sulfosales reemplazan a la galena. 5) Pirita subhedral reemplazada y rodeada por galena, la esfalerita también presenta reemplazamiento por esta fase. 6) Paragénesis.

Muestra: Talamantes 64

Se trata de un relleno de veta en el que se presentan al menos dos eventos: uno durante el cual predominó la deposición de sulfuros (Py, Sph, Gn y Apy) y un segundo evento en el que precipitaron pirita y calcita. Durante el final de la primera etapa y probablemente durante la segunda, se tiene el reemplazamiento de esfalerita por galena y calcita. La pirita presenta dos texturas, cada una de estas corresponde a una etapa de mineralización, la pirita del primer evento tiende a presentarse euhedral; mientras la pirita del segundo evento es anhedral y se encuentra en intercrecimiento con calcita.



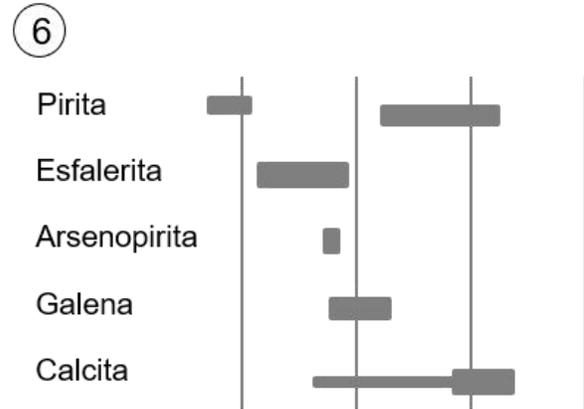
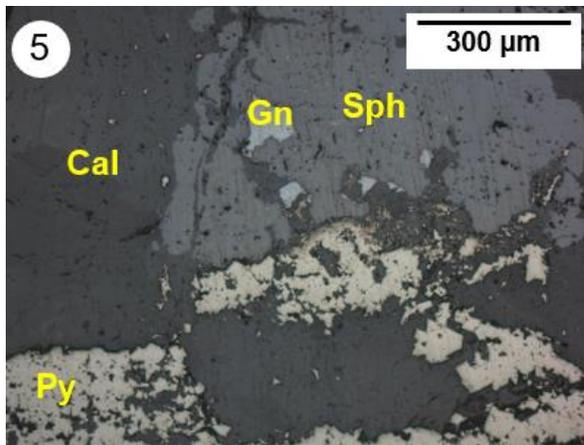


Figura 29. 1) Cristal de arsenopirita anterior a galena y probablemente en coprecipitación con esfalerita. 2) Sectores convexos de esfalerita que indican que la galena ha crecido a partir de la esfalerita. Reemplazamiento de esfalerita por calcita. 3) Esfalerita y galena probablemente en coprecipitación. 4) Intercrecimiento de pirita y calcita, ambas fases posteriores a la esfalerita que presenta reemplazamiento por calcita. 5) Esfalerita reemplazada por galena y calcita, posterior precipitación de pirita y calcita relleno los espacios vacíos. 6) Paragénesis.

Anexo C: Petrografía de minerales de la asociación tardía

En este apéndice se detalla la petrografía de los minerales de la asociación tardía barita-fluorita-cuarzo.

Las abreviaturas empleadas en la descripción de las láminas son las siguientes: Brt: barita, Cal: calcita, Fl: fluorita, Gth: goethita, Ox: óxidos, Qz: cuarzo.

Muestra: Talamantes Barita 3

La muestra corresponde a un bandeamiento, principalmente de óxidos y barita; se reconoce la dirección de crecimiento de los óxidos. Tomando como referencia la formación de los óxidos, se describe la secuencia de precipitación.

De acuerdo con lo observado es probable que la primera fase en precipitar haya sido la barita. Esto es debido a que, en muchos casos se observan los óxidos siguiendo los bordes bien definidos de los cristales de barita; estos cristales de barita presentan inclusiones sólidas de óxidos principalmente de hierro (goetita), aunque es probable que en las partes en que se observan “sucios” se trata de óxidos de manganeso. Ocasionalmente se presentan inclusiones sólidas de calcita. Algunos cristales de barita se observan un tanto maltratados, probablemente por un evento de deformación. Además, ocasionalmente estos cristales presentan bordes de reacción con cuarzo, como parte de una serie reactiva. La barita se presenta de subhedral a euhedral. Con base en las inclusiones sólidas de óxidos, que siguen los planos de crecimiento de los cristales de barita y en que ocasionalmente presentan intercrecimiento, se interpretan lapsos de coprecipitación de estos minerales. Las fracturas de los cristales de barita se presentan rellenas con óxidos.

Posteriormente, se observa un nivel en el que domina el crecimiento de óxidos en agregados botroidales. Existen algunos cristales de barita, pero en cantidades menores.

Siguiendo el bandeamiento hacia arriba, se encuentran algunos cristales de barita que muestran un comportamiento anómalo en su extinción, probablemente asociado a un evento de deformación. En este nivel domina la precipitación de barita sobre la de óxidos. Al final se presenta un nivel de dominio de óxidos.

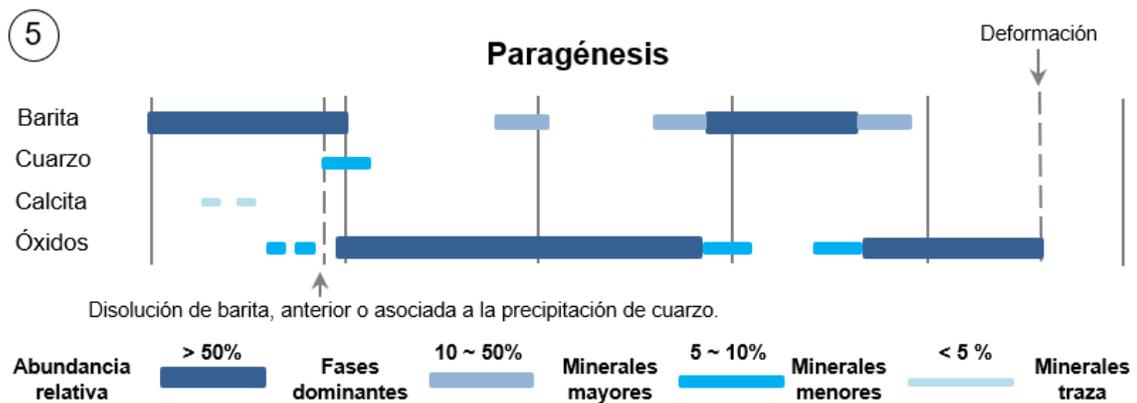
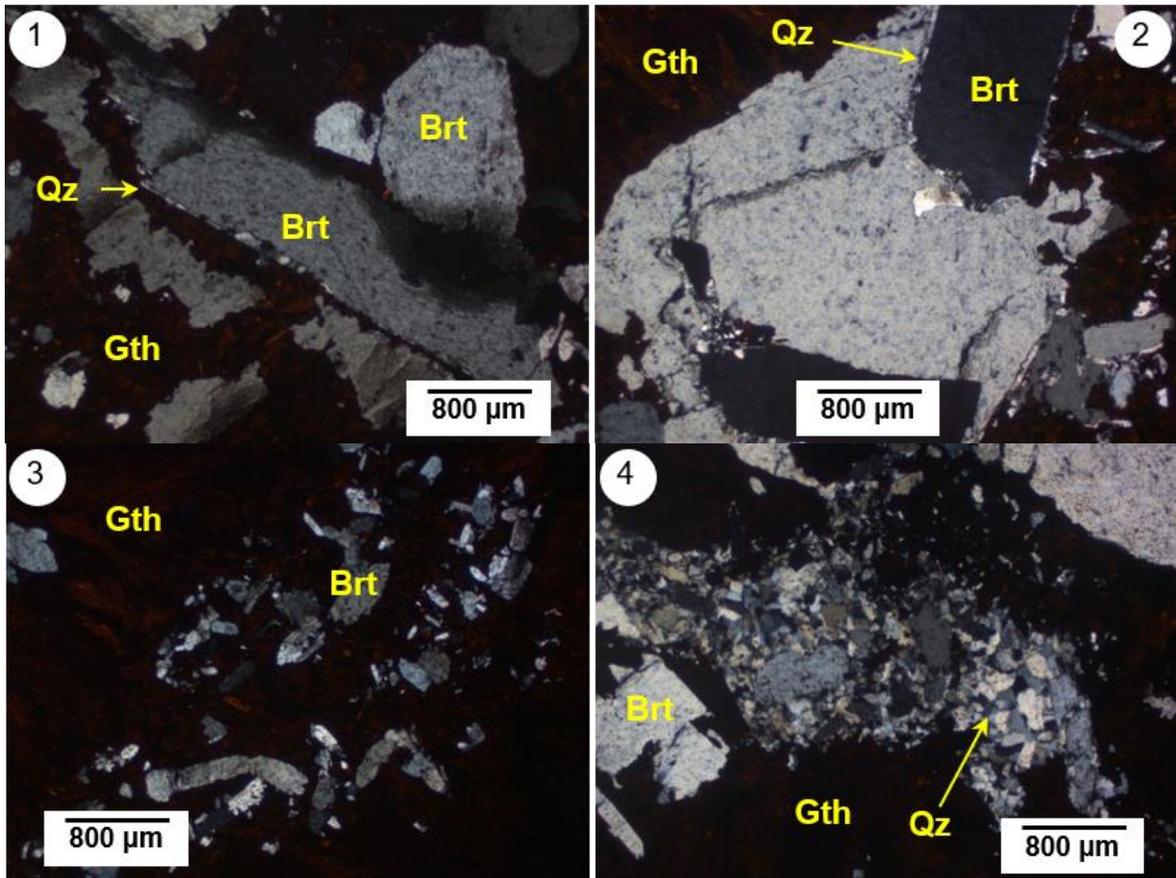


Figura 30. 1) Cristales de barita con bordes de reacción con cuarzo y goetita posterior. 2) Cristales de barita con bordes de reacción con cuarzo. 3) Zona de mayor presencia de goetita. 4) Cuarzo posterior a barita y goetita. 5) Paragénesis.

Muestra: Talamantes Mina Barita 1

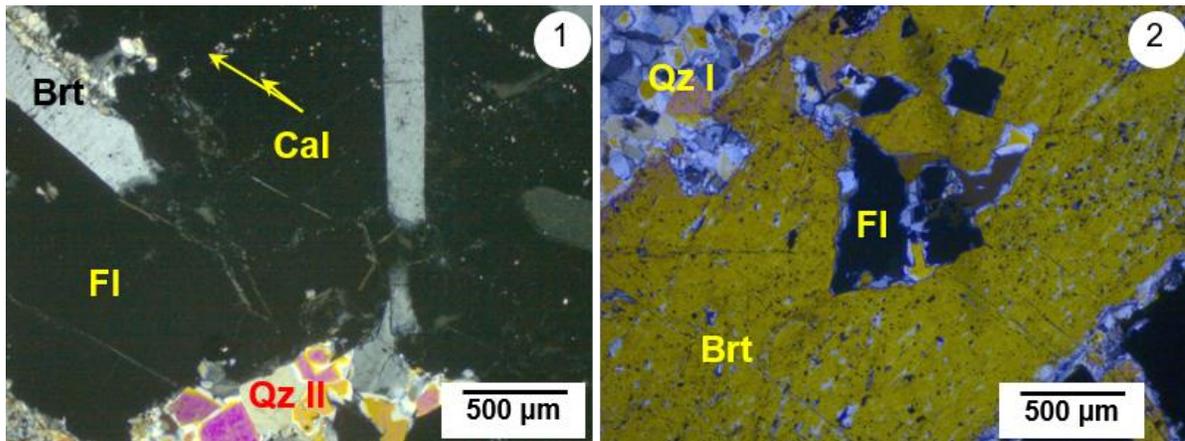
Se tienen principalmente cuatro fases en esta lámina que se describen a continuación de acuerdo con el orden de precipitación.

Barita: cristales de hasta dos centímetros de longitud, en general presentan algunas caras bien desarrolladas. Se observan inclusiones sólidas de óxidos y de calcita. Los óxidos precipitaron en cantidades mínimas durante la formación de la barita, mientras la calcita lo hizo en un par de pulsos. Algunos cristales presentan fracturas rellenas por cuarzo y óxidos. Algunos de los bordes de la barita se encuentran en serie de reacción con cuarzo.

Fluorita: posterior a la barita, presenta inclusiones sólidas primarias que siguen el borde de crecimiento del cristal, posiblemente de calcita. Se observan inclusiones fluidas primarias y secundarias.

Cuarzo: es posterior a fluorita y barita. El cuarzo que está en contacto con la barita se encuentra en coprecipitación con óxidos, generando coloraciones oscuras que definen la dirección de crecimiento de los cristales. El cuarzo (Qz I) llega a observarse relleno de bahías de disolución en barita. Posteriormente, se tiene la precipitación de cuarzo más limpio con un mayor tamaño de grano (Qz II), este se encuentra relleno de cavidades generadas por el fracturamiento cristales y creciendo sobre Qz I.

Óxidos: coprecipitan con las fases anteriormente mencionadas, sin embargo, el mayor pulso de precipitación de óxidos se tiene posterior al término de la formación del cuarzo, encontrando esta fase como relleno de espacios intercristalinos.



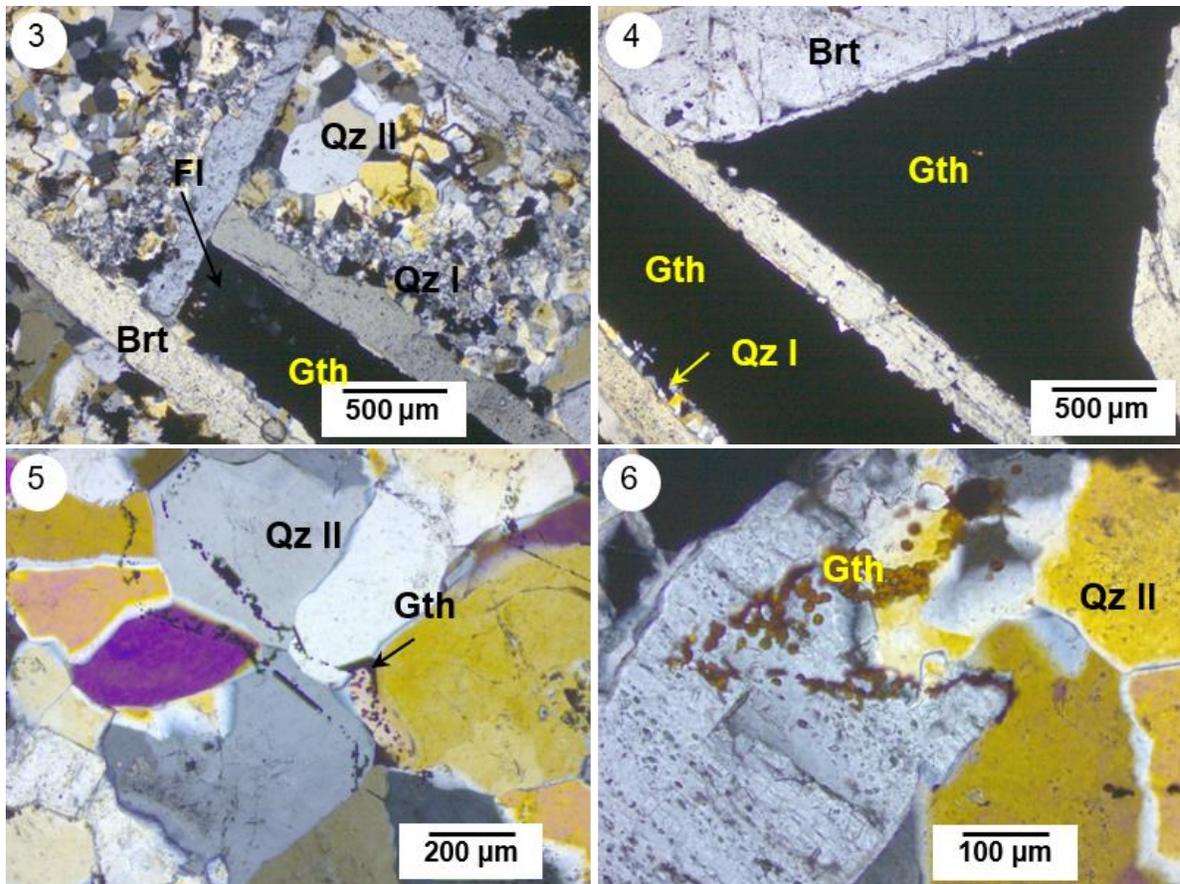


Figura 31. 1) Cristal de fluorita que está siendo cortado por cristales de barita y de cuarzo, se observan inclusiones sólidas de calcita siguiendo los bordes de crecimiento de la fluorita. 2) Inclusión sólida de fluorita en cristal de barita. 3) Goetita rellenando espacio entre cristales de barita. 4) Barita con bordes de reacción con cuarzo (Qz I). Goetita rellenando los espacios. 5) Goetita en planos de crecimiento de los cristales de cuarzo. 6) Cristal de barita con bahía de disolución rellena de cuarzo, se observan cristales de goetita.

Muestra: Talamantes Mina Barita 2

Los minerales presentes en esta muestra se describen a continuación en orden de precipitación:

Barita: cristales de tamaño variable, algunos de cuatro cm de longitud por uno de ancho. Se observan algunas inclusiones sólidas probablemente de calcita. Al parecer se registra evento de deformación en los cristales de barita, ya que se presentan zonas fracturadas en las que se alojó cuarzo y/o óxidos, además se observó un comportamiento anómalo en la extinción de algunos cristales.

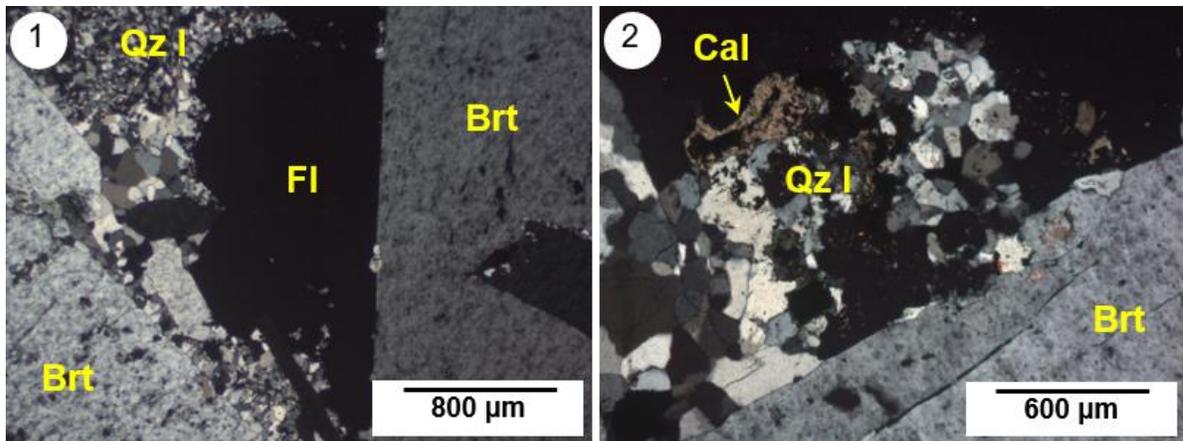
Fluorita: en coprecipitación y posterior a barita. En algunos cristales se observan inclusiones sólidas, probablemente de calcita, que siguen los planos de crecimiento.

Cuarzo: se distinguen dos texturas de esta fase, la primera de las texturas consiste de cuarzo de menor tamaño (Qz I) con una coloración negra debido a la presencia de óxidos que delinea el crecimiento de los cristales de barita. La segunda textura consiste en un cuarzo más limpio con cristales de mayor tamaño, también asociada a precipitación de óxidos, (Qz II).

Óxidos: cantidades menores en coprecipitación con barita, y fluorita, y como pulsos durante el desarrollo del Qz I y Qz II. Es probable que la mayor cantidad de óxidos se haya generado posterior al Qz II. Los óxidos ocasionalmente se encuentran con hábito acicular y como agregados botroidales.

Calcita: en cantidades menores, como inclusiones sólidas en cristales de barita y fluorita.

Epidota: posterior a la precipitación de óxidos; se observa como inclusiones solidas en el Qz II, presente en cantidades menores.



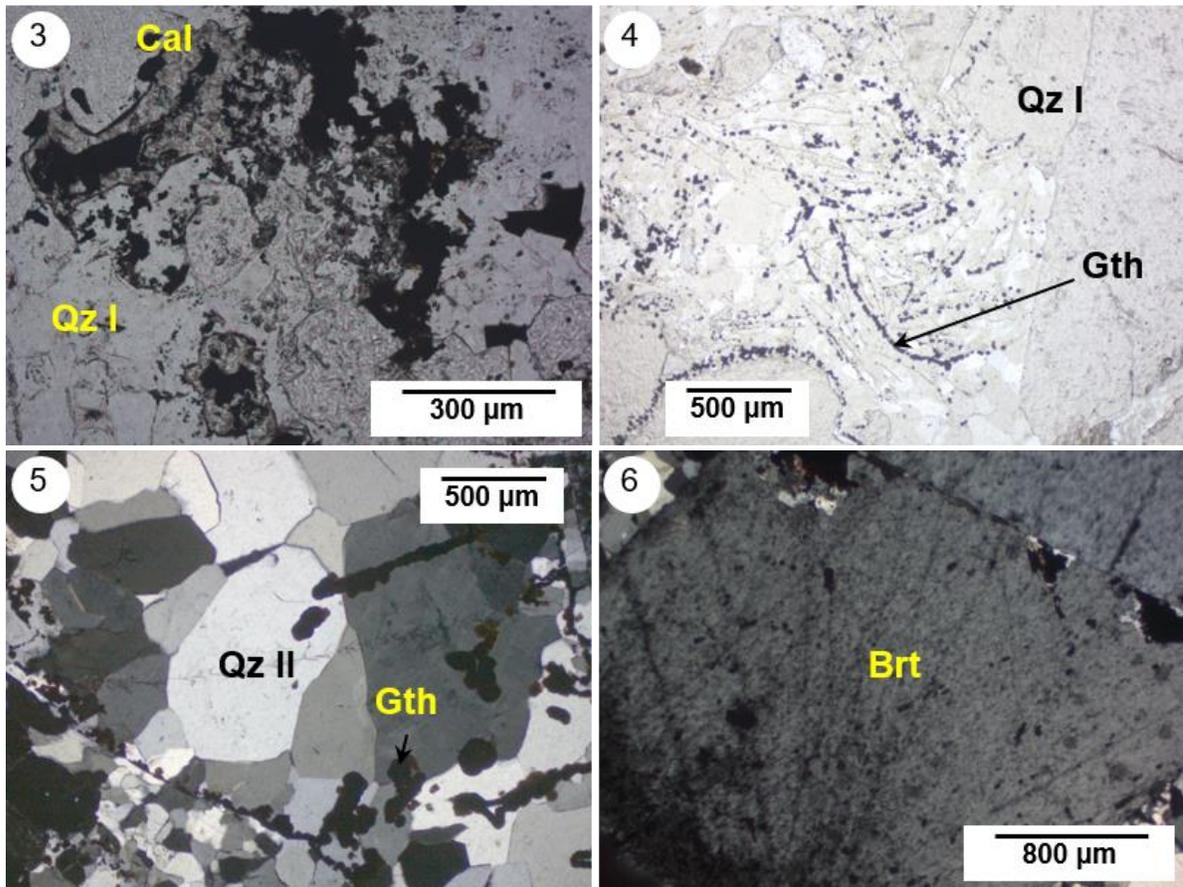


Figura 32. 1) Cristal de fluorita posterior a barita, consecutivamente precipitación de Qz I. 2) Qz I posterior a barita. 3) Calcita posterior a Qz I. 4) Qz I con bordes de crecimiento delineados por goetita. 5) Mosaico de cuarzo con cristales de tamaño variable, se observan goetita con lineamientos, probablemente siguiendo bordes de crecimiento de algunos mosaicos. 6) Cristal de barita deformado, se observó comportamiento anómalo en su extinción.

Muestra: Talamantes Morita IFA 7

Barita: en cuanto al tamaño se observan dos grupos; posiblemente debido a dos periodos de precipitación, la primera etapa se caracteriza por cristales de mayor tamaño (Brt I). En la segunda los cristales son más pequeños (Brt II) y parecen nuclear en las paredes de los de la primera etapa. En general la barita tiene inclusiones sólidas de calcita, óxidos, fluorita, y posiblemente de epidota. Los cristales de menor tamaño son euhedrales y los más grandes presentan intercrecimiento. En ocasiones el cuarzo crece a partir de los bordes de los cristales de barita, sin embargo, en la mayoría de los casos los bordes entre ambas fases están bien definidos.

Fluorita: en general precipitó siguiendo los bordes de los cristales de barita, ocasionalmente se encuentran intercrecimientos de estas fases; además de encontrarla

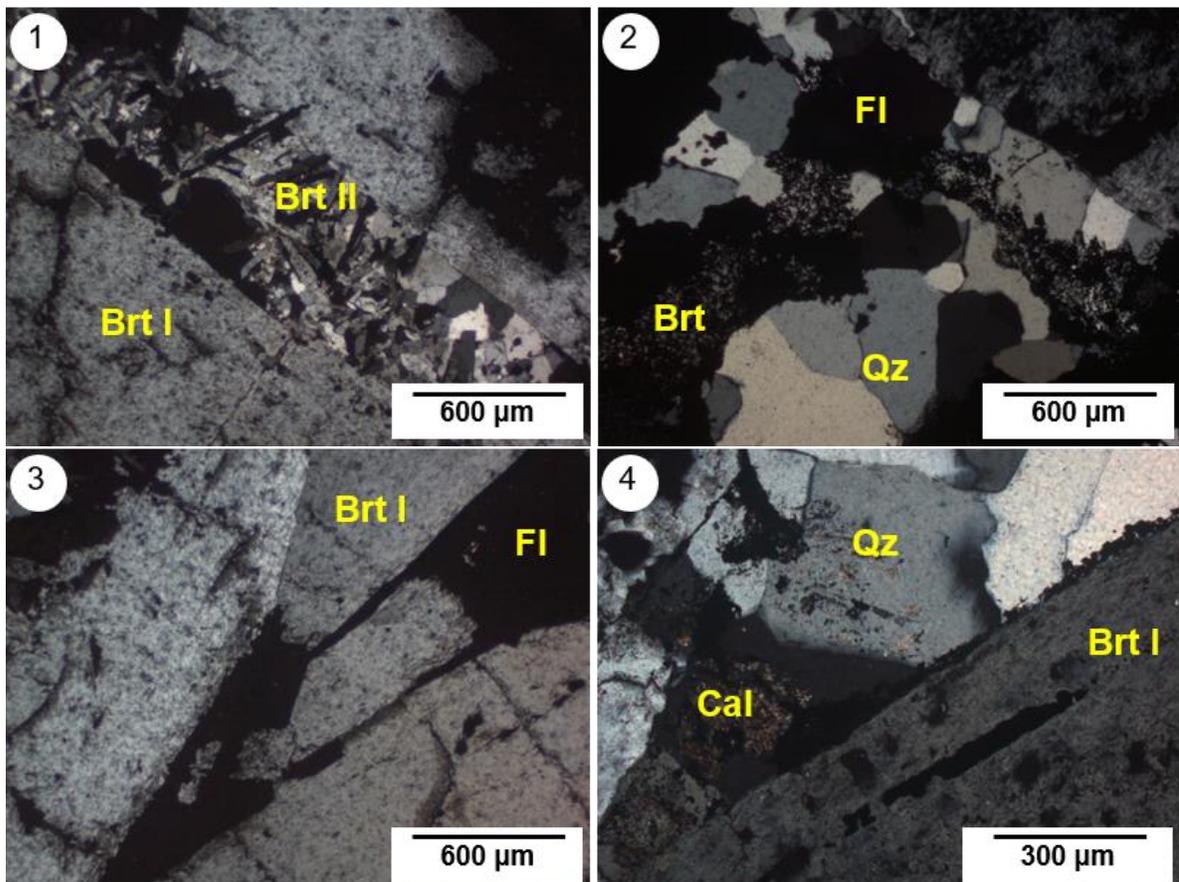
como inclusiones solidas en los cristales de barita. Siguiendo algunos planos de crecimiento de la fluorita se observan óxidos y cuarzo.

Cuarzo: ocasionalmente en coprecipitación con barita y fluorita, sin embargo, se observa que en su mayoría es posterior, en general relleno de espacios vacíos entre los cristales de ambas fases. Algunos planos de crecimiento de los cristales de cuarzo quedan enmarcados por óxidos que coprecipitaron.

Óxidos: en coprecipitación con barita, fluorita y cuarzo; en mayor cantidad posterior a las fases mencionadas; presentan hábito acicular y botroidal.

Epidota: ocasionalmente se le encuentra como relleno de vetas o en pequeños cristales en las vetas.

Calcita: como inclusiones sólidas en la barita.



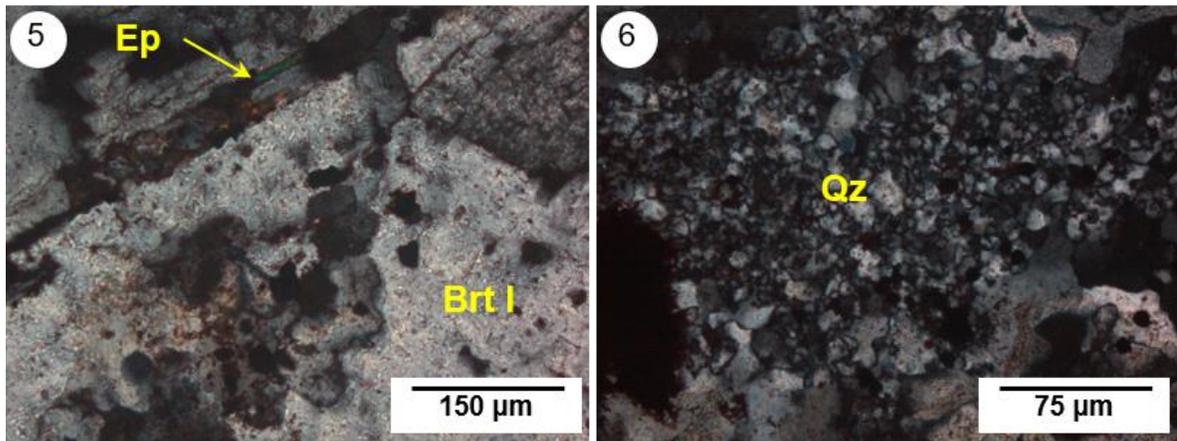


Figura 33. 1) Cristales de barita de ambas etapas, se observa como los más pequeños enraízan en los bordes de los de mayor tamaño. Además, se observan cristales de fluorita que crecen delimitados o bordeando a los cristales de barita. 2) Cuarzo ligeramente enraizado en barita, el cuarzo presenta inclusiones sólidas de óxidos. 3) Al centro, fluorita y barita con intercrecimiento. Se observa que la fluorita llega a seguir los bordes bien delimitados de cristales de barita. 4) Óxidos en coprecipitación con barita, estos se encuentran en un plano de crecimiento. Otros óxidos son posteriores a la barita y se encuentra en coprecipitación con cuarzo. 5) Epidota precipitando asociada a cuarzo en espacios inter-cristalinos. En la sección inferior se observa cuarzo reemplazando a la barita. 6) Cuarzo *jigsaw* en coprecipitación con óxidos.

Muestra: Talamantes Reyna 2

Barita: principal y primer componente de esta lámina delgada, los cristales son en general pequeños y presentan intercrecimiento; en ocasiones se observan algunas inclusiones sólidas, probablemente de calcita, y de óxidos de manganeso que dan una apariencia sucia. La fluorita y los óxidos en se encuentran rellenando espacios entre los espacios intercristalinos. En los bordes de algunos cristales de barita se observa cuarzo anhedral asociado a óxidos.

Fluorita: en este caso es de morfología anhedral, presenta muchas inclusiones sólidas de calcita y de óxidos y es totalmente anhedral. Se observa intercrecimiento de cristales de barita y fluorita, por lo que debió haber un lapso de coprecipitación.

Óxidos: posiblemente goetita, se observa un tanto anaranjada- rojiza en los bordes de opacos, en algunos casos se interpreta en coprecipitación con barita y fluorita y posterior a estos minerales.

Epidota: Como agregados entre los cristales de barita, su presencia es esporádica y suele acompañar a la fluorita.

Cuarzo: Ocasionalmente rellenando espacios entre los cristales de barita.

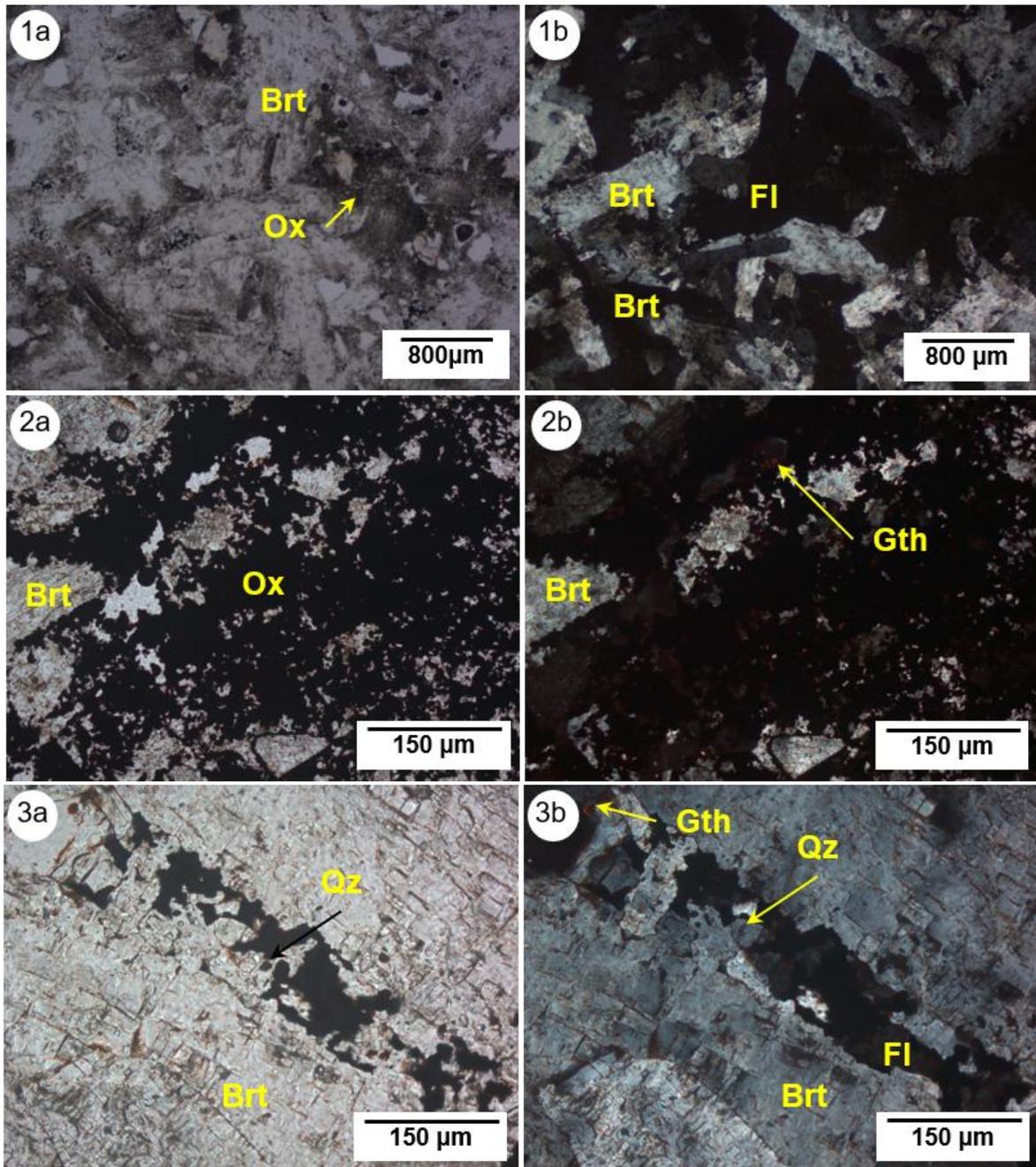


Figura 34. 1a) Intercrecimiento de cristales de barita de diversos tamaños. 1b) En nicoles cruzados. 2a) Cristales de barita con óxidos rellenando espacios vacíos. 2b) En nicoles cruzados. 3a) Coprecipitación de óxidos y cristales pequeños de barita. 3b) En nicoles cruzados.

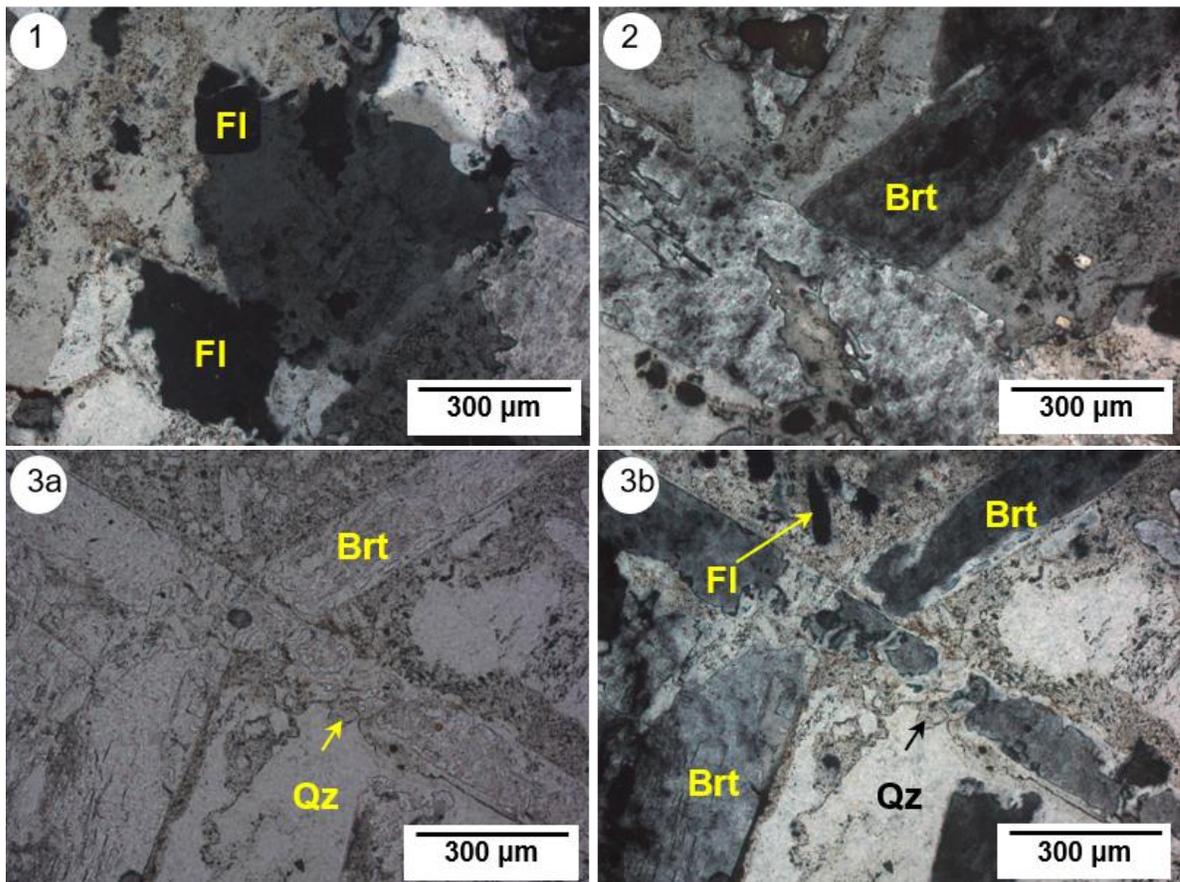
Muestra: Talamantes Socavón el Pavo

Barita: cristales de diversos tamaños, primera fase en precipitar y en coprecipitación con óxidos (probablemente de hierro y manganeso) que se encuentran como inclusiones sólidas, así como calcita. Algunos bordes de esta fase se encuentran reemplazados por cuarzo.

Cuarzo: posterior a la barita; en algunas zonas se observa con un gran contenido de óxidos y en otras se trata de cristales muy limpios.

Fluorita: como inclusiones sólidas en el cuarzo, además es probable que este en coprecipitación con el mismo, ya que se observa fluorita anhedral en intercrecimiento con cuarzo en algunas zonas. En ocasiones algunos cristales de fluorita siguen los bordes de los cristales de barita.

Óxidos: básicamente en coprecipitación con barita y cuarzo, sin embargo, son más evidentes acompañando al cuarzo.



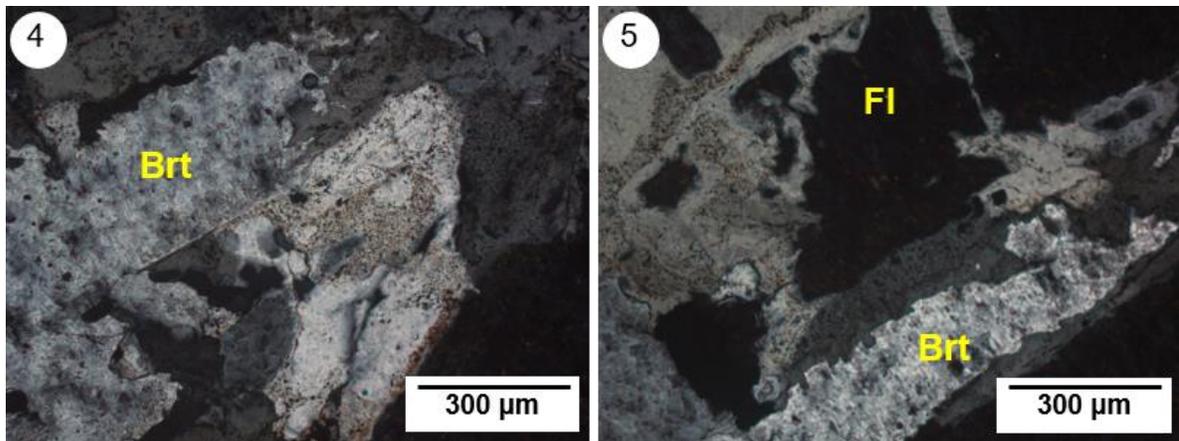


Figura 36. 1) Fluorita subhedral anterior a cuarzo. 2) Cristales de barita con inclusiones sólidas de óxidos que dan una apariencia "sucia". Se observa al centro el reemplazamiento de barita por cuarzo. 3a) Reemplazamiento de barita por cuarzo en los bordes de un par de cristales. 3b) En nicoles cruzados. 4) Óxidos en coprecipitación con cuarzo. El cuarzo se presenta como relleno de espacios y reemplazando a barita. 5) Cristales de fluorita posteriores a barita. La fluorita está siendo reemplazada por cuarzo.

Muestra: Talamantes Socorrito 1

La muestra corresponde a un bandeamiento, que se describe a continuación de base a cima.

Nivel de barita y óxidos: la barita fue la primera en precipitar; en la mayoría de los casos los óxidos se encuentran bordeando los cristales de esta fase; sin embargo, con base en las observaciones no se descarta coprecipitación. Algunos cristales están fracturados y las fracturas rellenas por óxidos. Se presentan dos tamaños siendo anhedrales los de mayor tamaño y los menores euhedrales.

Intercalación de bandas: en estas a veces predominan los óxidos y a veces la barita, los óxidos presentan una dirección preferencial de crecimiento, mientras la barita no. Los cristales de barita son anhedrales y ocasionalmente muestran un comportamiento anómalo de la extinción.

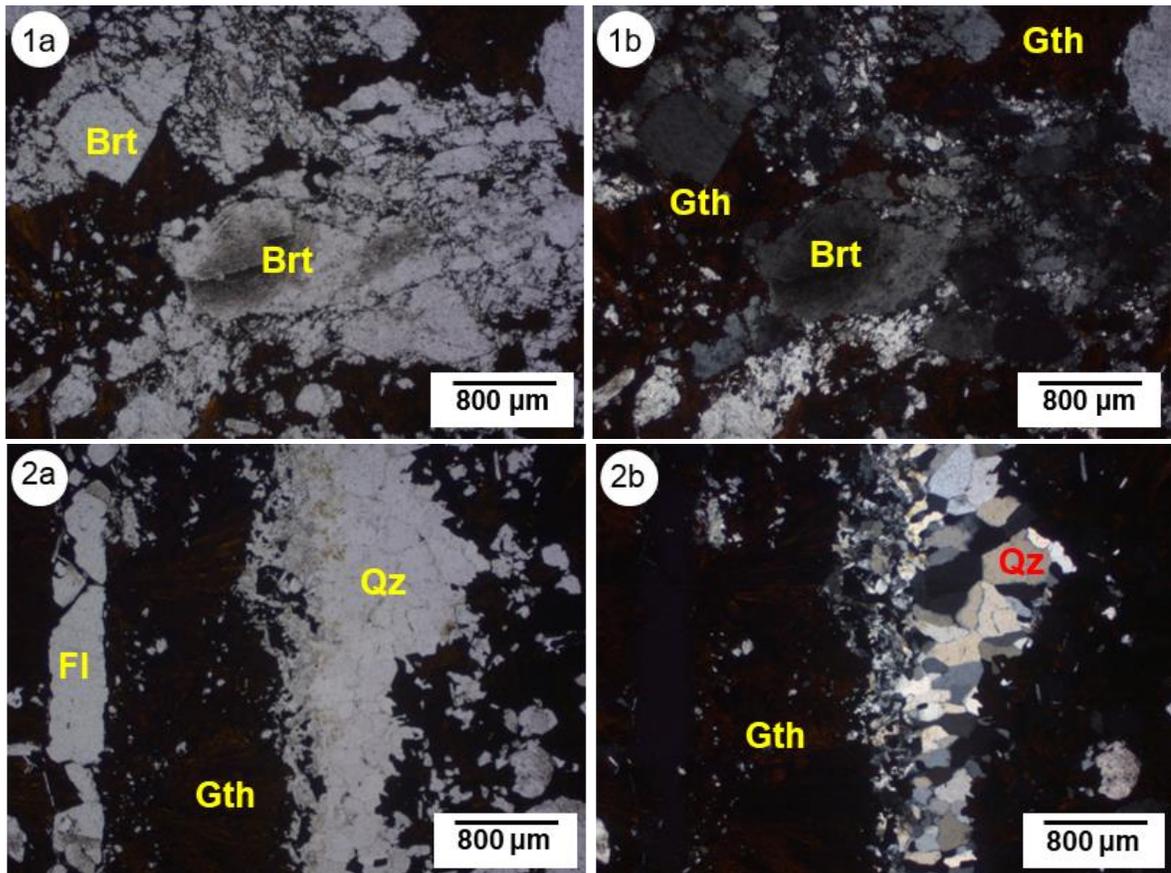
Nivel de fluorita: es la fase predominante, en coprecipitación con hematita; posterior a barita. se encuentra rodeando a los cristales de barita.

Nivel predominante de goetita: con cantidades menores de barita.

Nivel de cuarzo: los cristales que conforman la base de esta fase son de menor tamaño que los cristales inmediatamente superiores. Se observa coprecipitación de óxidos.

Nivel de fluorita: no tan definido como el anterior, algunos cristales se observan muy bien desarrollados y con inclusiones sólidas probablemente de epidota.

Nivel de óxidos y barita: la barita fue la primera en precipitar; en general los óxidos están bordeando a la barita. El bandeamiento concluye con la precipitación de óxidos con barita ocasional.



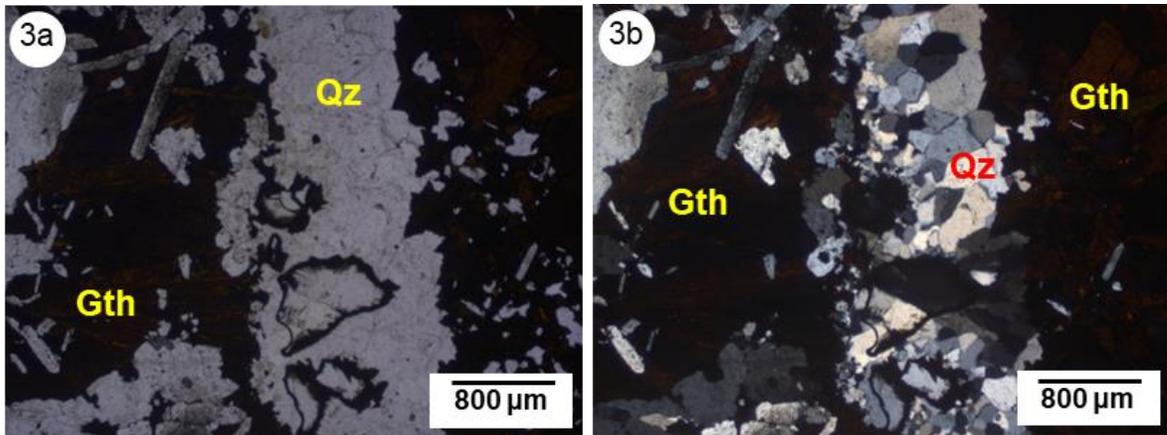


Figura 37. 1a) Se observan cristales de barita fragmentados, las fracturas han sido rellenadas por óxidos. 1b) En nicoles cruzados. 2a) La dirección de crecimiento es hacia la derecha, se observa que después de la fluorita continua un nivel con óxidos predominantes, enseguida cuarzo, posteriormente predominan óxidos y barita. 2b) En nicoles cruzados. 3a) Nuevo nivel de cuarzo, para finalizar con goetita en la parte superior de la muestra. 3b) En nicoles cruzados.

Muestra: Talamantes Socorrito 2

Se trata de una muestra con bandeamiento, la fase dominante son los óxidos que precipitan de manera continua. En lo que se interpreta como la base del bandeamiento se observa goetita que tiene una dirección de crecimiento bien definida y se encuentra en agregados botroidales. En uno de los extremos de la muestra se observa un cristal de barita con inclusiones sólidas óxidos (probablemente de manganeso); además, presenta fracturas rellenas de cuarzo y goetita, y en los bordes crecimiento de cuarzo.

Siguiendo el crecimiento de la goetita se presenta un nivel de fluorita anhedral con inclusiones sólidas probablemente de calcita y en coprecipitación con el óxido de hierro. En este mismo nivel se observan cristales de barita inmersos en fluorita y goetita.

Posteriormente, se observa el crecimiento de goetita en agregados botroidales, esto se presenta en gran parte de la muestra; hay un sector de intercrecimiento de fluorita y óxidos inmerso en la zona de crecimiento de óxidos.

Al continuar sobre la dirección de crecimiento se presenta un nivel de barita, que tiene óxidos como inclusiones sólidas, y no presenta una dirección de crecimiento preferencial.

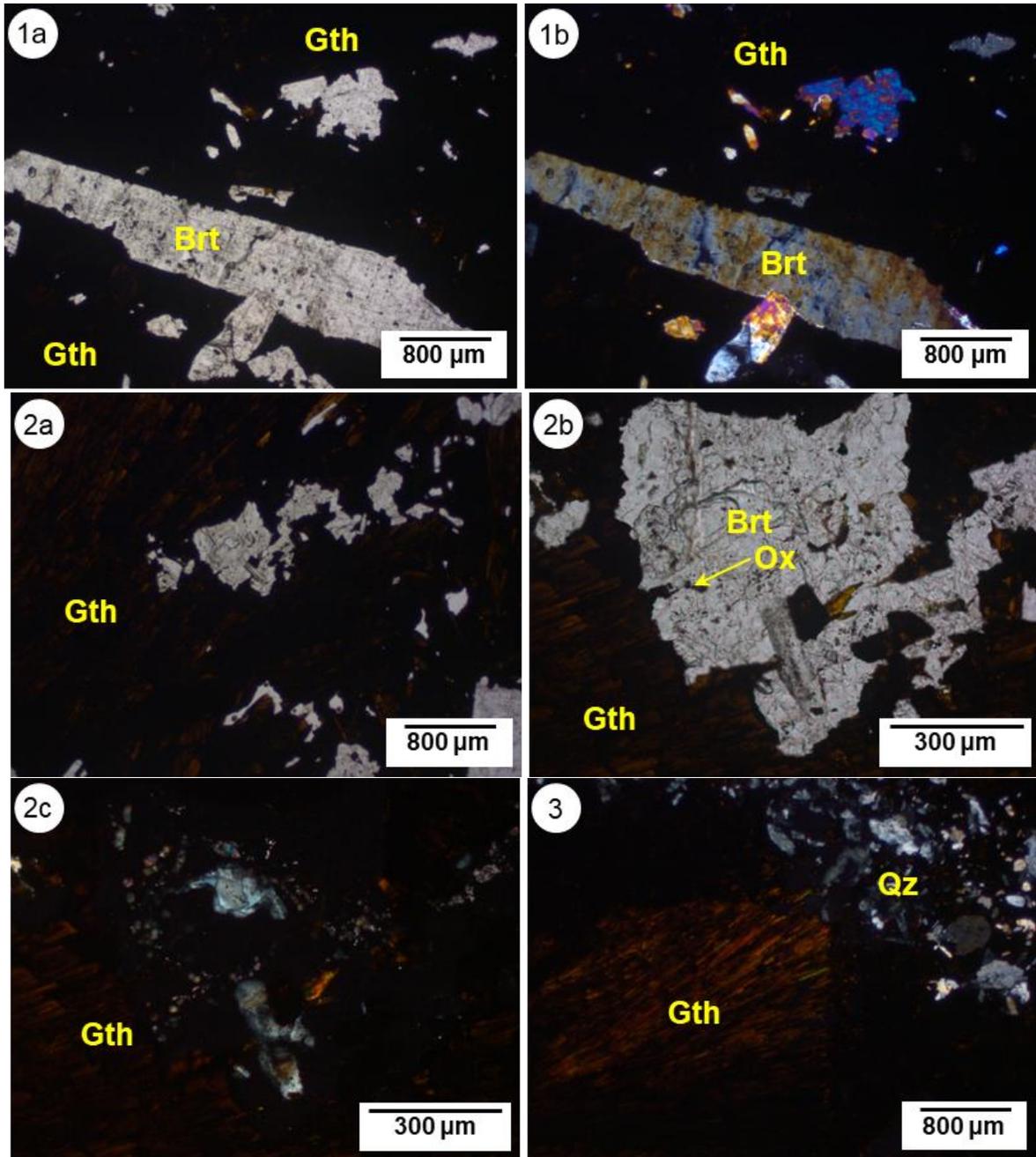


Figura 38. 1a) Cristales de barita inmersos en goetita, los colores anómalos se deben al grosor de la muestra. Se trata de la base de la muestra, es posible distinguir la dirección de crecimiento de los cristales de óxidos. 1b) En nicols cruzados. 2a) En el mismo nivel se observa fluorita anhedral que parece ser posterior a la barita y probablemente estar en coprecipitación con los óxidos, ya que presenta inclusiones sólidas de estos y en los bordes parece haber intercrecimiento, además presenta inclusiones sólidas de al menos otra fase que a esta escala no se reconoce. 2b) Acercamiento. 2c) Acercamiento en nicols cruzados. 3) Posterior a este nivel predominan los óxidos y después barita y óxidos. La barita se presenta en cristales subhedrales.

Muestra: Talamantes Tepostete

La muestra es un relleno de veta conformado por barita, óxidos y fluorita.

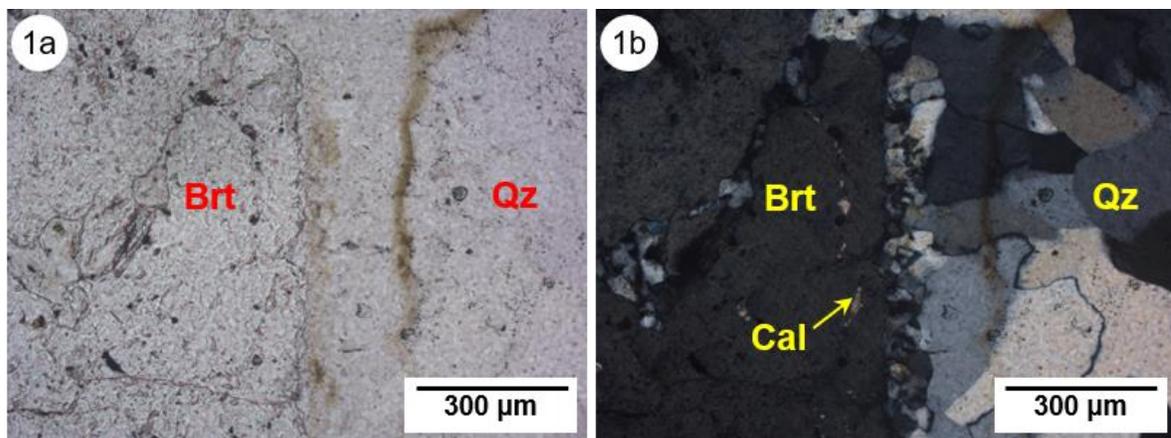
Barita: primera fase en precipitar, se observan inclusiones sólidas óxidos que dan un aspecto “sucio”, y de calcita ocasionalmente definiendo los planos de crecimiento. Existen algunas bahías de disolución en cristales de esta fase que están rellenos de cuarzo. De manera esporádica se observa epidota en algunos cristales.

Goetita: la última fase en precipitar de acuerdo con lo observado en la lámina delgada, en ocasiones sigue el borde de crecimiento del cuarzo. Es probable que existan varios periodos de precipitación de este óxido, el primero en coprecipitación con barita, el segundo en coprecipitación con cuarzo y un tercero posterior al cuarzo.

Fluorita: fase ocasional que se presenta en cristales euhedrales rodeados por cuarzo en el sector superior de la muestra.

Cuarzo: posterior a la barita y anterior a goetita, básicamente como relleno de espacios intercrystalinos. En ocasiones subhedral, con algunas de sus facetas bien desarrolladas. Hay dos texturas, probablemente correspondientes a diferentes temporadas de deposición o con cambios en la composición de los fluidos y/o de las condiciones fisicoquímicas de deposición. La primera etapa se caracteriza por granos de menor tamaño (Qz I) inmediatamente rodeando los cristales de barita. La segunda etapa de deposición se caracteriza por la existencia de granos de mayor tamaño (Qz II).

Epidota: ocasionalmente observada como inclusión sólida en cristales de barita.



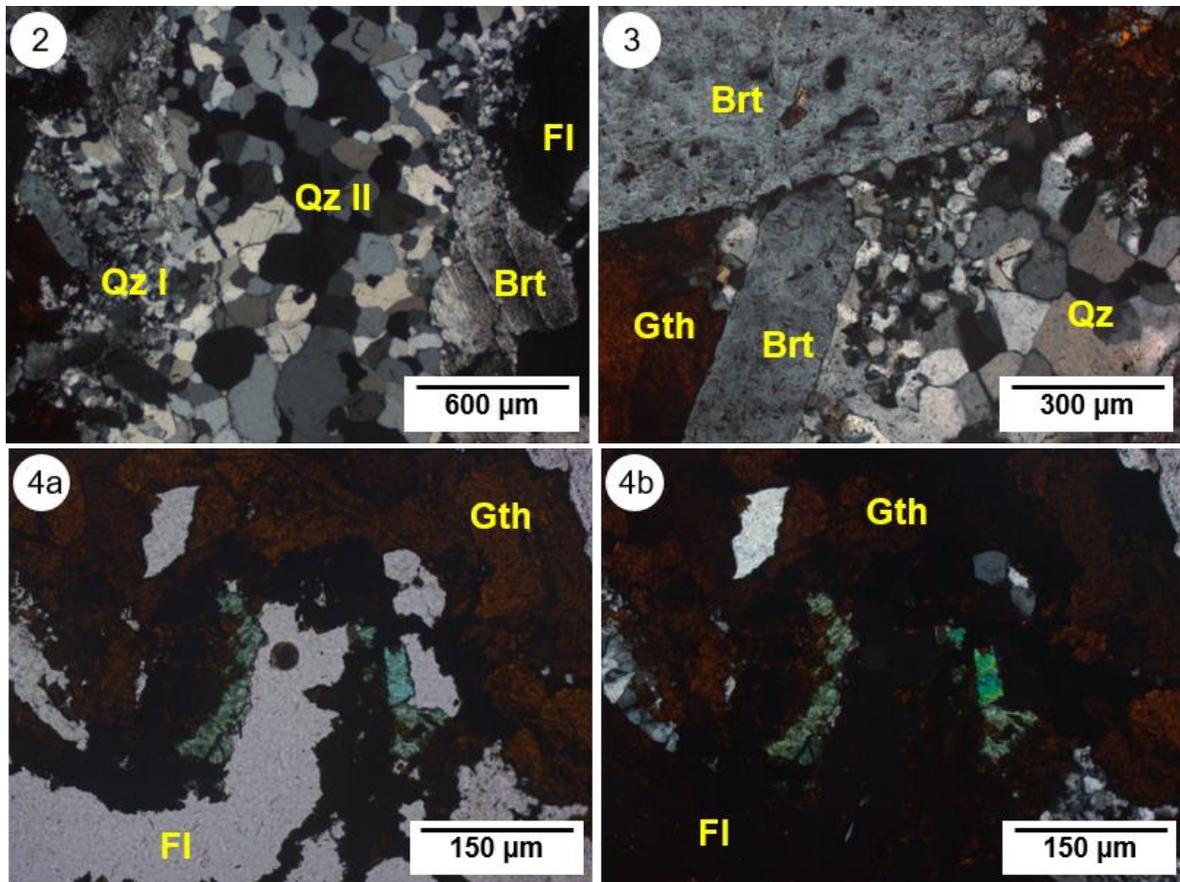


Figura 39. 1a) Barita con inclusiones sólidas de calcita y crecimiento de cuarzo en los bordes. En un sector el cuarzo está reemplazando a la barita. 1b) En nicols cruzados. 2) Veta de cuarzo. 3) Cristales de barita rodeados por cuarzo, este parece enraizar en la barita. Los óxidos de hierro son posteriores a las fases mencionadas. 4a) Se observan óxidos de hierro y cuarzo; y una fase no identificada en colores azul-verdes. 4b) En nicols cruzados.

Muestra: Talamantes Veta Reyna

Barita: cristales de diversos tamaños, en coprecipitación con óxidos; en algunos de los bordes se observan óxidos con un hábito botroidal. Es probable la coprecipitación con cuarzo y fluorita.

Fluorita: se encuentra en coprecipitación con barita (precipitación tardía de barita), óxidos (que se encuentran como inclusiones sólidas siguiendo los planos de crecimiento de diversos cristales) y con cuarzo. Cuenta con inclusiones sólidas posiblemente de epidota.

Cuarzo: en coprecipitación con la barita tardía, coprecipitación con fluorita y posterior a esta fase; en coprecipitación con óxidos que se observan delineando el crecimiento de algunos de los cristales de cuarzo.

Óxidos: precipitan a lo largo de toda la secuencia con proporciones variables, en coprecipitación con barita las cantidades son mínimas; sin embargo, con la fluorita se incrementa la cantidad de los óxidos. Durante la precipitación con cuarzo disminuyen y posteriormente es la fase dominante.

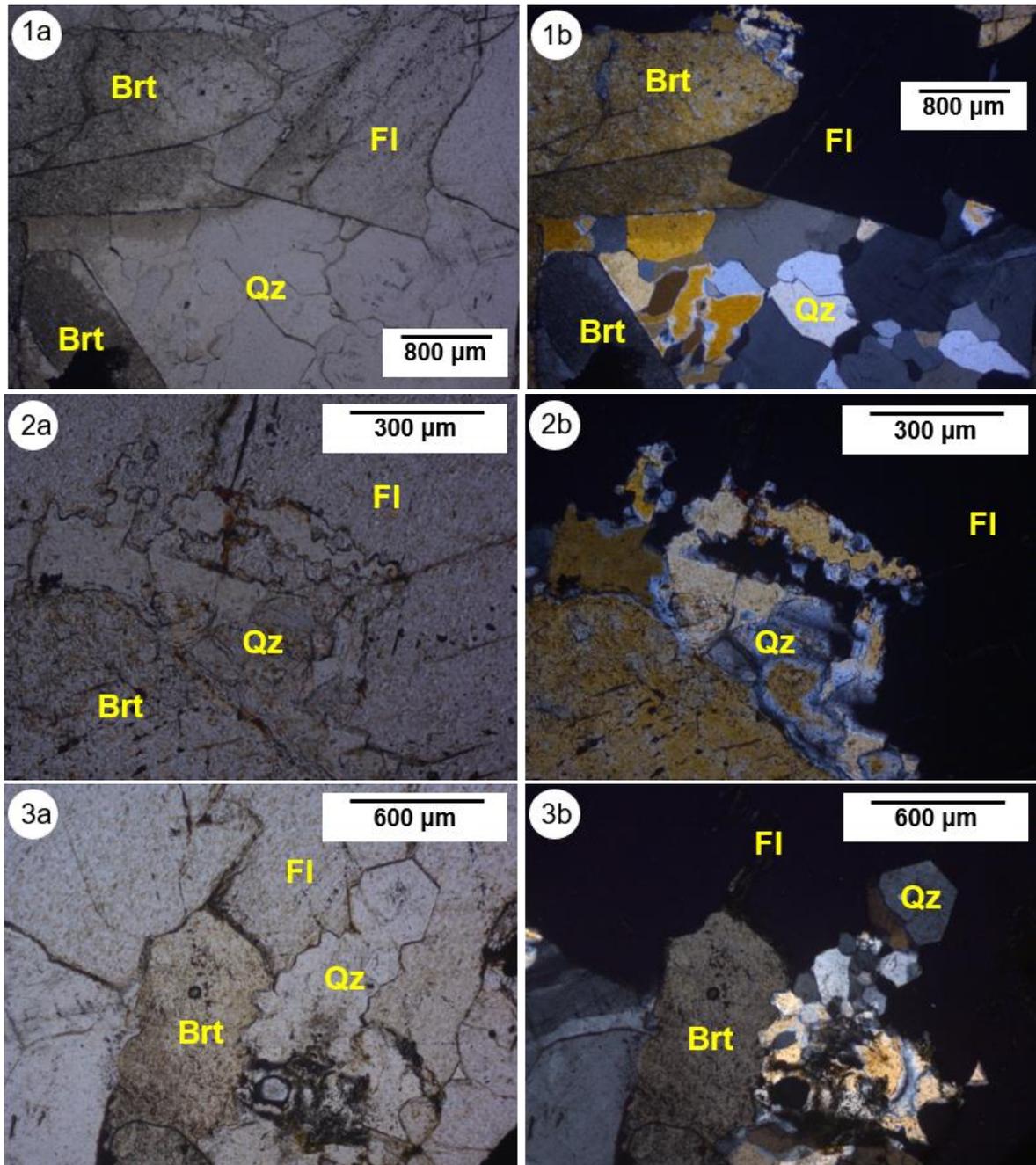


Figura 40. 1a) Intercrecimiento de cristal de barita y fluorita. 1b) En nicols cruzados. 2a) Intercrecimiento de fluorita y cuarzo, se observa una morfología dentada entre ambas fases. 2b) En

nicos cruzados. 3a) Cristal euhedral de cuarzo rodeado por fluorita. El cuarzo crece en los bordes de un cristal de barita. Se observa coprecipitación de óxidos con las tres fases mencionadas.

Muestra: Veta Reyna – I

Barita: ésta comienza a precipitar antes que el resto de las fases presentes en la muestra. La barita está en coprecipitación con fluorita en ocasionalmente. Los cristales son de diversos tamaños (< 5 mm) con intercrecimiento. Hay bahías de corrosión en algunos cristales de barita que están siendo rellenadas por cuarzo. Presenta inclusiones sólidas de calcita.

Fluorita: en coprecipitación con barita, pero principalmente posterior. La mayoría de los cristales observados presentan al menos un par de bordes bien desarrollados.

Cuarzo: posterior a fluorita y barita, en general rellenando espacios intercristalinos. Se observa cuarzo de la variedad *jigsaw*, al parecer en asociación con fluorita.

Óxidos: los óxidos precipitan a lo largo de toda la secuencia; sin embargo, predominan al final rellenando los espacios intercristalinos entre las fases antes mencionadas.

Calcita: en segregados en la parte inferior de la muestra.

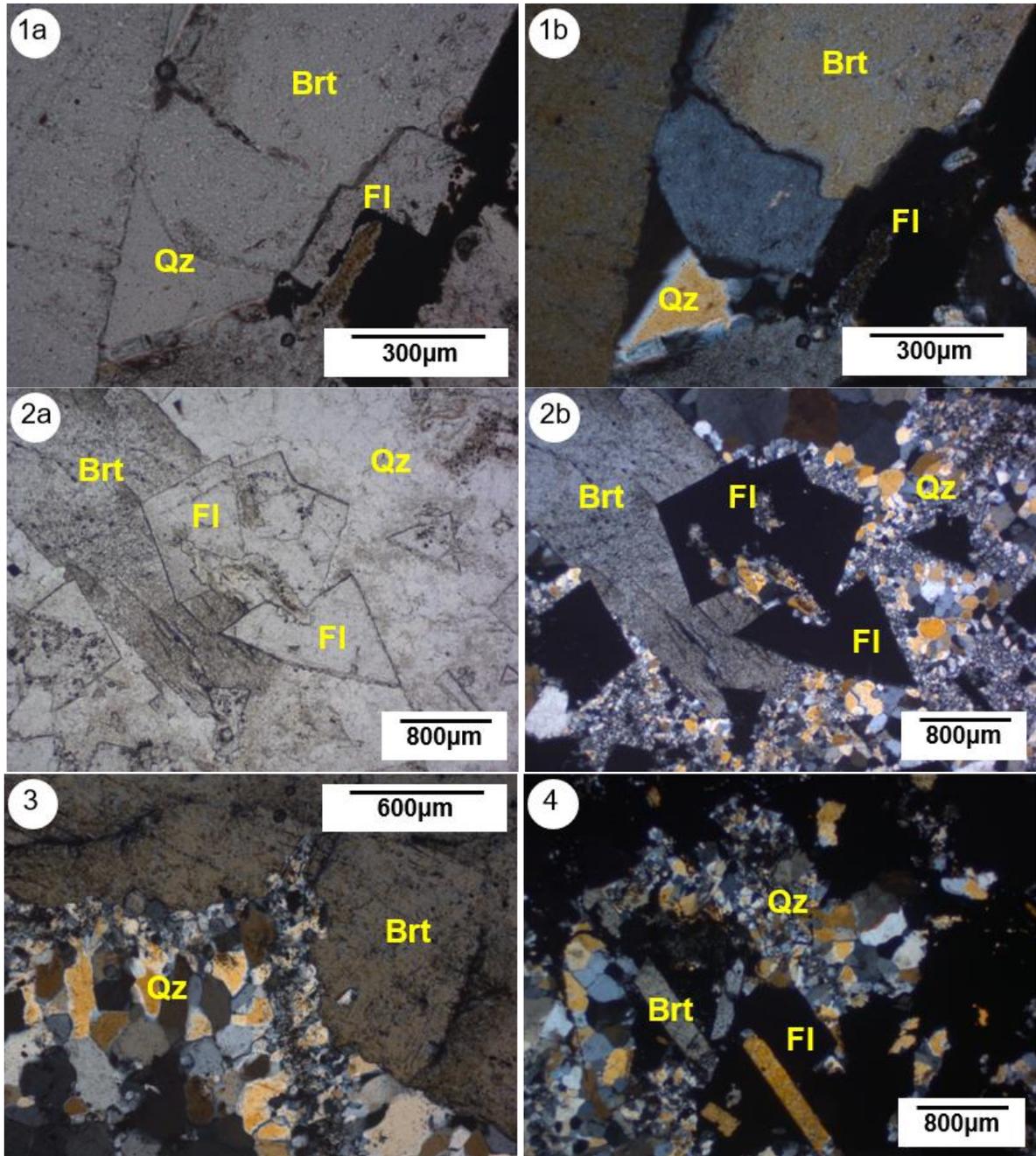


Figura 41. 1a) Barita y fluorita en coprecipitación. 1b) En nicóles cruzados. 2a) Intercrecimiento de fluorita y barita, en ambas fases se observan inclusiones sólidas de óxidos, existe cierto grado de reemplazamiento de ambas fases por cuarzo. 2b) En nicóles cruzados. 3) Bahía de corrosión en cristal de barita rellena por cuarzo. Se observan óxidos precipitando con ambas fases. 4) precipitación de óxidos posterior a las demás fases mencionadas.

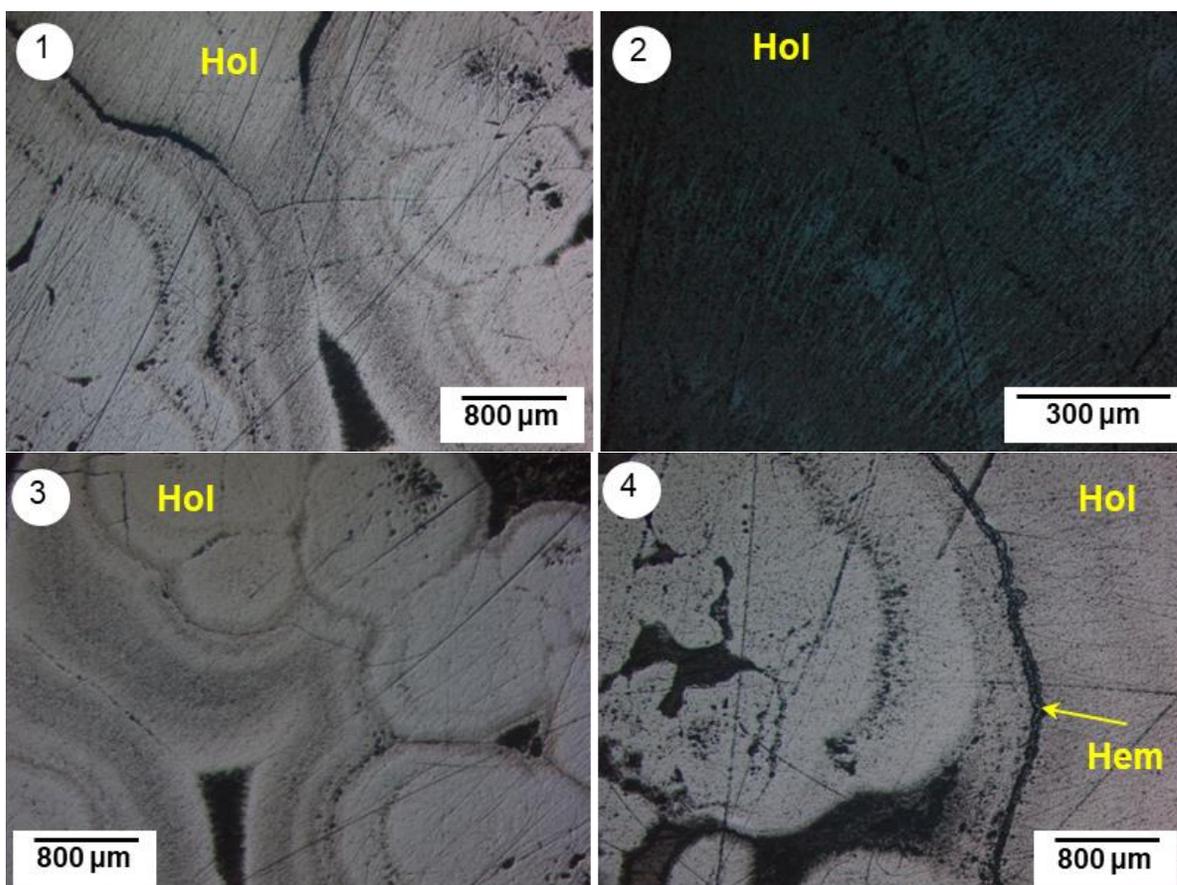
Anexo D: Minerografía de óxidos de manganeso

En este anexo se tiene el detalle de la minerografía de las muestras de óxidos de manganeso.

Las abreviaturas empleadas en la descripción de las láminas son las siguientes: Brt: barita, Cor: coronadita, FgLt: fragmento lítico, Hem: hematita, Hol: holandita, Mag: magnetita, Qz: cuarzo, ScMnCa: silicato de manganeso y calcio, Ttn: titanita.

Muestra: Talamantes 2

Agregados botroidales de holandita, se observa un zoneamiento que está probablemente relacionado a cambios composicionales. En algunas zonas se presenta precipitación de hematita que sigue la morfología establecida por los agregados de óxidos de manganeso.



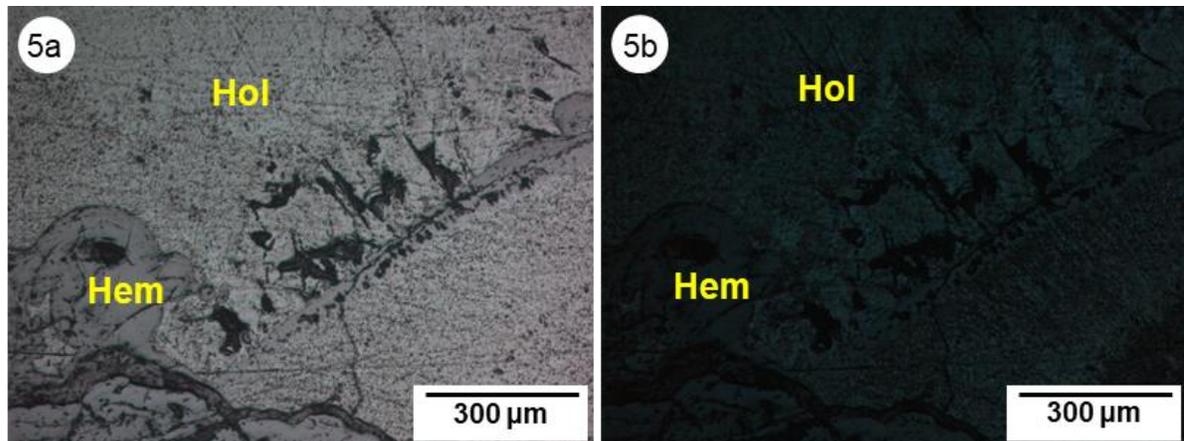


Figura 42. 1) En nicols paralelos, holandita con crecimiento en agregados botroidales, se observa el zoneamiento asociado al crecimiento y a la posible variación composicional de estos. 2) En nicols cruzados (88°) se observa la anisotropía de la holandita, permitiendo ver el crecimiento acicular de los cristales de holandita. 3) Agregados botroidales de holandita con zoneamiento asociado al crecimiento de los mismos. 4) Crecimiento de agregados botroidales de holandita, se observa un anillo de otra fase probablemente hematita. 5a) Borde de agregado botroidal de holandita delineado por hematita. 5b) En nicols cruzados (88°) anisotropía de holandita en donde se observa el crecimiento acicular de los cristales de esta fase.

Muestra: Talamantes 28

La muestra corresponde a un relleno de veta; de acuerdo con la dirección de crecimiento la precipitación de los minerales presenta la siguiente secuencia de base a cima: una zona en la que predomina la magnetita (producto de reemplazamiento de hematita). Posteriormente, abundan barita, cuarzo y magnetita en ese orden de formación. Hacia la cima, la magnetita se presenta en menor cantidad, de manera transicional se presenta coronadita con intercrecimiento de barita y silicatos de manganeso. La coronadita es anhedral y se encuentra muy mezclada con las otras fases. Hacia arriba en la secuencia, se observa magnetita sin ser producto de reemplazamiento de hematita, la secuencia termina con la precipitación de barita.

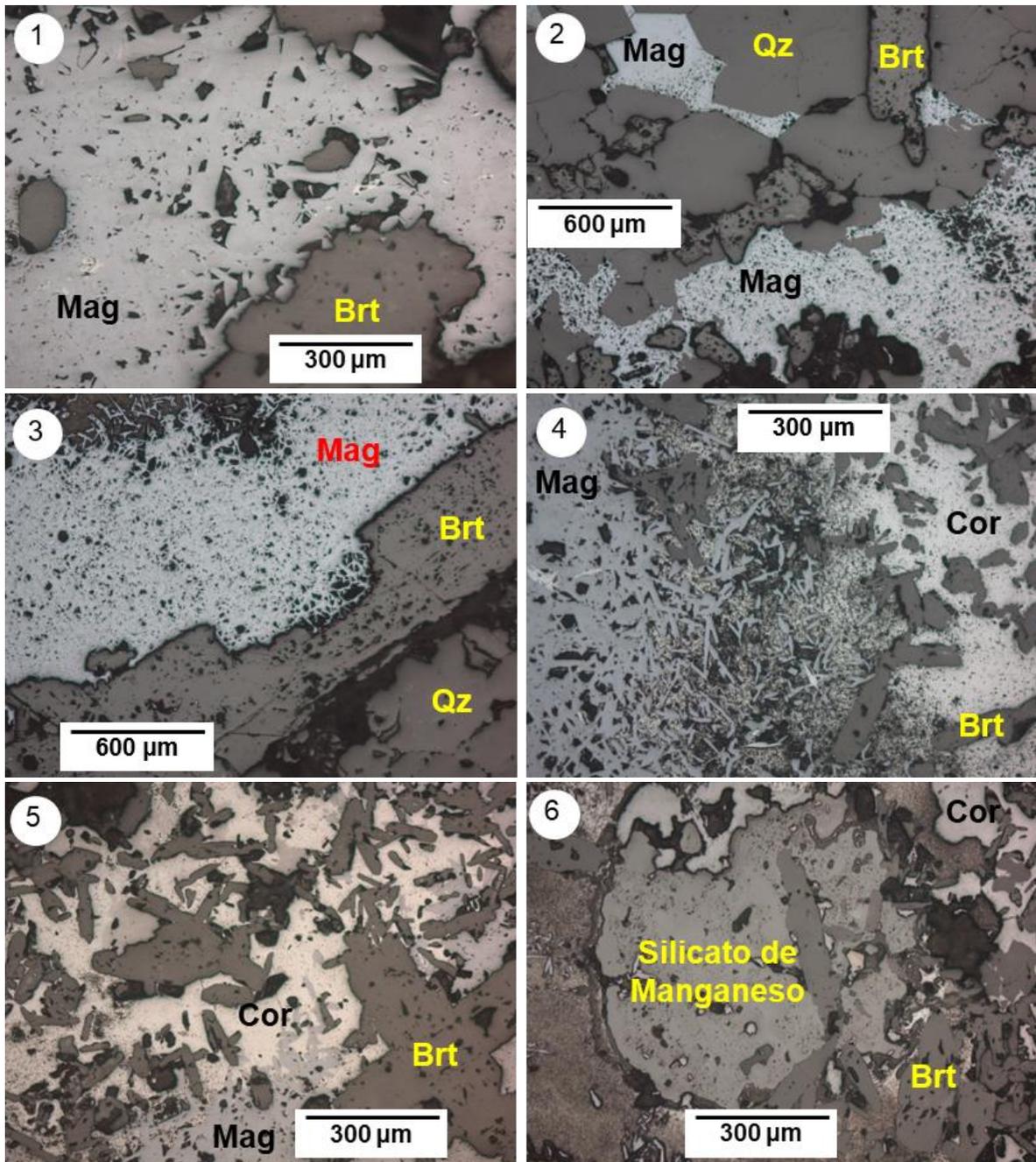


Figura 43. 1) Magnetita reemplazando a hematita. La hematita parece haber estado en intercrecimiento con barita. 2) Precipitación de barita, cuarzo y hematita, la hematita ha sido reemplazada por magnetita. 3) Bahía en cristal de barita, en donde se tiene inicialmente el reemplazamiento de hematita por barita y posteriormente de magnetita por hematita. 4) Magnetita de hábito acicular. Se presenta de manera gradual la precipitación de coronadita posterior a los cristales de barita. 5) Barita, magnetita y coronadita. 6) Posible silicato de manganeso posterior a la barita. La coronadita posterior a ambas fases.

Muestra: Talamantes 35

Brecha cementada con holandita, los fragmentos son de la roca encajonante (riolita), estos se encuentran silicificados y oxidados. Algunas titanitas se observaron en la muestra. Ocasionalmente, los fragmentos del encajonante se encuentran parcialmente reemplazados por holandita.

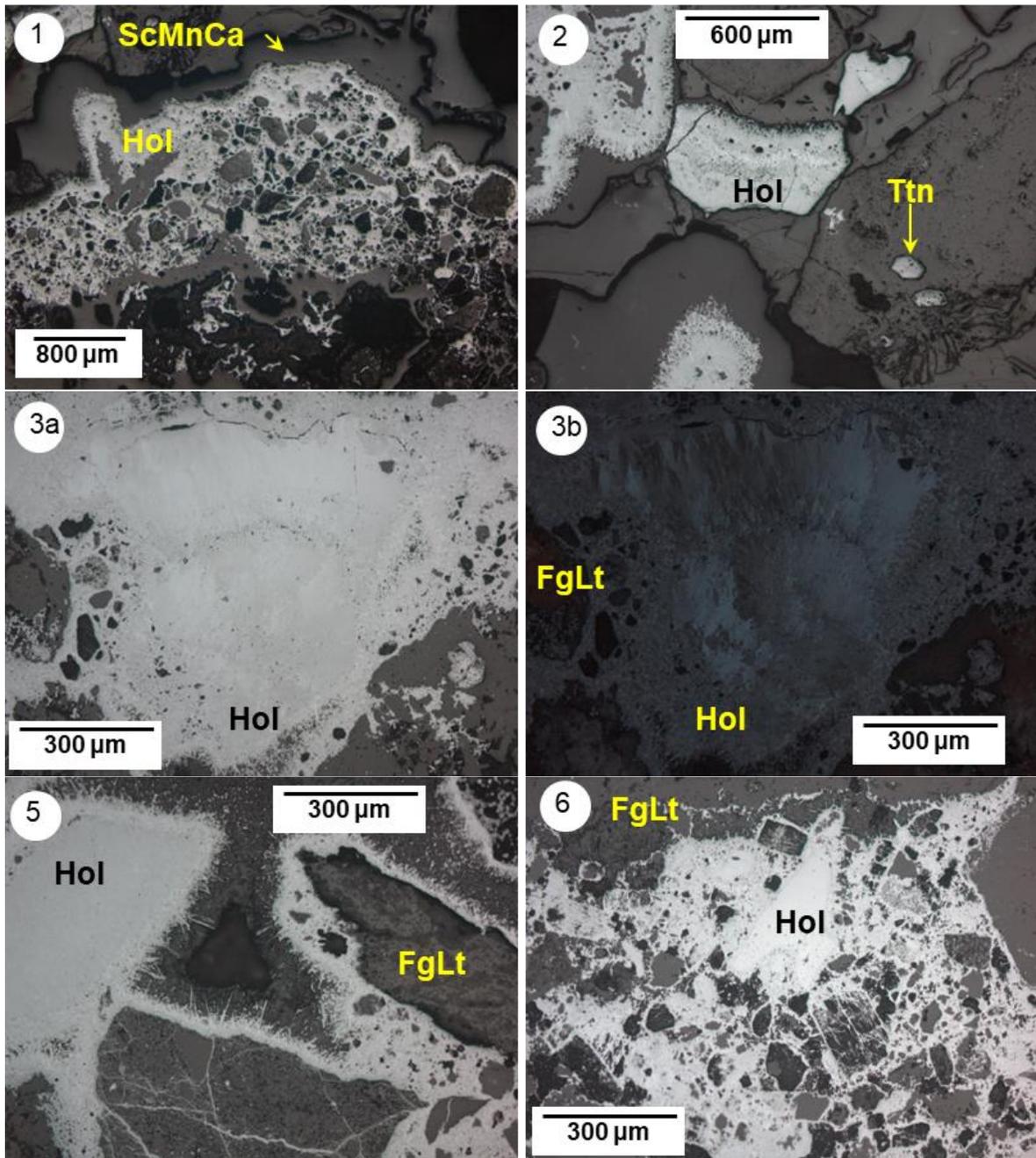
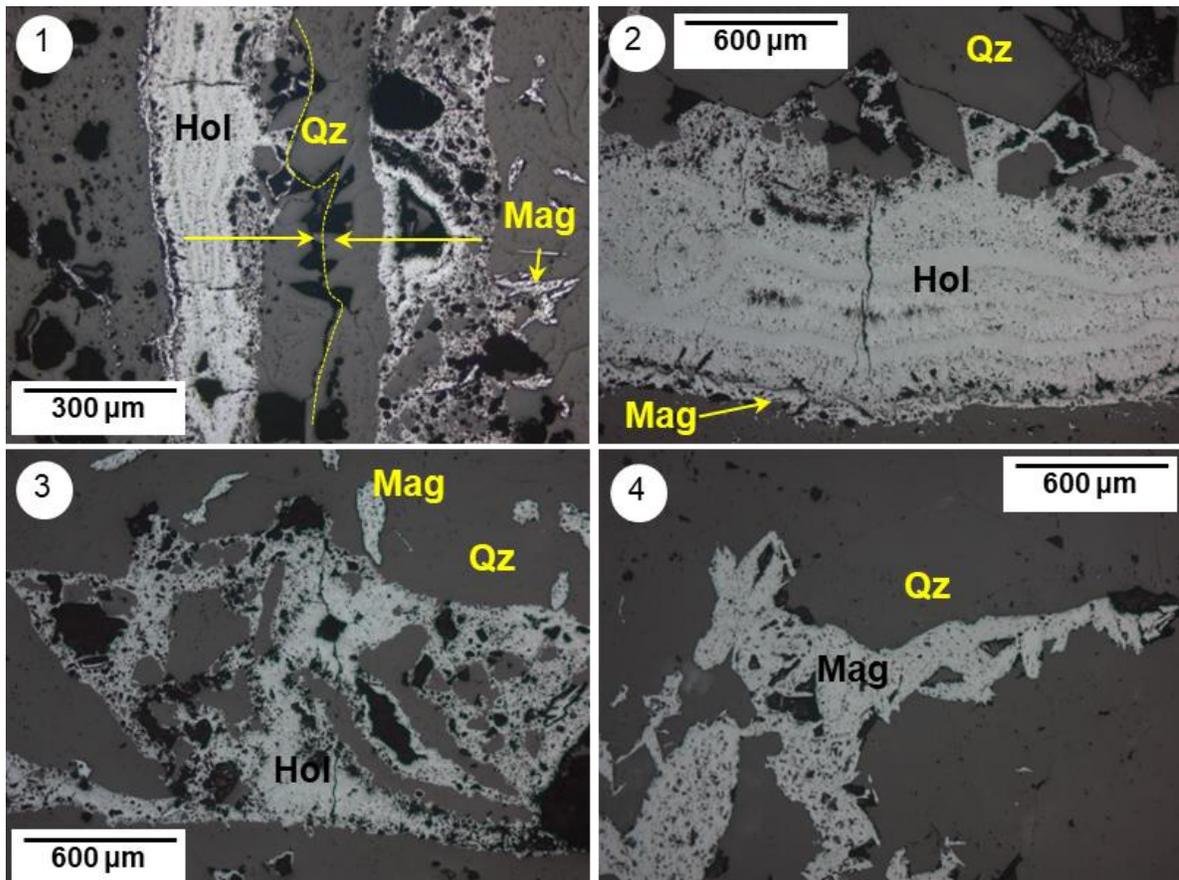


Figura 44. 1) Microbrecha constituida por fragmentos del encajonante cementados por holandita. Se observa un silicato de manganeso y calcio posterior a la holandita que crece en los bordes de la estructura. 2) Fragmento de holandita que presenta un bandeamiento. Es probable que el evento de deformación haya afectado a los óxidos de manganeso. 3a) Holandita con bandeamiento composicional, en nicoles paralelos se observa su pleocroismo en colores azul – café. 3b) En nicoles cruzados (88°) se observa la anisotropía de la holandita, además los fragmentos del encajonante presentan una coloración rojiza debido a la presencia de óxidos. 5) Se observa holandita que crece de con un hábito acicular en los bordes de los fragmentos de encajonante. 6) Fragmentos de encajonante cementados por holandita, algunos presentan cierto grado de reemplazamiento en los bordes principalmente.

Muestra: Talamantes 52

Relleno de veta en donde se observa cierto grado de simetría, se trata de una intercalación entre la precipitación de cuarzo, holandita y hematita, la hematita ha sido reemplazada por magnetita.



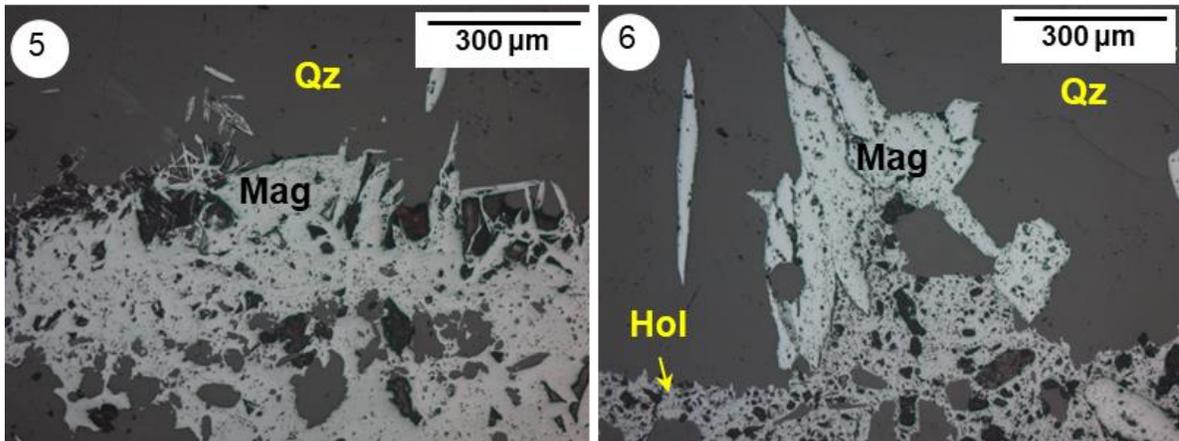
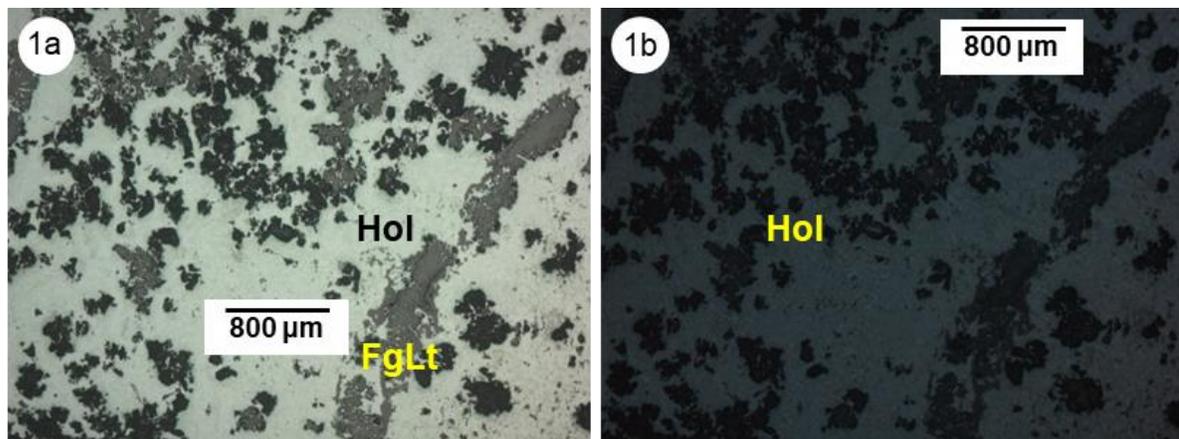


Figura 45. 1) Cierre de la veta con la precipitación de cuarzo subhedral, se tiene precipitación de holandita hacia ambos lados, aunque existen diferencias en la morfología, a la izquierda, se presenta un bandeamiento de la holandita, probablemente asociado a una variación composicional, y hacia la derecha precipita como cementante de una microbrecha. 2) Bandeamiento debido a una variación composicional de la holandita. En la base se tiene magnetita que ha reemplazado a hematita, si bien la coloración no es muy diferente esta fase presenta un mayor relieve. 3) Holandita como cementante de una microbrecha, no se observan variaciones composicionales. Además, se observa magnetita. 4) Magnetita que ha reemplazado a hematita de hábito acicular, al parecer la hematita estuvo en coprecipitación con cuarzo. 5) Hematita de hábito acicular reemplazada por magnetita. 6) Parte de la microbrecha y cristales de hematita reemplazada por magnetita.

Muestra: Talamantes 66

Brecha de fragmentos de riolita cementados por óxidos de manganeso, holandita, algunos de los fragmentos están parcialmente reemplazados por óxidos en los bordes.



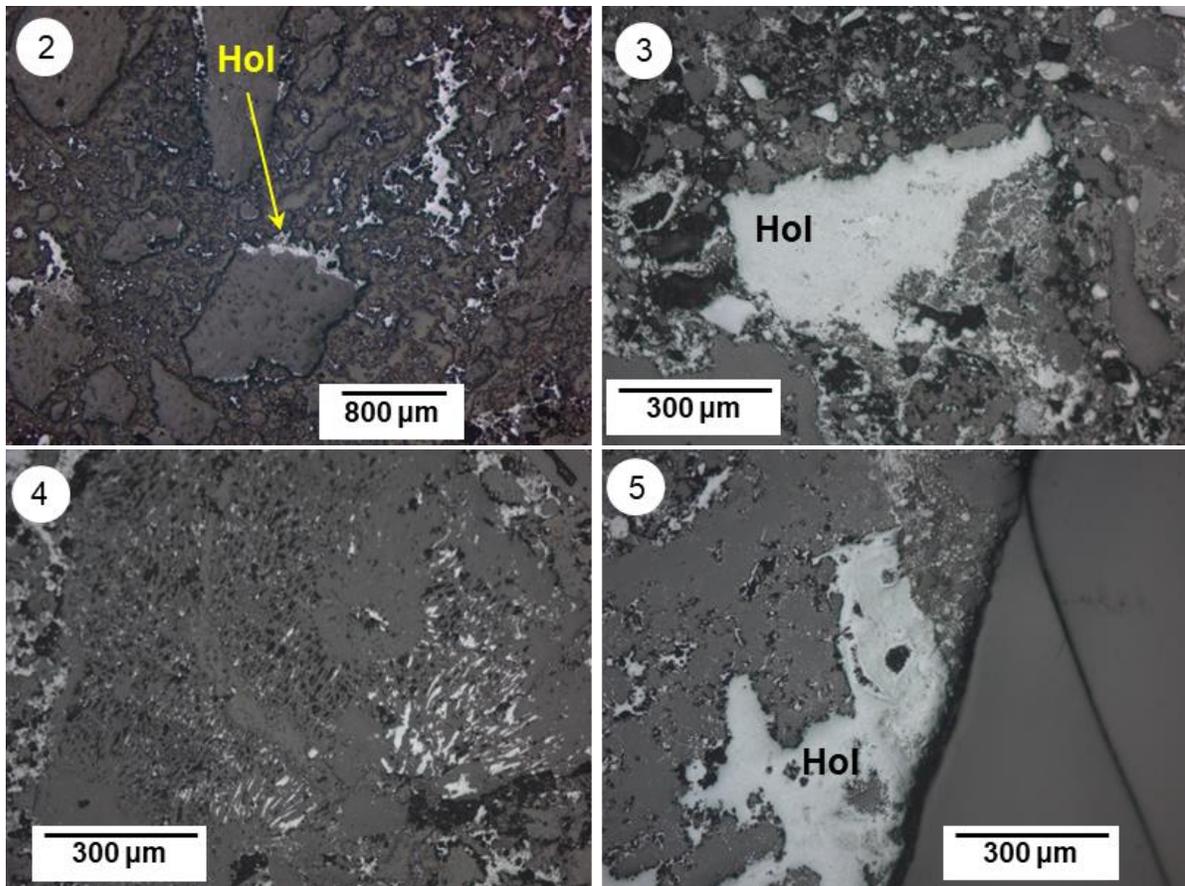


Figura 46. 1a) Holandita como cementante de fragmentos de riolita. 1b) En nicoles cruzados (88°), se observa la anisotropía de esta fase en tonos café – azul. 2) Fragmentos de riolita cementados por óxidos de manganeso. Se observan algunos de estos fragmentos con reemplazamiento por holandita en algunos de los bordes. 3) Holandita como cementante de fragmentos de riolita. 4) Holandita relleno espacios vacíos en los fragmentos del encajonante. 5) Holandita con una posible variación composicional, debido a ello el zoneamiento que se observa al centro de la imagen.

Anexo E: Resumen de análisis de microscopía electrónica

En este anexo se tiene un resumen de los resultados obtenidos mediante análisis de microscopía electrónica en las diferentes muestras que se consideraron. La finalidad, en todo caso, fue corroborar o identificar las fases que no pudieron ser definidas durante la petrografía o mineragrafía.

Las abreviaturas empleadas en la descripción de las láminas son las siguientes: Apy: arsenopirita, Cal: calcita, Cor: coronadita, Cpy: calcopirita, Esk: eskimoita, Gn: galena, Hbl: hornblenda, Hol: holandita, Mg: magnetita, Py: pirita, Qz: cuarzo, Sd: siderita, Sfs: sulfosales, Sph: esfalerita, Ttr-Tnt: tetraedrita-tenantita y Ttn: titanita.

Muestra: Talamantes 50

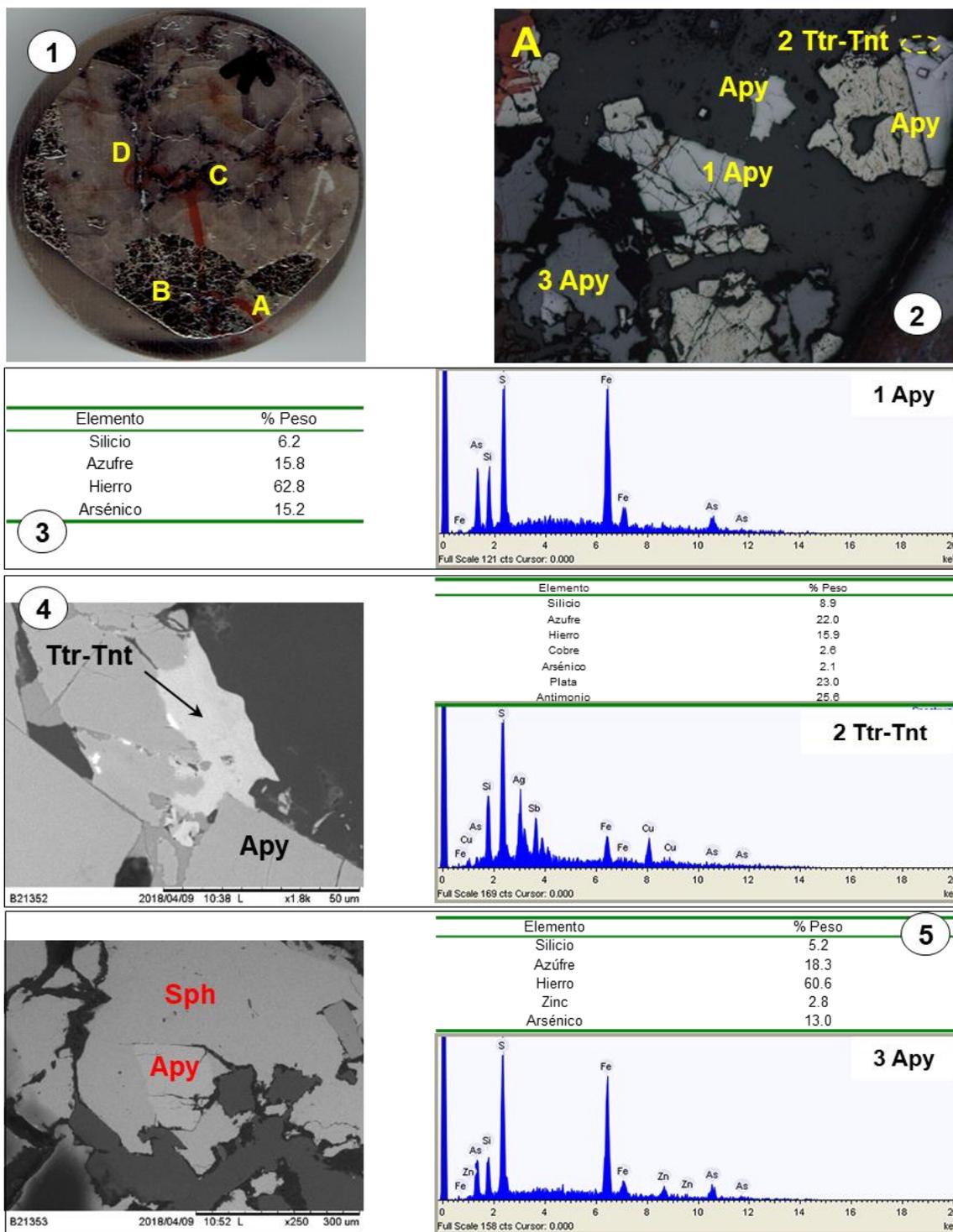


Figura 47. 1) Sectores A, B, C y D analizados mediante microscopía electrónica. 2) Fases analizadas 1 Apy, 2 Ttr-Tnt y 3 Apy. 3), 4) y 5) acercamientos y resultados de microscopía electrónica en cada uno de los sectores analizados.

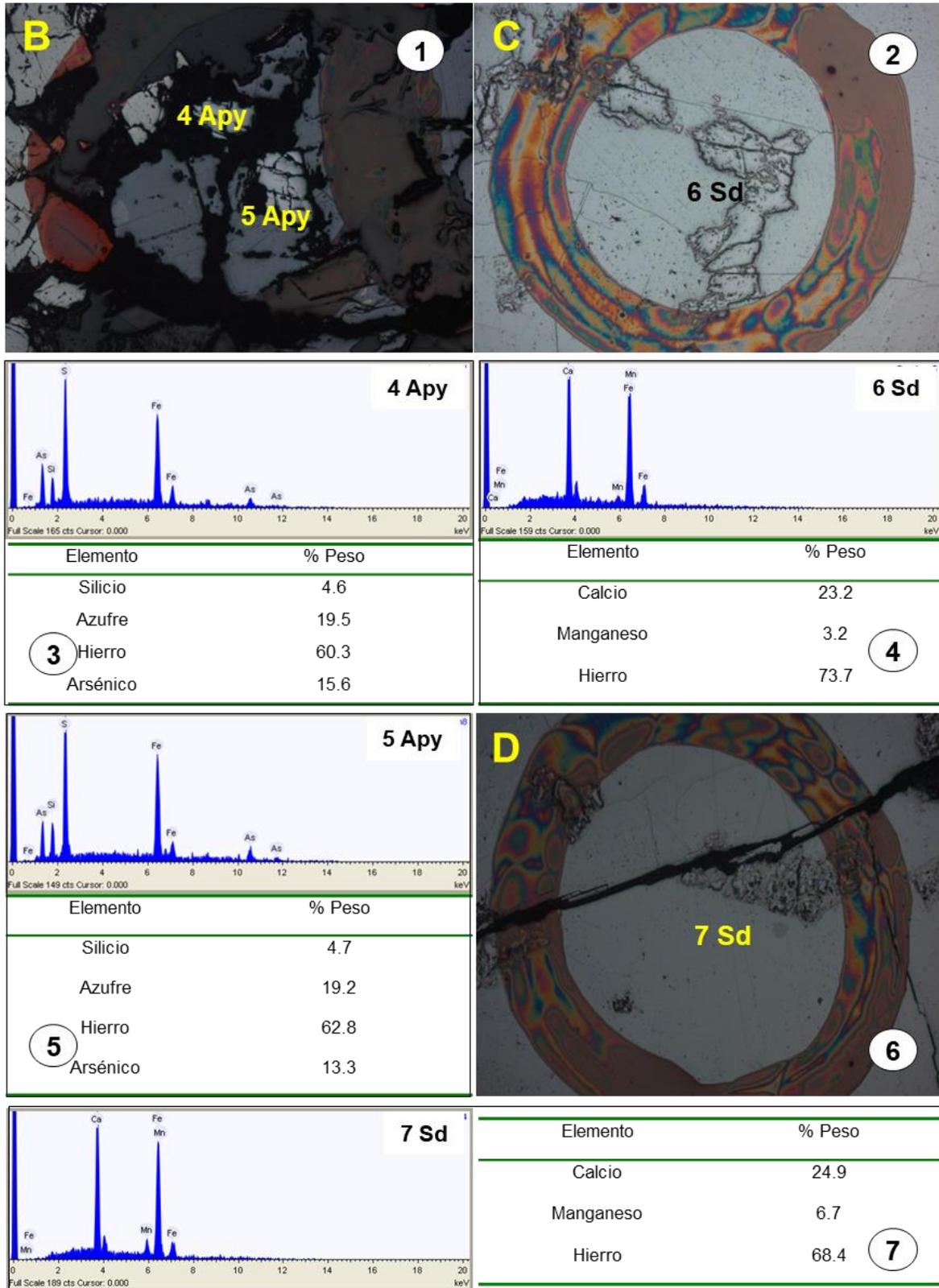


Figura 48. 1) y 2) Acercamiento a zonas de análisis B y C. 3), 4) y 5) Resultados de las fases analizadas. 6) Acercamiento al sector D. 7) Resultados de microscopía electrónica en el punto 7 Sd.

Muestra: Talamantes 54

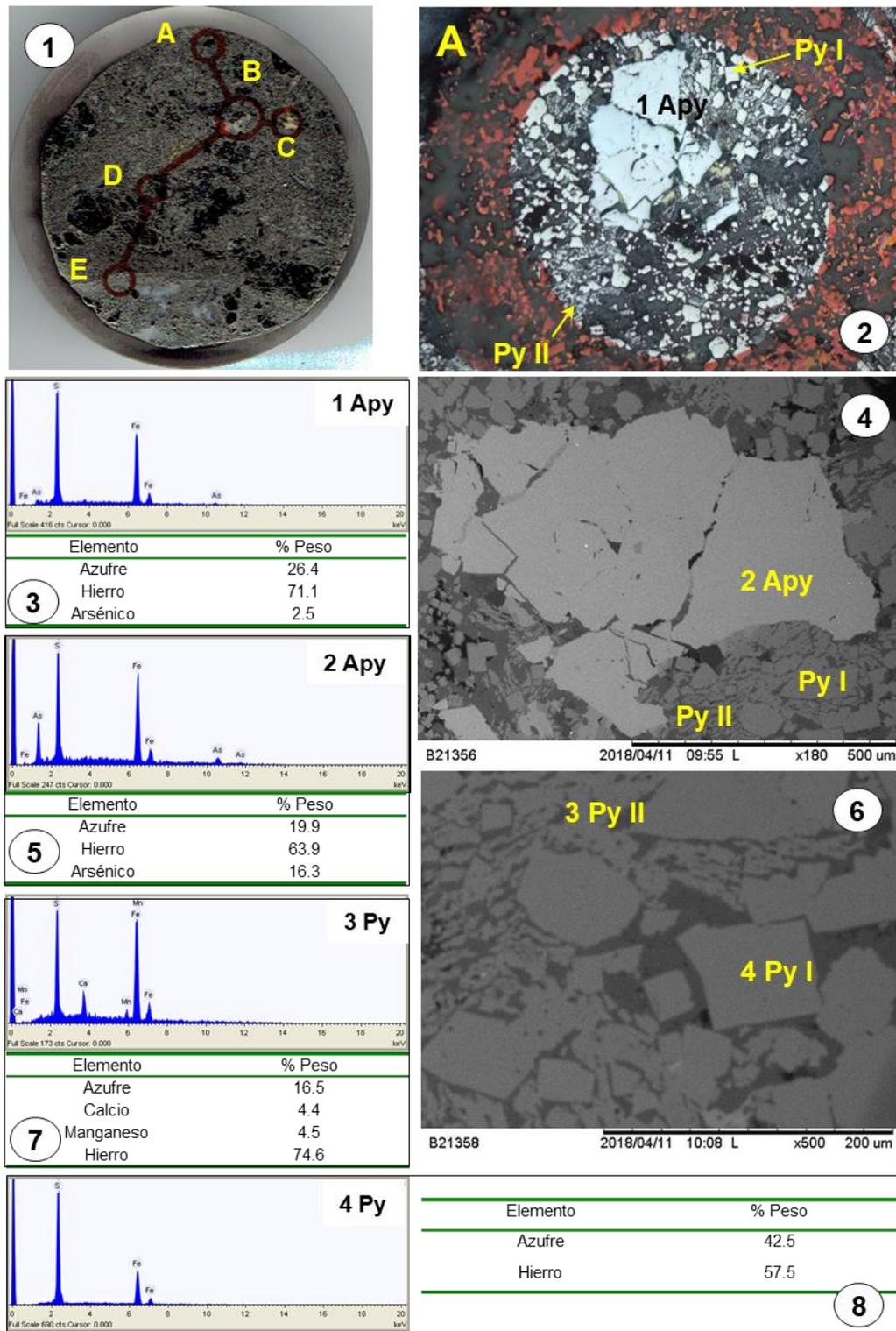
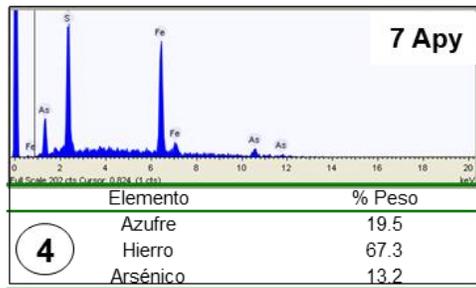
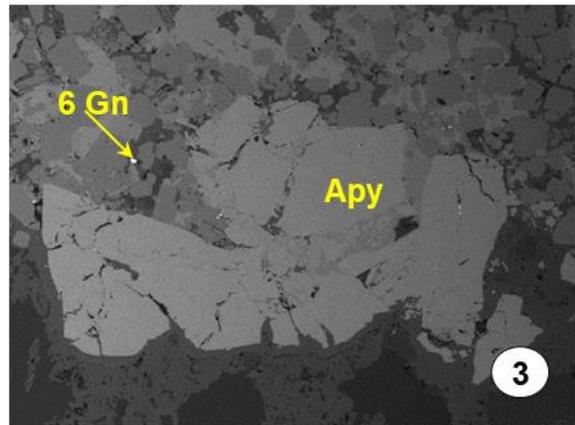
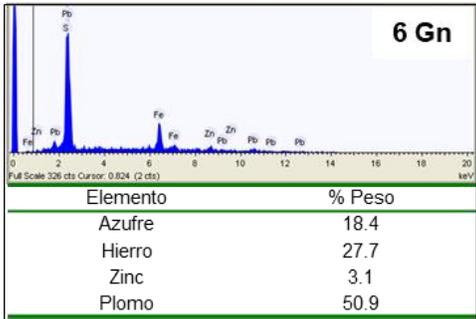
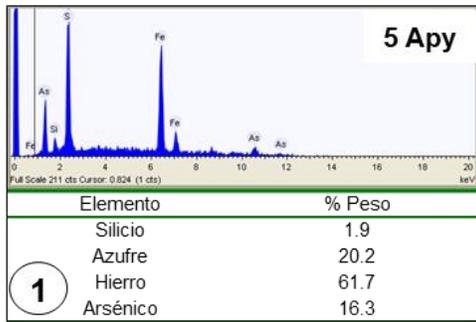
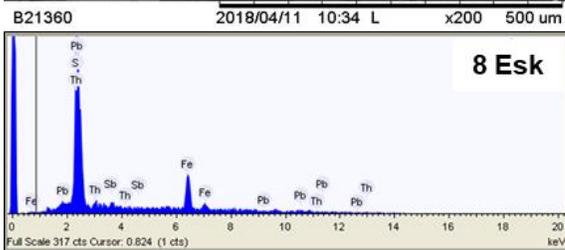
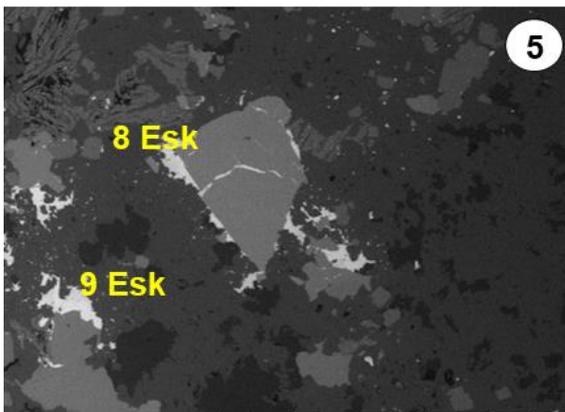


Figura 49. 1) Puntos analizados en la muestra. 2) Acercamiento a la zona de análisis A. 3), 5), 7) y 8) Resultados de las fases analizadas. 4) y 6) Acercamiento a las fases analizadas.



B21359 2018/04/11 10:23 L x120 500 um



Elemento	% Peso
Azufre	18.1
Hierro	31.3
Antimonio	4.8
Plomo	37.2
Torio	8.6

Figura 50. 1), 4) y 8) Resultados de las fases analizadas. 2),3), 5) y 6) Acercamiento a los puntos (B y C) y fases analizadas.

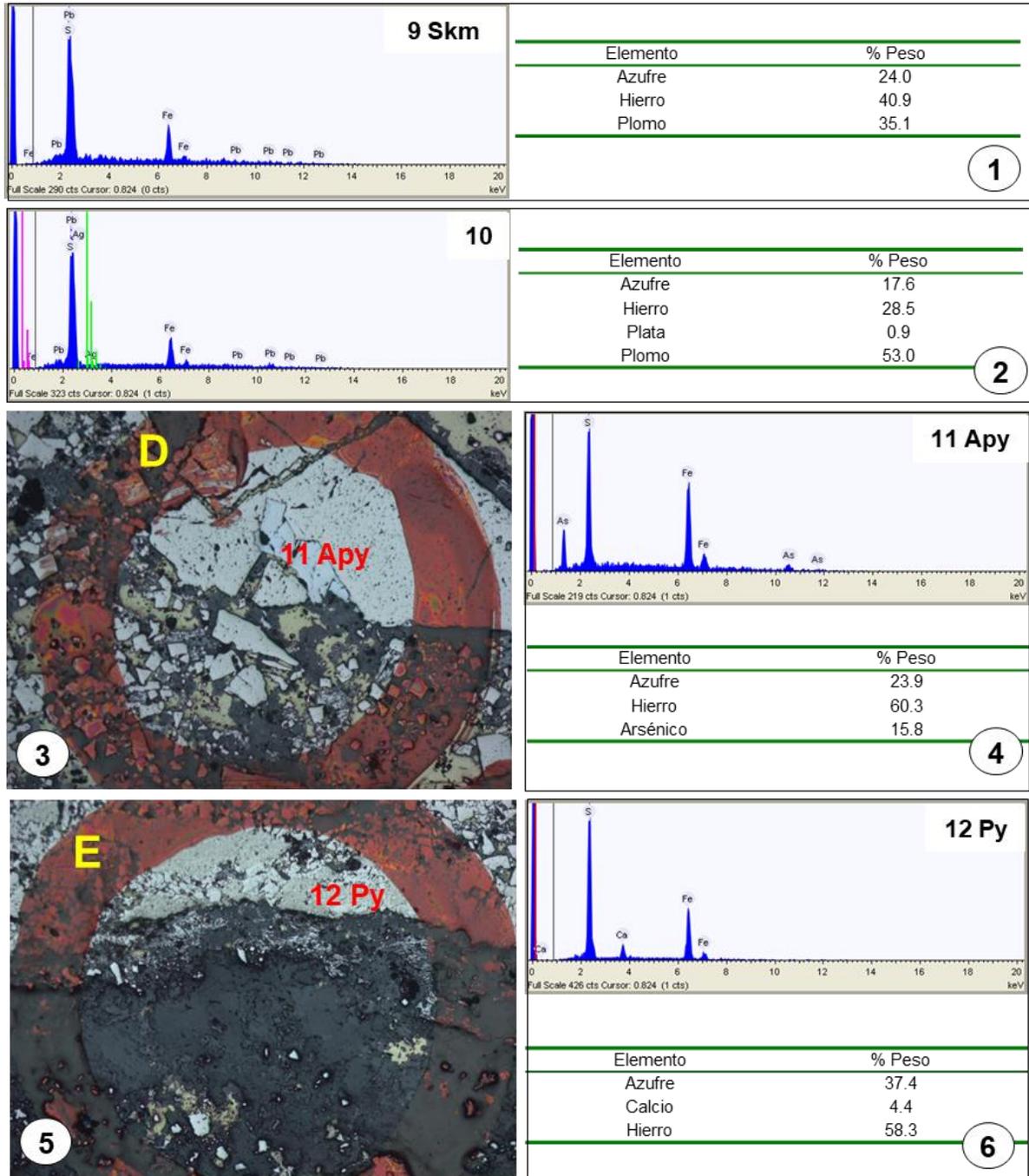


Figura 51. 1), 2) 4) y 6) Resultados de las fases analizadas. 3) y 5) Acercamiento a los puntos de interés D y E.

Muestra: Talamantes 55

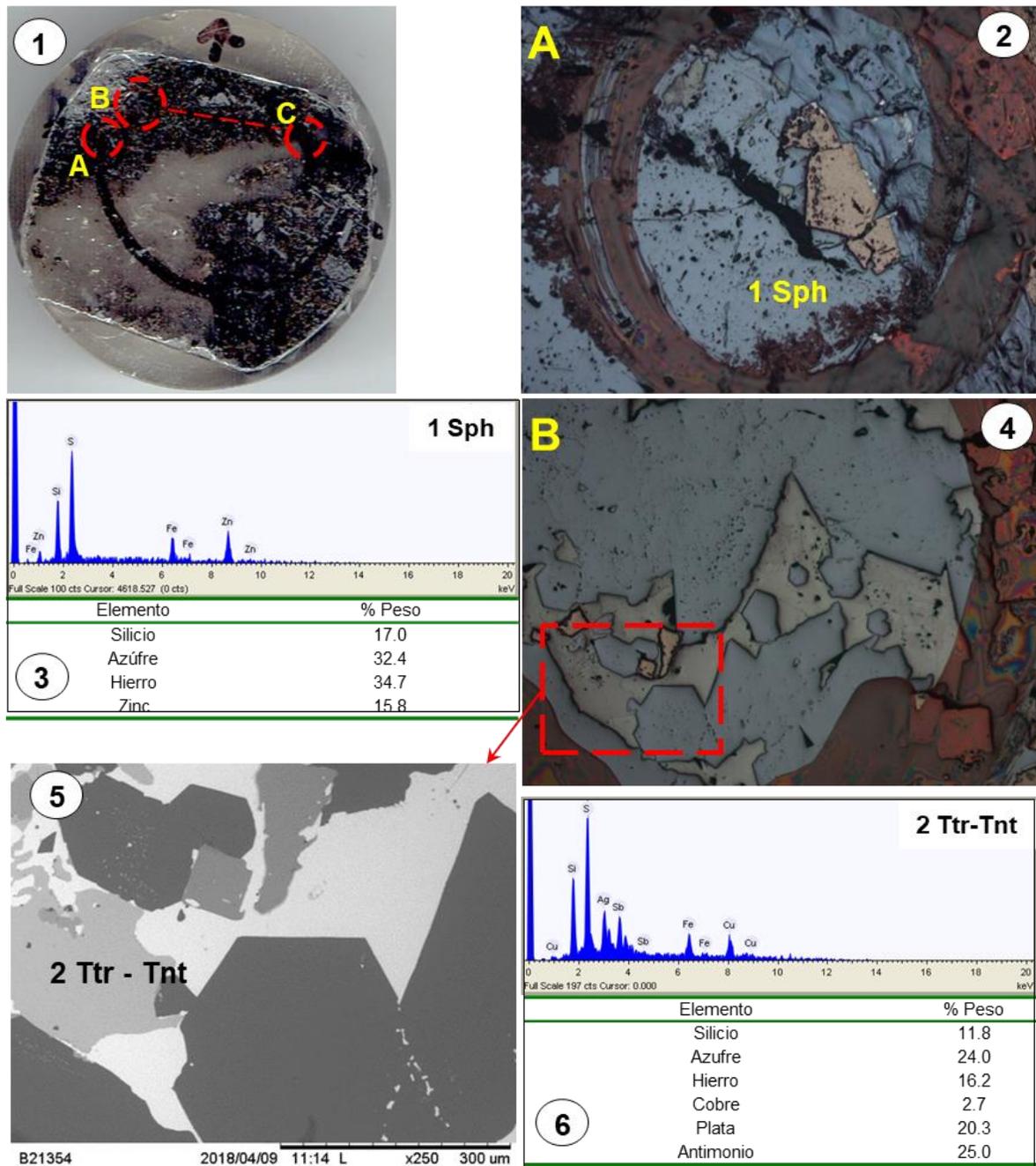


Figura 52. 1) Sectores a analizar dentro de la muestra. 2) y 4) Acercamiento a puntos A y B. 3) y 6) Resultados de microscopía electrónica. 5) Acercamiento a las sulfosales analizadas.

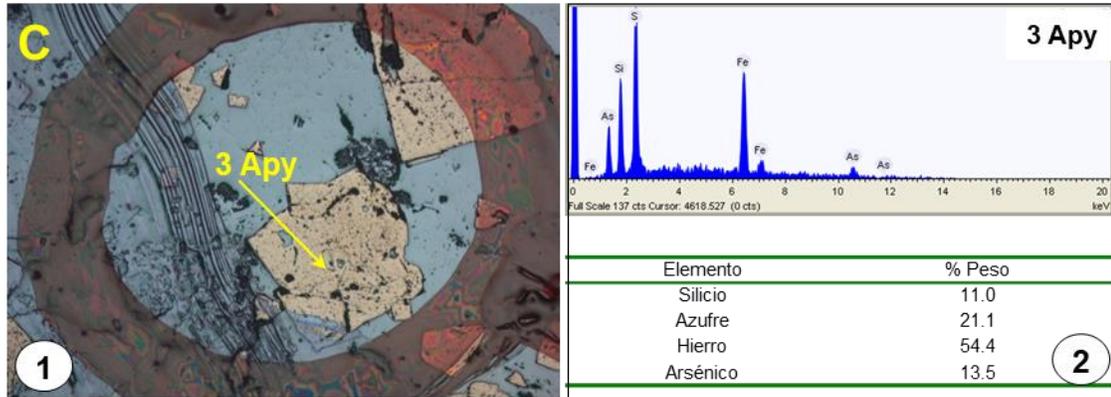


Figura 53. 1) Acercamiento al punto C. 2) Resultados de microscopía electrónica de la fase analizada.

Muestra: Talamantes 64

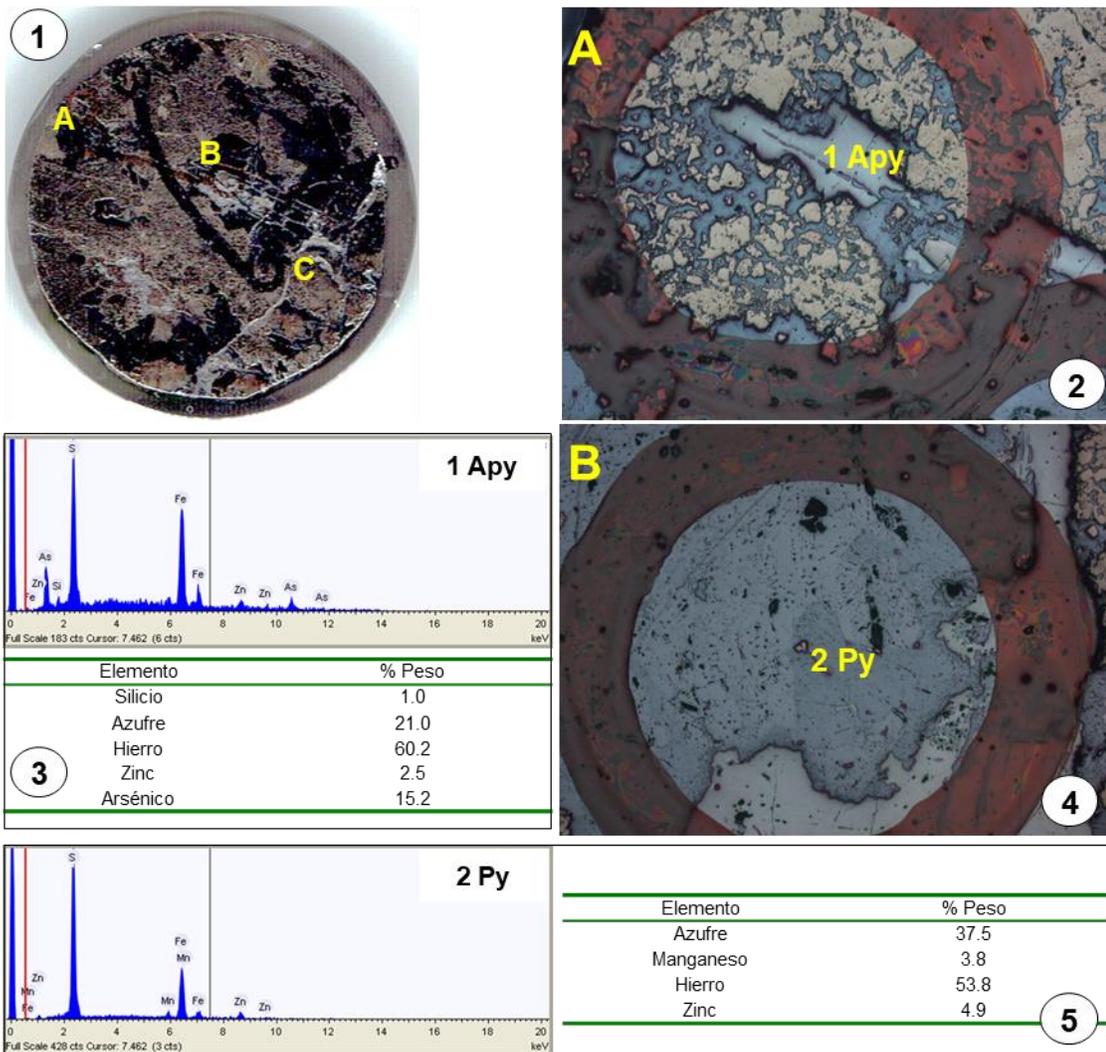


Figura 54. 1) Sectores a analizar dentro de la muestra. 2) y 4) Acercamiento a puntos A y B. 3) y 5) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

Muestra: Talamantes 52

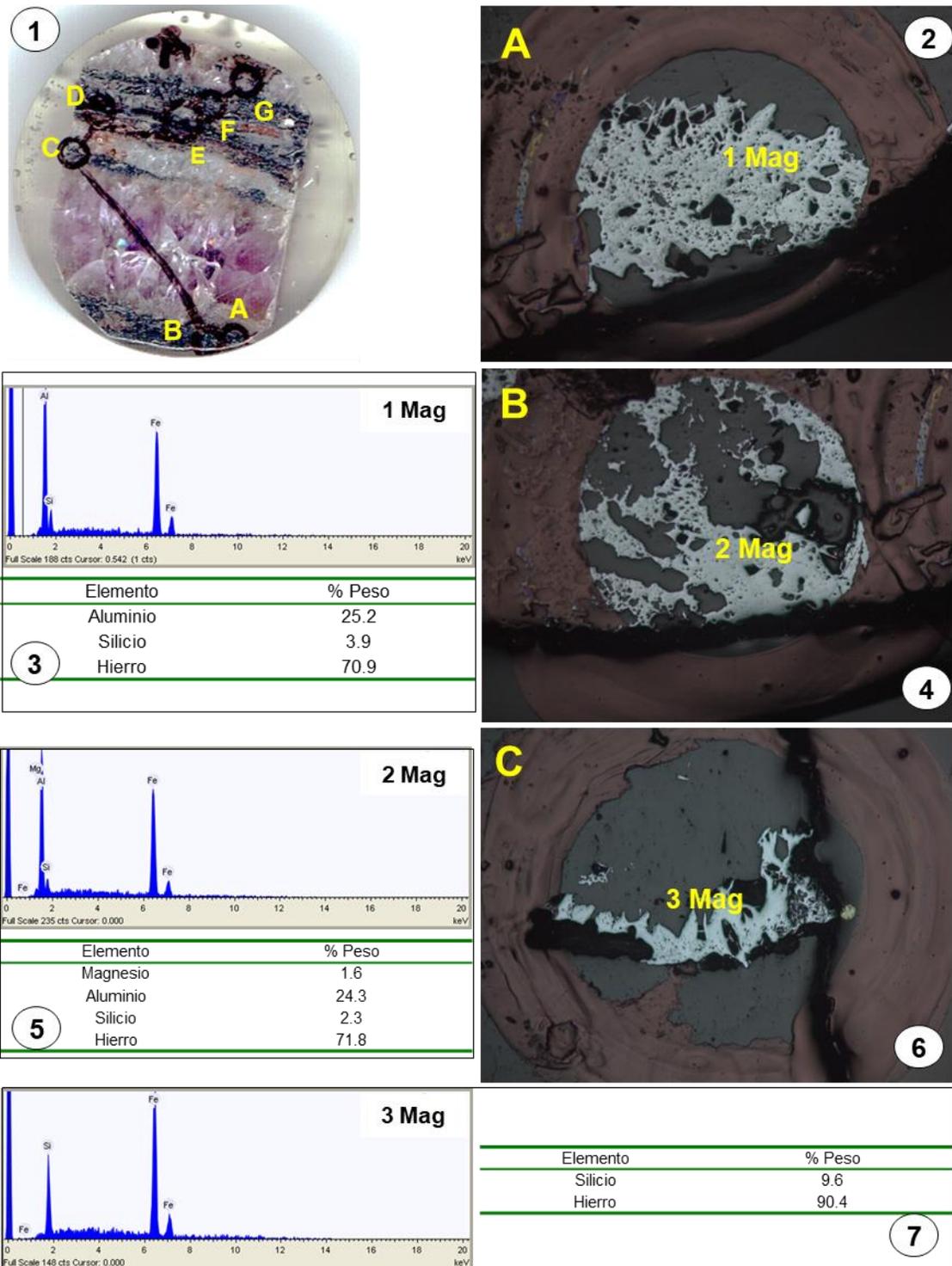


Figura 55. 1) Sectores a analizar dentro de la muestra. 2), 4) y 6) Acercamiento a puntos A, B y C. 3), 5) y 7) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

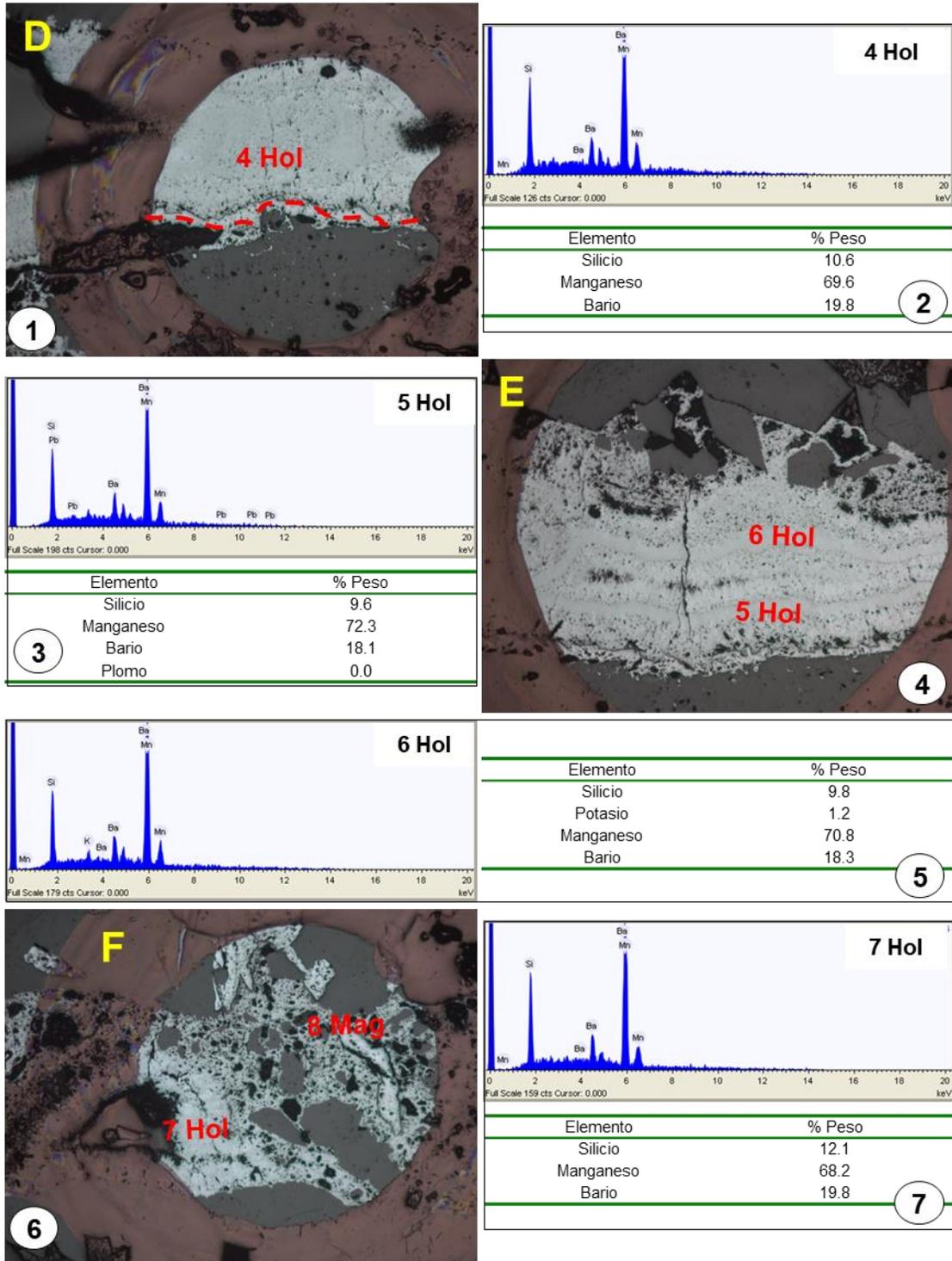


Figura 56. 1), 4) y 6) Acercamiento a puntos D, E y F. 2), 3), 5) y 7) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

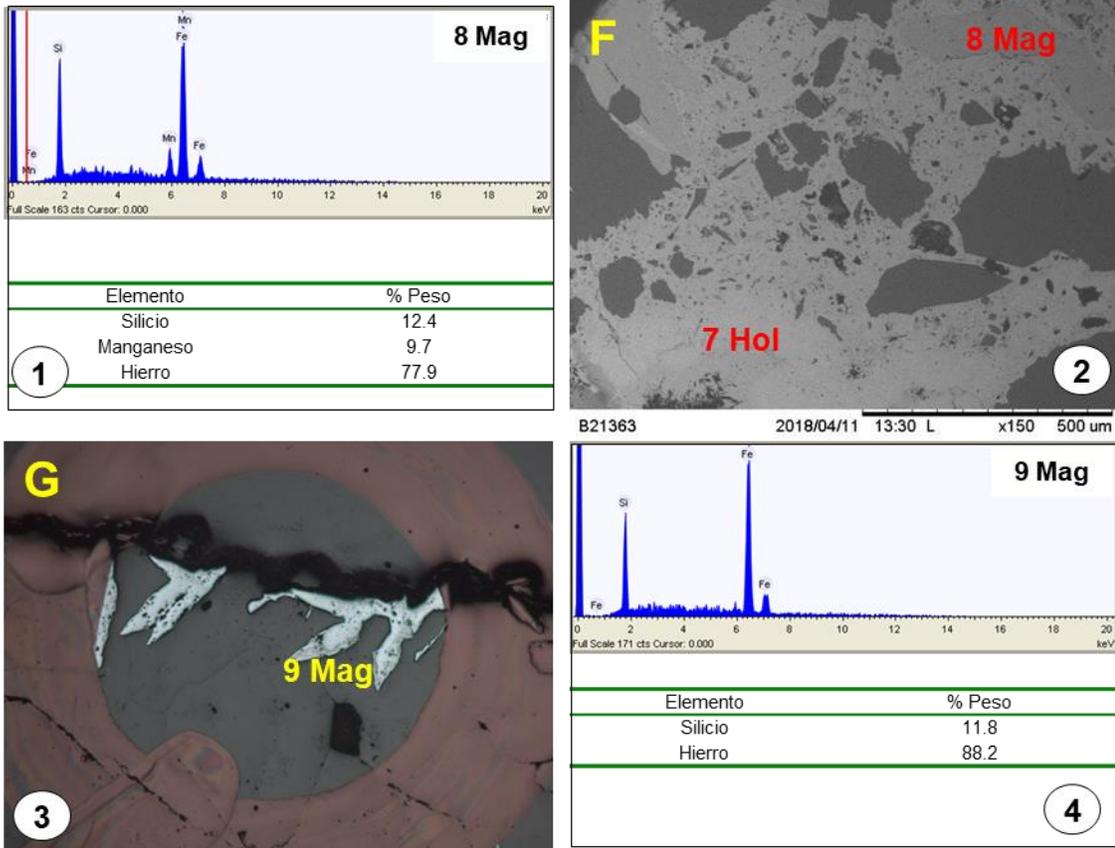


Figura 57. 1) y 4) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas. 2) y 3) Acercamiento a las fases analizadas en el sector F y al sector C, respectivamente.

Muestra: Talamantes 28

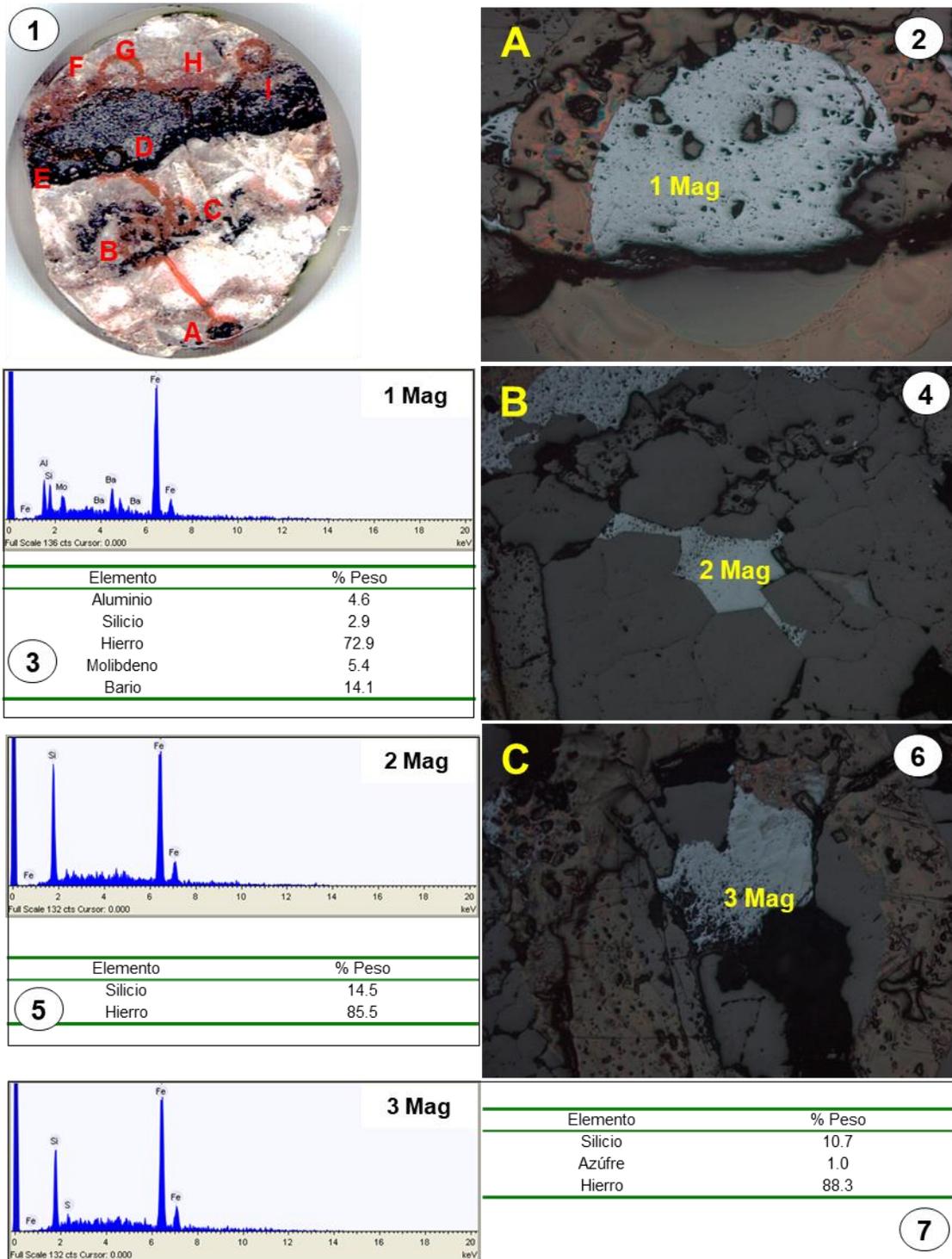


Figura 58. 1) Sectores analizados en la muestra. 2), 4) y 6) Acercamiento a las fases analizadas. 3), 5) y 7) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

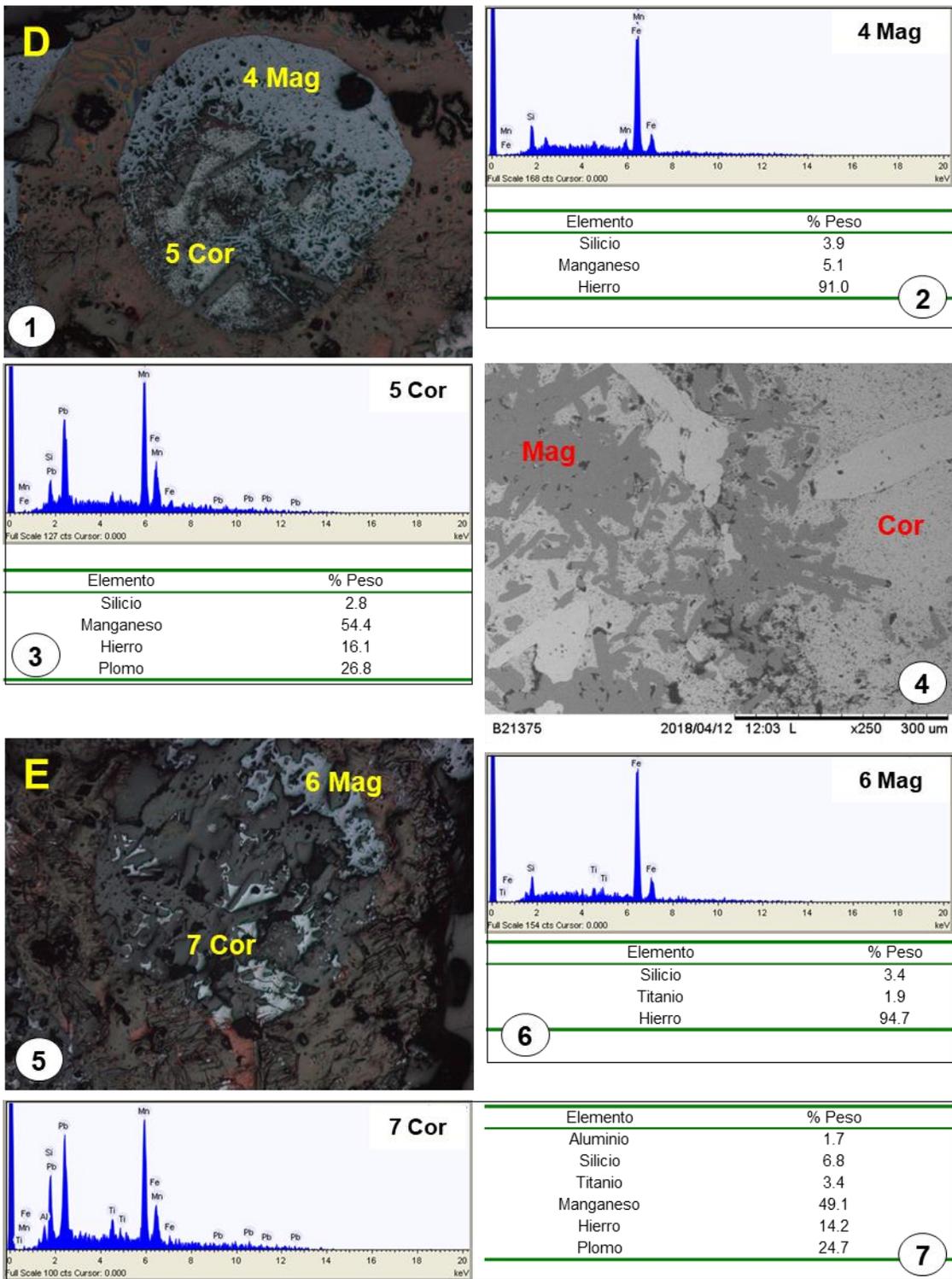


Figura 59. 1), 4) y 5) Acercamiento a sectores y fases analizadas. 2), 3), 6) y 7) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

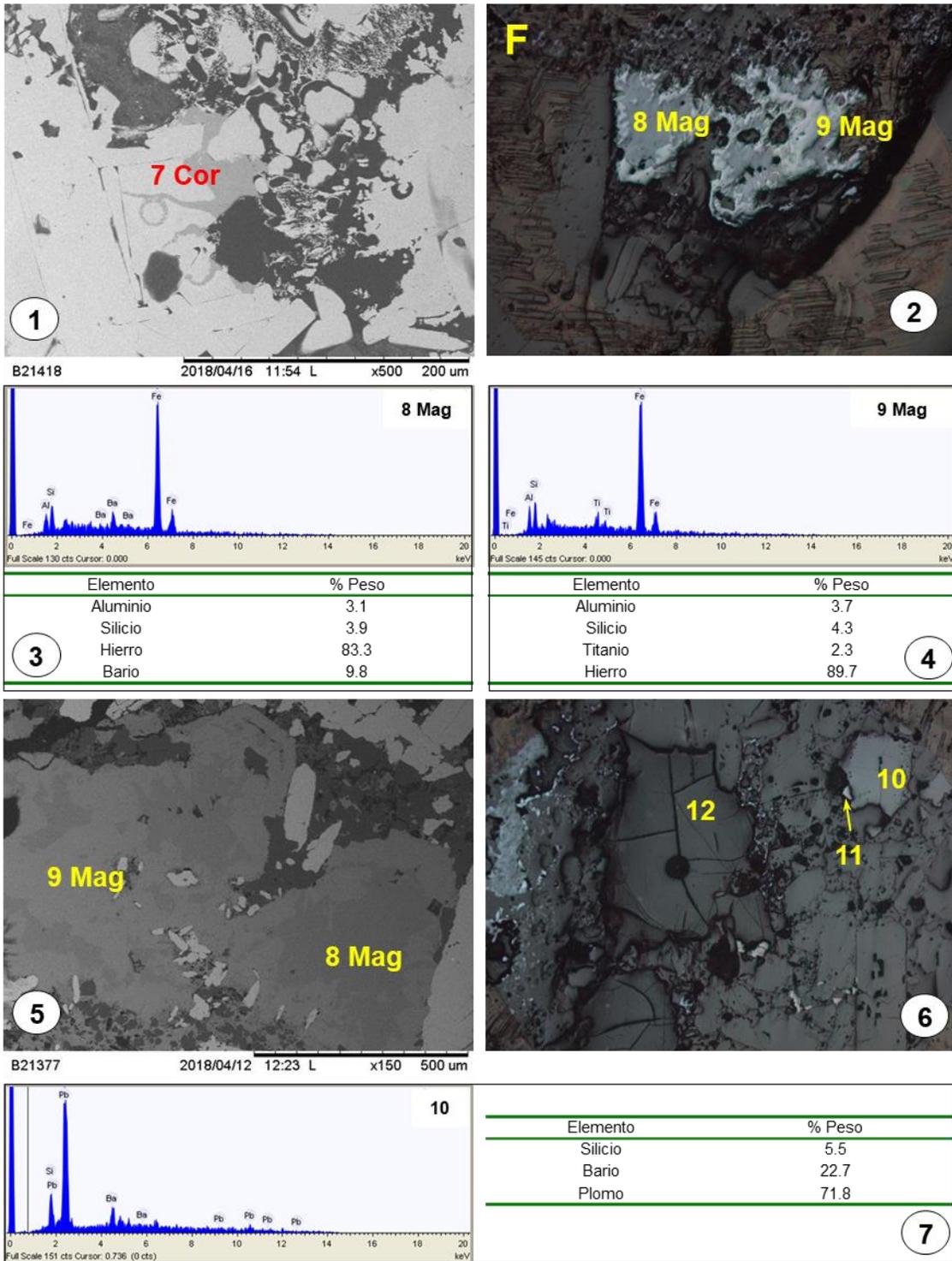


Figura 60. 1), 2), 5) y 6) Acercamiento a sectores y fases analizadas. 3), 4) y 7) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

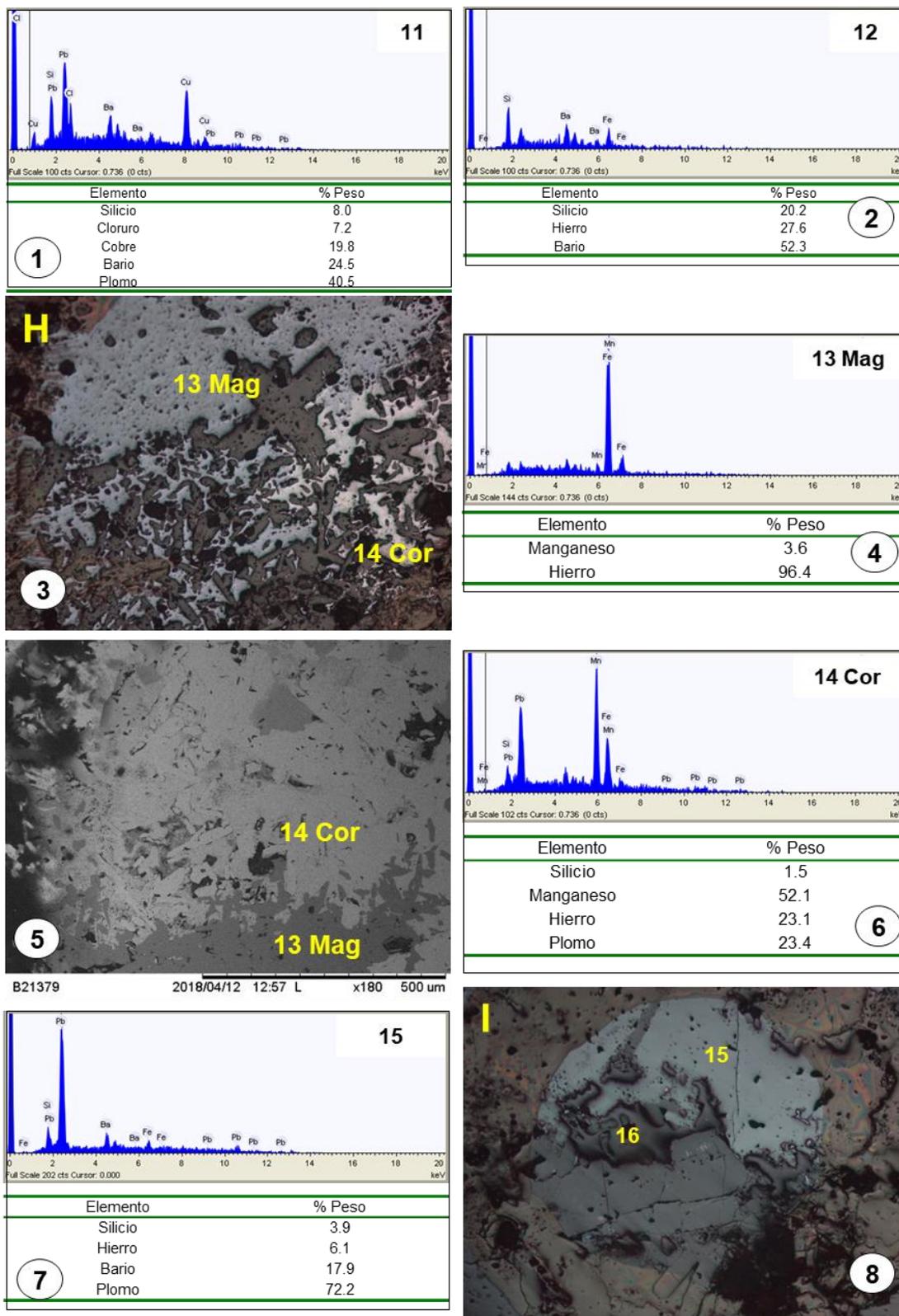


Figura 61. 1), 2), 4), 6) y 7) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas. 3), 5) y 8). Acercamiento a sectores y fases analizadas.

Muestra: Talamantes 35

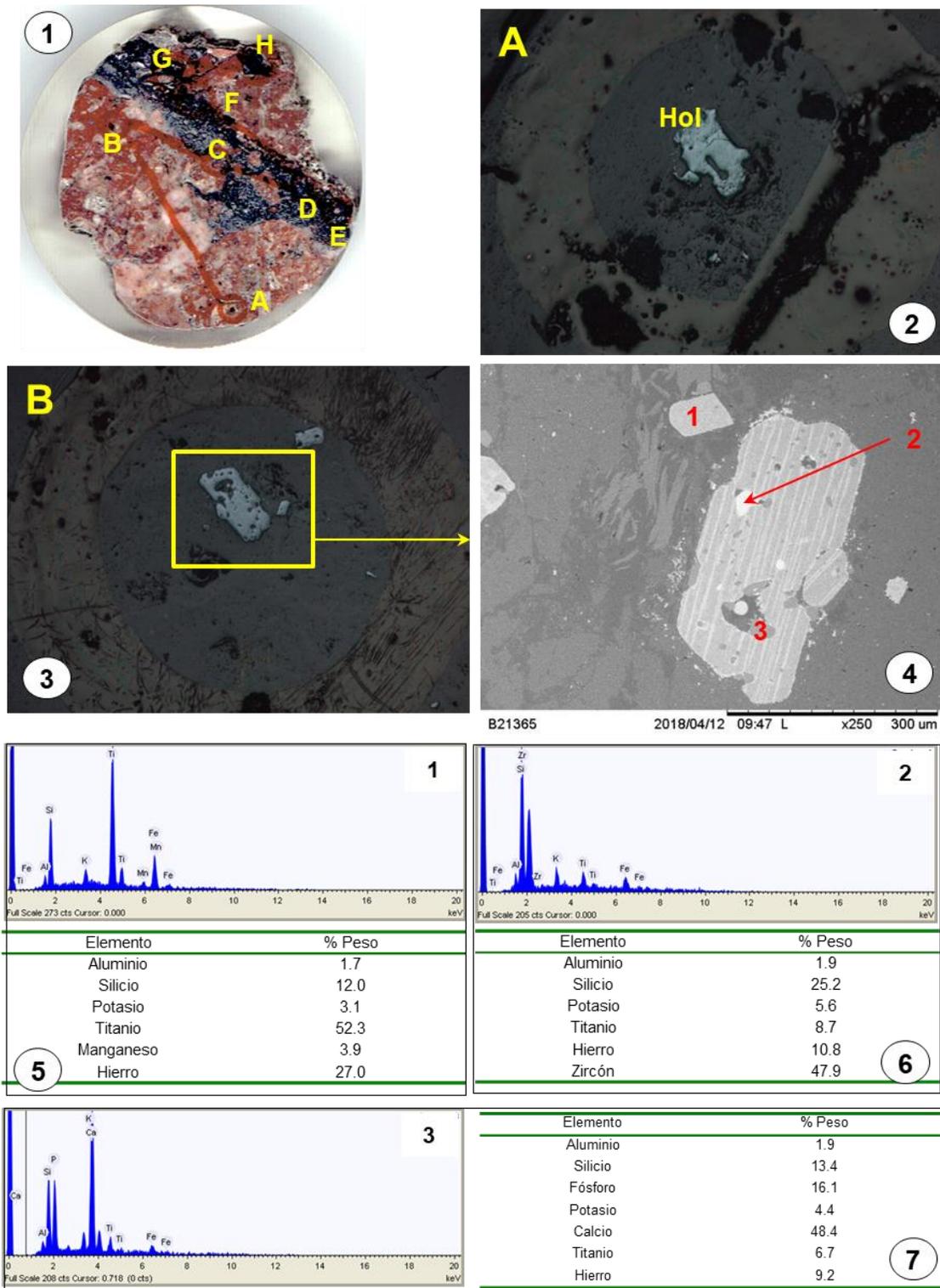


Figura 62. 1) Sectores analizados en la muestra. 2), 3) y 4) Acercamiento a sectores y fases analizadas. 5), 6) y 7) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

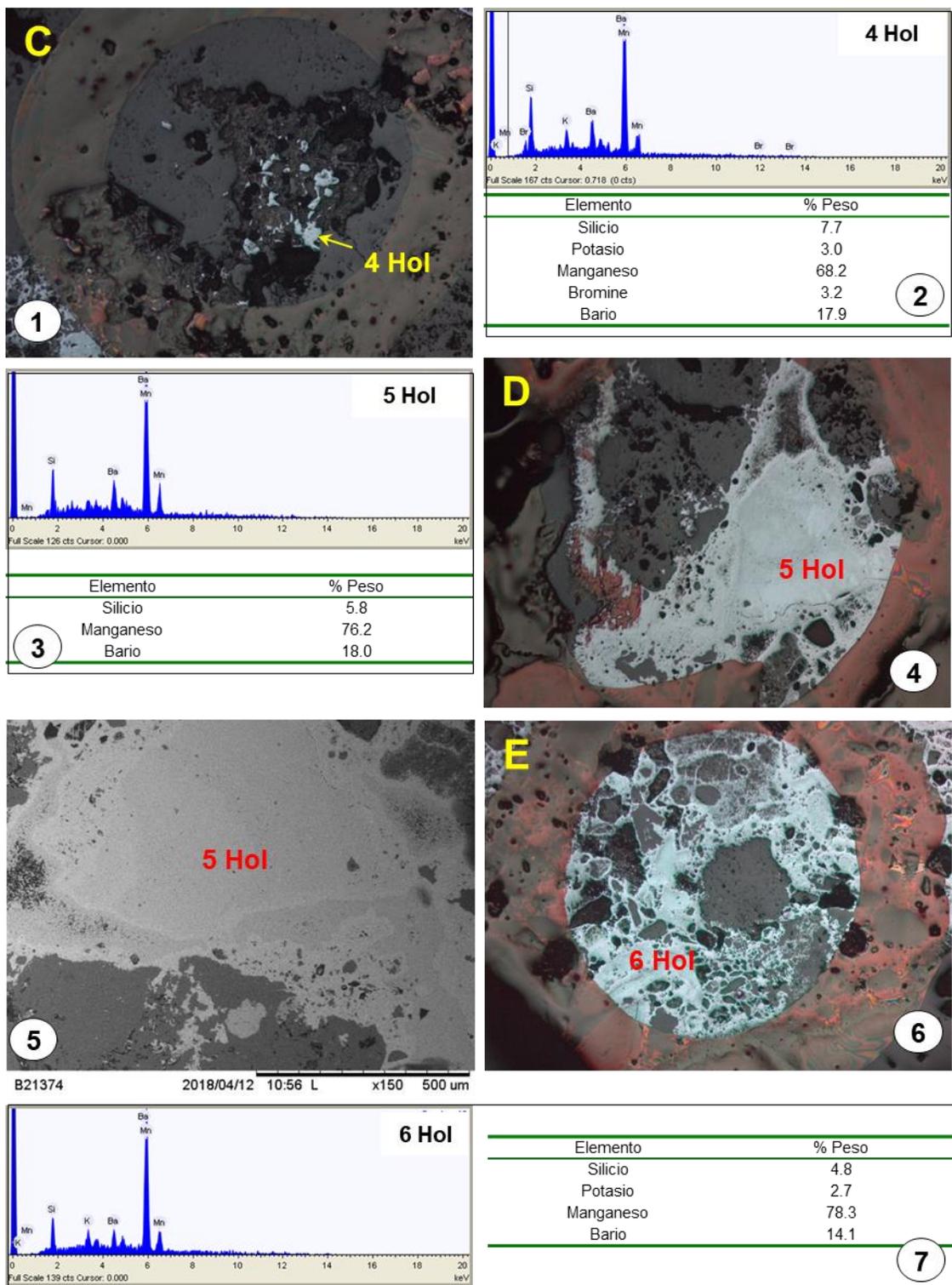


Figura 63. 1), 4), 5) y 6) Acercamiento a sectores y fases analizadas. 2), 3) y 7) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

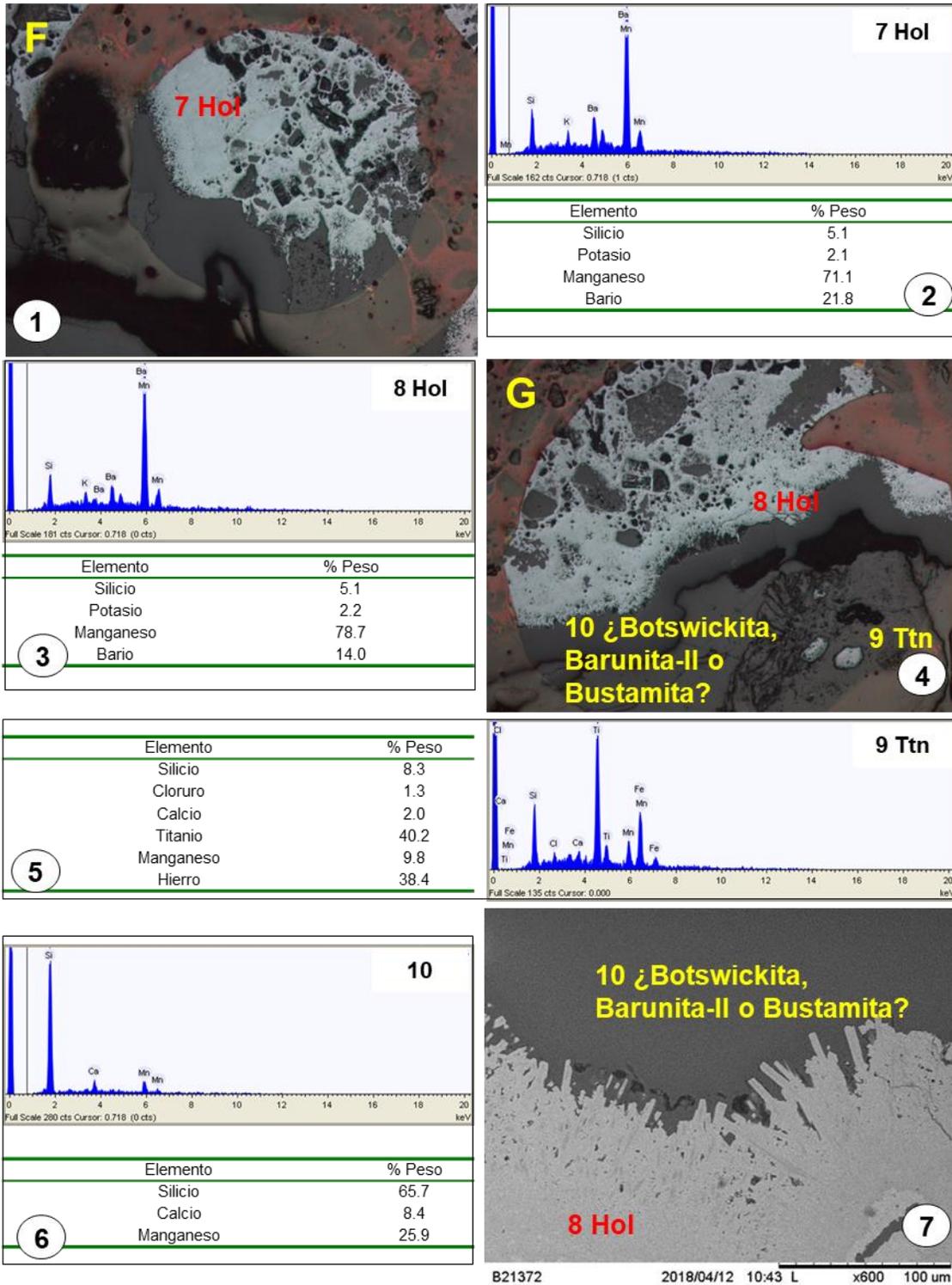


Figura 64. 1), 4), y 7) Acercamiento a sectores y fases analizadas. 2), 3), 5) y 6) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

Muestra: Talamantes 66

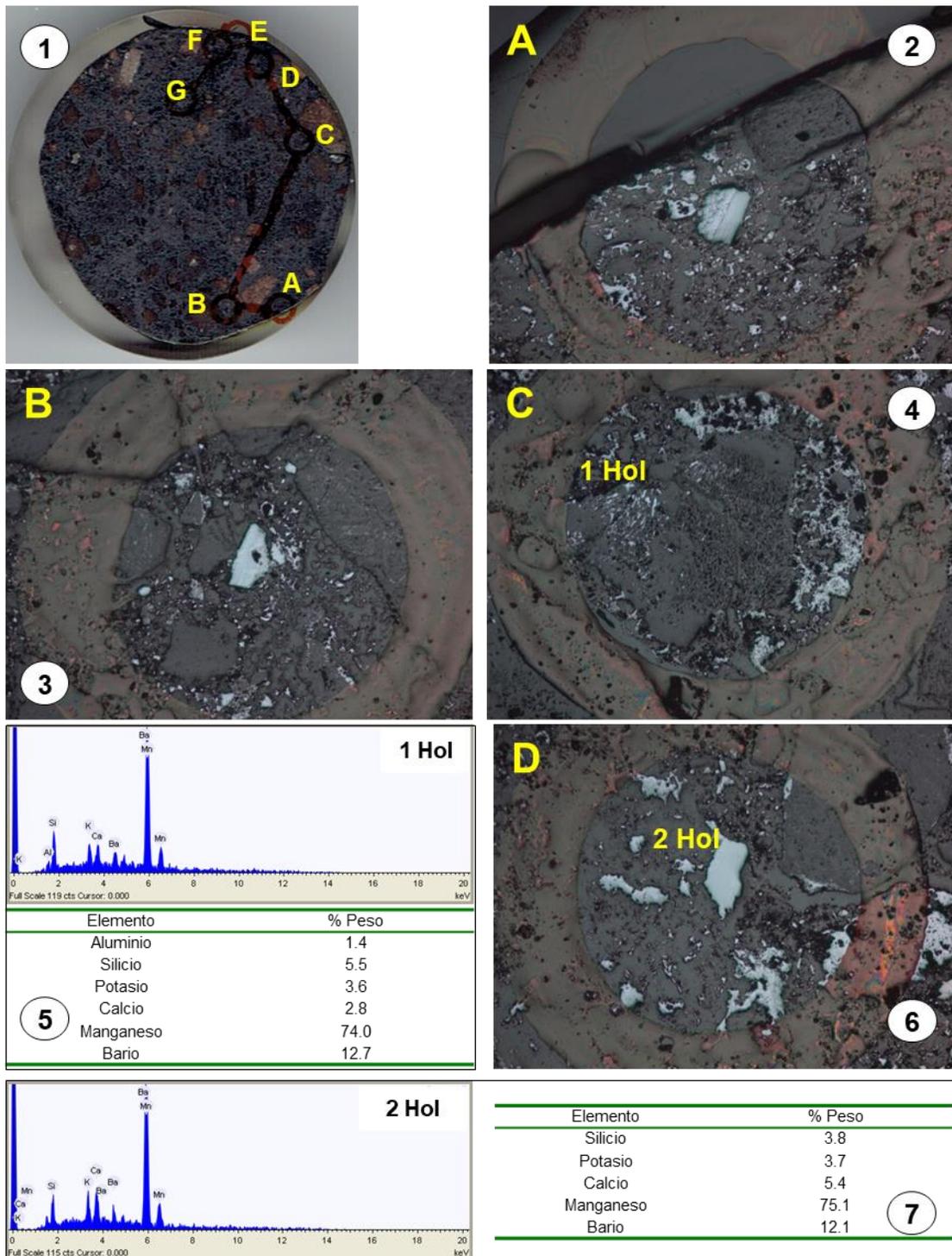


Figura 65. 1) Sectores analizados en la muestra. 2), 3), 4), y 6) Acercamiento a sectores y fases analizadas. 5) y 7) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

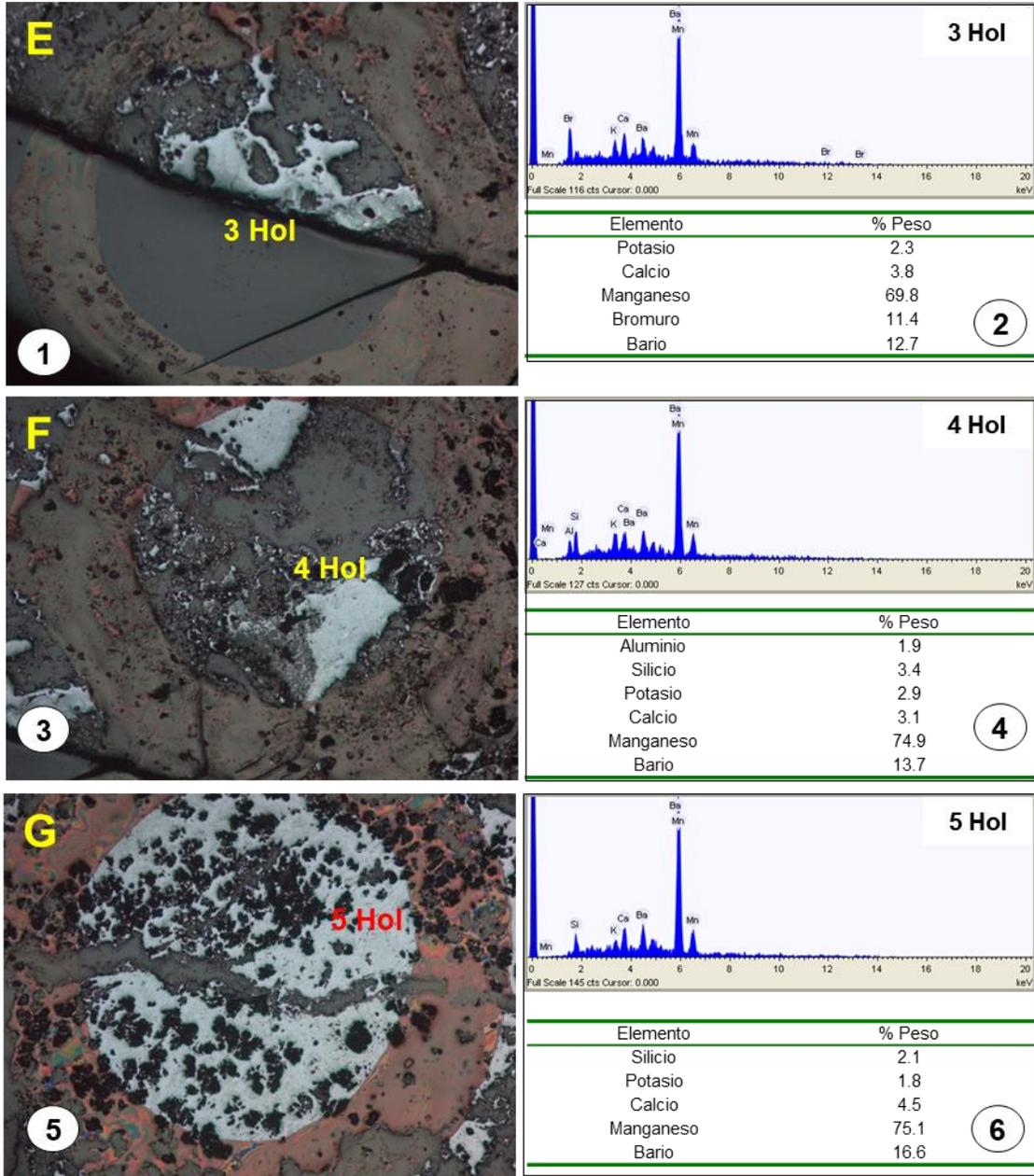


Figura 66. 1), 3) y 5) Acercamiento a sectores y fases analizadas. 2), 4) y 6) Resultados de análisis de microscopía electrónica en fases analizadas.

Anexo F: Análisis por difracción de rayos X

En este anexo se presentan los resultados de los análisis por difracción de rayos X. En la Tabla 1 se describen las fases identificadas en cada una de las muestras proporcionadas al laboratorio y los espectrogramas correspondientes.

Tabla 1. Muestras y fases identificadas durante los análisis por difracción de rayos X.

Muestra	Fases identificadas	Fichas PDF	SemiQuant. RIR	Observaciones
DRX1: Mina Barita #27 Óxidos de Hierro	Hematita: Fe ₂ O ₃ Magnetita: Fe ₃ O ₄ Cuarzo: SiO ₂ Barita: BaSO ₄ <i>Mimetita: Pb₅(AsO₄)₃Cl*</i>	ICSD 98 016 8008 ICSD 98 016 0601 ICDD 01 075 8320 ICDD 01 072 1378 <i>ICSD 98 016 0601</i>	60 20 11 6 3	En cursiva las fases que deberían confirmarse mediante otras técnicas o mediciones más lenta ya que a pesar de que coinciden algunos picos no tenemos seguridad total de su presencia.
DRX2: Mina Barita #27 Óxidos de hierro y manganeso	Goethita: FeO(OH) Hematita: Fe ₂ O ₃ Mica tipo biotita o similar Cuarzo: SiO ₂ <i>Pirolusita: MnO₂</i>	ICSD 98 015 9960 ICDD 98 016 8008 ICSD 98 000 4131 ICSD 98 018-2707 ICSD 98 024 6888	83 4 4 9 Menor 1%	Se detectó únicamente un pico muy pequeño que podría corresponder a pirolusita (% menor al 1-2%). Para confirmar esa determinación se recomiendan mediciones más lentas o verificaciones utilizando otras técnicas.
DRX:3 Mina Barita #27 Óxidos de hierro y manganeso (cristales)	Goethita: FeO(OH)	ICDD 01 080 7092	100	No se detectaron fases de Mn.
DRX4: Mina Barita #27 Óxidos de hierro y manganesos bis	<i>Mimetita: Pb₅(AsO₄)₃Cl</i>	ICSD 98 006 4826	100	En cursiva las fases que deben confirmarse por otro método o medición más lenta por encontrarse en muy baja proporción ya que sólo disponíamos de algunos cristales de la muestra. Se recomienda separar mayor cantidad de cristales para mejorar resolución.
DRX5: Mina Barita #27 Lámina petrográfica	Goethita: FeO(OH)	ICDD 00 029 0713	100	Se analizó puntualmente la zona más oscura de la lámina.

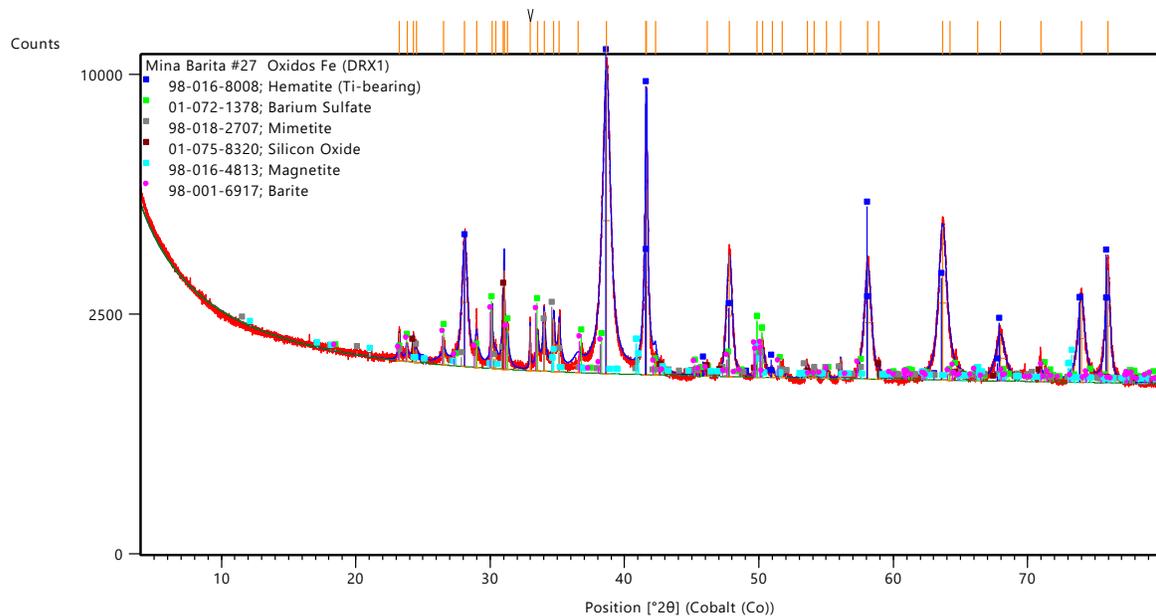


Figura 67. Difractograma de la muestra Mina Barita # 27 Óxidos de Fe.

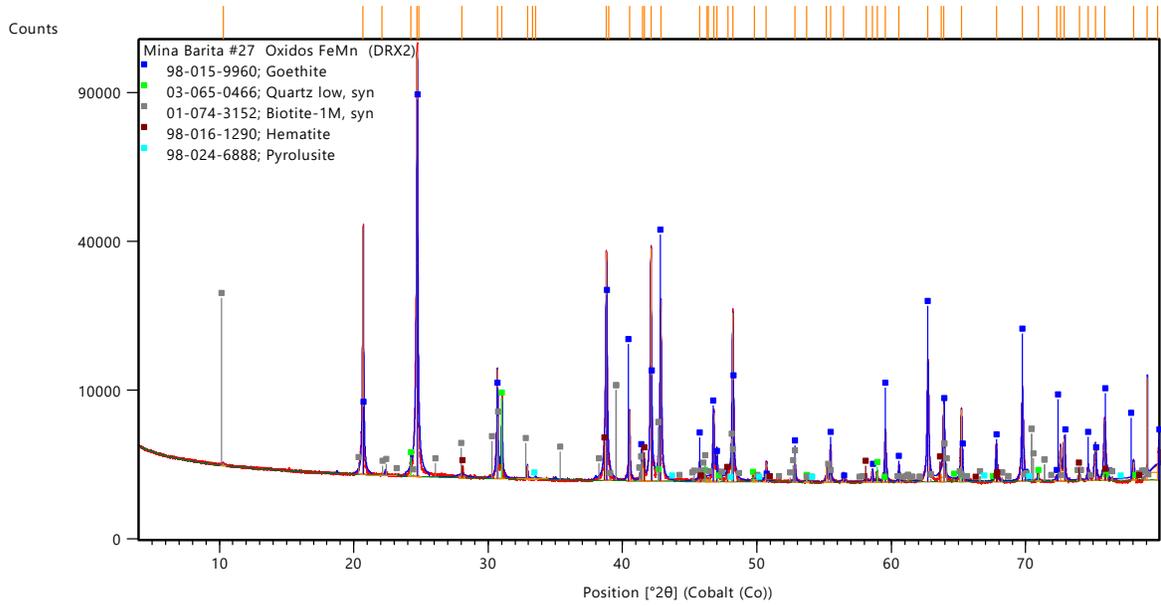


Figura 68. Difractograma de la muestra Mina Barita # 27 Óxidos de FeMn.

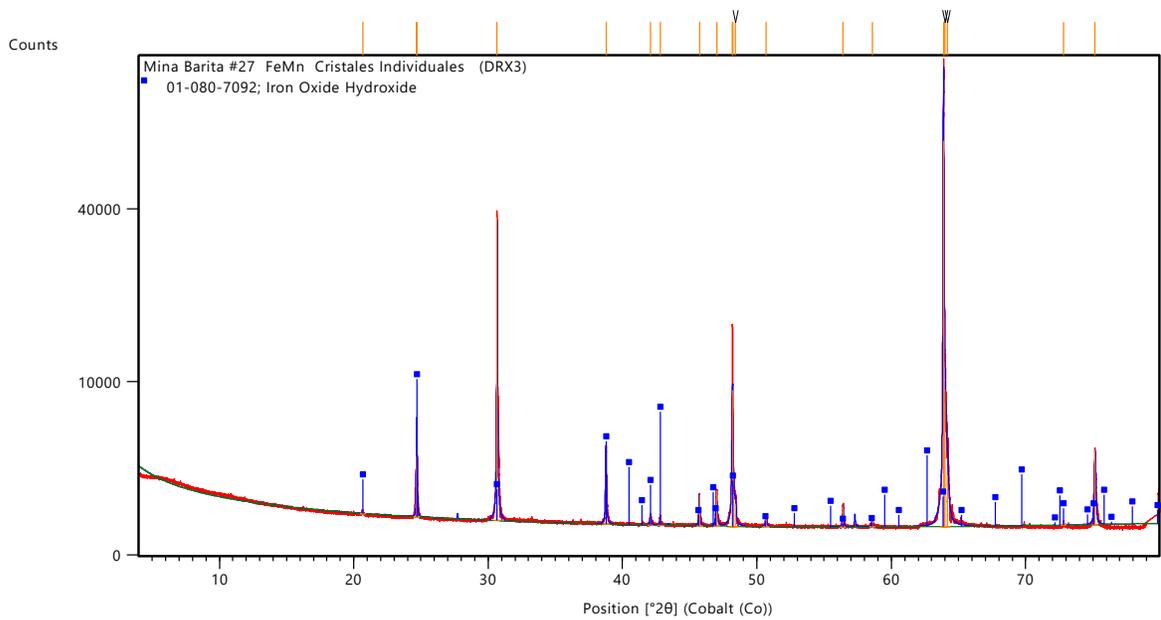


Figura 69. Difractograma de la muestra Mina Barita # 27 Óxidos de FeMn en cristales.

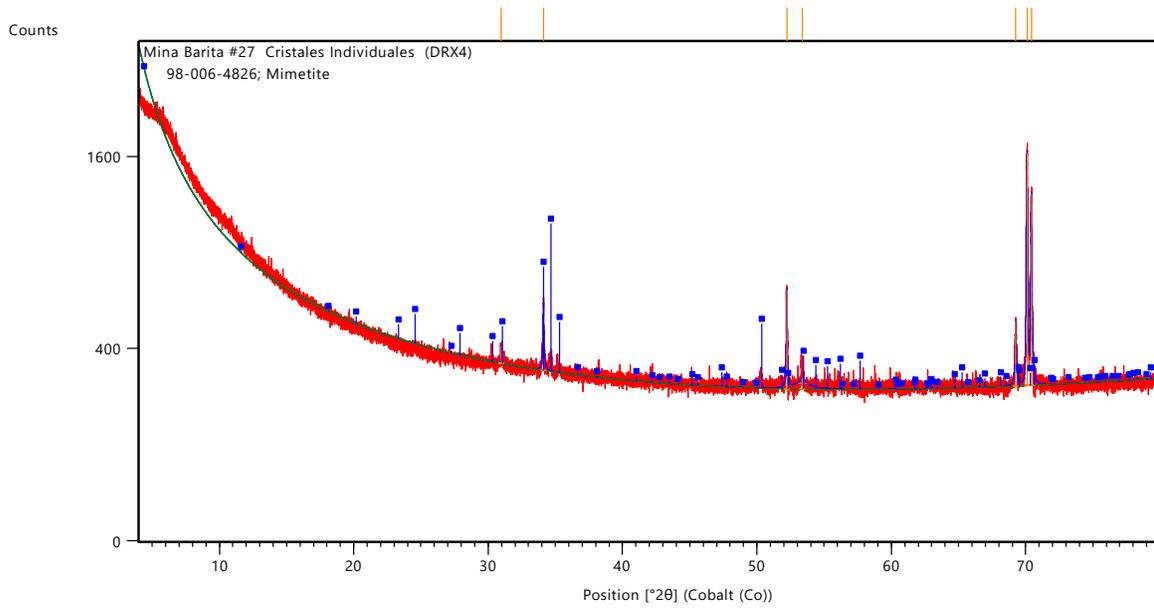


Figura 70. Difractograma de la muestra Mina Barita # 27 Cristales.

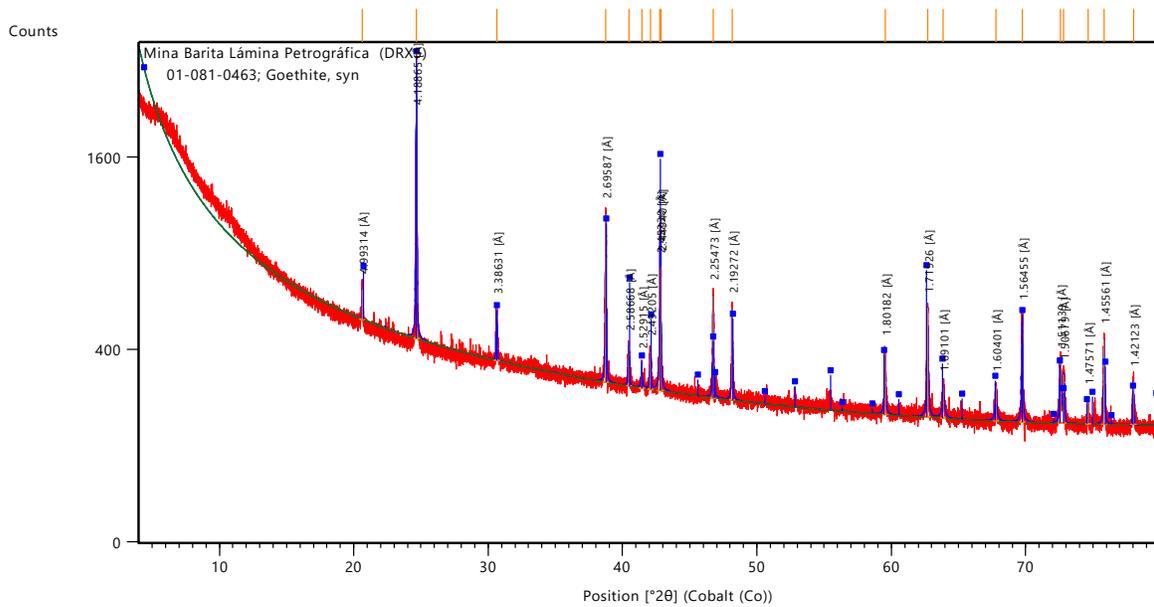


Figura 71. Difractograma de la muestra en lámina petrográfica.

Anexo G: Análisis de microsonda

En este anexo se presentan los resultados de esfalerita, arsenopirita, sulfosales y óxidos de manganeso identificados en diferentes muestras de la zona de estudio.

Muestra: Talamantes 50

Análisis en esfalerita con inclusiones sólidas de calcopirita.

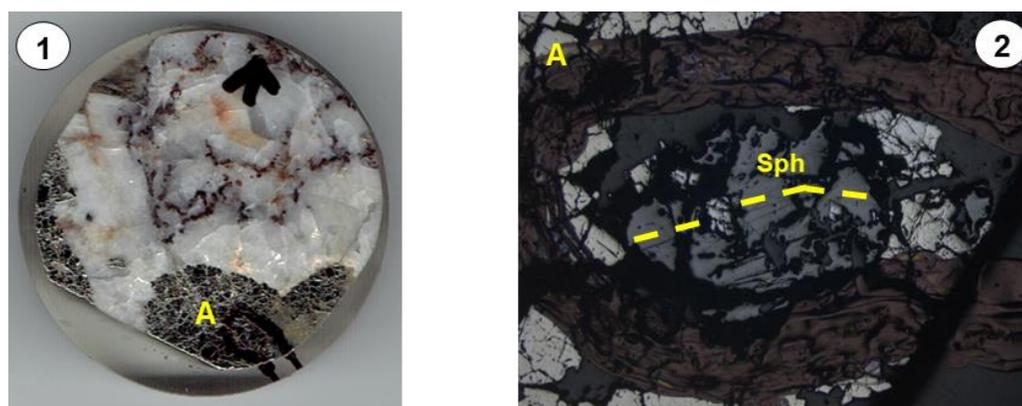


Figura 72. 1) Imagen de la muestra y sector analizado. 2) Cristal de esfalerita analizado.

Tabla 2. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-50-sph	9.523	56.289	32.880	0.021	0.000	0.000	0.345	99.058	16.479	83.208	0.016	0.000	0.000	0.297	100.000
TAL-50-sph	9.345	57.746	33.141	0.108	0.000	0.000	0.286	100.626	15.876	83.802	0.080	0.000	0.000	0.242	100.000
TAL-50-sph	9.642	56.760	32.952	0.078	0.023	0.000	0.312	99.768	16.531	83.128	0.059	0.016	0.000	0.266	100.000
TAL-50-sph	10.000	56.541	33.307	0.806	0.032	0.000	0.263	100.949	17.007	82.146	0.603	0.022	0.000	0.222	100.000
TAL-50-sph	9.464	57.483	32.807	0.103	0.000	0.000	0.327	100.184	16.102	83.544	0.077	0.000	0.000	0.276	100.000
TAL-50-sph	9.351	57.532	33.143	0.044	0.000	0.000	0.429	100.499	15.922	83.682	0.033	0.000	0.000	0.363	100.000
TAL-50-sph	9.265	57.094	32.893	0.149	0.000	0.000	0.333	99.733	15.901	83.703	0.112	0.000	0.000	0.284	100.000
TAL-50-sph	9.410	57.155	33.118	0.129	0.000	0.000	0.366	100.178	16.094	83.499	0.097	0.000	0.000	0.311	100.000
TAL-50-sph	9.187	57.290	32.943	0.352	0.000	0.000	0.354	100.127	15.716	83.718	0.265	0.000	0.000	0.301	100.000
TAL-50-sph	9.348	56.954	33.055	0.099	0.000	0.000	0.327	99.784	16.060	83.586	0.075	0.000	0.000	0.279	100.000
TAL-50-sph	9.591	57.318	33.061	0.113	0.000	0.000	0.354	100.437	16.317	83.300	0.084	0.000	0.000	0.299	100.000
TAL-50-sph	9.658	56.771	33.007	0.344	0.022	0.000	0.370	100.171	16.510	82.903	0.258	0.015	0.000	0.314	100.000
TAL-50-sph	9.505	56.952	33.398	0.149	0.000	0.000	0.377	100.382	16.274	83.293	0.112	0.000	0.000	0.321	100.000

Muestra: Talamantes 54

Análisis en esfalerita, la esfalerita tiene inclusiones sólidas de otras fases.

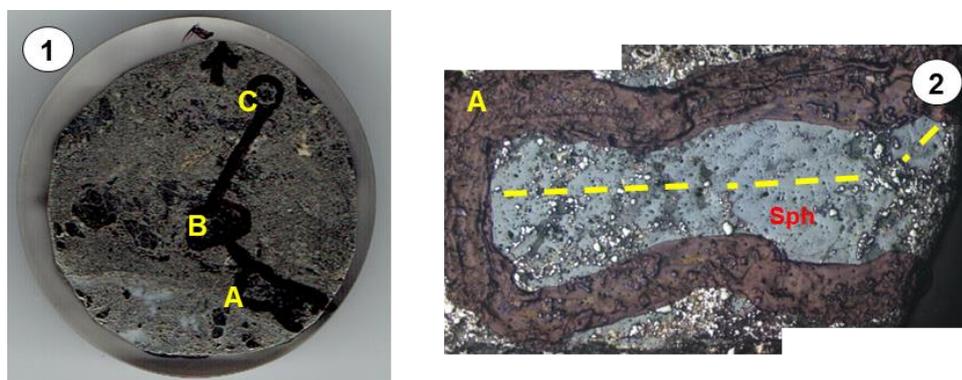


Figura 73. 1) Muestra y sectores analizados. 2) Cristal de esfalerita analizado en el sector A.

Tabla 3. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-54_A-sph	10.501	56.334	33.062	0.005	0.000	0.000	0.545	100.447	17.830	81.706	0.004	0.000	0.000	0.459	100.000
TAL-54_A-sph	10.133	56.467	32.802	0.042	0.060	0.000	0.573	100.076	17.263	82.179	0.032	0.041	0.000	0.485	100.000
TAL-54_A-sph	10.188	56.251	33.001	0.024	0.001	0.000	0.546	100.011	17.409	82.109	0.018	0.001	0.000	0.463	100.000
TAL-54_A-sph	9.856	56.425	32.618	0.075	0.000	0.000	0.550	99.525	16.888	82.587	0.057	0.000	0.000	0.468	100.000
TAL-54_A-sph	10.358	56.318	33.004	0.122	0.028	0.000	0.570	100.400	17.612	81.797	0.091	0.019	0.000	0.481	100.000
TAL-54_A-sph	10.658	55.678	33.026	0.125	0.000	0.000	0.590	100.077	18.198	81.208	0.094	0.000	0.000	0.501	100.000
TAL-54_A-sph	10.733	55.499	33.020	0.158	0.000	0.000	0.589	100.000	18.346	81.035	0.119	0.000	0.000	0.500	100.000
TAL-54_A-sph	10.283	55.916	33.129	0.106	0.000	0.000	0.576	100.010	17.614	81.817	0.080	0.000	0.000	0.490	100.000
TAL-54_A-sph	10.456	56.154	33.082	0.049	0.000	0.000	0.578	100.319	17.802	81.672	0.037	0.000	0.000	0.489	100.000
TAL-54_A-sph	10.427	55.942	33.116	0.097	0.000	0.000	0.580	100.162	17.810	81.625	0.073	0.000	0.000	0.492	100.000
TAL-54_A-sph	10.604	56.369	33.161	0.134	0.050	0.000	0.507	100.825	17.947	81.494	0.099	0.034	0.000	0.426	100.000
TAL-54_A-sph	11.264	55.009	33.498	0.047	0.000	0.000	0.535	100.353	19.241	80.270	0.035	0.000	0.000	0.454	100.000
TAL-54_A-sph	9.153	57.081	33.005	0.109	0.041	0.000	0.596	99.985	15.707	83.675	0.082	0.028	0.000	0.508	100.000
TAL-54_A-sph	10.464	55.793	32.978	0.104	0.000	0.000	0.519	99.859	17.909	81.571	0.078	0.000	0.000	0.442	100.000
TAL-54_A-sph	10.211	56.270	33.265	0.094	0.016	0.000	0.536	100.392	17.428	82.037	0.070	0.011	0.000	0.454	100.000
TAL-54_A-sph	10.282	55.719	32.871	0.000	0.000	0.000	0.596	99.467	17.674	81.817	0.000	0.000	0.000	0.509	100.000
TAL-54_A-sph	10.431	56.136	33.226	0.085	0.000	0.000	0.608	100.486	17.762	81.660	0.063	0.000	0.000	0.514	100.000
TAL-54_A-sph	9.345	56.562	32.861	0.076	0.000	0.000	0.522	99.366	16.124	83.371	0.057	0.000	0.000	0.448	100.000
TAL-54_A-sph	10.381	55.983	32.781	0.196	0.000	0.000	0.595	99.936	17.720	81.628	0.147	0.000	0.000	0.504	100.000
TAL-54_A-sph	10.273	56.344	32.961	0.035	0.017	0.000	0.558	100.188	17.500	81.989	0.026	0.012	0.000	0.473	100.000
TAL-54_A-sph	9.429	56.969	33.042	0.060	0.025	0.000	0.471	99.995	16.155	83.382	0.045	0.017	0.000	0.401	100.000

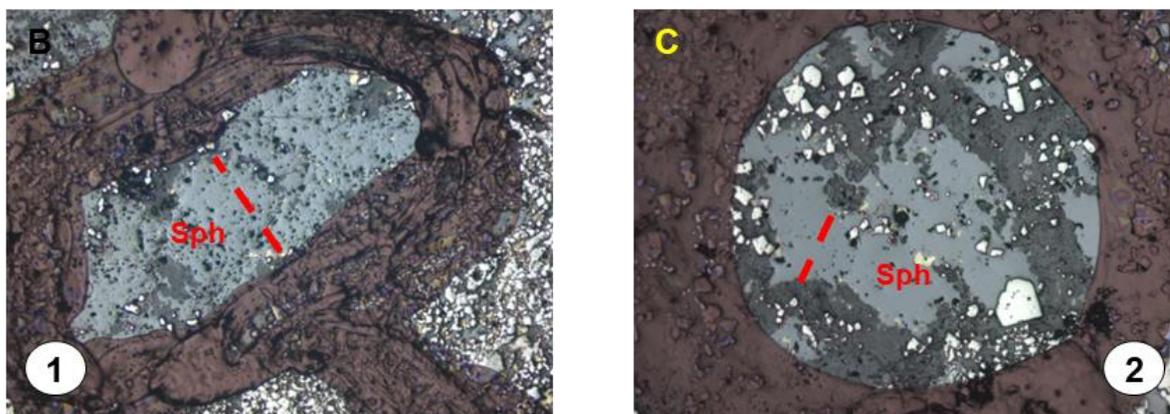


Figura 74. 1) y 2) Cristales de esfalerita analizados en los sectores B y C, respectivamente.

Tabla 4. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en B y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-54_B-sph	10.983	55.186	32.950	0.073	0.000	0.000	0.706	99.898	18.771	80.574	0.055	0.000	0.000	0.600	100.000
TAL-54_B-sph	10.233	56.133	33.128	0.072	0.000	0.000	0.605	100.171	17.488	81.945	0.054	0.000	0.000	0.514	100.000
TAL-54_B-sph	10.417	56.076	32.621	0.038	0.032	0.000	0.631	99.815	17.758	81.657	0.028	0.022	0.000	0.535	100.000
TAL-54_B-sph	11.211	55.083	32.863	0.083	0.000	0.000	0.670	99.910	19.121	80.250	0.062	0.000	0.000	0.568	100.000
TAL-54_B-sph	10.368	55.789	32.999	0.118	0.000	0.000	0.733	100.007	17.741	81.547	0.089	0.000	0.000	0.623	100.000
TAL-54_B-sph	10.759	54.552	33.077	0.134	0.000	0.000	0.712	99.233	18.623	80.663	0.102	0.000	0.000	0.612	100.000
TAL-54_B-sph	10.564	54.776	33.114	0.087	0.023	0.000	0.702	99.267	18.292	81.022	0.066	0.016	0.000	0.604	100.000
TAL-54_B-sph	10.092	55.349	32.784	0.189	0.006	0.000	0.621	99.042	17.470	81.847	0.144	0.004	0.000	0.534	100.000
TAL-54_B-sph	9.671	56.815	32.620	0.070	0.000	0.000	0.652	99.827	16.514	82.880	0.052	0.000	0.000	0.553	100.000
TAL-54_B-sph	10.245	55.433	32.955	0.046	0.022	0.000	0.613	99.314	17.685	81.740	0.035	0.015	0.000	0.526	100.000
TAL-54_B-sph	10.099	55.841	32.899	0.078	0.045	0.000	0.707	99.669	17.351	81.956	0.059	0.031	0.000	0.603	100.000
TAL-54_B-sph	10.456	55.923	32.893	0.127	0.006	0.000	0.657	100.062	17.839	81.505	0.096	0.004	0.000	0.557	100.000

Tabla 5. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en C y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-54_C-sph	10.150	56.331	33.241	0.272	0.000	0.000	0.478	100.472	17.312	82.079	0.204	0.000	0.000	0.405	100.000
TAL-54_C-sph	9.878	56.362	33.376	0.230	0.071	0.000	0.521	100.438	16.911	82.424	0.173	0.049	0.000	0.443	100.000
TAL-54_C-sph	8.633	58.264	33.108	0.101	0.015	0.000	0.415	100.537	14.717	84.846	0.076	0.010	0.000	0.351	100.000
TAL-54_C-sph	8.300	58.768	32.949	0.098	0.000	0.000	0.487	100.601	14.119	85.397	0.073	0.000	0.000	0.411	100.000
TAL-54_C-sph	8.115	57.922	32.886	0.081	0.000	0.000	0.528	99.532	14.017	85.468	0.061	0.000	0.000	0.453	100.000
TAL-54_C-sph	8.283	58.625	32.936	0.060	0.034	0.000	0.500	100.439	14.123	85.385	0.045	0.023	0.000	0.424	100.000
TAL-54_C-sph	8.424	58.369	32.852	0.100	0.054	0.000	0.505	100.304	14.376	85.085	0.075	0.037	0.000	0.428	100.000
TAL-54_C-sph	8.360	57.914	32.935	0.114	0.000	0.000	0.516	99.839	14.379	85.094	0.086	0.000	0.000	0.441	100.000
TAL-54_C-sph	8.774	57.656	32.771	0.106	0.000	0.000	0.426	99.732	15.054	84.504	0.080	0.000	0.000	0.363	100.000
TAL-54_C-sph	9.551	56.669	32.984	0.079	0.000	0.000	0.517	99.799	16.397	83.103	0.059	0.000	0.000	0.441	100.000

Muestra: Talamantes 64

Análisis en esfalerita, la esfalerita tiene inclusiones sólidas de otras fases.

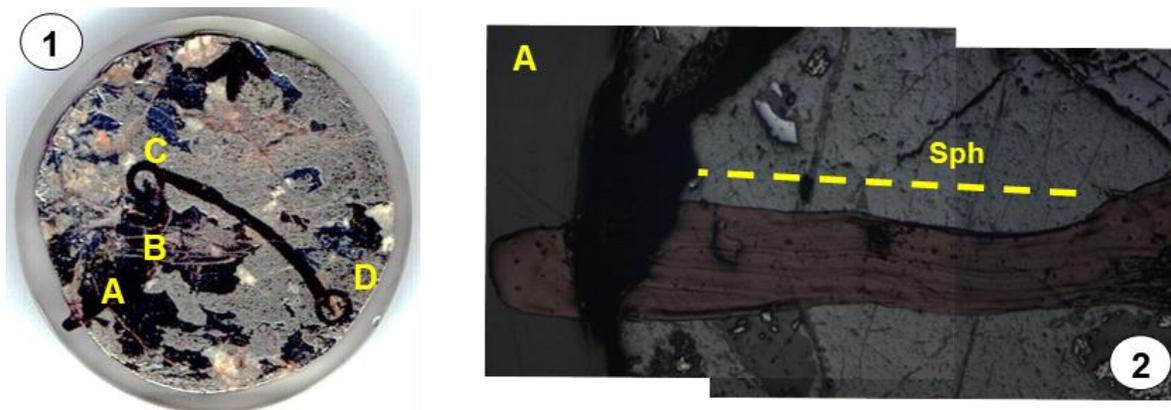


Figura 75. 1) Zonas A, B, C y D analizadas en la muestra. 2) Cristales de esfalerita analizados en A.

Tabla 6. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en B y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-64_A-sph	9.783	56.530	32.619	0.032	0.000	0.000	0.276	99.240	16.803	82.938	0.024	0.000	0.000	0.235	100.000
TAL-64_A-sph	8.560	57.740	32.851	0.000	0.000	0.000	0.251	99.402	14.757	85.028	0.000	0.000	0.000	0.215	100.000
TAL-64_A-sph	9.319	57.342	32.745	0.023	0.034	0.000	0.207	99.670	15.949	83.834	0.017	0.023	0.000	0.176	100.000
TAL-64_A-sph	8.852	57.690	33.013	0.000	0.000	0.000	0.201	99.756	15.202	84.627	0.000	0.000	0.000	0.171	100.000
TAL-64_A-sph	9.910	56.664	32.949	0.011	0.000	0.000	0.305	99.839	16.949	82.783	0.009	0.000	0.000	0.259	100.000
TAL-64_A-sph	10.628	55.702	32.708	0.063	0.032	0.000	0.236	99.368	18.208	81.522	0.047	0.022	0.000	0.201	100.000
TAL-64_A-sph	9.620	56.640	32.854	0.014	0.009	0.000	0.258	99.396	16.546	83.217	0.011	0.006	0.000	0.221	100.000
TAL-64_A-sph	8.888	57.981	32.831	0.140	0.000	0.000	0.215	100.056	15.171	84.541	0.105	0.000	0.000	0.183	100.000
TAL-64_A-sph	8.685	57.517	32.882	0.017	0.000	0.000	0.215	99.315	14.992	84.811	0.013	0.000	0.000	0.184	100.000
TAL-64_A-sph	11.586	54.744	33.048	0.038	0.000	0.000	0.311	99.728	19.798	79.909	0.029	0.000	0.000	0.264	100.000
TAL-64_A-sph	9.614	57.389	33.127	0.000	0.030	0.000	0.380	100.540	16.339	83.319	0.000	0.021	0.000	0.321	100.000
TAL-64_A-sph	12.673	53.160	33.266	0.000	0.000	0.000	0.354	99.453	21.753	77.946	0.000	0.000	0.000	0.302	100.000
TAL-64_A-sph	9.528	56.094	29.662	0.054	0.071	0.000	0.250	95.659	16.536	83.159	0.041	0.049	0.000	0.215	100.000
TAL-64_A-sph	12.225	54.244	33.094	0.077	0.000	0.000	0.304	99.944	20.809	78.876	0.058	0.000	0.000	0.257	100.000
TAL-64_A-sph	11.416	50.058	31.217	0.034	0.000	0.000	0.287	93.012	21.011	78.699	0.027	0.000	0.000	0.263	100.000
TAL-64_A-sph	12.028	53.959	33.004	0.009	0.000	0.000	0.342	99.342	20.632	79.069	0.007	0.000	0.000	0.292	100.000
TAL-64_A-sph	12.269	54.800	33.043	0.020	0.000	0.000	0.327	100.459	20.706	79.004	0.015	0.000	0.000	0.274	100.000
TAL-64_A-sph	11.034	54.866	32.931	0.005	0.000	0.000	0.279	99.116	19.010	80.747	0.004	0.000	0.000	0.238	100.000

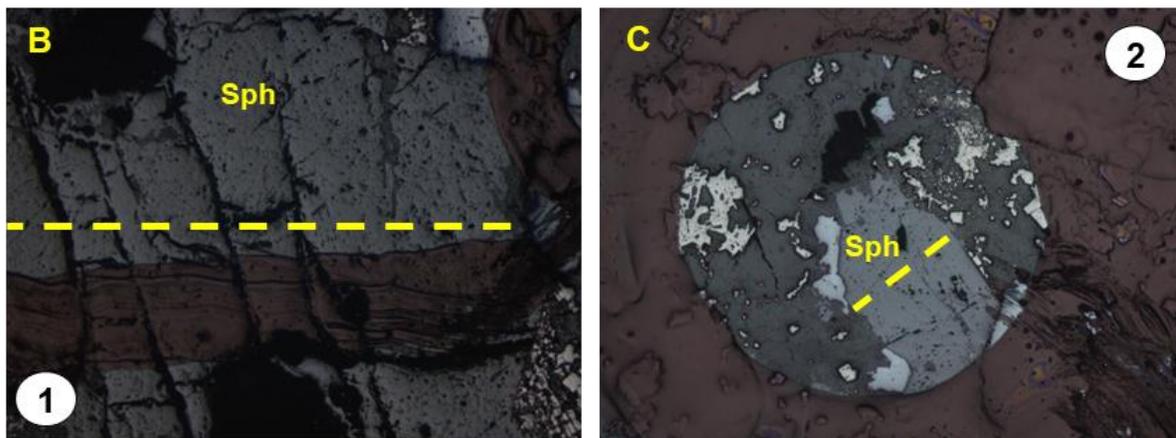


Figura 76. 1) y 2) Cristales de esfalerita analizados en los sectores B y C, respectivamente.

Tabla 7. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en B y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-64_B-sph	11.321	55.201	32.928	0.000	0.000	0.000	0.381	99.831	19.298	80.379	0.000	0.000	0.000	0.322	100.000
TAL-64_B-sph	10.287	56.193	33.172	0.024	0.000	0.000	0.281	99.957	17.602	82.140	0.018	0.000	0.000	0.239	100.000
TAL-64_B-sph	10.527	55.818	32.868	0.027	0.000	0.000	0.284	99.524	18.037	81.700	0.021	0.000	0.000	0.242	100.000
TAL-64_B-sph	10.378	56.076	33.096	0.000	0.094	0.000	0.258	99.903	17.757	81.959	0.000	0.064	0.000	0.219	100.000
TAL-64_B-sph	8.951	57.921	33.078	0.040	0.033	0.000	0.262	100.285	15.277	84.449	0.030	0.023	0.000	0.222	100.000
TAL-64_B-sph	10.907	55.372	32.931	0.092	0.019	0.000	0.265	99.586	18.681	81.012	0.069	0.013	0.000	0.225	100.000
TAL-64_B-sph	11.922	54.766	33.026	0.053	0.000	0.000	0.304	100.071	20.248	79.457	0.039	0.000	0.000	0.256	100.000
TAL-64_B-sph	11.267	54.370	32.950	0.000	0.000	0.000	0.259	98.846	19.479	80.298	0.000	0.000	0.000	0.222	100.000
TAL-64_B-sph	11.668	53.992	33.065	0.001	0.000	0.000	0.322	99.048	20.135	79.589	0.001	0.000	0.000	0.276	100.000
TAL-64_B-sph	11.139	55.458	33.201	0.204	0.013	0.000	0.223	100.238	18.971	80.679	0.152	0.009	0.000	0.189	100.000
TAL-64_B-sph	10.671	55.087	32.634	0.079	0.000	0.000	0.204	98.676	18.442	81.324	0.060	0.000	0.000	0.175	100.000
TAL-64_B-sph	11.671	54.384	33.100	0.029	0.000	0.000	0.291	99.476	20.024	79.706	0.022	0.000	0.000	0.248	100.000
TAL-64_B-sph	12.042	54.214	33.115	0.023	0.020	0.000	0.282	99.697	20.581	79.148	0.018	0.014	0.000	0.239	100.000
TAL-64_B-sph	10.132	56.489	32.877	0.052	0.071	0.000	0.271	99.892	17.299	82.384	0.039	0.049	0.000	0.230	100.000
TAL-64_B-sph	10.009	56.307	33.162	0.000	0.000	0.000	0.271	99.749	17.185	82.584	0.000	0.000	0.000	0.231	100.000
TAL-64_B-sph	10.970	55.728	33.142	0.009	0.000	0.000	0.198	100.047	18.696	81.130	0.006	0.000	0.000	0.167	100.000
TAL-64_B-sph	11.346	54.990	33.086	0.013	0.000	0.000	0.337	99.773	19.397	80.307	0.010	0.000	0.000	0.286	100.000
TAL-64_B-sph	10.866	53.936	32.943	0.008	0.000	0.000	0.200	97.952	19.049	80.771	0.006	0.000	0.000	0.174	100.000
TAL-64_B-sph	10.556	56.014	33.276	0.134	0.000	0.000	0.257	100.238	18.015	81.665	0.101	0.000	0.000	0.218	100.000
TAL-64_B-sph	11.348	55.165	33.318	0.142	0.026	0.000	0.325	100.324	19.330	80.270	0.106	0.018	0.000	0.275	100.000

Tabla 8. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en C y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-64_C-sph	10.145	56.168	33.206	0.091	0.000	0.000	0.226	99.838	17.408	82.330	0.069	0.000	0.000	0.193	100.000
TAL-64_C-sph	9.776	57.335	33.164	0.021	0.000	0.000	0.213	100.510	16.607	83.197	0.016	0.000	0.000	0.180	100.000
TAL-64_C-sph	10.562	56.492	33.351	0.000	0.000	0.000	0.186	100.591	17.929	81.914	0.000	0.000	0.000	0.157	100.000
TAL-64_C-sph	11.491	55.357	33.100	0.032	0.000	0.000	0.267	100.247	19.500	80.250	0.024	0.000	0.000	0.225	100.000
TAL-64_C-sph	11.280	55.412	33.409	0.061	0.058	0.000	0.186	100.407	19.197	80.559	0.046	0.040	0.000	0.158	100.000

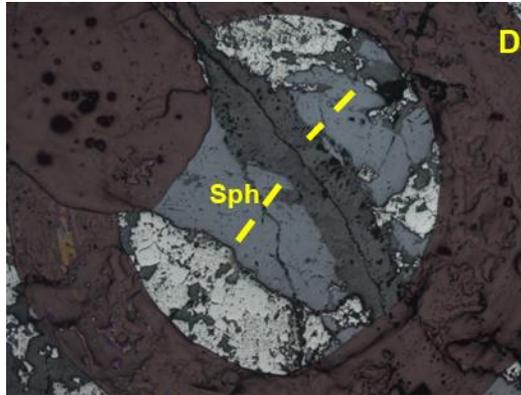


Figura 77. 1) Cristal de esfalerita analizado en D.

Tabla 9. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en D y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-64_D-sph	8.321	58.304	32.954	0.052	0.064	0.000	0.273	99.968	14.270	85.414	0.039	0.044	0.000	0.233	100.000
TAL-64_D-sph	8.897	57.678	33.007	0.000	0.028	0.000	0.281	99.891	15.256	84.485	0.000	0.019	0.000	0.239	100.000
TAL-64_D-sph	9.138	57.203	32.935	0.009	0.083	0.000	0.279	99.647	15.707	83.991	0.006	0.057	0.000	0.238	100.000
TAL-64_D-sph	8.327	58.519	33.165	0.054	0.000	0.000	0.210	100.276	14.248	85.532	0.041	0.000	0.000	0.179	100.000
TAL-64_D-sph	9.605	56.912	32.968	0.091	0.000	0.000	0.269	99.844	16.448	83.255	0.068	0.000	0.000	0.229	100.000
TAL-64_D-sph	10.272	55.765	33.190	0.050	0.000	0.000	0.272	99.549	17.690	82.039	0.038	0.000	0.000	0.233	100.000

Muestra: Talamantes 55

Análisis en esfalerita, esta presenta inclusiones de pirita, galena, y ocasionalmente calcopirita.

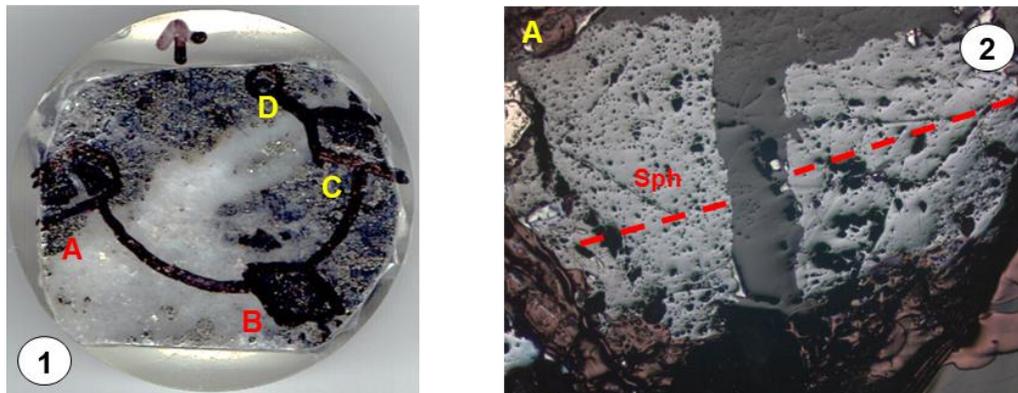


Figura 78. 1) Zonas A, B, C y D analizadas en la muestra. 2) Cristales de esfalerita analizados en A.

Tabla 10. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en A y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-55_A-sph	7.112	58.780	32.568	0.200	0.037	0.000	0.470	99.166	12.334	87.083	0.152	0.025	0.000	0.405	100.000
TAL-55_A-sph	3.804	62.169	32.667	0.064	0.054	0.000	0.570	99.328	6.645	92.773	0.049	0.038	0.000	0.495	100.000
TAL-55_A-sph	4.014	61.782	32.484	0.027	0.000	0.000	0.541	98.848	7.034	92.474	0.021	0.000	0.000	0.471	100.000
TAL-55_A-sph	3.425	61.294	32.720	0.501	0.000	0.000	0.545	98.485	6.087	93.041	0.391	0.000	0.000	0.482	100.000
TAL-55_A-sph	3.426	61.879	32.636	0.159	0.000	0.000	0.546	98.645	6.050	93.348	0.123	0.000	0.000	0.479	100.000
TAL-55_A-sph	3.248	62.696	32.785	0.135	0.000	0.000	0.508	99.372	5.686	93.768	0.104	0.000	0.000	0.442	100.000
TAL-55_A-sph	3.818	62.369	32.721	0.153	0.000	0.000	0.568	99.629	6.646	92.745	0.117	0.000	0.000	0.492	100.000
TAL-55_A-sph	3.719	63.135	33.040	0.131	0.022	0.000	0.619	100.666	6.410	92.946	0.099	0.015	0.000	0.530	100.000
TAL-55_A-sph	3.717	62.666	32.919	0.155	0.000	0.000	0.534	99.992	6.455	92.965	0.119	0.000	0.000	0.461	100.000
TAL-55_A-sph	3.410	62.162	33.003	0.248	0.000	0.000	0.544	99.366	5.995	93.339	0.192	0.000	0.000	0.475	100.000
TAL-55_A-sph	1.968	61.109	32.609	1.026	0.000	0.000	0.606	97.319	3.583	95.047	0.821	0.000	0.000	0.549	100.000

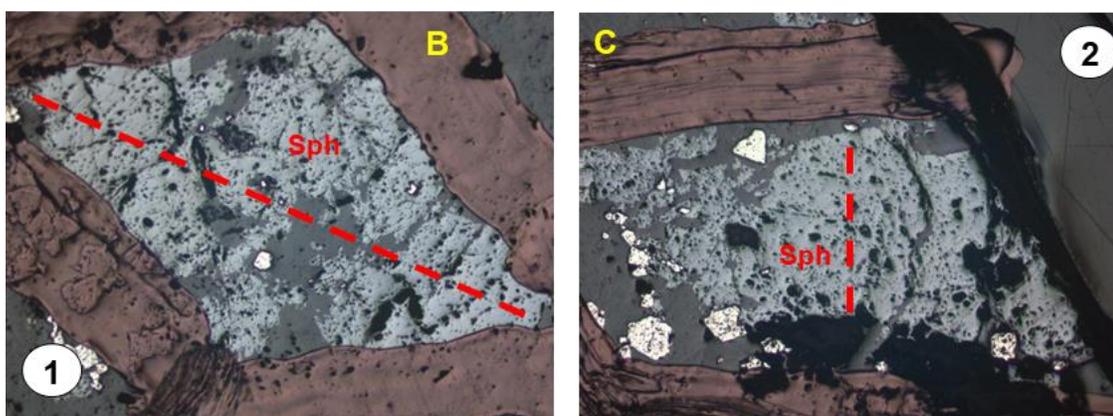


Figura 79. 1) y 2) Cristales de esfalerita analizados en los sectores B y C, respectivamente.

Tabla 11. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en B y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-55_B-sph	4.693	61.851	32.326	0.060	0.000	0.000	0.524	99.454	8.117	91.387	0.045	0.000	0.000	0.451	100.000
TAL-55_B-sph	1.594	62.074	32.778	1.943	0.018	0.000	0.541	98.948	2.859	95.114	1.532	0.013	0.000	0.482	100.000
TAL-55_B-sph	1.863	63.429	32.506	0.380	0.000	0.000	0.522	98.700	3.298	95.947	0.295	0.000	0.000	0.460	100.000
TAL-55_B-sph	2.908	62.509	32.953	0.305	0.000	0.000	0.597	99.272	5.125	94.116	0.236	0.000	0.000	0.523	100.000
TAL-55_B-sph	3.704	62.273	32.937	0.040	0.000	0.000	0.577	99.532	6.475	92.993	0.031	0.000	0.000	0.501	100.000
TAL-55_B-sph	4.754	60.750	32.816	0.084	0.000	0.000	0.561	98.964	8.345	91.101	0.064	0.000	0.000	0.489	100.000
TAL-55_B-sph	3.812	61.633	32.727	0.507	0.054	0.000	0.513	99.248	6.692	92.430	0.391	0.038	0.000	0.448	100.000
TAL-55_B-sph	4.925	60.587	32.613	0.263	0.031	0.000	0.640	99.060	8.621	90.598	0.202	0.022	0.000	0.557	100.000
TAL-55_B-sph	5.072	60.604	32.370	0.181	0.000	0.000	0.564	98.790	8.866	90.505	0.139	0.000	0.000	0.490	100.000
TAL-55_B-sph	3.727	61.784	32.648	0.041	0.000	0.000	0.500	98.701	6.566	92.965	0.032	0.000	0.000	0.438	100.000
TAL-55_B-sph	3.807	61.454	32.384	0.109	0.000	0.000	0.519	98.273	6.726	92.734	0.084	0.000	0.000	0.456	100.000

Tabla 12. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en C y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-55_C-sph	1.378	63.703	32.733	0.541	0.000	0.000	0.541	98.896	2.447	96.653	0.422	0.000	0.000	0.478	100.000
TAL-55_C-sph	1.557	65.031	32.693	0.112	0.000	0.000	0.611	100.002	2.709	96.678	0.085	0.000	0.000	0.528	100.000
TAL-55_C-sph	2.497	63.805	32.604	0.000	0.024	0.000	0.512	99.442	4.361	95.178	0.000	0.017	0.000	0.444	100.000
TAL-55_C-sph	4.057	62.349	32.751	0.118	0.000	0.000	0.527	99.802	7.040	92.417	0.090	0.000	0.000	0.454	100.000
TAL-55_C-sph	3.412	61.525	32.556	0.811	0.000	0.000	0.511	98.815	6.030	92.891	0.630	0.000	0.000	0.449	100.000
TAL-55_C-sph	3.916	62.748	32.890	0.298	0.006	0.000	0.618	100.476	6.757	92.482	0.226	0.004	0.000	0.530	100.000
TAL-55_C-sph	3.210	63.060	32.842	0.131	0.000	0.000	0.534	99.777	5.591	93.846	0.100	0.000	0.000	0.462	100.000
TAL-55_C-sph	4.185	62.208	32.796	0.069	0.000	0.000	0.546	99.805	7.263	92.214	0.053	0.000	0.000	0.470	100.000
TAL-55_C-sph	4.419	61.504	32.736	0.665	0.000	0.000	0.523	99.846	7.683	91.357	0.508	0.000	0.000	0.452	100.000
TAL-55_C-sph	3.909	62.413	32.835	0.013	0.000	0.000	0.467	99.637	6.803	92.784	0.010	0.000	0.000	0.404	100.000

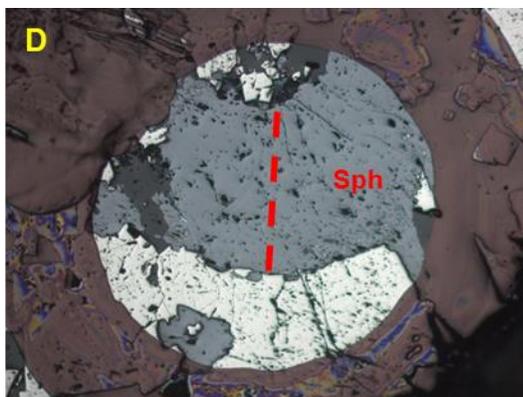


Figura 80. 1) Cristal de esfalerita analizado en D.

Tabla 13. Resultados en por ciento de elementos en los puntos analizados del cristal de esfalerita en D y el porcentaje molar calculado.

Muestra-sector	% peso de cada elemento								% moles de sulfuro						
	Fe	Zn	S	Cu	Ga	Ge	Cd	Total	FeS	ZnS	Cu ₂ S	Ga ₂ S ₃	Ge ₂ S ₃	CdS	Total
TAL-55_D-sph	3.337	63.244	32.889	0.048	0.000	0.000	0.484	100.002	5.790	93.755	0.037	0.000	0.000	0.418	100.000
TAL-55_D-sph	3.476	62.339	32.765	0.045	0.000	0.000	0.529	99.154	6.097	93.407	0.035	0.000	0.000	0.461	100.000
TAL-55_D-sph	3.371	62.969	32.784	0.036	0.044	0.000	0.545	99.749	5.866	93.604	0.028	0.031	0.000	0.471	100.000
TAL-55_D-sph	3.325	62.244	32.461	0.000	0.056	0.000	0.575	98.661	5.853	93.605	0.000	0.039	0.000	0.503	100.000
TAL-55_D-sph	3.799	62.449	32.849	0.040	0.000	0.000	0.500	99.637	6.617	92.919	0.031	0.000	0.000	0.433	100.000
TAL-55_D-sph	3.767	62.792	32.672	0.048	0.000	0.000	0.590	99.870	6.526	92.929	0.037	0.000	0.000	0.508	100.000
TAL-55_D-sph	3.797	62.288	32.915	0.078	0.000	0.000	0.624	99.702	6.621	92.779	0.060	0.000	0.000	0.541	100.000
TAL-55_D-sph	3.618	62.510	32.730	0.114	0.004	0.000	0.576	99.551	6.307	93.103	0.087	0.003	0.000	0.499	100.000
TAL-55_D-sph	3.424	62.769	32.647	0.020	0.000	0.000	0.496	99.355	5.976	93.579	0.015	0.000	0.000	0.430	100.000
TAL-55_D-sph	3.483	62.545	32.656	0.057	0.000	0.000	0.528	99.269	6.090	93.408	0.044	0.000	0.000	0.458	100.000

Muestras 50, 54, 55 y 64 análisis de arsenopirita

Tabla 14. Resultados en peso porcentual de elementos en los puntos analizados en cristales de arsenopirita y moles en fórmula estructural.

Muestra -sector	% peso de elementos												Moles de elementos en fórmula estructural										
	Co	Tl	As	Zn	Sb	Cu	Bi	Ni	S	Fe	Ag	Total	Co	Tl	As	Zn	Sb	Cu	Bi	Ni	S	Fe	Ag
50A-5	0.04	0.01	43.15	0.00	0.00	0.13	0.00	0.01	22.38	34.80	0.01	100.55	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	1.00	0.00
50A-6	0.04	0.31	42.81	0.01	0.03	0.02	0.00	0.02	21.71	35.02	0.00	99.97	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.00	0.00
50A-7	0.03	0.08	44.27	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	21.30	35.07	0.00	100.79	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
50A-8	0.01	0.15	44.04	0.03	0.09	0.01	0.00	0.03	20.91	34.96	0.00	100.23	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.00	0.00
50A-9	0.02	0.37	44.23	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	20.90	34.75	0.00	100.30	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
50A-10	0.04	0.31	43.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	21.37	35.15	0.02	100.14	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
50A-11	0.04	0.00	42.88	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	21.40	34.70	0.01	99.04	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	1.00	0.00
50A-12	0.02	0.25	40.92	0.00	0.47	0.01	0.00	0.00	22.78	34.62	0.00	99.08	0.00	0.00	0.88	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.15	1.00	0.00
50A-13	0.05	0.00	41.13	0.01	0.62	0.01	0.00	0.02	23.15	34.32	0.03	99.33	0.00	0.00	0.89	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.17	1.00	0.00
50A-14	0.01	0.00	43.89	0.03	0.02	0.04	0.00	0.00	21.48	34.84	0.01	100.32	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	1.00	0.00
50A-15	0.02	0.13	44.88	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	20.59	34.71	0.00	100.38	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	1.00	0.00
50A-16	0.04	0.13	44.53	0.01	0.03	0.03	0.00	0.01	20.11	34.62	0.00	99.51	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	1.00	0.00
50A-17	0.03	0.08	43.61	0.02	0.86	0.00	0.01	0.00	21.60	35.16	0.00	101.37	0.00	0.00	0.92	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.07	1.00	0.00
50A-18	0.03	0.17	42.05	0.04	0.20	0.02	0.00	0.03	21.51	35.17	0.00	99.22	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	1.00	0.00
50A-19	0.04	0.18	44.10	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	20.63	34.98	0.01	99.95	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	1.00	0.00
50A-20	0.02	0.00	43.17	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	20.95	35.06	0.00	99.23	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.00	0.00
50A-21	0.02	0.19	44.54	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	21.02	34.93	0.03	100.75	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
50A-22	0.02	0.43	44.18	0.02	0.05	0.00	0.15	0.02	20.82	34.83	0.05	100.58	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.00	0.00
50A-23	0.01	0.23	43.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.06	34.89	0.03	99.87	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
50A-25	0.02	0.16	43.88	0.12	0.07	0.00	0.00	0.00	21.37	34.97	0.00	100.58	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
50A-26	0.02	0.06	43.82	0.36	0.03	0.04	0.00	0.00	21.02	34.65	0.01	100.00	0.00	0.00	0.94	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
50B-1	0.02	0.36	43.41	0.31	0.06	0.03	0.00	0.03	20.70	34.61	0.00	99.54	0.00	0.00	0.93	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.00	0.00
50B-2	0.06	0.04	44.15	0.15	0.02	0.02	0.00	0.00	21.19	34.70	0.00	100.33	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
50B-3	0.04	0.00	43.74	0.29	0.07	0.01	0.00	0.00	21.18	34.86	0.02	100.20	0.00	0.00	0.94	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
50B-4	0.02	0.23	44.39	0.04	0.33	0.00	0.00	0.01	21.07	34.90	0.00	100.99	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
50B-5	0.01	0.00	42.90	0.00	0.38	0.00	0.02	0.00	21.16	35.07	0.00	99.54	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
50B-6	0.02	0.20	43.16	0.28	0.25	0.00	0.00	0.00	21.57	34.91	0.04	100.43	0.00	0.00	0.92	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.00	0.00
54A-1	0.07	0.22	43.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	21.73	35.05	0.00	100.37	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.00	0.00
54A-2	0.05	0.02	43.75	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	21.68	34.96	0.03	100.52	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.00	0.00
54A-3	0.03	0.00	44.74	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	21.31	34.83	0.01	100.96	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	1.00	0.00
54A-4	0.03	0.33	44.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.13	34.79	0.02	100.90	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00

Tabla 14. Continuación

Muestra -sector	% peso de elementos												Moles de elementos en fórmula estructural										
	Co	Tl	As	Zn	Sb	Cu	Bi	Ni	S	Fe	Ag	Total	Co	Tl	As	Zn	Sb	Cu	Bi	Ni	S	Fe	Ag
54B-1	0.03	0.00	43.96	0.02	0.00	0.10	0.00	0.02	21.35	34.80	0.00	100.28	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	1.00	0.00
54B-2	0.02	0.03	45.27	0.01	0.02	0.17	0.00	0.01	20.78	34.46	0.03	100.79	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
54B-3	0.07	0.03	44.88	0.01	0.02	0.05	0.00	0.03	20.98	34.56	0.00	100.62	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
54B-4	0.04	0.29	44.62	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	21.06	34.90	0.03	100.97	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
54B-5	0.05	0.00	44.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.80	34.71	0.00	99.88	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.00	0.00
54B-6	0.06	0.28	44.75	0.01	0.01	0.04	0.18	0.01	20.36	34.71	0.00	100.41	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.00	0.00
54B-7	0.07	0.13	44.51	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	20.53	34.61	0.00	99.85	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	1.00	0.00
54B-8	0.05	0.23	43.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.43	34.72	0.02	99.86	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.00	0.00
54B-9	0.14	0.28	43.71	0.00	0.01	0.14	0.00	0.03	20.89	34.76	0.00	99.96	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
54B-10	0.08	0.23	42.96	0.00	0.01	0.22	0.00	0.02	20.75	34.55	0.02	98.83	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
54B-11	0.05	0.10	44.96	0.00	1.15	0.10	0.48	0.05	19.23	32.57	0.12	98.80	0.00	0.00	1.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	1.03	1.00	0.00
54B-12	0.06	0.24	44.55	0.00	0.02	0.03	0.00	0.04	20.71	34.77	0.00	100.43	0.00	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.00	0.00
54B-13	0.07	0.17	43.34	0.01	0.03	0.06	0.14	0.00	21.05	34.59	0.05	99.51	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
54B-14	0.06	0.09	43.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.21	34.84	0.02	99.29	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
54C-1	0.05	0.09	44.06	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	21.16	34.90	0.00	100.30	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
54C-2	0.09	0.00	42.46	0.00	0.02	0.01	0.00	0.04	22.27	35.37	0.00	100.25	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	1.00	0.00
54C-3	0.06	0.16	44.40	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06	21.48	34.96	0.02	101.16	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	1.00	0.00
54C-4	0.10	0.19	44.86	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	20.19	34.57	0.01	99.93	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.00	0.00
54C-5	0.06	0.19	43.98	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00	20.78	34.68	0.00	99.78	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.00	0.00
54C-6	0.05	0.30	43.50	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	20.56	34.64	0.03	99.10	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	1.00	0.00
54D-1	0.05	0.04	45.24	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	20.85	34.68	0.00	100.91	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.00	0.00
54D-2	0.05	0.03	44.20	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	21.24	34.75	0.02	100.31	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
54D-3	0.07	0.13	43.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	20.97	34.54	0.00	99.61	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
54D-4	0.08	0.11	44.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	21.17	34.72	0.02	100.26	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
54D-5	0.04	0.33	45.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.05	34.49	0.00	101.43	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
55C-1	0.03	0.08	42.77	0.00	0.20	0.01	0.00	0.00	20.99	34.62	0.00	98.69	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
55C-2	0.01	0.22	42.89	0.01	0.02	0.03	0.03	0.00	21.48	34.74	0.06	99.50	0.00	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.00	0.00
64A-1	0.02	0.12	43.65	0.00	1.05	0.02	0.00	0.00	20.26	34.58	0.01	99.70	0.00	0.00	0.94	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.02	1.00	0.00
64A-2	0.05	0.13	42.33	0.00	0.67	0.00	0.00	0.01	21.84	34.52	0.01	99.54	0.00	0.00	0.91	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.10	1.00	0.00
64A-3	0.04	0.37	44.77	0.00	0.28	0.03	0.00	0.00	20.29	34.39	0.01	100.19	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	1.00	0.00
64A-4	0.04	0.00	43.13	0.00	0.16	0.01	0.00	0.00	21.52	34.75	0.00	99.62	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.00	0.00
64A-5	0.04	0.10	43.22	0.02	0.75	0.00	0.00	0.01	21.00	34.50	0.00	99.63	0.00	0.00	0.93	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.06	1.00	0.00
64A-6	0.00	0.23	42.00	0.00	0.45	0.02	0.00	0.02	21.94	34.65	0.00	99.31	0.00	0.00	0.90	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.10	1.00	0.00
64A-7	0.02	0.00	41.88	0.00	0.38	0.00	0.01	0.00	21.70	34.54	0.00	98.53	0.00	0.00	0.90	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.09	1.00	0.00

Muestras 50 y 55 análisis de sulfosales

Tabla 15. Resultados en peso porcentual de elementos en sulfosales analizadas en la muestra 50 sector A y moles en fórmula estructural.

Muestra - sector	% Peso de elementos									Moles de elementos en fórmula estructural								
	Zn	As	Sb	Cu	S	Fe	Ag	Pb	Total	Zn	As	Sb	Cu	S	Fe	Ag	Pb	
50A-1	1.22	0.61	25.29	17.04	21.15	5.80	28.37	0.02	99.50	0.34	0.15	3.78	4.88	12.00	1.89	4.78	0.00	
50A-2	0.92	0.61	25.63	17.73	21.39	6.16	27.38	0.10	99.92	0.25	0.15	3.79	5.02	12.00	1.98	4.57	0.01	
50A-3	0.94	0.60	25.62	17.46	21.51	6.15	27.66	0.00	99.93	0.26	0.14	3.76	4.91	12.00	1.97	4.59	0.00	
50A-4	0.79	0.65	26.57	16.85	21.60	6.18	28.88	0.00	101.51	0.22	0.15	3.89	4.72	12.00	1.97	4.77	0.00	
50A-5	0.84	0.88	25.84	15.63	21.72	6.01	30.86	0.19	101.97	0.23	0.21	3.76	4.36	12.00	1.91	5.07	0.02	
50A-6	1.00	0.91	26.03	17.71	21.57	5.96	28.37	0.00	101.55	0.27	0.22	3.81	4.97	12.00	1.90	4.69	0.00	
50A-7	1.08	0.92	26.53	21.18	22.64	6.09	23.01	0.00	101.44	0.28	0.21	3.70	5.67	12.00	1.85	3.63	0.00	
50A-8	0.99	0.76	26.19	18.31	21.44	6.18	27.07	0.00	100.94	0.27	0.18	3.86	5.17	12.00	1.99	4.50	0.00	
50A-9	0.39	0.65	25.52	14.29	20.33	6.90	32.12	0.00	100.20	0.11	0.16	3.97	4.26	12.00	2.34	5.64	0.00	
50A-10	0.41	0.78	25.52	14.12	20.26	7.28	32.91	0.00	101.28	0.12	0.20	3.98	4.22	12.00	2.47	5.79	0.00	
										Mín.	0.11	0.14	3.70	4.22	12.00	1.85	3.63	0.00
										Máx.	0.34	0.22	3.98	5.67	12.00	2.47	5.79	0.02
										Prom.	0.23	0.18	3.83	4.82	12.00	2.03	4.80	0.00

Tabla 16. Resultados en peso porcentual de elementos en sulfosales analizadas en la muestra 55 sector B y moles en fórmula estructural.

Muestra - sector	% Peso de elementos									Moles de elementos en fórmula estructural								
	Zn	As	Sb	Cu	S	Fe	Ag	Pb	Total	Zn	As	Sb	Cu	S	Fe	Ag	Pb	
55B-1	3.19	0.85	26.50	21.54	23.05	3.75	21.86	0.00	100.72	0.88	0.20	3.94	6.13	13.00	1.21	3.67	0.00	
55B-2	3.40	0.83	26.67	21.86	23.22	3.45	21.69	0.25	101.37	0.93	0.20	3.93	6.18	13.00	1.11	3.61	0.02	
55B-3	3.67	0.80	26.63	22.05	22.79	3.21	21.58	0.00	100.73	1.03	0.19	4.00	6.35	13.00	1.05	3.66	0.00	
55B-4	3.71	0.82	26.86	21.91	22.91	3.14	21.72	0.01	101.08	1.03	0.20	4.01	6.27	13.00	1.02	3.66	0.00	
55B-5	3.62	0.81	26.50	21.91	22.52	3.15	21.59	0.00	100.09	1.02	0.20	4.03	6.38	13.00	1.05	3.71	0.00	
55B-6	3.28	0.81	26.13	21.81	22.79	3.50	22.10	0.14	100.55	0.92	0.20	3.93	6.28	13.00	1.15	3.75	0.01	
55B-7	3.16	0.95	26.21	21.59	22.68	3.73	21.97	0.09	100.38	0.89	0.23	3.96	6.24	13.00	1.23	3.74	0.01	
55B-8	3.23	0.71	26.12	19.98	22.42	3.58	24.30	0.02	100.37	0.92	0.18	3.99	5.84	13.00	1.19	4.19	0.00	
55B-9	2.98	0.81	26.35	21.70	22.90	3.74	21.91	0.04	100.42	0.83	0.20	3.94	6.22	13.00	1.22	3.70	0.00	
55B-10	3.27	0.75	26.05	21.35	22.59	3.69	21.90	0.00	99.59	0.92	0.19	3.95	6.20	13.00	1.22	3.75	0.00	
										Mín.	0.83	0.18	3.93	5.84	13.00	1.02	3.61	0.00
										Máx.	1.03	0.23	4.03	6.38	13.00	1.23	4.19	0.02
										Prom.	0.94	0.20	3.97	6.21	13.00	1.14	3.74	0.00

Muestra 52 Óxidos de manganeso

Tabla 17. Resultados en peso porcentual de óxidos en zonas analizadas en la muestra 52 y peso porcentual de elementos.

Muestra-sector	% en peso de óxidos														porcentaje en peso de elementos														
	BaO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO ₂	As ₂ O ₃	PbO	ZnO	Al ₂ O ₃	CaO	WO ₃	SiO ₂	CuO	FeO	Total	Ba	K	Na	Mn	As	Pb	Zn	Al	Ca	W	Si	Cu	Fe	O	Total
52D-1	14.10	0.26	0.10	77.88	0.93	0.00	0.12	0.65	0.17	2.79	0.24	0.99	0.17	98.42	12.83	0.22	0.08	50.01	0.72	0.00	0.09	0.35	0.13	2.25	0.11	0.81	0.14	32.27	100.00
52D-2	14.01	0.18	0.02	74.27	0.94	1.17	0.08	0.64	0.11	6.87	0.16	1.30	0.08	99.82	12.57	0.15	0.02	47.02	0.71	1.09	0.06	0.34	0.08	5.46	0.07	1.04	0.06	31.34	100.00
52D-3	14.20	0.12	0.08	73.89	0.88	1.16	0.05	0.65	0.08	6.66	0.14	1.38	0.09	99.36	12.80	0.10	0.06	46.99	0.67	1.08	0.04	0.34	0.06	5.32	0.07	1.11	0.07	31.30	100.00
52D-4	13.82	0.17	0.13	73.49	0.93	1.27	0.06	0.64	0.11	6.53	0.14	1.30	0.08	98.66	12.55	0.15	0.10	47.07	0.71	1.20	0.05	0.34	0.08	5.25	0.07	1.05	0.06	31.34	100.00
52 E-0	14.48	0.12	0.13	74.43	1.19	0.00	0.09	0.55	0.11	6.44	0.14	1.30	0.13	99.10	13.09	0.10	0.10	47.46	0.91	0.00	0.07	0.29	0.08	5.15	0.07	1.04	0.11	31.54	100.00
52 E-1	12.83	0.22	0.14	73.27	0.77	4.01	0.06	0.64	0.11	6.81	0.10	1.40	0.12	100.48	11.44	0.18	0.10	46.08	0.58	3.70	0.04	0.34	0.08	5.38	0.04	1.12	0.10	30.82	100.00
52 E-2	14.09	0.22	0.21	74.66	0.55	2.05	0.09	0.70	0.09	5.72	0.06	1.19	0.21	99.85	12.64	0.18	0.15	47.25	0.42	1.91	0.07	0.37	0.07	4.54	0.03	0.95	0.16	31.25	100.00
52 E-3	15.06	0.54	0.18	78.41	0.85	0.00	0.10	0.63	0.18	1.76	0.10	0.95	0.08	98.84	13.65	0.46	0.13	50.13	0.65	0.00	0.08	0.34	0.13	1.41	0.05	0.77	0.06	32.14	100.00
52 E-4	15.49	0.30	0.13	75.77	0.70	0.00	0.03	0.64	0.09	4.49	0.04	0.99	0.06	98.71	14.05	0.25	0.09	48.51	0.54	0.00	0.02	0.34	0.06	3.60	0.02	0.80	0.05	31.66	100.00
52 E-9	12.75	2.06	0.28	80.55	0.87	0.00	0.11	0.17	0.21	0.05	0.10	1.57	0.06	98.75	11.56	1.73	0.21	51.54	0.67	0.00	0.09	0.09	0.15	0.04	0.05	1.27	0.05	32.57	100.00
52 E-10	15.14	0.32	0.15	76.23	0.38	0.00	0.10	0.61	0.07	5.76	0.11	0.56	0.10	99.51	13.62	0.26	0.11	48.41	0.29	0.00	0.08	0.32	0.05	4.59	0.05	0.45	0.07	31.69	100.00
52 E-11	15.08	0.34	0.18	76.71	0.53	0.00	0.16	0.69	0.06	4.57	0.15	0.64	0.07	99.16	13.62	0.29	0.14	48.89	0.40	0.00	0.13	0.37	0.04	3.65	0.07	0.52	0.05	31.85	100.00
52 E-12	13.96	0.97	0.20	80.32	0.56	0.00	0.15	0.52	0.18	0.62	0.18	0.62	0.06	98.35	12.71	0.82	0.15	51.61	0.43	0.00	0.13	0.28	0.13	0.50	0.09	0.50	0.05	32.60	100.00
52 E-13	13.47	1.26	0.22	81.96	0.30	0.00	0.11	0.48	0.11	0.54	0.16	0.41	0.08	99.08	12.18	1.05	0.16	52.27	0.23	0.00	0.09	0.26	0.08	0.43	0.07	0.33	0.06	32.79	100.00
52 E-14	13.68	1.18	0.20	81.02	0.37	0.00	0.10	0.52	0.09	0.90	0.16	0.55	0.06	98.83	12.40	0.99	0.15	51.81	0.28	0.00	0.08	0.28	0.07	0.72	0.08	0.45	0.05	32.66	100.00
52 E-15	14.01	0.92	0.21	79.96	0.58	0.00	0.16	0.50	0.19	0.66	0.15	0.66	0.02	98.02	12.80	0.78	0.16	51.55	0.45	0.00	0.13	0.27	0.14	0.54	0.07	0.53	0.02	32.56	100.00
52 E-16	15.06	0.35	0.16	76.63	0.49	0.00	0.14	0.70	0.08	4.86	0.16	0.72	0.08	99.42	13.56	0.30	0.12	48.70	0.37	0.00	0.11	0.37	0.05	3.88	0.07	0.58	0.06	31.81	100.00
52 E-17	15.00	0.34	0.11	76.35	0.42	0.00	0.14	0.65	0.07	4.90	0.15	0.62	0.05	98.80	13.60	0.29	0.08	48.83	0.33	0.00	0.12	0.35	0.05	3.93	0.07	0.50	0.04	31.82	100.00
52 E-18	14.32	0.54	0.20	78.18	0.32	0.00	0.15	0.49	0.06	4.13	0.10	0.69	0.09	99.27	12.92	0.45	0.15	49.77	0.25	0.00	0.12	0.26	0.04	3.30	0.05	0.55	0.07	32.07	100.00
52 E-19	13.69	1.07	0.23	81.64	0.38	0.00	0.24	0.47	0.09	0.48	0.19	0.64	0.07	99.16	12.37	0.89	0.17	52.03	0.29	0.00	0.19	0.25	0.06	0.38	0.09	0.51	0.05	32.72	100.00
52 E-20	12.62	2.18	0.29	80.69	0.78	0.00	0.06	0.20	0.20	0.08	0.13	1.45	0.06	98.74	11.44	1.83	0.22	51.64	0.59	0.00	0.05	0.11	0.15	0.07	0.06	1.17	0.05	32.62	100.00
52F-1	15.20	0.52	0.25	78.33	0.84	0.00	0.03	0.57	0.13	1.71	0.09	0.83	0.07	98.56	13.81	0.44	0.19	50.22	0.65	0.00	0.02	0.31	0.10	1.38	0.04	0.67	0.05	32.13	100.00
52F-2	14.45	0.24	0.13	73.97	0.82	0.00	0.14	0.73	0.11	7.27	0.13	1.36	0.10	99.45	13.01	0.20	0.10	47.00	0.62	0.00	0.11	0.39	0.08	5.79	0.06	1.09	0.08	31.45	100.00
52F-3	14.62	0.23	0.26	74.08	0.70	0.00	0.04	0.62	0.09	7.04	0.10	1.33	0.07	99.20	13.20	0.19	0.20	47.19	0.54	0.00	0.03	0.33	0.07	5.63	0.05	1.07	0.06	31.44	100.00
52F-4	14.64	0.16	0.19	73.93	0.76	0.00	0.07	0.68	0.06	7.43	0.09	1.24	0.06	99.32	13.20	0.13	0.14	47.04	0.58	0.00	0.05	0.36	0.05	5.93	0.04	1.00	0.05	31.42	100.00
52F-5	14.73	0.10	0.10	73.90	0.97	0.00	0.13	0.62	0.07	7.13	0.14	1.31	0.07	99.26	13.29	0.08	0.08	47.05	0.74	0.00	0.10	0.33	0.05	5.69	0.07	1.05	0.05	31.41	100.00