



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
Posgrado en Ciencias de la Tierra

**CENTRO DE GEOCIENCIAS**



**INCLUSIONES FLUIDAS Y METALOGENIA  
DEL DEPÓSITO EPITERMAL Ag-Au  
DEL DISTRITO SAN MARTÍN  
MPIO. COLÓN, QRO.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias de la Tierra  
(Yacimientos Minerales)

PRESENTA:

**AMADOR NÚÑEZ MIRANDA**

DIRECTOR:

**DR. JORDI TRITLLA CAMBRA**

MAYO 2007



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.

## AGRADECIMIENTOS

En primer término agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quien auspició el proyecto de Investigación “Geoquímica y metalogenia de los depósitos epitermales de Ag-Au del distrito de San Martín, Querétaro”, No. Referencia J32506T, de donde se obtuvo la beca de proyecto para iniciar esta maestría y al Dr. Antoni Camprubí Cano quien fue el responsable de este proyecto, así como revisor y jurado de esta tesis.

Agradezco a mi tutor el Dr. Jordi Tritlla Cambra, por su valiosa asesoría, pero sobre todo por su paciencia, durante el desarrollo de esta tesis.

Mi reconocimiento a los ingenieros geólogos de la Superintendencia de Geología de la mina San Martín, Dante Aguilar Casillas, Dante Rodríguez Montes y Alejandro Morales Ramírez, así como al Sr. J. Carmen Merino O., por todas las facilidades otorgadas en los trabajos realizados en la mina y a los directivos de la Cía. Luismin por otorgar el permiso para el estudio de su mina.

Agradezco al Dr. Eduardo González Partida por su valiosa asesoría en el estudio de las inclusiones fluidas realizado para esta tesis. Al Dr. Gilles Levresse por la aportación del estudio de microscopía Raman. Al Ing. Alfredo Victoria Morales por sus observaciones en el estudio petrográfico. A la Dra. Margarita Reyes del Instituto de Geología y M.I.Q. Alicia del Real del Centro de Física Aplicada y Tecnologías Avanzadas (FATA) por su colaboración en los estudios de Microscopio electrónico de barrido. Al M.C. Alfredo Santa María Díaz por su colaboración y comentarios en el desarrollo del texto de la tesis. Al M.C. Sergio Rodríguez Arias y a la Quim. Candelaria Ortega del CINVESTAV, Campus Coahuila por la realización de los estudios de difracción de rayos X. Al Sr. Juan Tomás Vázquez por la realización de las láminas delgadas, secciones pulidas para mineragrafía y doblemente pulidas para inclusiones fluidas.

Un agradecimiento especial al Dr. Dante Morán Zenteno, M.C. Enrique González Torres, M.C. José de Jesús Parga Pérez, Ing. Enrique Gómez de la Rosa e Ing. Fernando Castillo Nieto por su incondicional apoyo y amistad. Así también al Dr. Roberto Molina Garza, por su gran apoyo en su etapa como coordinador del posgrado en el Centro de Geociencias y a todo el personal académico y administrativo por las múltiples atenciones y facilidades otorgadas durante mi estancia en el “CGEO”. Mi gratitud a los Drs. Rodolfo Corona Esquivel, Martín Valencia Moreno y Miguel Angel Miranda Gasca por la revisión y comentarios a este trabajo, así como aceptar ser parte del jurado de esta tesis.

En lo familiar, doy gracias infinitas por su cariño y apoyo incondicional a mi esposa, hijos, padres y hermanos.

Finalmente agradezco a la UNAM, porque desde 1976 me ha permitido ser parte de ella y porque estoy seguro que será para siempre.

## ÍNDICE

|   | <b>PAG.</b> |
|---|-------------|
| <b>1. RESUMEN/ ABSTRACT</b>   |             |
| <b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....  | 1           |
| 2.1 Localización y acceso.....  | 1           |
| 2.2 Planteamiento del problema .....                                    | 3           |
| 2.3 Método de estudio .....   | 3           |
| 2.4 Generalidades teóricas sobre los depósitos epitermales .....        | 7           |
| 2.4.1 Clasificación de los depósitos epitermales .....                  | 7           |
| 2.4.1.1 Depósitos epitermales de alta sulfuración .....                 | 9           |
| 2.4.1.2 Depósitos epitermales sulfuración intermedia .....              | 10          |
| 2.4.1.3 Depósitos epitermales de baja sulfuración .....                 | 11          |
| 2.4.2 Ambiente tectónico .....  | 14          |
| 2.4.3 Controles geométricos .....                                       | 15          |
| 2.4.3.1 Control estructural .....                                       | 16          |
| 2.4.3.2 Control hidrotermal .....                                       | 16          |
| 2.4.3.3 Control litológico .....  | 18          |
| 2.4.4 Características superficiales .....                               | 19          |
| 2.4.4.1 Zonas de lixiviación ácida .....                                | 19          |
| 2.4.4.2 Sintérs .....   | 21          |
| <b>3. MARCO GEOLÓGICO</b> .....   | 23          |
| 3.1 Geología Regional .....   | 23          |
| 3.2 Geología Local .....  | 30          |
| <b>4. ESTUDIO DEL YACIMIENTO DE Au-Ag DE SAN MARTÍN</b> .....           | 38          |
| 4.1 Antecedentes .....  | 38          |
| 4.2 Muestreo .....  | 39          |
| 4.3 Estructura del Yacimiento .....                                     | 41          |
| 4.3.1 Descripción de los cuerpos mineralizados .....                    | 41          |
| 4.3.2 Descripción petrográfica de las etapas de la mineralización ..... | 45          |
| 4.4 Inclusiones Fluidas .....   | 55          |
| 4.4.1 Introducción .....  | 55          |
| 4.4.2 Antecedentes históricos .....                                     | 55          |
| 4.4.3 Aplicación actual de las inclusiones fluidas .....                | 57          |
| 4.4.4 Criterios de clasificación .....                                  | 58          |



|        |   |      |
|--------|---|------|
| 4.4.5  | Fundamento de estudio .....   | 62   |
| 4.4.6  | Técnicas de estudio .....   | 63   |
| 4.4.7  | Microtermometría .....  | 64   |
| 4.4.8  | Instrumental utilizado en este estudio .....                        | 64   |
| 4.4.9  | Preparación y observación de las superficies para inclusiones ..... | 66   |
| 4.4.10 | Petrografía de inclusiones fluidas .....                            | 67   |
| 4.5    | Resultados Microtermométricos .....                                 | 72   |
| 4.6    | Discusión de los Resultados .....                                   | 84   |
| 4.7    | Conclusiones .....  | 89   |
| 4.8    | Bibliografía .....  | 91   |
| 4.9    | Anexos .....  | 100  |
| I      | Descripciones petrográficas .....                                   | 100  |
| II     | Análisis de microscopio electrónico de barrido .....                | 138  |
| III    | Análisis de difracción de rayos X .....                             | 146  |
| IV     | Microtermometría de inclusiones fluidas .....                       | 148  |
| V      | Ubicación del muestreo de interior mina .....                       | 162- |
|        |   | 166  |

## 1. RESUMEN

La mina San Martín se localiza a 47 km en línea recta en dirección N70°E desde Ciudad de Querétaro, y a 5 km al sur de la Peña de Bernal en el Estado de Querétaro. Territorialmente, se sitúa dentro del municipio de Colón, Qro.

La mina San Martín está constituida por una estructura mineralizada tabular, de origen hidrotermal, que en su parte superior presenta la forma de un cuerpo subhorizontal y conforme profundiza se hace vertical adquiriendo morfología de veta. Esta estructura mineralizada tiene una longitud de poco más de 2 km, una potencia variable entre 2 y 12 m y una profundidad de 400 m. En general, la mineralización está encajonada entre las calizas y lutitas de la Formación Soyatal-Mexcala y/o un dique riolítico silicificado.

Una etapa previa a la formación del depósito es la intrusión de un dique riolítico en forma de “L invertida” y su alteración hidrotermal. Posteriormente, el cuerpo mineralizado presenta una historia compleja de brechificación y cementación. Se identificaron tres etapas de brechificación hidrotermal y una cuarta etapa de alteración supergénica que recementa a las brechas en todas las fracturas y cavidades finales.

La mineralización metálica consta de electrum, naumannita, tetraedrita, pirita y calcopirita como minerales primarios, y oro libre de textura esquelética, partzita, clorargirita, malaquita, hematites, goethita y otros oxihidróxidos de fierro como minerales secundarios. También se ha observado clinzoisita y adularia pseudomorfizada por calcita. El cuarzo y la calcita se presentan en las cuatro etapas como los principales cementantes y ganga de la mineralización. Estos cementantes asociados a la mineralización económica aparecen en texturas sacaroidal, crustiforme, coliforme, cocarda y peine.

Es importante resaltar que la mineralización auro-argentífera primaria sólo se ha observado en la segunda etapa de brechificación y que estos minerales se presentan muy enriquecidos (decenas de gramos de oro y centenas de plata) en donde la mineralización se depositó en bandas coliformes y cocardas de cuarzo y hematita intercaladas con otras de cuarzo y partzita. En la cuarta etapa se observó oro libre con textura esquelética, clorargirita y partzita rellenando las últimas fracturas, como resultado de la alteración de minerales primarios como naumannita, electrum y tetraedrita. La partzita por su color verde-azul claro constituye una guía visual en la mina, para detectar zonas de enriquecimiento de oro y plata.

El estudio mediante microsonda Raman de las inclusiones de vidrio presentes en cuarzos magmáticos del dique riolítico, indicó que la fase gaseosa está formada exclusivamente por CO<sub>2</sub>

y que los sólidos atrapados son cristales de andalucita ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ), minerales no observados en la matriz de la roca. La presencia de andalucita atrapada bajo la forma de cristales idiomórficos muy posiblemente indica que estos ya existían como sólidos y fueron atrapados junto con el fundido silicatado. La presencia de andalucita es compatible con la intrusión de un magma en condiciones de baja presión y temperaturas moderadas, tal y como corresponde a un cuerpo subvolcánico.

Se realizó un estudio de inclusiones fluidas en cristales de cuarzo y calcita de las 3 etapas hidrotermales y en el cuarzo magmático del dique riolítico. Los resultados obtenidos sugieren que el dique riolítico silicificado presenta una etapa hidrotermal pre-mineralización, con una temperatura máxima de 290 °C (sin corrección de presión) y salinidades entre 0.5 y 1 wt.% NaCl eq., se considera que esta etapa sirvió como preparación para la mineralización hidrotermal económica.

La primera etapa de brechificación-cementación presenta temperaturas de homogeneización (Th) con un máximo alrededor de 190 °C y salinidades comprendidas entre 0.5 y 2.0 wt.% NaCl eq. La segunda etapa presenta una Th, con un máximo alrededor de 190 °C y salinidades entre 0.5 y 2.5 wt.% NaCl eq. Además para la segunda etapa se detectó una zona con Th máxima entre 290 y 300 °C, justo donde se presenta una zona de stockwork que incluso fue minada a cielo abierto. La tercera etapa presenta una Th máxima alrededor de 200 °C, y salinidades entre 0.9 y 2.6 wt.% NaCl eq., mostrando un ligero incremento con respecto a las 2 etapas anteriores. Adicionalmente la tercera etapa presenta un segundo máximo en 140 °C, que puede representar la etapa final de la circulación hidrotermal en la estructura del depósito. Considerando la mineralogía descrita, las temperaturas de las inclusiones entre 190 y 200 °C, la salinidad que oscila entre 0.5 y 2.6 wt.% NaCl eq., la presencia escasa de pseudomorfos de adularia y abundante clinozoisita, así como las texturas antes descritas, se considera que este yacimiento corresponde a un depósito epitermal de baja sulfuración, con una notable presencia de seleniuros y muy escasos sulfuros.

## ABSTRACT

The San Martín mine is located in the Colón municipality, 47 km northeast of Querétaro city and 5 km south of the Peña de Bernal village, in the Querétaro State.

The San Martín mine is composed by a tabular, vein-like subvertical mineralized structure that passes to a subhorizontal mineralized structure or “manto” at its top. This mineralized structure is recognized for about 2 km in length, with thicknesses between 2 and 12 meters and 400 m of deeply. In general, the mineralization is hosted between limestone-shale of Soyatal-Mexcala Formation and/or a silicified rhyolitic dike.

Before the main mineralization event, a late-rhyolitic dike intruded under the previously formed andesitic stratovolcano, acquiring the shape of an inverted “L”. The mineralization appears at the contact between the limestones of the Soyatal-Mexcala Formation and the strongly altered (silicification, argillization) dyke itself. The mineralized body shows a complex history of brecciation and cementation, with 3 stages of hydrothermal breccias and a 4<sup>th</sup> stage of supergene alteration that filled fractures and late cavities.

The metallic mineralization is mainly constituted by electrum, naumanite, tetraedrite, pyrite and chalcopyrite as hypogene minerals, and free gold, partzite, chlorargirite, malachite, hematite, goethite-limonite as supergene minerals. Gangue minerals are mainly quartz, chalcedony and calcite (sometimes bladed), with minor amounts of clinozoisite and calcite pseudomorphs after adularia. Quartz and calcite occur in all the four stages as major cements of the mineralization. Chalcedony, quartz and calcite associated with the economic mineralization usually show saccaroidal, crustiform, colloform, cockade and comb textures.

The main Ag-Au stage precipitates only during the 2<sup>nd</sup> stage of brecciation, specially where colloform chalcedony occurs. When the supergene alteration affects the 2<sup>nd</sup> stage, the chalcedony accumulations oftenly show the presence of secondary hematite and partzite. The partzite has a distinguishing light green-blue color, used as a visual guide in the underground labors to detect the highest gold and silver grade zones, intimately related with the presence of the supergene alteration. The 4<sup>th</sup> stage is characterized by the appearance of skeletal free gold, chlorargirite and abundant partzite, as a result of the supergene alteration. The 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> stages are barren.

Raman analyses of the magmatic-related glass inclusions trapped within magmatic quartz crystals in the rhyolitic dyke, indicate that the bubble is exclusively formed by low-pressure CO<sub>2</sub> and that the crystalline solids trapped are andalucite (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>). The presence of andalucite is in agreement with the shallow intrusion of a silica-rich magma in condition of low pressure and moderate temperature, as may be expected for a subvolcanic body.

The fluid inclusions trapped in the most external hydrothermal rims, that grew over the primary magmatic quartz crystals of the dyke, show a maximum temperature of 290 °C (without pressure correction) and salinities between 0.5 to 1 wt.% eq. NaCl. This represents the first hydrothermal stage recognized, intimately related with the alteration of the rhyolitic dyke, and can also be considered as a preparation stage (generation of porosity) for the subsequent hydrothermal system.

The 1<sup>st</sup> stage of brecciation presents homogenization temperatures (Th) around 190 °C and salinities between 0.5 to 2.0 wt.% eq. NaCl. The fluid inclusions of the 2<sup>nd</sup> stage are comparable to the latter, with Th's around 190°C and salinities comprised between 0.5 to 2.5 wt.% NaCl eq. Also, this 2<sup>nd</sup> stage presents a maximum of Th frequency around 290-300 °C in samples located in or near an stockwork zone that exhibits disseminated mineralization, that developed past open pit mining activity. The 3<sup>rd</sup> stage has Th's around 200 °C and salinities between 0.5 to 2.6 wt.% eq. NaCl suggesting a light increment in both Th and salinities; a second distribution peak appears around 140 °C, which may indicate the ending of the main hydrothermal stage.

Considering mineralogy, the Th and salinity data collected from the fluid inclusion analysis, the presence of scarce adularia pseudomorphs as well as the textures observed, this ore deposit may represent a low-sulfidation epithermal system, with the particularity of abundant hydrothermal breccias, selenides and the scarcity of sulfide phases.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESO

La Mina San Martín se localiza a 47 km en línea recta en dirección N70°E desde la ciudad de Querétaro, y a 5 km al sur de la Peña de Bernal en el Estado de Querétaro. Territorialmente, se localiza dentro del municipio de Colón, en las coordenadas geográficas 20° 43' 56" de latitud norte y 99° 58' 33" de longitud oeste.

Las carreteras por las que se accesa a la mina de San Martín están pavimentadas y se encuentran en buen estado todo el año. Puede arribarse por la autopista No. 57 entre las ciudades de Querétaro y San Luis Potosí, o en el tramo entre las ciudades de México y Querétaro (Fig. 1).

- Si se parte de la Cd. de México por la autopista mencionada, en el kilómetro 159, a la altura de la ciudad de San Juan del Río, se encuentra una desviación al norte hacia la población de Tequisquiapan. Se continúa 20 km hasta llegar al poblado de Ezequiel Montes, después se recorren 10 km hacia el este, para entroncar con la carretera que va a la población Peña de Bernal por la que se continúa 1.5 km hasta la desviación de un camino empedrado de rumbo norte y desarrollo de 1 km que llega hasta el poblado y mina San Martín.
- Si se parte desde la ciudad de Querétaro, se recorren 17 km con dirección a la ciudad de México hasta el km 192, para continuar 35 km hacia el norte por la carretera estatal que conduce a la población Peña de Bernal y a La Sierra Gorda, hasta el entronque al poblado de San Martín.
- En el caso de partir de la ciudad de San Luis Potosí el acceso se hace más corto usando el libramiento de cuota o las carreteras estatales libres, que evitan cruzar la ciudad de Querétaro pasando por las poblaciones de Chichimequillas, Galeras y Ajuchitlán, hasta entroncar con la carretera que conduce a la poblaciones Peña de Bernal y San Martín.

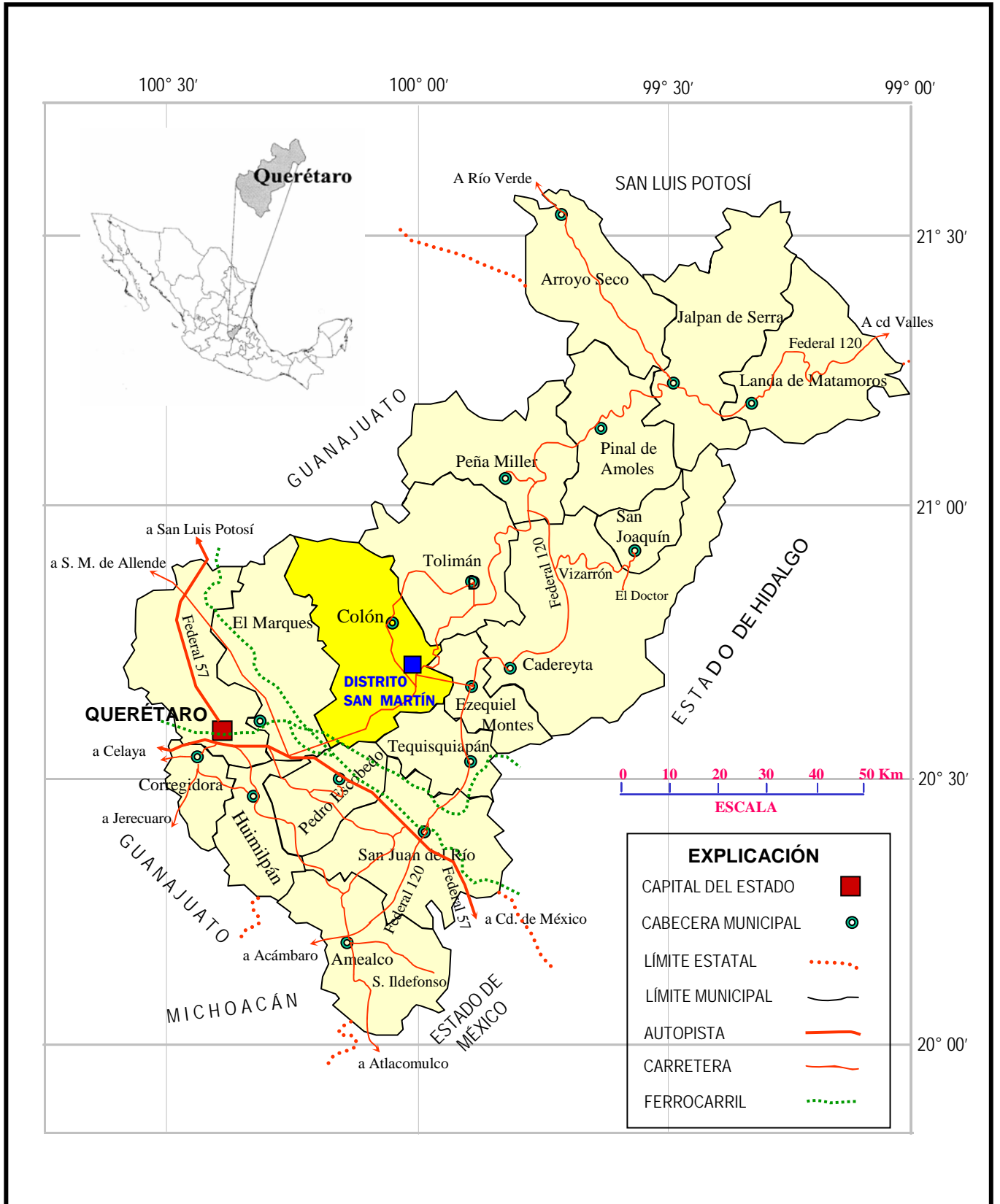


Figura 1. Mapa de localización y vías de acceso

## **2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La mina San Martín está constituida por una estructura mineralizada tabular de origen hidrotermal, que en su parte superior presenta la forma de un manto subhorizontal y conforme profundiza se verticaliza adquiriendo morfología de veta.

Esta estructura mineralizada tiene una longitud de poco más de 2 km, y un espesor variable entre 2 y 12 m. A través de obras mineras subterráneas se ha explotado hasta a 300 m de profundidad. La estructura siempre aparece encajonada entre las calizas y lutitas de la Formación Soyatal-Mexcala y/o un dique de composición riolítica. Existen varias etapas de brechamiento, cementación y mineralización asociada, lo que dificulta determinar la sucesión mineralógica y a cual de ellas se asocian los valores económicos del oro y la plata. También se presenta una etapa final de alteración supergénica que afecta a todas las etapas anteriores.

Los objetivos que se plantean en este estudio para tratar de resolver sus incógnitas, son los siguientes:

- ❑ Determinar las diferentes etapas de brechificación y cementación en la estructura mineralizada y su distribución a lo largo del cuerpo.
- ❑ Determinar la sucesión mineral paragenética y su relación con las diferentes etapas.
- ❑ Determinar la temperatura y salinidad de las soluciones hidrotermales, en las diferentes etapas mediante el estudio de las inclusiones fluidas asociadas.
- ❑ Proponer una hipótesis genética y clasificación del tipo de yacimiento mineral.

## **2.3 MÉTODO DE ESTUDIO**

### **2.3.1 Compilación Bibliográfica**

Se realizó una compilación de mapas y trabajos previos, tanto los realizados sobre la mina de San Martín como de la región en donde se encuentra, con el propósito de situar en la sucesión geológica las unidades de roca que afloran y encajonan la estructura mineralizada. Se revisaron trabajos mineros específicos de la mina de San Martín elaborados en las décadas de los ochenta y noventa por el Consejo de Recursos Minerales, compañías consultoras privadas y trabajos internos de la misma compañía Luismin. También se compilaron publicaciones científicas relacionadas con yacimientos epitermales similares.



### **2.3.2 Trabajos de Campo**

Se realizaron varias campañas de trabajo en el interior de la mina, donde se reconocieron casi todas las obras mineras accesibles de los 5 niveles subterráneos con que cuenta la mina y en los diferentes cuerpos desarrollados sobre la estructura mineralizada. En dichas campañas se seleccionaron 43 puntos de muestreo en diferentes partes de la estructura mineralizada y de la roca encajonante para su estudio textural y petrográfico. Para la ubicación de las muestras se utilizaron los mapas y secciones de los cuerpos y niveles del interior de la mina elaborados por la compañía Luismin. El Anexo III consta de una tabla con la ubicación del muestreo por niveles y rebajes de acuerdo a la nomenclatura utilizada por los geólogos de la mina San Martín.

### **2.3.3 Trabajos de Laboratorio**

A partir de las 43 muestras obtenidas en la mina, se seleccionaron 39 para realizar láminas delgadas para petrografía, 17 de superficies pulidas para el estudio minerográfico de minerales metálicos y 54 láminas delgadas doblemente pulidas para el estudio de inclusiones fluidas. Todas estas preparaciones fueron realizadas por el técnico Juan Tomás Vázquez Ramírez, encargado del laboratorio de laminación del Centro de Geociencias, utilizando una seccionadora para láminas delgadas marca Buehler, modelo Petro-thin y una pulidora marca Struers, modelo Rotopol-35.

### **2.3.4 Petrografía**

En el estudio petrográfico se realizó una descripción macroscópica de las 43 muestras. Posteriormente con la ayuda de un microscopio óptico, marca Leica, modelo DMLP del laboratorio de Petrografía del Centro de Geociencias, se analizaron 39 láminas delgadas seleccionadas, con el objeto de determinar la cronología de los eventos de brechamiento y mineralización. Todas las fotografías de microscopio utilizadas en este trabajo, fueron tomadas con una cámara digital marca Olympus, modelo 2500L. La descripción completa de estos trabajos, así como las fotos de las muestras aparecen en el Anexo I.

### **2.3.5 Minerografía**

De las muestras estudiadas en láminas delgadas, se seleccionaron 17 muestras con abundancia de minerales metálicos, para realizar secciones pulidas y estudiar la sucesión mineral metálica en cada etapa de brechificación y/o mineralización. Para este estudio se utilizó

el mismo microscopio Leica, del estudio petrográfico, ya que este cuenta con la opción de luz reflejada y transmitida (ver Anexo I). Se obtuvieron imágenes microscópicas tanto de las láminas delgadas y de secciones pulidas que se muestran en el texto.

### **2.3.6 Inclusiones Fluidas**

Se estudiaron al microscopio 49 láminas doblemente pulidas preparadas para el estudio de inclusiones fluidas, con la finalidad de elegir las más representativas de las diferentes etapas de mineralización y que además estuvieran distribuidas vertical y horizontalmente en la mina.

En el laboratorio de petrología del Centro de Geociencias y utilizando una platina térmica Chaixmeca, se estudiaron 20 muestras de minerales con inclusiones fluidas, escogidas por su representatividad. Todas las inclusiones fluidas estudiadas se encuentran alojadas en cristales de cuarzo y calcita, los cuales están íntimamente asociados con la mineralización de oro y plata. El análisis estadístico de las mediciones microtermométricas se realizó con el programa Kaleidagraph versión 3.5 y la salinidad se calculó a partir del punto de fusión del hielo, con el programa Macflincor, versión 0.92 (Brown, 1989 y 1992).

### **2.3.7 Microscopio Electrónico de Barrido**

Se seleccionaron muestras donde los minerales de oro y plata se presentan abundantemente, con el fin de identificar las especies minerales. En una primera etapa se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca Jeol, del Instituto de Geología y en una segunda etapa, el también microscopio electrónico del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (FATA), ambas instituciones de la UNAM. El microscopio del FATA es marca Jeol y de modelo reciente (JSM6060LV), lo que permite obtener imágenes digitales de mapeos de una cierta área o de la distribución de los elementos presentes en la misma. También se pueden realizar análisis puntuales, obteniendo el espectro y un resultado semicuantitativo del porcentaje de elementos presentes en el punto analizado.

En este estudio se utilizó la técnica de electrones retrodispersos (backscatering) a 20 kv y tamaño de exposición (spot size) de 54 a 59. Los estudios con el microscopio del FATA, fueron realizados en coordinación con la M. en I. Q. Alicia Del Real, encargada de este equipo.

### **2.3.8 Difracción de Rayos X**

Para la correcta identificación de algunos minerales problemáticos, se analizaron concentrados de éstos, en el laboratorio de difracción de rayos X del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV), Campus Saltillo. La técnica utilizada fue difracción de polvos en un difractómetro de rayos X de goniómetro vertical, fuente de ánodo de cobre y control automático por computadora a través del software PC-APD, versión 4h, en un equipo marca Phillips, modelo X'PERT PW3040.

### **2.3.9 Microsonda Raman**

Las inclusiones de vidrio de origen magmático presentes en el dique riolítico, fueron analizadas mediante una microsonda Raman en el laboratorio del CREGU, en Nancy, Francia, por el Dr. Gilles Levresse.

La microsonda Raman utilizada es del tipo LABRAM (@Dilor), con filtro @NOTCH y un enrejado de 1800 estrías por mm. El detector se mantiene enfriado a  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y es del tipo CCD. La excitación de la radiación es debido a un láser de argón del tipo Espectroscopía @ 2020. La resolución espectral es de  $2\text{ cm}^{-1}$ . La microespectroscopía Raman colecta información en una ventana de 2800 y  $3600\text{ cm}^{-1}$ . Esta microsonda está constituida por una fuente láser, un conjunto de rejillas de difracción, un microscopio óptico triocular equipado con un espejo semitransparente, una CCD con fotomultiplicador y una computadora que controla todo el conjunto.

### **2.3.10 Elaboración del Presente Texto**

Con toda la información obtenida de los trabajos de mina, laboratorios de petrografía, mineragrafía, microtermometría de inclusiones fluidas, estudios en microscopio electrónico de barrido y difracción de rayos X, se elaboró el presente texto.

Cabe señalar que en la parte final de este estudio, se anexan las descripciones petrográficas realizadas a ejemplares de mano y muestras al microscopio (Anexo I), mapeos y espectros obtenidos en el microscopio electrónico de barrido (Anexo II), difractogramas de los minerales problemáticos (Anexo III) y las tablas con las mediciones realizadas en las muestras de inclusiones fluidas (Anexo IV).

## 2.4 GENERALIDADES TEÓRICAS SOBRE DEPÓSITOS EPITERMALES

Lindgren (1922) definió por primera vez el ambiente epitermal, como el que se forma a poca profundidad y conteniendo proporciones variables de oro, plata y metales base, incluyendo mercurio, antimonio, telurio y selenio. Basado en reconstrucciones geológicas, Lindgren estimó que estos yacimientos se forman a una profundidad máxima de 1000 m, con un límite de presión superior a 100 atmósferas. También dedujo un rango de temperatura de 50 a 200 °C, a partir de medir el límite de estabilidad de varios minerales de texturas de vetas de depósitos tipo "hot spring" (Hedenquist et al., 2000).

En la actualidad se sabe que los depósitos con texturas y asociaciones minerales características del ambiente epitermal, se formaron a temperaturas máximas de alrededor de 300 °C, (en base a geotermómetros minerales e inclusiones fluidas) aunque la mayoría de estos depósitos se forman entre 160 y 270 °C. Como hay abundantes evidencias de que la ebullición es común dentro de las zonas de yacimientos epitermales, este intervalo de temperatura corresponde a un rango de profundidad bajo del paleonivel freático entre 50 y 700 m. Pocos depósitos con características de epitermales se han formado por debajo de los 1000 m de profundidad (Hedenquist et al., 1996; Sillitoe, 1999).

Lindgren (1933) concluyó que el depósito de los yacimientos epitermales ocurre porque en sitios muy localizados, los fluidos ascendentes cambian rápidamente su composición dentro de un kilómetro o muy cerca de la superficie. Ahora sabemos que estos cambios son causados por la ebullición, que es el proceso que más favorece la precipitación de oro a partir de complejos biosulfurados. La ebullición y el enfriamiento rápido actuando conjuntamente provocan la precipitación de sílice colofome, adularia y calcita hojosa (bladed) y la formación de vapor-agua caliente que crea alteración argílica avanzada (Hedenquist et al., 2000).

### 2.4.1 Clasificación de los Depósitos Epitermales

Hay una variedad de términos que han sido usados para clasificar a los depósitos epitermales. Esta variedad de términos ha causado confusión, por lo que se requiere una explicación acerca del origen de las diferentes términos utilizados (ver Tabla 1).

Lindgren (1933) distinguió dos tipos de epitermales sobre la base de su asociación metálica, destacando la asociación alunita-oro a partir de los trabajos de Ransome (1909). Ashley (1982) definió el término enargita-Au según los dos minerales más característicos de este tipo. Giles y Nelson (1982) introdujeron el término "hot-spring" para denominar a este tipo de yacimientos, después de que se descubrió el depósito de McLaughlin, USA, por debajo del

“sinter”. Bonham (1986) propuso los términos de sulfuro alto y sulfuro bajo para referirse a la cantidad total de sulfuros en un depósito. Hayba et al. (1985) y Heald et al. (1987) proponen los términos ácido-sulfato y adularia-sericita en base a la mineralogía y a los tipos de alteración presentes en estos depósitos epitermales. Por su parte Berger y Henley (1989) propusieron el término caolinita-alunita en sustitución de ácido-sulfato para destacar los minerales de alteración característicos en esta nomenclatura. Bonham (1986) propuso los términos de sulfuro alto y sulfuro bajo, para referirse a la cantidad total de sulfuros en el depósito. La denominación de los términos de alta sulfuración y baja sulfuración fue propuesta por Hedenquist (1987) sobre la base del estado de oxidación-reducción del azufre en los fluidos de sistemas geotérmicos actuales. El término de “alta sulfuración” se acuñó para denominar fluidos de carácter oxidado y ácido (azufre en estado de oxidación +6 ó +4, en forma de  $SO_4^{2-}$  o  $SO_2$ ), típicos de fuentes termales ácidas o próximas a volcanes. El término “baja sulfuración” se utilizó para denominar fluidos reducidos de pH aproximadamente neutro, donde el azufre se presenta en su estado de oxidación -2, como sucede en sistemas geotérmicos distantes a la fuente de calor principal.

**Tabla No. 1** Nomenclatura que ha sido usada para denominar los dos tipos principales de yacimientos epitermales y su correspondencia con los sistemas geotermiales activos. (tomada de Sillitoe, 1993 ; Hedenquist et al., 2000).

| GEOTERMAL<br>(dominado por pH neutro y fluidos hipogénicos reducidos)  |                        | VOLCÁNICO-HIDROTERMAL<br>(dominados por fluidos hipogénicos oxidados y ácidos tempranos) | REFERENCIA                               |
|--|------------------------|--|--|
|  |                        | Tipo Goldfield   | Ransome, 1909; Bethke, 1984              |
| Vetas de Au-cuarzo en andesitas y riolitas<br>Vetas de Ag-Au, Ag, Au-Te y Au-Se.<br>Vetas de metales base con Au, Ag, cinabrio y estibinita. |                        | Au-alunita   | Lindgren, 1922, 1933                     |
|  |                        | Enargita-Au  | Ashley, 1982                             |
| Hot springs  |                        |  | Giles y Nelson, 1982                     |
| Adularia-sericita  |                        | Ácido-sulfato  | Hayba et al., 1985<br>Heald et al., 1987 |
| Sulfuro bajo   |                        | Sulfuro alto   | Bonham, 1986                             |
| Baja sulfuración   |                        | Alta sulfuración   | Hedenquist, 1987                         |
| Adularia-sericita  |                        | Alunita-caolinita  | Berger and Henley, 1989                  |
|  | Sulfidación intermedia |  | Hedenquist et al., 2000                  |
|  |                        | Litocapa cuarzo-alunita estéril  | Sillitoe, 1995; Hedenquist et al., 2000  |

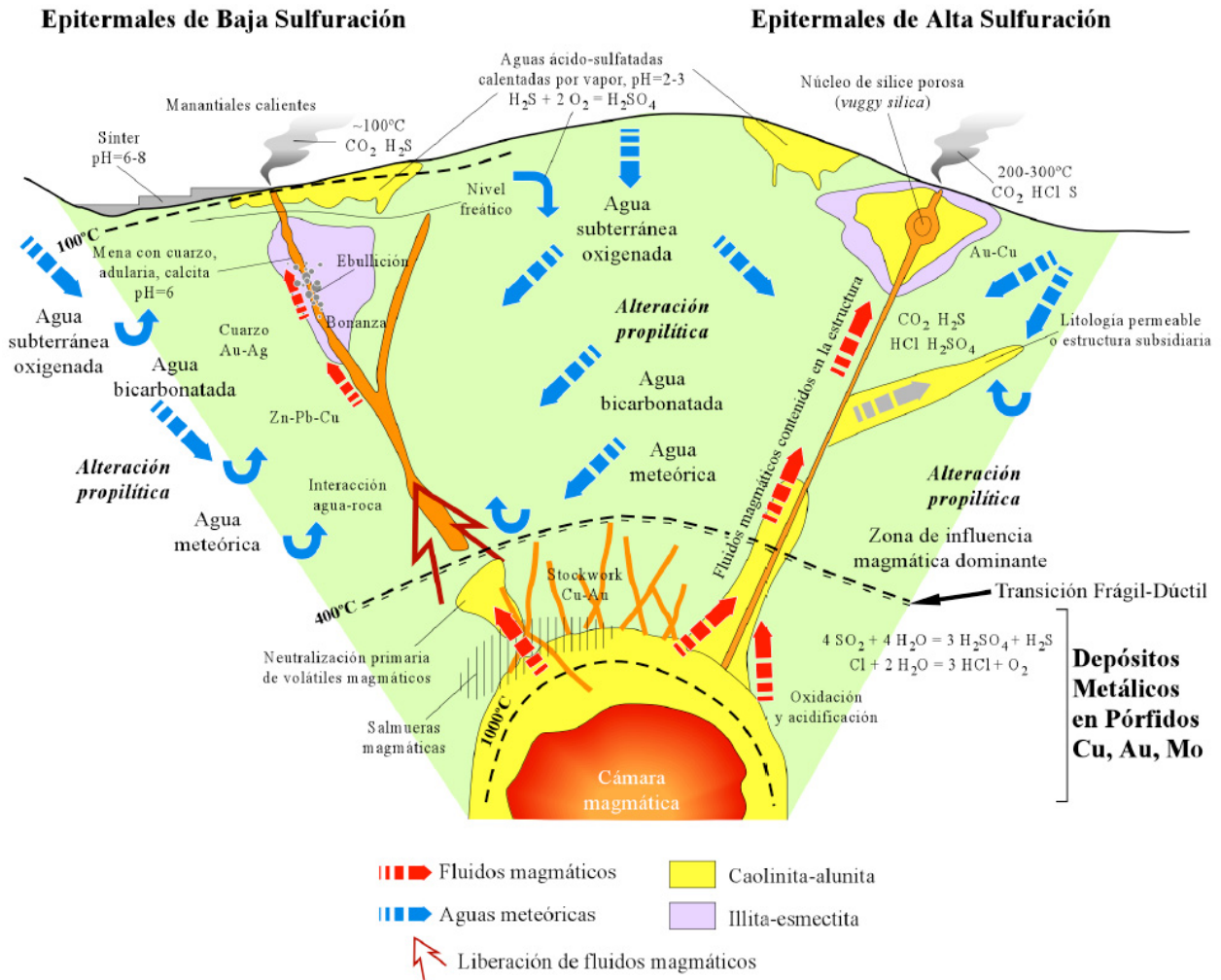
Camprubí y Albinson (2006) describen que recientemente se han redefinido los depósitos epitermales, introduciendo el término de “sulfuración intermedia” (Einaudi et al. 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003). Los depósitos del subtipo de sulfuración intermedia son estructuralmente muy similares a los de baja sulfuración, de hecho inicialmente fueron considerados como de baja sulfuración (Hedenquist et al., 2000), ya que ambos conforman el conjunto de epitermales alcalinos (Sillitoe, 1977), aunque las características geoquímicas de los fluidos mineralizantes asociados y de las mineralizaciones metálicas en sulfuración intermedia guardan una mayor afinidad con los depósitos de alta sulfuración (Einaudi et al., 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003). De esta manera, en la terminología más reciente, el término de “estado de sulfuración” se emplea en el sentido que le otorgó Barton (1970), de forma análoga al de estado de oxidación, donde el marco de referencia es la temperatura y la fugacidad de  $S_2$  y el  $O_2$  gas, respectivamente (Einaudi et al., 2003).

De esta manera, la nomenclatura más reciente incluye los términos alta sulfuración (AS), sulfuración intermedia (SI) y baja sulfuración (BS). A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos y en la tabla 2 se enlistan sus características, de acuerdo a los autores que las propusieron.

#### **2.4.1.1 Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración**

Aunque se forman a profundidades someras, los yacimientos de Alta Sulfuración (AS) tienen características que indican que el magmatismo estuvo involucrado en su formación (Figura 2). Los estados tempranos de estos depósitos están caracterizados por extensa lixiviación de la roca encajonante por fluidos con un  $pH < 2$  y una composición isotópica de O y H similar al vapor magmático, mezclado con agua meteórica. La lixiviación forma un núcleo de sílice residual poroso (mayor de 95 wt% de  $SiO_2$ ) que subsecuentemente podría almacenar mineralización de Au, Cu y sulfuros de Fe.

El estilo de mineralización de alta sulfuración comparte muchas características mineralógicas y de isótopos estables con la zona de alteración argílica avanzada que cubre a los depósitos de Cu porfíricos, hay una estrecha relación espacial entre éstos. Los sistemas de AS están formados por fluidos ácidos, oxidados y ricos en azufre. Estos fluidos son generados por la condensación de volátiles magmáticos ricos en  $SO_2$  (Heald et al., 1987), con la presencia variable de cantidades de agua meteórica. Los depósitos de AS contienen sulfuros con una proporción azufre/metal elevada, (por ejemplo enargita, luzonita, covellita) y presentan aureolas de alteración argílica avanzada, donde domina la alunita, pudiendo incluir pirofilita a niveles más profundos (Sillitoe, 1993).



**Figura 2.** Formación de los depósitos epitermales de baja y alta temperatura. Esquema (sin escala) de la estructura, procesos, tipos de alteración, volátiles liberados, temperaturas, pH, tipos de fluidos y reacciones involucradas. Se muestra la relación con las rocas magmáticas como fuente de calor, fluidos y componentes químicos para estos depósitos, comprendiendo desde una cámara magmática en proceso de enfriamiento, la formación de depósitos metálicos relacionados a pórfidos, hasta el ambiente epitermal. (Tomado de Camprubí et al. 2003)

#### 2.4.1.2 Depósitos Epitermales de Sulfuración Intermedia

De acuerdo a Sillitoe y Hedenquist (2003), los depósitos de sulfuración intermedia (SI) ocurren en un amplio rango de rocas de arco, andesíticas a dacíticas, pero comúnmente no muestran una conexión cercana con depósitos de pórfidos de Cu, como en los depósitos de alta sulfuración. La mayoría de los depósitos epitermales de Au y Ag de sulfuración intermedia aparecen en arcos de rocas andesítico-dacíticas calcoalcalinos, aunque las rocas más félsicas actúan como encajonante localmente. Sillitoe (1999) menciona que algunos de estos depósitos, típicamente los más pequeños, presentan asociadas litocapas con alteración argílica avanzada,

con o sin asociación a depósitos de alta sulfuración. En lo que respecta a los fluidos que forman a los depósitos epitermales de SI, la composición de los fluidos a partir de los cuales se formaron es también intermedia entre magmáticos y meteóricos (Albinson et al. 2001; Einaudi et al., 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003).

Según Albinson et al. (2001) los depósitos de sulfuración intermedia muestran un gran rango en su contenido metálico y características, desde Au/Ag y Ag-Au (relación Ag/Au ~50) con contenidos inferiores al 0.05% combinado de metales base, hasta depósitos de Ag como metal base. Las vetas de cuarzo son típicamente cristalinas (sic.) e incluyen silicatos y carbonatos de Mn, así como cantidades arriba del 10% de sulfuros (Sillitoe, 1993). Aunque aparece un amplio rango de sulfuros y sulfosales, éstos son dominados volumétricamente por esfalerita con bajo contenido de FeS, galena, tetraedrita-tennantita y calcopirita.

Albinson et al., (2001) mencionan que la Provincia Epitermal Mexicana presenta todas las variantes de sulfuración intermedia, incluyendo depósitos de metales preciosos: pequeños de Au-Ag; pequeños a grandes de Ag-Au (p.e. Tayoltita, Pachuca y Guanajuato); y depósitos de Ag ricos en metales base (p.e. Fresnillo). Como grupo, los depósitos mexicanos son los mejor caracterizados en cuanto a la composición de sus fluidos. También, muestran un incremento regular en la salinidad, particularmente en la salinidad máxima, con incremento del contenido de metales base y la relación Ag/Au. Aunque la mayoría de los depósitos tienen evidencia de baja salinidad (mínimo < 2 % wt% NaCl eq.).

#### **2.4.1.3 Depósitos Epitermales de Baja Sulfuración**

Los fluidos de los sistemas de Baja Sulfuración (BS) son pobres en azufre y reducidos, con un pH cercano al neutral, semejantes a las aguas que se extraen de sondeos realizados bajo fuentes termales de los sistemas geotérmicos. Presentan además una menor contribución magmática (Sillitoe, 1993).

Según Hedenquist y Lowenstern (1994) en contraste a los pórfidos y depósitos de AS, la firma magmática en los depósitos de BS es menos visible. Las concentraciones de Cu no ocurren, presumiblemente porque la baja salinidad y el pH cercano al neutro y escasez de fluidos, no propician el eficiente transporte del cobre. En general los depósitos de BS se forman distantes de la fuente de calor magmático (Fig. 2). Aunque existe una variedad de clasificaciones, se puede habilitar una basándose en los elementos metálicos que aparecen y que parecen reflejar diferencias geoquímicas intrínsecas.



Un primer grupo son los depósitos ricos en Au (con una relación Ag/Au de 1/10 a 10/1 y sólo trazas de metales base). Estos depósitos están asociados a baja salinidad pero fluidos ricos en gases (<1 a 2 wt.% NaCl eq. y >4 wt.% de gases, principalmente CO<sub>2</sub> con H<sub>2</sub>S). Un segundo grupo son los depósitos ricos en plata (con Ag/Au >100/1) con cantidades económicas de Zn y Pb. Estos depósitos están asociados con fluidos más salinos (10-15 wt. % de NaCl eq.).

La diferencia en la salinidad es importante para la capacidad de transporte de los fluidos, como el Au es transportado como un bisulfuro compuesto mientras que la Ag, Zn y quizá el Pb son dependientes para transportarse de los complejos de cloro en este medio ambiente reducido. Los fluidos de baja salinidad de depósitos epitermales ricos en Au, son muy similares a los fluidos de la mayoría de los sistemas geotermales activos, mientras que hay sistemas geotermales no salinos en un medio ambiente tectónico similar a los depósitos epitermales ricos en Ag y metales base.

Los depósitos de BS contienen una paragénesis de sulfuros que sugieren un estado de baja sulfuración en asociación con alteración sericitica, argílica intermedia y de forma más rara alteración clorítica. Las características principales de los 3 tipos de yacimientos epitermales se desglosan en la Tabla No. 2.

Tabla No. 2 Características generales de los yacimientos epitermales. Tomado de Sillitoe y Hedenquist, 2003. Otros ejemplos en el mundo \*, fueron obtenidos de Camprubí y Albinson, 2006.

|  | ALTA SULFURACIÓN (AS)  |   | SULFURACIÓN INTERMEDIA (SI)                                    | BAJA SULFURACIÓN (BS)           |  |
|--|--|---|--|---------------------------------|--|
|  | Magma oxidado  | Magma reducido                                    |  | Magma subalcalino               | Magma alcalino   |
| <b>Ejemplo Tipo</b>                                | Veta: El Indio, Chile<br>Diseminado: Yanacocha, Perú                   | Potosí, Bolivia                                   | Rico en Au: Baguio, Filipinas<br>Rico en Ag: Fresnillo, México | Midas, Nevada                   | Emperor, Fiji  |
| <b>Rocas volcánicas relacionadas genéticamente</b> | Principalmente andesita a riodacita                                    | Riodacita   | Principalmente andesita a riodacita, localmente riolita        | Basalto a riolita               | Basalto alcalino a traquita                            |
| <b>Minerales clave de alteración proximal</b>      | Cuarzo-alunita/APS; cuarzo-pirofilita/dickita en profundidad           | Cuarzo-alunita/APS; cuarzo-dickita en profundidad | Sericita, adularia poco común                                  | Illita/smetita-adularia         | Roscoelita-illita-adularia                             |
| <b>Ganga de sílice</b>                             | Silicificación masiva de grano fino y cuarzo residual oqueroso (vuggy) |   | Cuarzo crustiforme rellenando vetas y en peine                 | Cuarzo calcedonia crustiforme y | Cuarzo y calcedonia crustiforme y coloforne rellenando |

|  | ALTA SULFURACIÓN (AS)  |                          | SULFURACIÓN INTERMEDIA (SI)   | BAJA SULFURACIÓN (BS)   |  |
|--|--|--------------------------|---|---|--|
|  | Magma oxidado  | Magma reducido           |   | Magma subalcalino   | Magma alcalino   |
|  |  |                          |   | coloforme rellenando vetas; textura de reemplazamiento de carbonatos  | vetas; cuarzo escaso en fases tempranas  |
| Ganga de carbonatos                      | Ausente  |                          | Común, típicamente incluye variedades de Mn   | Presente, pero típicamente tardía y escasa  | Abundante, pero no de Mn   |
| Otros minerales de ganga                 | Barita común, típicamente tardía   |                          | Barita y silicatos de Mn presentes localmente   | Barita poco común, fluorita localmente  | Barita, celestita y/o fluorita común localmente  |
| Abundancia de sulfuros                   | 10-90 % vol.   |                          | 5->20 % vol.  | Típicamente <1-2 % vol. (hasta 20 % vol. encajonado en basaltos)  | 2-10 % vol.  |
| Especie de Sulfuros clave                | Enargita, luzonita, famatinita, covellita  | Acantita, estibinita     | Esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita   | Escasa a muy escasa arsenopirita ± pirrotita; escasa esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita  |  |
| Metales principales                      | Au-Ag, Cu, As-Sb   | Ag, Sb, Sn               | Ag-Au, Zn, Pb, Cu   | Au ± Ag   |  |
| Metales menores                          | Zn, Pb, Bi, W, Mo, Sn, Hg  | Bi, W                    | Mo, As, Sb  | Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg  |  |
| Especies de Te y Se                      | Telurosos comunes, localmente seleniuros   | Desconocido, pocos datos | Telurosos comunes localmente; seleniuros poco comunes   | Seleniuros comunes; localmente telurosos  | Telurosos abundantes, seleniuros poco comunes  |
| Ejemplos en el mundo *                   | <p>Potosí, Bolivia, (Steele, 1996; Sillitoe et al., 1998)</p> <p>Summitville, E.U.A. (Stoffregen, 1987)</p> <p>El Indio, Chile (Jannas et al., 1990, 1999)</p> <p>Pueblo Viejo, Rep. Dominicana (Russell y Kesler, 1991)</p> <p>Lepanto, Filipinas (Hedenquist et al., 1998)</p> <p>Yanacocha, Perú (Harvey et al., 1999)</p> <p>Srednogorie, Bulgaria (Bonev et al., 2002; Strashimirov et al., 2002)</p> <p>Mulatos y El Sauzal, México (Gray, 2001; Staude, 2001)</p> |                          | <p>Creede y Comstock Lode, E.U.A. (Hayba et al., 1985; Plumlee y Rye, 1986; Vikre, 1989)</p> <p>Baguio, Filipinas (Cooke et al., 1996)</p> <p>Kelian, Indonesia (Van Leeuwen et al., 1990)</p> <p>Arcata, Perú (Ericksen y Cunningham, 1993)</p> <p>Pachuca-Real del Monte, Fresnillo, Tayoltita y Temascaltepec, México (Geyne et al., 1963; Gemmell et al., 1988; Ruvalcaba-Ruiz y Thompson, 1988; Simmons et al., 1988; Simmons, 1991; Camprubí et al., 2001a,b; Enriquez y Rivera, 2001a,b)</p> | <p>Sleeper, Round Mountain y McLaughlin, E.U.A. (Sander y Einaudi, 1990; Sherlock et al., 1995)</p> <p>Waihi, Nueva Zelanda (Brathwaite y Faure, 2002)</p> <p>Hishikari, Japón (Izawa et al., 1990)</p> | <p>Cripple Creek, E.U.A. (Thompson et al., 1985)</p> <p>Emperor, Fiji (Ahmad et al., 1987; Anderson y Eaton, 1990; Kwak, 1990)</p> <p>Porgera y Ladolam, Papúa-Nueva Guinea (Richards, 1992, 1995; Richards y Kerrich, 1993; Richards et al., 1997)</p> <p>Antamok-Acupan, Filipinas (Cooke y Bloom, 1990; Cooke et al., 1996)</p> |
| APS = minerales aluminio-fosfato-sulfato |  |                          |   |   |  |

## 2.4.2 Ambiente Tectónico

De acuerdo con Hedenquist et al. (1996), los yacimientos epitermales de oro se encuentran principalmente en arcos volcano-plutónicos (arcos de islas y arcos continentales) asociados a zonas de subducción), generalmente en el lado posterior del arco y hasta unos 100 km de distancia del frente volcánico activo. En varios arcos, el magmatismo originado por la subducción y la actividad hidrotermal asociada tiende a desplazarse con el tiempo hacia la trinchera, y la actividad hidrotermal y las mineralizaciones comienzan aproximadamente 0.5 M.a. después de que inicien su actividad los centros volcánicos. También menciona que los yacimientos de oro encajonan principalmente en rocas volcánicas, en sedimentos volcanogénicos contemporáneos y ocasionalmente en las rocas del basamento (p.e. Baguio, Hishikari, y Porgera). Aunque las rocas ígneas asociadas son generalmente volcánicas subaéreas calcoalcalinas, de composición andesítica-dacítica-riolítica, también se pueden encontrar en rocas ígneas alcalinas y shoshoníticas de arcos maduros (corteza > 20 km), arcos intraoceánicos (p.e. Ladolam y Emperor) y ambientes continentales (p.e. Cripple Creek).

Asimismo, Sillitoe (1989) menciona que las mineralizaciones epitermales algunas veces van asociadas con los depósitos de tipo pórfido de Cu (Au), tales como Lepanto y Baguio en Filipinas y Ladolam en Papua Nueva Guinea.

Sillitoe (1994) describe que los más importantes yacimientos epitermales de oro del Pacífico occidental (Fig. 3) se han formado en el Mioceno Tardío, Plioceno y Cuaternario. Las edades de los yacimientos del oeste de América y el Caribe van desde principios del Cretácico hasta finales del Mioceno (119–9 M.a.). Esta correlación refleja la diferente velocidad de erosión entre los arcos de islas (grado de erosión mayor por el rápido levantamiento y la gran pluviosidad) y los arcos continentales (grado de erosión menor en ambientes continentales), excepto cuando se produce el hundimiento de una parte del edificio volcánico.

### 2.4.3 Controles Geométricos

Los depósitos epitermales son morfológicamente variables, debido a la baja presión y las condiciones hidrostáticas bajo las que se formaron. Mucha de su variabilidad geométrica se puede atribuir a los efectos de las diferentes permeabilidades de las rocas encajonantes. La permeabilidad de la roca controla la ocurrencia del flujo de los fluidos y esto a su vez influye en el depósito de los metales preciosos (léase ebullición o mezcla; p.e. Henley, 1985). La permeabilidad de la roca puede ser ocasionada por condiciones estructurales, hidrotermales y/o litológicas (Sillitoe, 1993).

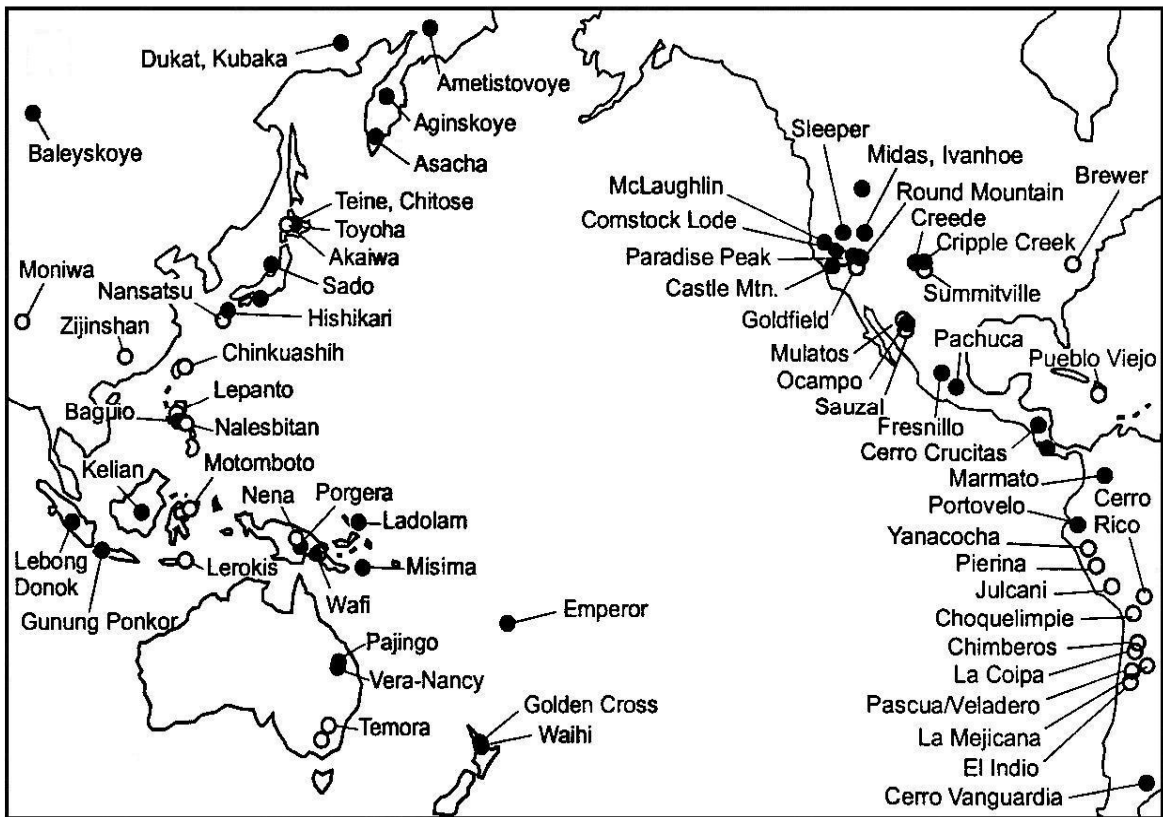


Figura 3. Distribución de los depósitos epitermales de oro en el Circum-Pacífico (tomado de Hendsquist et al., 1996). Los círculos negros representan yacimientos de baja sulfuración y los blancos a yacimientos de alta sulfuración.

#### **2.4.3.1 Control Estructural**

Los conductos principales de los fluidos en el ambiente epitermal se asocian a fallas laterales, oblicuas, normales y de fuerte inclinación, que presentan desplazamientos menores a 1 km. La mineralización epitermal está confinada a sitios extensionales o transtensionales, con saltos de falla por dilatación o cinturones de relajamiento sobre la zona de las fallas a rumbo, lo que genera sitios favorables para la depositación (Sibson, 1987, en Sillitoe, 1993).

Según Sillitoe (1993) los yacimientos epitermales manifestados en fallas alimentadoras normalmente dan lugar a depósitos de veta convencionales. De esta manera, prolongados períodos de dilatación y mineralización podrían resultar en vetas de varias decenas de metros de espesor (Fig. 4), como ocurrió en Pajingo, Australia (Porter, 1988) y El Umuna Lode, Papua Nueva Guinea (Clarke et al., 1990), o en vetas y vetillos con ramaleos brazos subparalelos como en Wahhi, Nueva Zelanda, (Brathwaite y McKay, 1989) y McLaughlin, U.S.A (Lehrman, 1986). También se forman sistemas complejos de vetas conjugadas y stockwork asociados, que tal vez se desarrollaron sobre zonas de fallas laterales, especialmente en litologías frágiles, como ocurre en el Mezquite, California (Tosdal et al., 1991). Otra posibilidad son stockworks de gran tonelaje desarrollados en el bloque del alto en fallas normales, especialmente en litologías frágiles, como ocurre en Bellavista, Costa Rica (Alán et al., 1992). Un marcado contraste en las litologías de una secuencia estratigráfica puede propiciar el desarrollo de vetas, cuya ley puede incrementarse cuando cortan las rocas más frágiles, como ocurre en Thames, Nueva Zelanda (Merchant, 1986). La presencia de fallas normales que delimitan calderas o diatremas también son rasgos estructurales a favor de los que se pueden desarrollar depósitos epitermales (Sillitoe y Bonham, 1984). Las intersecciones entre grandes fallas normales y fracturas anulares de diatremas son particularmente favorables para la depositación de oro, como ocurre en el distrito Baguio, (Damasco y De Guzmán, 1977) y en Lepanto, (Sillitoe, 1983), ambos en Filipinas. Fallas de gravedad de bajo ángulo, adelante o atrás de fallas anulares en parte controlan la depositación del oro en los yacimientos de Emperor, en las islas Fiji (Anderson y Eaton, 1990) y Wau, en Papua Nueva Guinea (Sillitoe et al., 1984).

#### **2.4.3.2 Control Hidrotermal**

Según Sillitoe (1993) la mayoría del fallamiento que ocurre contemporáneamente a la mineralización, genera permeabilidad estructural, producida por una sobre presurización de los fluidos (Sibson, 1987). No obstante, la permeabilidad inducida hidrotermalmente es también

creada por la fragmentación de la roca fuera de la falla y por la lixiviación de la roca. La fragmentación en un domo de dacita porfídica propició la formación de un stockwork hidrotermal con depositación de oro en Kori Kollo, Bolivia (Anzoleaga, 1988); asimismo, este mismo control se ha observado en una irregular y gruesa chimenea hidrotermal brechada que encajona un depósito de oro de AS en Paradise Peak, Nevada (John et al., 1991), en Choquelimpie (Gröpper et al., 1991) y Tambo (Siddeley y Araneda, 1986) en Chile.

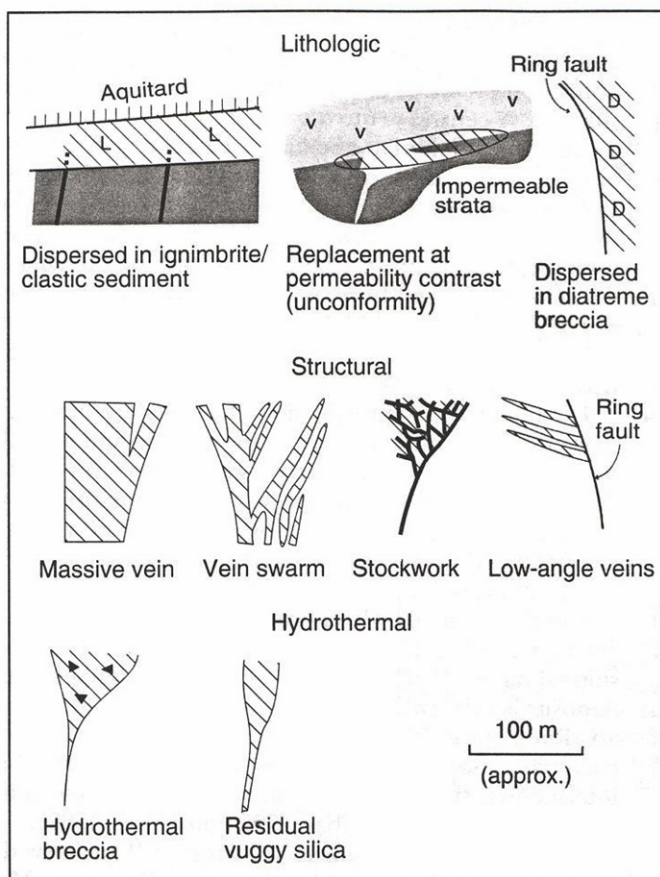


Figura 4. Estilos selectos y geometría de depósitos hidrotermales para lustrar la influencia estructural, hidrotermal y permeabilidad litológica. (Tomado de Sillitoe, 1993)

La lixiviación extrema bajo condiciones ácidas es característica de los sistemas de AS, da lugar a una reducción del volumen de la roca y a la generación de sílice oquerosa residual, que presenta la clásica textura porosa y escoriácea. La permeabilidad causada por la formación de un depósito de sílice residual controla el subsecuente tránsito de fluidos y el depósito de metales preciosos (p.e. Stoffregen, 1987; Hedenquist et al., 2000). En contraste, la transformación de la roca a ópalo o calcedonia masivos, reduce la permeabilidad y puede

provocar el consiguiente brechamiento hidrotermal si los conductos por los que circulan los fluidos son sellados y el sistema de sobrepresuriza. La ebullición inducida por este brechamiento y la consiguiente descompresión del sistema es un mecanismo que se ha invocado repetidamente como causante de la depositación de metales preciosos, (p.e. Hendsquist y Henley, 1985). Cuando los fluidos hidrotermales ácidos, entran en contacto con una roca calcárea, ocurre una descalcificación con un consecuente incremento en la permeabilidad de la roca. Un ejemplo lo encontramos en el depósito de El Hueso, Chile, en donde la componente calcárea de una arenisca fue disuelta aumentando considerablemente la porosidad de la roca y, por tanto, favoreciendo la depositación de oro en un ambiente de AS (Sillitoe, 1993).

#### **2.4.3.3 Control litológico**

Sillitoe (1993) describe que la permeabilidad litológica controla el emplazamiento de diversos cuerpos mineralizados de gran tamaño y estratiformes, especialmente en las partes someras de los sistemas epitermales. Los sedimentos porosos, fluviales o lacustres (comúnmente volcanoclásticos), que son depositados inmediatamente o durante el periodo de mineralización, están pobremente litificados en el momento de la circulación hidrotermal, por lo que pueden llegar a constituir yacimientos diseminados en muchos casos (Fig. 4). El oro está presente en conglomerados y areniscas en Grassy Mountain, Oregon (Rytuba y Vander Meulen, 1991) y en sedimentos lacustres de grano fino como en Rawhide, Nevada (Black et al., 1991).

Las rocas piroclásticas poco litificadas proveen permeabilidad entre sus estratos. Los yacimientos suelen estar encajonados en ignimbritas no soldadas y ricas en pumicita, como ocurre en Round Mountain, Nevada (Sander, 1988), en tobas alrededor de domos riolíticos como en Quartz Mountain, Oregon (Sawlan et al., 1991) y brechas tobáceas freatomagmáticas en una diatrema (Fig. 4), como en Montana Tunnels, Montana (Sillitoe et al., 1985).

Muchos depósitos se forman por debajo de capas con reducida permeabilidad (ver aquitardos, Fig. 4). El aquitardo de Round Mountain está en una ignimbrita densamente soldada, la cual es rica en oro sólo donde se encuentra bien fracturada (Sander, 1988). En Delamar, Idaho un vitrófido con alteración arcillosa retardó el avance hacia arriba de los fluidos mineralizantes y esto propició la depositación de plata-oro de alta ley en el domo riolítico inmediatamente subyacente (Halsor et al., 1988). También la formación de yacimientos puede estar controlada por contactos, comúnmente inconformidades regionales, entre menos estratos permeables abajo y más secuencias permeables arriba (Fig. 4). En este caso se encuentran

muchos de los yacimientos de AS de oro-plata, como la Coipa, y prospectos en el norte de Chile, en los cuales la mineralización se presenta en el contacto de rocas sedimentarias de grano fino cubiertas por volcánicas más jóvenes (Oviedo et al., 1991; Sillitoe, 1991), e igual sucede en las partes de más alta ley de oro, de Hishikari, Japón. (Izawa, et al., 1990).

Por otra parte, aún la composición de la roca encajonante puede ser un factor determinante en la depositación de metales preciosos. Por ejemplo, la sulfuración de minerales ricos en hierro es propicia para la precipitación diseminada de oro, como sucede en Wenatchee, Washington (Margolis, 1989) y Pueblo Viejo, República Dominicana (Muntean et al., 1990).

#### **2.4.4 Características Superficiales**

La parte superficial de los sistemas epitermales, entre 50 y 100 metros de la paleosuperficie, generalmente son estériles en metales preciosos, aunque es común encontrar concentraciones de sulfuros nativos y mercurio. Sin embargo hay excepciones como en el caso de McLaughlin, California, donde la mena de oro se observaba en la paleosuperficie (Lehrman, 1986 y Nelson, 1988).

De acuerdo a Sillitoe (1993) los atributos superficiales de los sistemas epitermales se dividen en zonas de lixiviación ácida y los sinters.

##### **2.4.4.1 Zonas de lixiviación ácida**

Sillitoe (1993) describe que la ebullición de fluidos ascendentes en sistemas epitermales da lugar a la formación de vapor con  $H_2S$ , que conforme asciende se condensa y enfría. La oxidación del  $H_2S$  a sulfato ocurre en la zona vadosa, por arriba del nivel freático (Fig. 5). Los resultantes fluidos ácidos calentados por el vapor originan una alteración argílica avanzada en la roca encajonante, que se caracteriza por su textura porosa, en ocasiones denominada “roca esponja”. Los minerales típicos de esta zona son ópalo CT, cristobalita, tridimita, alunita, caolinita y algunos sulfatos como yeso y halotriquita. La roca formada por un sólo mineral, denominada cristobalita es el producto final de una intensa lixiviación, como describe White et al. (1964) que ocurre en el tajo de Sílice en Steamboat Springs, Nevada. Adicionalmente se presentan en cantidades variables minerales hipogénicos como marcasita, pirita, hematita, azufre nativo y cinabrio.



El mercurio ha sido explotado localmente de las rocas con lixiviación ácida, como en el caso del depósito de Paradise Peak, Nevada (John et al., 1991). Las zonas de lixiviación ácida que recubren los sistemas de AS y BS son similares, aunque los de alta sulfuración tienden a concentrar mayores cantidades de azufre nativo y posiblemente alunita.

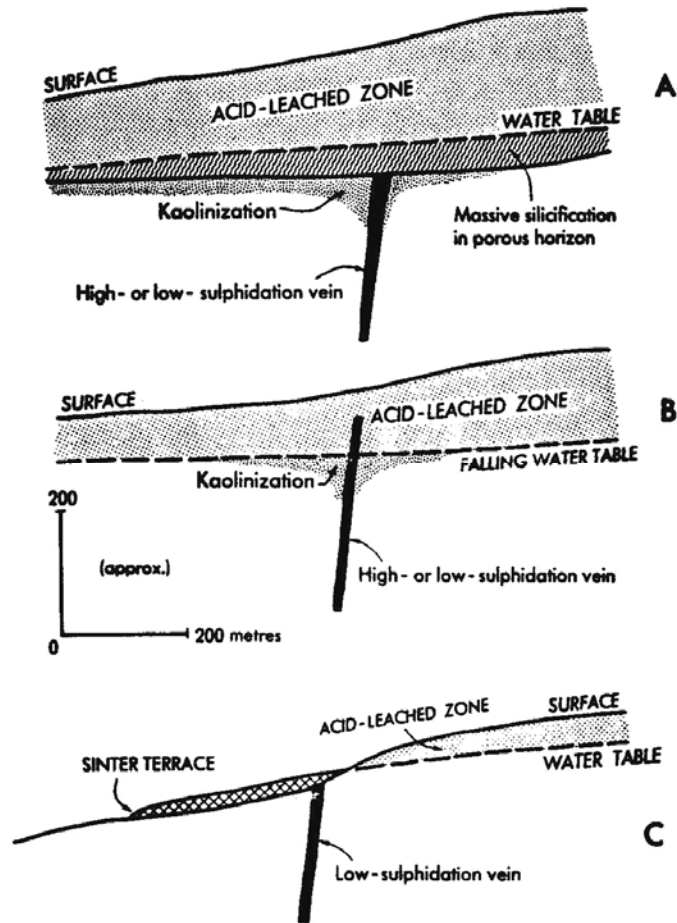


Figura 5. Manifestaciones someras de un sistema epitermal. En el caso A, cuando el nivel freático está controlado por un horizonte poroso (el cual puede estar silicificado). En B, con un nivel freático fallado durante la mineralización. En C, cuando el nivel freático intersecta la superficie en una depresión topográfica, lo que origina un manantial de agua caliente y la acumulación de un sinter (Figura tomada de Sillitoe, 1993).

El espesor de las zonas de lixiviación es mayor cuando el paleonivel freático era más profundo, como en regiones áridas y/o debajo de altos topográficos, como estratovolcanes. Las zonas estratiformes silicificadas de 50 m ó más de potencia, subyacen a zonas de lixiviación ácida desarrolladas en la parte más alta de sistemas de AS y BS, especialmente si se tiene una

roca muy permeable, como es el caso de piroclásticas o volcanoclásticas (Fig. 5A) (cf. Bonham, 1986,1988). La silicificación es normalmente masiva y densa, pudiendo incorporar brechas hidrotermales cementadas por sílice. Esta toma la forma de ópalo (opalita) y/o calcedonia, dependiendo de la temperatura de formación y del grado de envejecimiento. La marcasita y la pirita son minerales accesorios comunes, y el cinabrio esté presente localmente, como ocurre en Hollister, Nevada (Bartlett et al., 1991). Las concentraciones de metal en estos sitios no alcanzan valores económicos y se ubican en la parte más baja del horizonte. De esta manera el horizonte silicificado se cree que se genera en el paleonivel freático (Fig. 5A). El horizonte silicificado desprovisto de su zona lixiviada sobreyacente (p.e. Albinson, 1988) es comúnmente llamado “sílica caps”.

El proceso responsable para la silicificación dentro e inmediatamente debajo del nivel freático está a la fecha poco entendido. En los sistemas de BS se piensa que se forman por la combinación de precipitación de sílice inducida por el enfriamiento de fluidos ascendentes (casi neutros), posiblemente ayudados por la mezcla con aguas más frías (acuíferos o descendentes) y la removilización, hacia abajo, de sílice de bajo pH condensado en la zona lixiviada sobreyacente. Este último proceso puede ser un importante medio de silicificación en los sistemas de AS donde la precipitación de sílice por enfriamiento tiende a ser inhibida por las condiciones de bajo pH (Fournier,1985), a menos que los fluidos ácidos ascendentes sean neutralizados por la mezcla con el contenido del acuífero (p.e. Pueblo Viejo, Dominican Republic: Muntean et al., 1990). Los horizontes silicificados resultantes de la removilización del sílice durante la lixiviación ácida del nivel freático superior, tiende a ser más de ópalo que de calcedonia, debido a las condiciones de baja temperatura prevalecientes.

#### **2.4.4.2 Sinters**

Sillitoe (1993) menciona que lo más distintivo de la paleosuperficie de un sistema de baja sulfuración es el sinter, el cual suele estar formado por terrazas laminadas finas de sílice amorfa alrededor de un manantial de pH neutro. Estos depósitos laminares se pueden extender en la dirección del drenaje por varios cientos de metros. Los sinters se forman donde el fluido hidrotermal descarga directamente sobre la superficie terrestre y la sílice precipita, p.e. donde el nivel freático intersecta la superficie en valles o cuencas; de esta forma pueden generar lateralmente zonas de lixiviación ácida (Fig. 5C). Los sinters se reconocen por su textura laminar única, sus cavidades irregulares y elongadas paralelamente a la burda laminación, así como sus estructuras columnares, perpendiculares a la laminación. Comúnmente se pueden preservar fósiles de algas y partes de otros tipos de plantas, aún en sinters paleozoicos

(Cunneen y Sillitoe, 1989; White et al., 1989). No se han reconocido sinters por encima de sistemas de AS, esto se atribuye a que el bajo pH de los fluidos inhibe la precipitación de sílice (Fournier, 1985); manantiales ácidos activos con pH menor a 4, en ambos sistemas, alta y baja sulfuración, no tienen asociado sinter.

Los sinters silícicos están compuestos de ópalo, tridimita y/o calcedonia, dependiendo de la temperatura y la edad (p.e. grado de diagénesis) y regularmente no contiene valores de metales preciosos. No obstante se conocen localidades de sinters con anomalías altas y aún con leyes minables de metales preciosos (p.e. Broadlands en Nueva Zelanda, Weissberg et al., 1979). Pueden contener valores minables de cinabrio, como sucede en McLaughlin, California y Buckskin Mountain, Nevada. Los sinters son productos subaéreos que, en lagunas someras, pueden presentar estructuras sedimentarias del tipo grietas de desecación poligonales, formadas durante la desecación del gel (p.e. Buckskin Mountain, Nevada; Vikre, 1985). La precipitación de sílice de fluidos hidrotermales que se descargan en aguas profundas de lagos o ríos puede producir un pedernal estratiforme, denso y finamente laminado. Esta clase de sinter se forma por lo común en lagos efímeros de mares o cráter de erupción hidrotermal. Este pedernal hidrotermal puede ser rico en sulfuros de hierro y normalmente no contiene metales preciosos, a no ser que haya sido afectado posteriormente por alguna pulsación tardía mineralizante (Sillitoe, 1993; Hedenquist et al., 2000).

Sillitoe (1993) menciona que la acumulación de un sinter en valles y otras depresiones topográficas, puede causar que se diluya o incluso que sea borrada por la sedimentación. En consecuencia pueden presentarse sedimentos clásticos silicificados interestratificados con el sinter y los sedimentos pueden contener clastos del sinter (p.e. los depósitos de oro Modoc, California: Hillemeier et al., 1991 y campo volcánico Lake Owyhee, Oregon: Rytuba y Vander Meulen, 1991). El sinter también puede estar interestratificado localmente con brechas de erupción hidrotermal que acarrearon clastos de sinter como se observa en McLaughlin, California (Lehrman, 1986). La brecha de erupción hidrotermal es polimíctica, rica en material de matriz y contiene clastos de pedernal y /o sinter.

Se ha de ser muy cuidadoso a la hora de identificar un depósito de sílice laminar como sinter. Criterios como la presencia de estructuras verticales, formadas por el crecimiento de las algas, como la presencia de estructuras sedimentarias como grietas de desecación (mud-cracks) son esenciales para la correcta identificación de esta estructura. La presencia de un sinter verdadero prueba que el sistema es de baja sulfuración, la reconstrucción de la posición de la paleosuperficie y lo más contundente sería encontrar el canal de flujo principal de los fluidos ebullicionantes ( Hedenquist et al., 2000).

### 3. MARCO GEOLÓGICO

#### 3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

En la región del estado de Querétaro en la que se encuentra la mina de San Martín, convergen tres provincias geológicas: La Mesa Central, la Sierra Madre Oriental y el Eje Volcánico Transmexicano. Por esta circunstancia afloran desde rocas metamórficas del Triásico ó Paleozoico (?), rocas sedimentarias marinas del Jurásico y Cretácico, rocas volcánicas e intrusivas del Terciario, hasta rocas volcánicas del Cuaternario.

A continuación se hace una descripción, de las unidades litológicas que han sido definidas en la región por diferentes autores en trabajos de investigación previos.

##### 3.1.1 Formación Chilar

Seegerstrom (1961a) menciona que las rocas más antiguas que afloran en el área Bernal-Jalpan consisten de esquistos, que contienen lentes de cuarcita de hasta 1 m de largo, interestratificados con capas de hasta 1.5 m de espesor de una cuarcita de color gris oscuro. Esta unidad metamórfica presenta planos de foliación ondulante y aflora en más de 2 km a lo largo del río Tolimán, en la vecinidad del poblado El Chilar, a 5 km al noreste de la población de Tolimán y a 30 km al NW de la mina San Martín. El mismo autor propone que como en estas rocas metamórficas no se encontraron fósiles no pueden ser mas jóvenes que Jurásico Medio y, quizás, podrían ser paleozoicas.

López-Ramos (1982) describe la misma unidad metamórfica a 7 km al NE de Tolimán, Qro. y menciona que en el centro del anticlinal Chilar afloran filitas, argilitas, arcosas y grauvacas muy plegadas, que estratigráficamente subyacen discordantemente a la Formación Trancas que aflora ampliamente en esta misma localidad y propone el nombre de Formación Chilar para denominarlas. En cuanto a su edad infiere que posiblemente se traten de rocas Triásicas o aún más antiguas.

##### 3.1.2 Formación Trancas

Esta formación fue definida por Seegerstrom (1956) debido a que su localidad tipo se encuentra en el Puerto de las Trancas, en el Estado de Hidalgo cerca del kilómetro 217 de la carretera México-Laredo, al noreste de Zimapán. En el Estado de Querétaro las mayores

extensiones de esta unidad aparecen al norte de la mina San Martín, en los municipios de Tolimán, Cadereyta, Peña Miller y San Joaquín.

La Formación Las Trancas no aflora en el área de la mina San Martín. Sin embargo, fue reconocida por Segerstrom (1961a) en los alrededores de la población de Bernal, ubicada a sólo 5 km al norte de esta mina, donde presenta en su base un lente de caliza roja de 2 a 3 m de espesor, seguido de 100 a 200 m de lutitas rojas filitizadas con intercalaciones de capas bentónicas de grano grueso, de hasta 30 cm de espesor y de color variable entre gris, verde y púrpura. Trabajos más recientes, como el de Suter (1987), proponen que ésta formación es volcánico-sedimentaria y que es la unidad más antigua expuesta en el anticlinal de El Chilar, a 20 km al N30°E de la mina San Martín. Según los mismos autores esta formación está constituida por rocas clásticas y piroclásticas, intercaladas con lavas andesítico-dacíticas y en menor proporción caliza (Carrillo y Suter, 1982; Chauve et al., 1985).

Segerstrom (1961a) en base a amonites del género *Paradontoceras* la asignan al Portlandiano medio y superior. Sin embargo Carrillo y Suter (1982) le han asignado una edad del Kimmerigiano al Barremiano por fósiles que ellos colectaron en estos sedimentos. En cuanto a su posición estratigráfica, subyace en discordancia angular a las calizas de la Formación El Doctor.

### **3.1.3 Formación El Doctor**

La Formación El Doctor fue denominada así, debido a que su localidad tipo se encuentra en la rancharía El Doctor, Qro. ubicada a 43 km al NE de la mina San Martín. Wilson et al., (1955) definieron cuatro facies en la localidad tipo de esta formación: La facies Cerro Ladrón constituida de calizas masivas arrecifales que ocupa la parte central del bioherma. La facies Socavón depositada del lado prearrecifal consiste de calizas clásticas constituidas por calcarenita y conglomerado calcáreo de estratificación gruesa. La facies San Joaquín se compone de caliza de cuenca color gris oscuro de estratificación gruesa con nódulos de pedernal negro. La facies La Negra compuesta de caliza de estratificación delgada con lentes de pedernal negro y láminas de lutita que se depositaron en la parte profunda de la zona nerítica.

Segerstrom (1961a) asigna la Formación El Doctor al Albiano Medio-Cenomaniano inferior, en base a las edades determinadas a partir de abundantes macro y microfósiles. De acuerdo a la cartografía geológica elaborada por los geólogos de la mina de San Martín, esta formación no aflora en la mina San Martín, pero sí, en el flanco noreste del Cerro San Martín y a

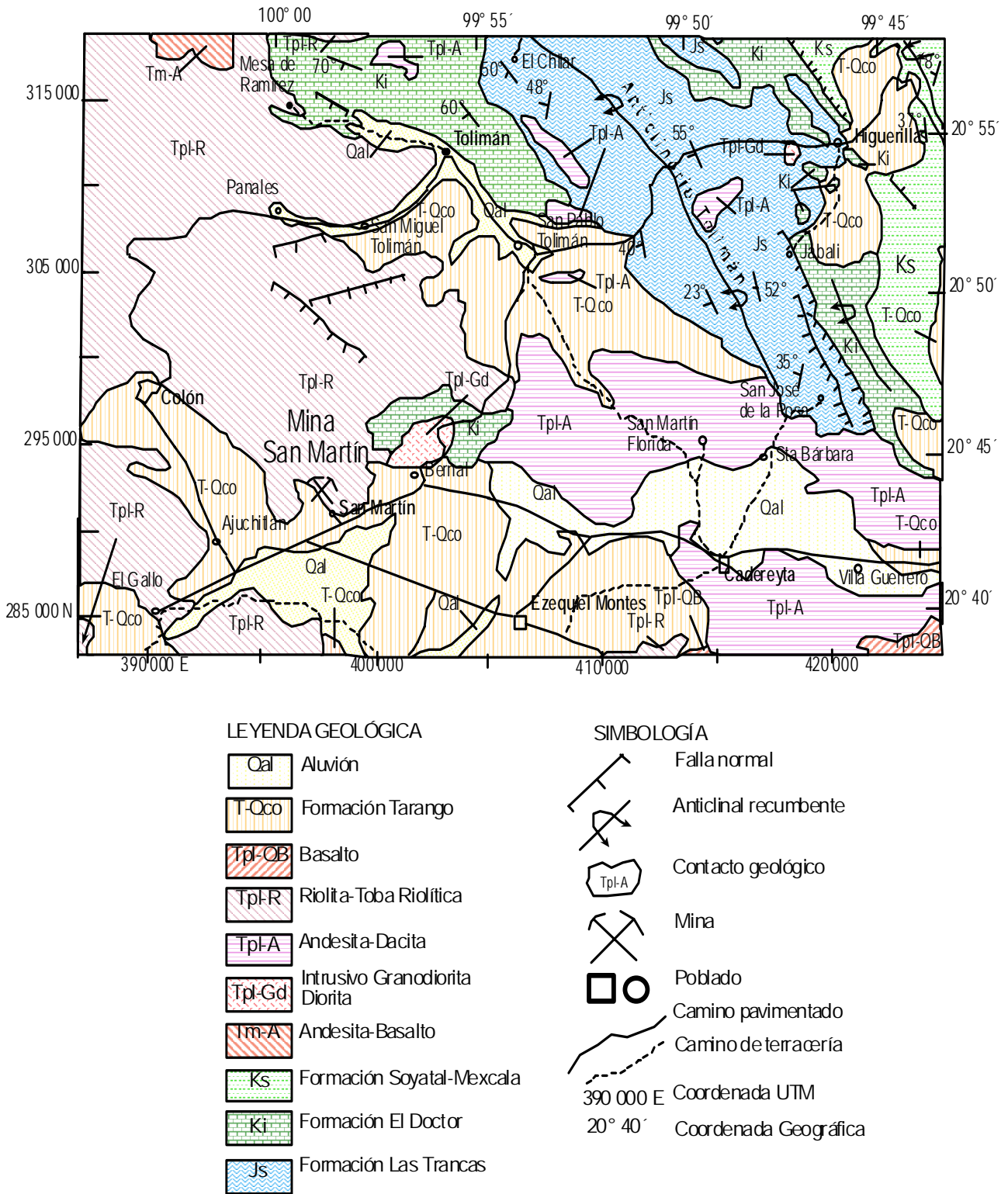
5 km al norte, en los alrededores del intrusivo conocido como Pico de Bernal, aunque no en contacto con él. Burk (1993) en esta última área la describe sobreyaciendo en discordancia angular a la Formación Las Trancas. Los primeros 2 metros de la base de la formación consisten en una caliza micrítica brechoide conteniendo pequeños fragmentos de pedernal negro, aunque la mayor parte de los afloramientos presentan calizas cristalinas grises en capas de entre 10 a 30 cm de espesor. En la porción baja de la formación, los estratos de calizas presentan intercalaciones de lutitas calcáreas y capas discontinuas de pedernal. Las calizas de la Formación El Doctor subyacen de manera transicional a la Formación Soyatal-Mexcala.

### 3.1.4 Formación Soyatal – Mexcala

En esta región del estado de Querétaro donde se encuentra la mina San Martín, los trabajos de geología regional de Segerstrom (1961a), la cartografía elaborada por el Consejo de Recursos Minerales (2000) (Fig. 6 y 7) y aún los geólogos de la mina San Martín manejan estas dos formaciones como una sola indiferenciada. Al respecto, Segerstrom (1961a) describe que la Formación Soyatal es predominantemente de caliza, con numerosas intercalaciones de lutita, limolita y arenisca. Sin embargo, en la parte superior de la formación los estratos llegan a ser predominantemente clásticos, por lo que se asignan a la Formación Mexcala.

Cabe señalar que durante este trabajo se observó que las obras subterráneas y superficiales de la mina San Martín encajonan predominantemente en rocas calcáreas, que serían más correlacionables con la Formación Soyatal que con la Mexcala.

Wilson et al. (1955) propuso el nombre de Formación Soyatal, para denominar a un conjunto de conglomerados de caliza, calizas de grano fino y lutitas calcáreas que previamente White (1948) había descrito en la localidad tipo del campo minero de antimonio Soyatal, ubicado en el estado de Querétaro y a 47 km al NE de la mina San Martín. En cuanto a la edad de esta formación, Segerstrom (1961b) le asigna una edad Turoniana en base al *Inoceramus labiatus Schlotheim*, que puede extenderse al Coniaciano Inferior, debido a la presencia del pelecípodo *Didymotois* (?), encontrado en Xuchitlán, Hgo., y Kiyokawa (1982) determina una edad de Turoniano a Campaniano tardío, en base a la presencia de nannoplancton calcáreo (en Suter, 1987).



**Figura 6.** Mapa de Geología Regional en el área aledaña a la mina San Martín. Compilado y generalizado a partir de las cartas geológicas Querétaro (Pérez et al. 1999) y Pachuca (López et al. 1997), escala: 1:250,000, elaboradas para el Consejo de Recursos Minerales.



## ESTADO DE QUERETARO

| ERA        | SISTEMA     | EPOCA         | PISO           | FORMACION        | SECCION | LITOLOGIA   |
|------------|-------------|---------------|----------------|------------------|---------|---|
| CENOZOICO  | CUATERNARIO | RECIENTE      |                | ALUVION          |         | LIMOS, ARCILLAS Y ARENAS  |
|            |             | PLEISTOCENO   |                | BASALTOS         |         | DERRAMES BASALTICOS   |
|            | TERCIARIO   | PLIOCENO      |                | TARANGO          |         | EPICLASTICOS, FANGOLITAS<br>CONGLOMERADOS Y TOBAS                 |
|            |             | MIOCENO       |                | ROCAS VOLCANICAS |         | RIOLITAS, IGNI-MBRITAS, ANDESITAS                                 |
|            |             | OLIGOCENO     |                | GRUPO EL MORRO   |         | Y TOBAS<br>FANGLOMERADOS<br>Y CANTOS RODADOS EN<br>MATRIZ ARENOSA |
|            |             | EOCENO        |                |                  |         |   |
| PALEOCENO  |             |               |                | NO AFLORA        |         |   |
| MESOZOICO  | CRETACICO   | SUPERIOR      | MAESTRICHTIANO |                  |         |   |
|            |             |               | CAMPANIANO     | MEZCALA          |         |   |
|            |             |               | SANTONIANO     | SOYATAL          |         |   |
|            |             |               | CONIACIANO     |                  |         |   |
|            |             |               | TURONIANO      |                  |         |   |
|            |             | MEDIO         | CENOMANIANO    | CALIZA EL        |         |   |
|            | ALBIANO     | DOCTOR CALIZA |                |                  |         |   |
|            | APTIANO     | TAMAULIPAS    |                |                  |         |   |
|            | INFERIOR    | BARREMIANO    | LAS TRANCAS    |                  |         |   |
|            |             | HAUTERIVIANO  |                |                  |         |   |
|            |             | VALANGINIANO  |                |                  |         |   |
|            |             | NEOCOMIANO    |                |                  |         |   |
|            |             | BERRIASIANO   |                |                  |         |   |
|            | JURASICO    | SUPERIOR      | TITONIANO      |                  |         |   |
|            |             |               | PORTLANDIANO   |                  |         |   |
|            |             |               | KIMMERIDGIANO  |                  |         |   |
|            |             |               | OXFORDIANO     |                  |         |   |
|            |             | MEDIO         | CALLOVIANO     |                  |         |   |
| BATHONIANO |             |               |                |                  |         |   |
| INFERIOR   |             | BAJOCIANO     |                |                  |         |   |
|            |             | LIASICO       |                |                  |         |   |
| TRIASICO   | SUPERIOR    | RHETIANO      | HUIZACHAL      |                  |         |   |
|            |             | NORIANO       |                |                  |         |   |
|            |             | CARNIANO      |                |                  |         |   |
|            | MEDIO       | LADINIANO     |                |                  |         |   |
|            |             | ANICIANO      |                |                  |         |   |
|            | INFERIOR    | ESCITIANO     |                |                  |         |   |
| PALEOZOICO | PERMICO     |               | CHILAR         |                  |         |   |
|            | CARBONIFERO |               |                |                  |         |   |
|            | DEVONICO    |               |                |                  |         |   |
|            | SILURICO    |               |                |                  |         |   |
|            | ORDOVICICO  |               |                |                  |         |   |
|            | CAMBRICO    |               |                |                  |         |   |

FUENTE: E. LOPEZ RAMOS (1985)

Figura 7. Columna estratigráfica para el estado de Querétaro, tomada de C.R.M.1992.



### **3.1.5 Rocas Ígneas**

En la región afloran rocas volcánicas asignables al Plioceno que fueron englobadas en 2 grandes unidades (Figura 6). La unidad volcánica más antigua es de composición intermedia (Tpl-A) y se caracteriza por la sucesión de lavas y aglomerados andesíticos y dacíticos que afloran en la parte oriental del mapa y que de acuerdo a Fries (1962) se correlacionan con la Formación Zumate del Plioceno inferior. La otra unidad más reciente es de composición riolítica (Tpl-R) y está formada por riolitas y tobas riolíticas correlacionables con la Formación Riolita Navajas del Plioceno medio. Esta unidad riolítica aflora principalmente en la parte occidental del mapa.

Analizando las descripciones anteriores, las rocas volcánicas que afloran en la mina San Martín, corresponden a la unidad cartografiada como Tpl-A, aunque en el mapa parezca lo contrario.

### **3.1.6 Microgranodiorita**

A 6 km al N60°E de San Martín aflora un cuerpo intrusivo llamado Peña de Bernal, con una altura de 2,380 m.s.n.m. y un diámetro aproximado de 600 metros. En realidad los afloramientos de este intrusivo, cartografiados por el INEGI (1983) y los geólogos de la Cía. Luismin, indican que el intrusivo forma parte de un cuerpo que se extiende a lo largo de 3.5 km con una orientación NE-SW. Los análisis de óxidos mayores practicados por el Consejo de Recursos Minerales (ver Tabla 3) aunado a un estudio petrográfico (Ortiz y Solís, 1985), indican que se trata de una microgranodiorita porfídica de hornblenda y biotita. Coincidiendo Burk (1993) la describe megascópicamente como un intrusivo de composición intermedia, con textura porfirítica de grano fino y con fenocristales subedrales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, hornblenda y clinopiroxeno. Carrillo y Suter (1982) describen a la Peña de Bernal como una microgranodiorita de hornblenda y biotita, cuya edad oscila entre 40 a 50 millones de años.

### **3.1.7 Formación Tarango**

En el mapa regional (Fig. 6) se observa que esta formación aflora en la parte central y sur de los alrededores de la mina San Martín. De acuerdo a Bryan (1948) esta formación fue

definida según la población de ese nombre, que se encuentra ubicada en la orilla suroeste de la Cuenca de México, a 4 km al suroeste de Mixcoac. Allí afloran tobas, brechas, gravas fluviales de clastos volcánicos y delgadas capas de pómez ligeramente endurecidas (en Segerstrom, 1961b).

Según Segerstrom (1961a) la Formación Tarango consiste de sedimentos clásticos no consolidados, en su mayoría limos y arenas, depositados en una cuenca que se extiende desde Bernal, Qro. en su límite norte hasta los alrededores de Actopan, Hgo., lo que indica una longitud de cuenca de 120 km. Por su posición estratigráfica y estudios paleontológicos, realizados por Fries (1962), se le asigna una edad de Plioceno superior-Cuaternario inferior.

## **3.2 GEOLOGÍA LOCAL**

El mapa de geología local que se presenta en la Figura 8, fue elaborado y proporcionado por la Superintendencia de Geología de la mina San Martín. Cabe señalar que los geólogos de la mina marcan en este mapa, la traza del cuerpo mineralizado proyectada en superficie, para visualizar el rumbo de la estructura, aunque sólo haya pequeños afloramientos a la altura de los cuerpos San José I y II, y parte de San Martín. Por otra parte, los afloramientos de las Formaciones Las Trancas y El Doctor por su distancia al centro de la mina, no alcanzan a aparecer en este mapa.

### **3.2.1 Formación Las Trancas**

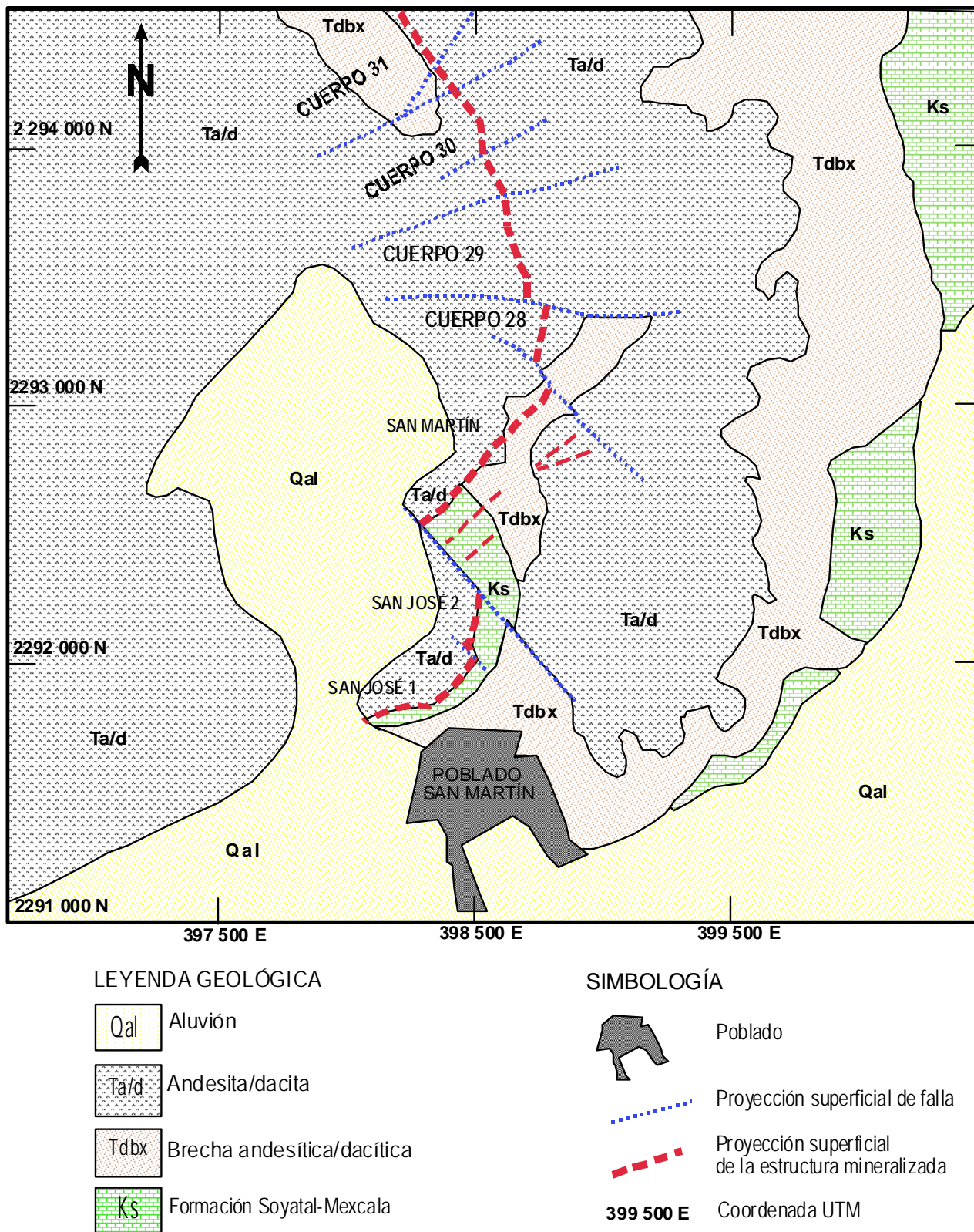
Burk (1993) describe ésta formación en el Arroyo Nacional, ubicado en el área conocida como Chicarrama, distante a 3 km al NE de la parte central de la mina San Martín. Este autor indica que consiste de pizarras bien foliadas, lutitas color rojo a café gris, intercaladas con estratos de pocos centímetros de limolitas calcáreas, areniscas de grano fino y, en menor proporción, conglomerados.

### **3.2.2 Formación El Doctor**

Esta formación no aflora en la superficie de la mina San Martín y tampoco se hace presente en las obras subterráneas como roca encajonante. Sin embargo 3 km al noreste ha sido cartografiada por los geólogos de la unidad minera, en las áreas conocidas como Chicarrama y Capulín, localizadas en las cercanías del intrusivo que conforma La Peña de Bernal (Fig. 6).

### **3.2.3 Formación Soyatal – Mexcala**

En las obras mineras subterráneas de la mina San Martín, esta formación es la principal roca encajonante a lo largo de toda la estructura mineralizada. En lo que respecta a su comportamiento en superficie, se le observa encajonando a la estructura en los cuerpos San José I y II y parte de San Martín, esta área consiste de calizas micríticas y calcarenitas arcillosas en capas delgadas e interestratificadas con algunos lentes de pedernal y horizontes delgados de lutitas y margas.



**Fig. 8 Mapa de geología local de la Mina San Martín**

(elaborado por la Superintendencia de Geología de la Mina San Martín)

Ortiz et al. (1989) describen que la estratificación de esta formación es poco continua, ya que presenta una multitud de fallas intraformacionales que le dan un aspecto caótico y de apariencia brechada. En donde existe continuidad de los estratos, éstos presentan un rumbo general N 30° W, con buzamientos de 40° al NE.

Por su parte, Burk (1993) describe que debido al complejo plegamiento y fallamiento de la formación, la orientación de sus capas es muy variable. Este autor observó que en las obras subterráneas del cuerpo San Martín el rumbo de las capas es el NW con buzamientos moderados hacia el este, mientras que en el tajo San José las capas se orientan al este con buzamientos hacia el sur.

En los alrededores y dentro de la mina, Motilla (1994) describe a esta formación en su parte inferior, como una unidad de estratos bien definidos, de 10 a 20 centímetros de espesor, compuestos de caliza gris oscura de grano fino, separados por intercalaciones delgadas de lutita roja. La parte superior consiste en una caliza con capas más delgadas (5 a 10 cm) de caliza arcillosa y de lutita calcárea interestratificadas. Mientras que hay algunos lugares del distrito en los que no se presenta esta formación, hay otros donde alcanza un espesor máximo aproximado de 150 m.

### **3.2.4 Rocas Ígneas**

Localmente en el área de la mina se reconocen 2 tipos de rocas ígneas, claramente diferenciadas y posteriores a la Formación Soyatal:

- 1) Una unidad de rocas volcánicas de composición andesita/dacita que sobreyace discordantemente a las unidades de rocas sedimentarias cretácicas y que conforma la totalidad del estratovolcán denominado Cerro San Martín. Los geólogos de la Mina San Martín han logrado cartografiar y subdividir esta unidad en Brecha Andesítica/dacítica (Tdbx) y Andesita/dacita (Ta/d), como se puede apreciar en el mapa de geología local de la Figura 8.
- 2) Un intrusivo conocido como dique riolítico que encaja entre las unidades de rocas sedimentarias, la volcánica dacita-andesítica y la estructura mineralizada y que sólo se ha observado en las obras subterráneas.

### 3.2.4.1 Andesita/Dacita

Sobreyaciendo en discordancia erosional a la Formación Soyatal, aparecen en toda la región y en los alrededores de la mina un conjunto de rocas volcánicas que forman parte del estratovolcán que constituye el cerro San Martín y en cuyas faldas se encuentran las labores mineras del mismo nombre. Este cerro tiene una elevación de 2,590 m.s.n.m., siendo el más prominente de la región y hasta el momento no hay un estudio detallado de este estratovolcán.

Burk (1993) describe que a lo largo del flanco este del Cerro San Martín, el contacto inferior del paquete volcánico presenta una inclinación de alrededor de 20° hacia el oeste, mientras que a lo largo del flanco oeste, donde se encuentra la mina San Martín, las mismas rocas se inclinan suavemente hacia el este, así el contacto inferior se curva convexamente hacia abajo. Además, dicho autor estimó que el espesor máximo de esta unidad volcánica es de alrededor de 450 metros y menciona que es muy posible que un cuello subvolcánico intrusiona la base de la secuencia volcánica por debajo del Cerro San Martín. El mismo autor describe a la unidad más inferior de la pila volcánica como una brecha tobácea (Tdbx), la cual presenta fragmentos angulares de diversos tamaños desde algunos centímetros hasta bloques, con diferentes formas estructurales como masiva, derrames porfiríticos y derrames bandeados, y en colores café pálido y rosa. Sobreyaciendo a esta brecha y formando la mayor parte del paquete extrusivo aparecen una serie de derrames masivos de dacita (Ta/d) de color gris a gris pardo, textura fanerítica fina, con fenocristales de feldespato entre 1 y 2 mm de tamaño y conformando entre el 5 y 10% de esta roca. También se presentan cantidades accesorias de hornblenda, clinopiroxeno y cuarzo. Entre los derrames de dacita masiva aparecen, con menos de 10 m de espesor, brechas de dacita autoclásticas, tobas y brecha-tobas de la misma composición.

Motilla (1994), describe como derrame basal a una colada autobrechada (Tdbx) con la mayoría de sus fragmentos de 10 a 30 cm cementados por las nuevas emanaciones, que envuelven a los fragmentos poco antes endurecidos y fragmentados por la alta temperatura del nuevo magma. Al finalizar el enfriamiento del conducto alimentador de este estratovolcán, se formaron las fallas de los sistemas N40-50°E y N30-40°W, fluyendo a través de ellos, líquidos residuales de magma dacítico.

La Tabla 3 y la Figura 9 muestran los análisis y el comportamiento de los óxidos mayores de la andesita/dacita, del dique riolítico y la microgranodiorita de la Peña de Bernal, que fueron realizados por el Consejo de Recursos Minerales, reportados en Ortiz et al. (1989), y por la Cía. Minera Luismin, reportados por Muñoz (1993). Cabe señalar que esta unidad volcánica considerada como dacita, por su contenido de sílice y álcalis, estrictamente sería más andesita que dacita, por lo que en este estudio se les ha denominado andesita/dacita.

Tabla 3. Óxidos de elementos mayores de rocas ígneas del Distrito San Martín, Oro.

| ÓXIDOS                         | ANDESITA / DACITA |              | DIQUE<br>RIOLÍTICO | MICROGRANO-<br>DIORITA |
|--------------------------------|-------------------|--------------|--------------------|------------------------|
|                                | C.R.M             | LUISMIN      | LUISMIN            | C.R.M.                 |
| SiO <sub>2</sub>               | 63.00             | 62.2         | 73.20              | 70.00                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.00             | 16.20        | 15.10              | 12.70                  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.01              | 3.90         | 2.05               | 3.33                   |
| K <sub>2</sub> O               | 2.68              | 2.50         | 4.22               | 3.28                   |
| CaO                            | 6.40              | 7.20         | 0.41               | 3.20                   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.20              | 4.75         | 0.62               | 3.80                   |
| FeO                            |                   | 0.05         | 0.05               |                        |
| MnO                            | 0.10              | 0.00         | 0.00               | 0.10                   |
| MgO                            | 2.50              | 2.20         | 0.57               | 0.70                   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.85              | 0.40         | 0.20               | 0.33                   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.72              | 0.00         | 0.00               | 1.82                   |
| <b>TOTALES (%)</b>             | <b>100.46</b>     | <b>99.35</b> | <b>96.37</b>       | <b>99.26</b>           |

C.R.M. : Análisis efectuados por el Consejo de Recursos Minerales , reportado por Ortiz et al.(1989)  
LUISMIN: Análisis efectuados por la Cía. Minera Luismin y reportados por Muñoz ( 1993).

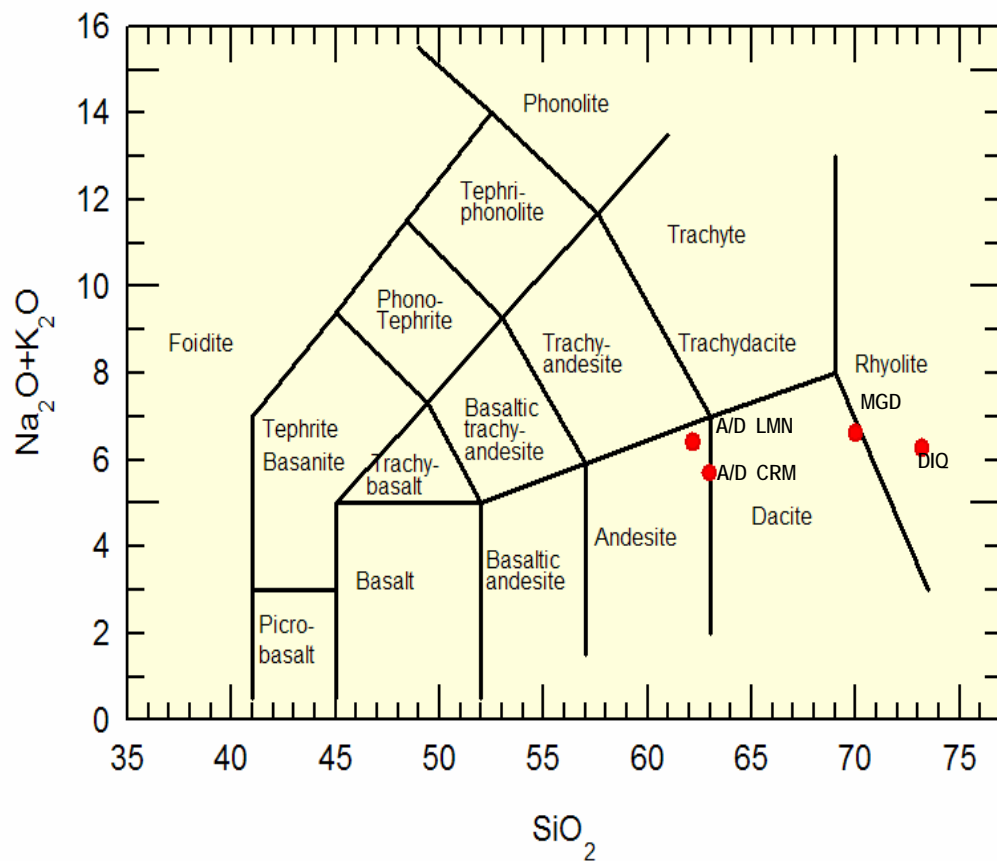


Figura 9. Diagrama tipo TAS, álcalis total-silica (Lebas et al., 1986), elaborado en el programa Iqpetwin 1997. (A/D LMN) andesita/dacita analizada por Cía. Luismin, (A/D CRM) andesita/dacita analizada por C.R.M, (MGD) intrusivo Peña de Bernal y (DIQ) dique riolítico.

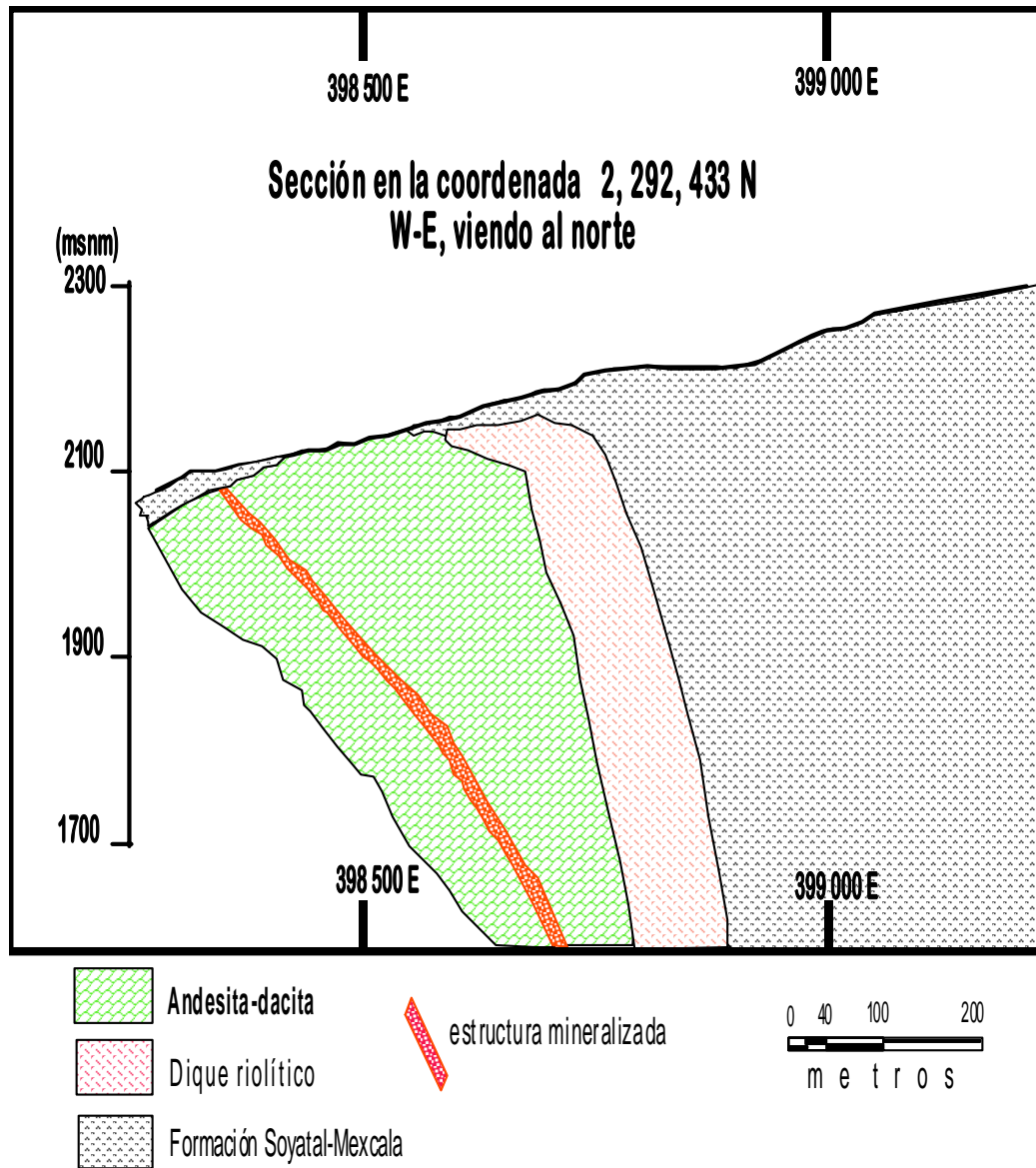
### 3.2.4.2 Dique Riolítico

Motilla (1994) menciona que este dique está emplazado entre la andesita/dacita y calizas de la Formación Soyatal (Figura 10). En las obras subterráneas de la mina, el cuerpo intrusivo se encuentra profundamente silicificado, megascópicamente es de color blanco lechoso amarillento y con textura general brechoide, esto es, clastos de cuarzo masivo brechado y cementado por otra etapa de cuarzo que silicifica y cementa toda la roca. Al microscopio se confirma que la muestra casi en su totalidad está constituida por cuarzo con una alta variación textural. Los clastos y cristales individuales de cuarzo presentan forma anedral a subedral con tamaño de 1 a 2 mm, algunos tienen bordes redondeados, subredondeados y aún angulosos. Aparecen algunos fantasmas de minerales ferromagnesianos así como abundantes inclusiones primarias de vidrio de origen magmático incluidos en los cristales de cuarzo. Los cristales individuales están cementados también por cuarzo de textura masiva anedral muy fina en su mayor parte y presentan bordes coloformes en menor proporción. Dentro de la masa anedral fina hay algunas pequeñas zonas de cuarzo bien delimitadas que internamente muestran texturas fibrosas, radiales o flamboyantes (Fotos 1 y 2).

Los análisis por sílice y álcalis del dique riolítico (Tabla 3 y Figura 9), reportados por Ortiz et al. (1989) y Muñoz (1993), confirman su composición ácida y sugieren una afinidad con la microgranodiorita que conforma la Peña de Bernal. Sin embargo, hay que señalar que el dique está fuertemente silicificado, por lo que el contenido de sílice no es el original.

En el interior de las obras subterráneas de la mina San Martín, gran parte de la masa del dique está fuertemente argilitizada, de manera que aparece como una roca blanca terrosa y deleznable, con sólo pequeños fragmentos aislados del dique fuertemente silicificado. Esto sugiere que las soluciones hidrotermales alteraron y caolinitizaron el dique durante la formación de la zona mineralizada. Se realizó un estudio de difracción de rayos X de la roca argilizada, en los laboratorios del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) Campus Saltillo, y el resultado indicó que se trata de caolín, variedad dickita. El difractograma de este análisis se presenta en el Anexo III.





**Figura 10.** Sección transversal a la estructura mineralizada, a la altura del Cuerpo San Martín, en la coordenada 2,292,433 N. Obsérvese la posición del dique riolítico entre la unidad de Andesita-dacita y la Formación Soyatal-Mexcala. Para mejor visualización se ha exagerado el espesor de la estructura mineralizada.



Foto 1. Ejemplar de mano de muestra SM10. Dique riolítico, obsérvese su aspecto brechado y recementado. El rectángulo azul indica el lugar donde se obtuvo una lámina delgada para estudio petrográfico y los círculos azules señalan láminas para estudios de inclusiones fluidas.

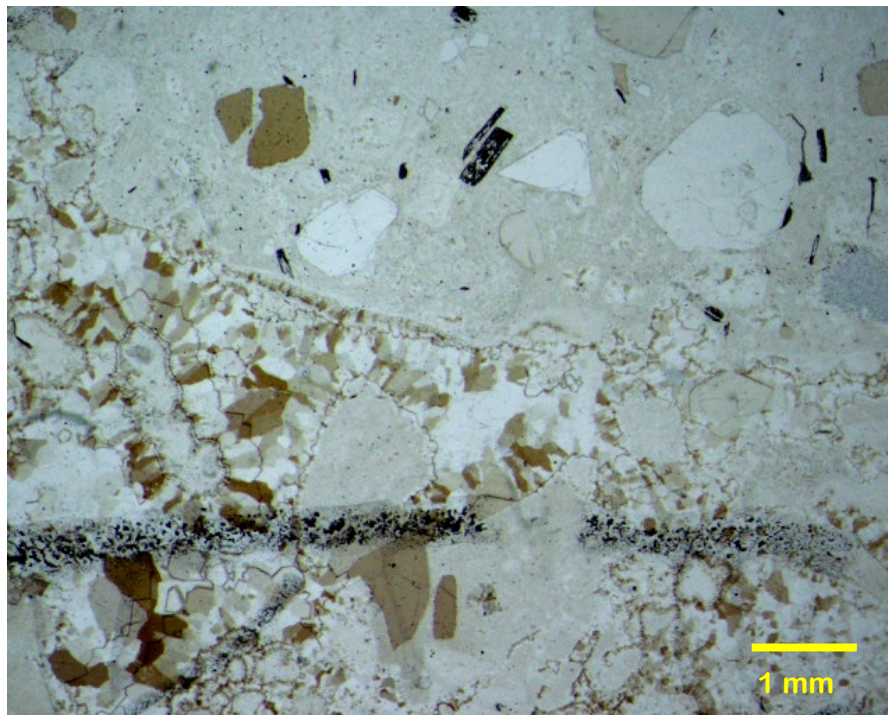


Foto 2. Detalle de la muestra SM10. Objetivo de 40x , nicoles paralelos. Obsérvese su textura brechada, aún a nivel microscópico. La línea negra es un defecto en la preparación de la lámina.

## 4. ESTUDIO DEL YACIMIENTO DE Ag-Au DE SAN MARTÍN

### 4.1 ANTECEDENTES

Ortiz y Solís (1985) describen que este yacimiento fue descubierto en 1760 por Don Pedro Romero de Terreros, quien lo trabajó por más de 40 años, suspendiendo la explotación debido al inicio de la Guerra de Independencia. En 1860 fue nuevamente explotado por una persona de apellido Trejo, aunque no se sabe cuando cesó sus actividades. De 1890 a 1924 la compañía americana Ajuchitlan Mining and Milling Co. reabre la mina, instalando una planta de cianuración con capacidad para beneficiar 125 ton/día. En 1935 el Sr. Antonio Guevara denunció 12 lotes, de los cuales vendió 6 de ellos a la compañía Turu Mining Co., la que extrajo mineral con leyes de hasta 137 g/t de oro y 249 g/t de plata. Durante 1971 el Sr. Antonio Feregrino vendió a Cementos Tolteca 500,000 toneladas de terreros con leyes de 1 a 2 g/t de oro y 50 g/t de plata. Por su parte Muñoz (1993) menciona que la compañía Ajuchitlan explotó los cuerpos San José y San Martín, obteniendo alrededor de 250,000 toneladas con promedio de 15 g/t de oro y 60 g/t de plata.

De 1935 a 1983, no se realiza ninguna extracción subterránea en esta mina, aunque se mantiene denunciada por diferentes personas y compañías. Durante la década de los ochenta, los lotes que se mantienen vigentes son: lote San Martín (Exp. 13532), con una superficie de 135 ha, que cubre el área de obras antiguas de la mina San Martín, siendo su concesionario el C. P. Luis León Ramírez Romero; el lote San Martín 2 (Exp. 13685), con una superficie de 225 ha, cubre la traza norte de la estructura, siendo su concesionario el Lic. René Ramírez Romero; el lote La Trinidad (Exp. 14228), con una superficie de 2842 ha, rodea los dos lotes anteriores, siendo concesionaria la Cía. Desarrollos Mineros del Centro, la cual forma parte del Grupo Minero Luismin.

En 1984 el Consejo de Recursos Minerales (C.R.M.) conforma la Reserva Minera Nacional "San Martín" con una superficie de 15,000 ha y en donde quedan insertados todos los denuncios vigentes hasta la fecha. Desde ese año y hasta 1990, el C.R.M. realizó trabajos de rehabilitación de obras mineras, geología, muestreo de interior mina y barrenación, con el objetivo de explorar y evaluar el potencial del yacimiento. Finalmente los resultados indicaron la existencia de alrededor de un millón de toneladas de reservas positivas.

En 1990, el Grupo Luismin inicia trabajos de exploración en los lotes que ya poseía en la zona y, para realizar una evaluación integral en el distrito, contrata al C.R.M. la concesión de la Reserva Minera Nacional. De 1990 a 1993, Luismin a través de sus compañías filiales Minas

Comermin S.A. de C.V. y Desarrollos Mineros del Centro, S.A. de C.V., en “joint venture” con la compañía canadiense Teck Corporation, exploró y evaluó el potencial de la mina San Martín. De esta asociación resultaron estudios como los de Burk (1993 y 1994) y Motilla (1994).

En 1993, Luismin inicia la explotación a mediana escala de 300 ton/día, a partir del cuerpo San Martín mediante obra subterránea y en el cuerpo San José por medio de un tajo a cielo abierto, del que se obtuvieron unas 12,000 onzas de oro al año. De 1997 al 2002, nuevamente se incrementa la explotación a 800 toneladas de mineral por día, sumando a la explotación mineral los cuerpos 28 y 29, para obtener una ley promedio de 5 g/t de Au y 60 g/t de Ag.

Finalmente, en el año 2003, la mina es adquirida por la compañía canadiense Weaton River Corporation, quien incrementó la extracción a 1200 toneladas de mineral por día e inició trabajos de exploración con barrenación a lo largo de la traza superficial de la estructura y desde obra subterránea, con el propósito de delimitar los Cuerpos 30 y 31, localizados en la parte norte de la mina.

## 4.2 MUESTREO

Dentro de la mina se colectaron un total de 41 muestras de los cuerpos mineralizados, a lo largo del depósito, así como de las rocas encajonantes en diferentes zonas: Cuerpos 28, 29, San Martín, San José I y San José II. La distribución de estas muestras se puede observar en la sección longitudinal general de la mina San Martín (Fig. 11) y la descripción de su ubicación en el Anexo V.

De estas 41 muestras se obtuvieron 38 láminas delgadas para estudios petrográficos mediante microscopía óptica de polarización (Anexo I), 17 superficies pulidas para el estudio minerográfico de minerales opacos, 49 láminas delgadas doblemente pulidas para el estudio de inclusiones fluidas en cuarzo y calcita asociados con la mineralización de oro y plata. Ya que la mineralización se presenta en vetas y mantos, siempre de textura brechada, la preparación de estas muestras estuvo dirigida a obtener muestras representativas de cada una de las etapas de brechificación, con vistas a reconocer cual de ellas es portadora de la mineralización económica.

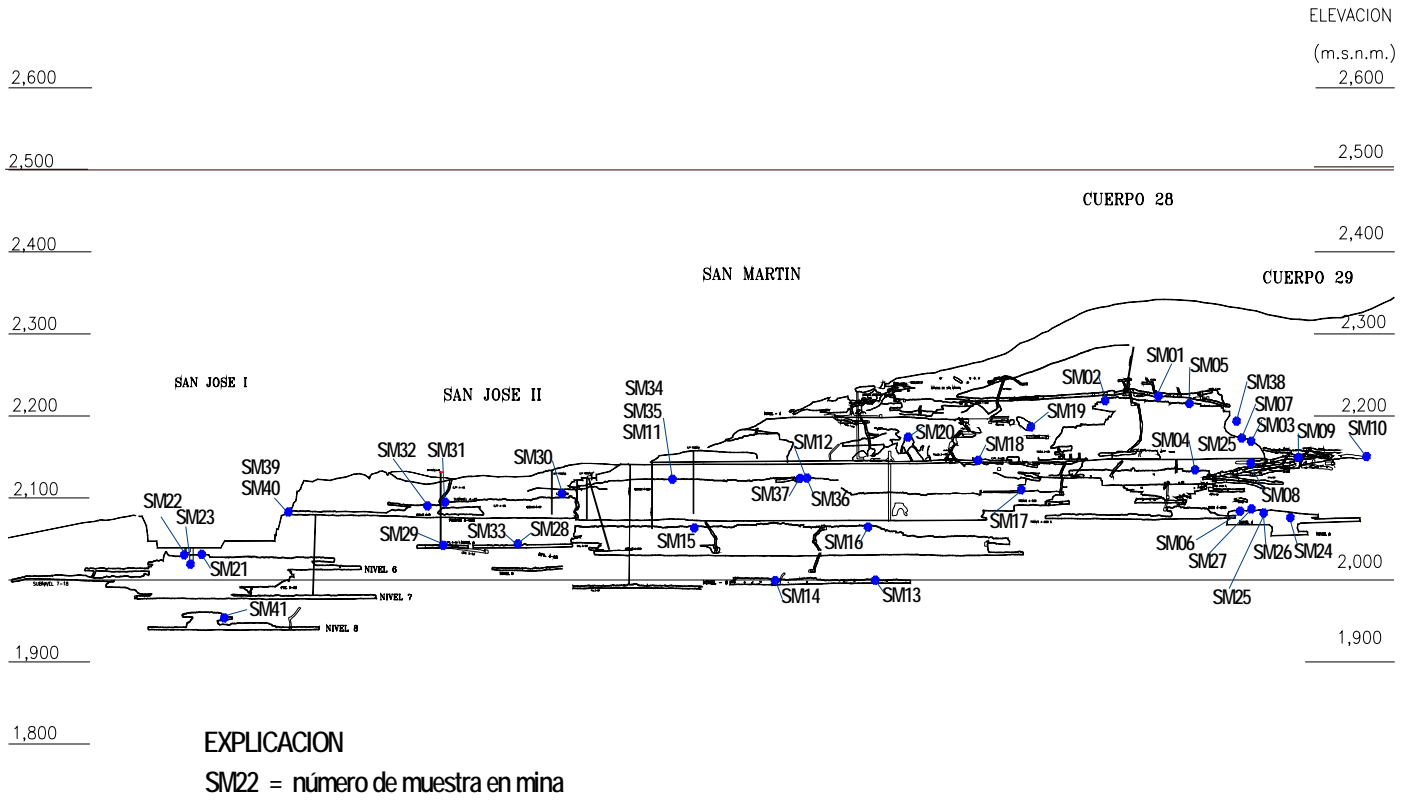


Figura 11. Sección general longitudinal de la mina San Martín. Los círculos indican la ubicación de las muestras colectadas para este estudio. La sección fue proporcionada por la Superintendencia de Geología de la mina.

## 4.3 ESTRUCTURA DEL YACIMIENTO

### 4.3.1 Descripción de los Cuerpos Mineralizados

La mina de San Martín se labró sobre una estructura tabular brechada que se extiende por más de 2 km reconocidos, con una orientación general de N 45° E y buzamientos al SE de entre 40 y 90°. En los niveles inferiores al 1, su aspecto general es el de una brecha-veta que los mineros denominan “tronco”; en los niveles 0 (San Martín, Cuerpo 28), 2 y 3 (Cuerpo 29) su apariencia es el de una brecha-manto aunque los mineros la nombran como “manto”.

La estructura mineralizada esencialmente es una brecha constituida por varias etapas de brechamiento y cementación. Los principales constituyentes de esta brecha son clastos angulosos de las rocas encajonantes (calizas y lutitas), cementados mayoritariamente por cuarzo, calcedonia y calcita. Existen varias etapas de autobrechamiento, que consisten en la rotura de las brechas formadas en la etapa anterior y su re-cementación. Asociado a estas etapas aparecen los minerales de oro y plata que hacen económica su explotación.

Para fines prácticos del control geológico-minero, los encargados de la explotación de la mina, tanto en las diferentes épocas pasadas como en la actualidad, han subdividido y denominado a la estructura mineralizada en cuerpos, por lo que toda su nomenclatura está referida a los nombres de dichos cuerpos. De sur a norte son: San José I, San José II, San Martín, Cuerpo 28, Cuerpo 29 y Cuerpo 30.

En el sentido longitudinal, las fallas marcan los límites de los cuerpos. En la parte sur, de San José I hasta San Martín las fallas presentan un rumbo de N 40-45° W y del Cuerpo 28 al 30 el rumbo es N 60°E a E-W, siendo la dirección de buzamiento preferencialmente al norte (Fig. 8). De acuerdo al mapeo subterráneo realizado por los geólogos de la mina, estas fallas son normales, con cierto desplazamiento lateral, predominando el de tipo izquierdo (Fig. 20). En el sentido vertical la subdivisión se hace por niveles, ya que se desplanta un nivel cada 35 metros de profundidad, empezando por el nivel 0 (en mantos) y aumentando la numeración a profundidad.

#### 4.3.1.1 Cuerpo San José I

El Cuerpo San José I se localiza en el extremo sur de la mina principal de San Martín. Se caracteriza por tener forma sigmoidal tanto vertical como horizontalmente. Su textura es de brecha con abundantes clastos de caliza de color gris oscuro a negro, cementados por cuarzo y

calcita blanca; desarrolla una zona de stockwork en las calizas al alto de la estructura principal (Formación Soyatal). Este cuerpo presenta un rumbo N 60-70° E y su inclinación promedio es de 70° al SE. Se reconoce actualmente por 300 m de longitud, presenta un espesor promedio de 3.5 metros y se ha explorado con barrenación hasta una profundidad de 130 m. Sus leyes promedio son de 3.1 g/t de Au y 17 g/t de Ag.

Entre 1993 y 1994 la parte más superficial de este cuerpo se decidió explotar como un tajo a cielo abierto, debido a que en este lugar aparecía el stockwork desarrollado sobre las calizas encajonantes del alto. Actualmente el tajo está inactivo, pero el cuerpo a profundidad se continuó explotando a través de niveles subterráneos, con la idea de mezclar su mineral de baja ley con los de más alta ley obtenidos de los Cuerpos 28 y 29.

#### **4.3.1.2 Cuerpo San José II**

Este cuerpo está ubicado entre San José I y San Martín, cuenta con tres niveles desarrollados, de los cuales están actualmente en explotación los niveles 4 y 5.

Consiste de una brecha quebradiza formada por clastos de caliza y cuarzo, cementados por calcita sacaroidal mayoritariamente y cuarzo en menor proporción, que encajona en las calizas y lutitas de la Formación Soyatal. Su forma es tabular y subvertical, con orientación variable entre N 60-70° E, presenta una longitud de alrededor de 450 metros y se conoce hasta una profundidad de 120 metros, desde la superficie hasta el nivel 6. Esta estructura presenta poca potencia, variando entre 1 a 1.8 m de grosor. En su parte sur se encuentra conectada al cuerpo San José I a través del nivel 4, que es común a ambos. Su límite norte es una falla que lo separa del Cuerpo San Martín.

Actualmente su nivel de explotación ha disminuido, al quedar sólo mineral de baja ley con algunos pequeños clavos económicos en los niveles 5 y 6. Presenta una ley media en las reservas de 2.9 g/t de Au y 50 g/t de Ag, siendo el cuerpo con las leyes más marginales de la mina.

#### **4.3.1.3 Cuerpo San Martín**

En este cuerpo fue donde los mineros antiguos iniciaron la explotación. Se localiza en la parte central de la estructura mineralizada y se considera el cuerpo más importante de toda la mina por sus dimensiones: 7 niveles desarrollados, además de los mantos que se encuentran cerca de la superficie. Está formado por una brecha con clastos de caliza de color negro

cementadas por cuarzo y calcita, encajonada en calizas de la Formación Soyatal. Presenta una extensión horizontal de 750 m y vertical de 300 m, con espesores comprendidos entre 1.5 hasta 5 metros. Algo destacable de mencionar es que la brecha mineralizada en los niveles 5 y 6 de este cuerpo, presenta una silicificación tan intensa que al microscopio sólo se observa cuarzo, esto es reemplazando en su totalidad a los clastos y como único cementante.

Del nivel 1 al 7 se presenta en forma vertical con rumbo N 45° E y echados entre 40-85° al SE. En la parte más cercana a la superficie la estructura se presenta como manto, (se denomina nivel 0) y fue en esta zona donde en la antigüedad se inició la explotación de la mina. Sobre la superficie aflora una pequeña ventana de aproximadamente 80 metros de longitud y el resto está cubierto por las rocas volcánicas. Sus leyes promedio en las reservas son de 2.5 g/t de Au y 21 g/t de Ag, aunque se sabe que los antiguos mineros explotaron algunas zonas del manto con leyes promedio de 10 g/t de Au y 100 g/t de Ag.

Actualmente se ha detectado la continuidad de la estructura en su extremo oeste, por medio de barrenación a diamante, a la profundidad de lo que en un futuro será el nivel 11 (casi 400 m desde superficie).

#### **4.3.1.4 Cuerpo 28**

Este cuerpo presenta una longitud máxima de 300 m por encima del nivel 2 presenta morfología de manto con espesor entre 2.6 a 3.1 m. Del nivel 2 hacia abajo se verticaliza adquiriendo morfología de tronco (veta) y alcanzando espesores entre 1.8 y 8.7 m, aunque en el nivel 4 (último nivel desarrollado) la potencia se reduce entre 1.3 y 1.7 m. A través de obra directa y barrenaciones a este cuerpo se le ha reconocido hasta 250 m de profundidad, su orientación varía de N 10-45° E y buzamiento hacia el SE. Su límite superior lo conforma la unidad volcánica andesita/dacita.

Este cuerpo ha sido minado a través de obras subterráneas desde el nivel 0 hasta el 4, faltando desarrollar el 5. Se compone de clastos de caliza parcial o totalmente silicificados, cementados por calcita y en menor proporción sílice. Tanto al sur como en el extremo norte está delimitado por fallas de tipo normal, que lo separan del Cuerpo San Martín y del Cuerpo 29.

Actualmente de este cuerpo se está explotando mineral con las leyes más altas de la mina, resaltando los valores donde se colectó la muestra SM 03 con leyes de bloque de hasta 11.2 g/t de oro y 180 g/t de plata. En forma global para las reservas de la mina, se le ha calculado una ley promedio de 5.4 g/t de Au y 101 g/t de Ag.



#### **4.3.1.5 Cuerpo 29**

Se ubica horizontalmente a 250 m al norte del Cuerpo 28 y a 100 m en vertical con respecto al mismo. Presenta una extensión horizontal de 380 metros con rumbo general casi norte-sur e inclinación hacia el este. A la profundidad se reconoce por 250 m y su espesor varía entre 15 y 20 m en la zona de mantos, mientras que en el tronco alcanza espesores entre 4 y 8 m. Se han minado sus niveles 3 (manto) 4 y 5 (tronco), y las mejores leyes que se han extraído están en el bloque en donde se colectó la muestra SM6, con 12.8 g/t de oro y 191 g/t de plata, aunque presenta una ley promedio de 4.9 g/t de Au y 94 g/t de Ag.

La geología de las obras subterráneas indica, que en el área de mantos este cuerpo está limitado en todos sus extremos por varias etapas de fallas, mientras que en el tronco se tienen conocidos cerca de 200 m longitudinales afectados por un sistema de fallas que fragmentan a la estructura.

#### **4.3.1.6 Cuerpo 30**

Geológicamente el Cuerpo 30 es la continuación al norte del Cuerpo 29, ya que el límite entre ambos esta marcado por una falla normal de orientación NW. En el año 2002 cuando se realizó el muestreo para este estudio, este cuerpo se encontraba en etapa de exploración, por lo que no fue posible muestrearlo. En el año 2003, a partir del nivel 4 del Cuerpo 29 se desarrolló una rampa de acceso a este cuerpo y se inició la explotación a partir del manto, el cual presentó un rumbo norte-sur y una inclinación de 7 a 10° al este, un espesor total de 22.6 m, longitud de 130 m y ancho de 40 m, con leyes promedio de oro de 5 g/t y plata de 80 g/t. A la fecha, la continuidad hacia el norte de la estructura mineralizada esta confirmada y se le ha denominado Cuerpo 31.

### **4.3.2 Descripción Petrográfica de las Etapas de la Mineralización**

Todas las muestras colectadas sobre la estructura mineralizada presentan texturas de brecha en las que se distinguen varias etapas de brechamiento y están cementadas por calcita, cuarzo y clinozoisita. Sobre estas muestras se ha llevado a cabo un estudio textural macroscópico y microscópico con vistas a determinar el número de etapas y la secuencia de brechificación y cementación de la estructura, así como la cronología de las mismas (ver Anexo I). A continuación se describen las 3 etapas de brechamiento y cementación hidrotermal y una 4<sup>a</sup> etapa de enriquecimiento supergénico, que se han reconocido.

#### **4.3.2.1 1<sup>a</sup> Etapa**

Esta etapa se caracteriza por que la brecha mineralizada está formada por clastos monogénicos procedentes de las rocas sedimentarias encajonantes, como son calizas y lutitas laminares de color gris mediano a oscuro. Los clastos tienen en común que en su mayoría son angulosos y presentan intensa silicificación parcial a total alrededor de las vetillas que cementan a la brecha. La morfología angulosa de los clastos indica que el mecanismo principal de brechamiento es hidráulico.

El cementante de la brecha presenta 2 etapas: la primera está integrada por vetillas en bandas de cuarzo en cristales anedrales finos, intercaladas con bandas de calcita. La segunda etapa está formada por vetillas que cortan perpendicularmente a las de primera etapa y están constituidas por bandas de cuarzo y calcita intercaladas. El cuarzo de estas bandas aparece anedral fina y creciendo en textura peine, con los vértices de los cristales hacia el centro de la vetilla. En cambio la calcita se presenta en cristales espáticos y rellena los espacios remanentes dejados por los cristales de cuarzo creciendo en peine.

En las muestras tomadas en los respaldos de la brecha, la silicificación se hace muy evidente ya que la caliza se torna de color gris mediano a gris oscuro. Este cambio de coloración ocurre en los alrededores de las vetillas de cuarzo o donde confluyen más de una vetilla, que se entrelazan sin dirección preferencial (ver Foto 3).

Al microscopio, algunos clastos de caliza y lutita muestran fantasmas de fósiles con secciones circulares y radiales, posiblemente radiolarios (Foto 4). Sin embargo, en la mayoría de los clastos no se observan fósiles, lo que a su vez coincide con un grado de silicificación mayor en la roca. También se observa como la textura micrítica de la calcita, de los clastos de la caliza y lutita, ha sido reemplazada por cristales de cuarzo masivo anedral fino, que en ocasiones varía al tipo sacaroidal.



FOTO 3. Ejemplar de mano de la muestra SM36. Brecha de 1ª etapa. Obsérvese el cambio de coloración en los clastos de caliza por efecto de la silicificación.

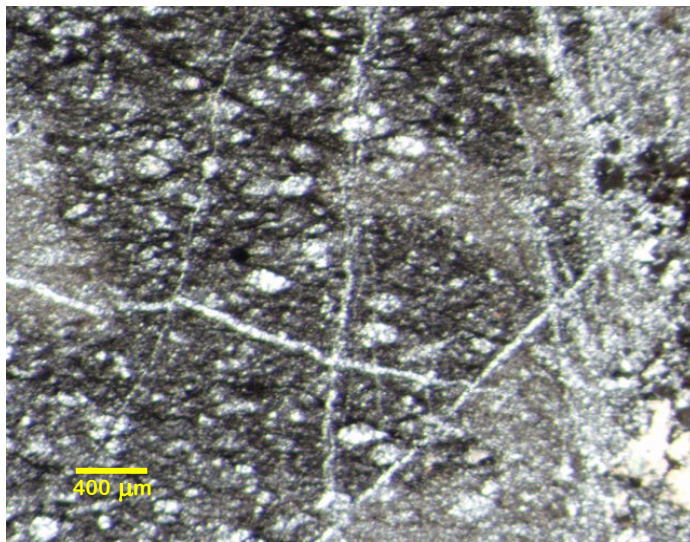


FOTO 4. Vista al microscopio de la muestra SM24-P25, donde se observan relictos de formas fósiles elípticas y circulares, posiblemente radiolarios.

Sobresale la presencia de un mineral del grupo de la epidota, identificado como clinozoisita por su alto relieve, bajos colores de birrefringencia, falta de pleocroísmo y extinción oblicua en secciones prismáticas. Esta clinozoisita aparece en diminutos y escasos cristales dentro de las vetillas de calcita, que muestran reemplazamiento de cuarzo tipo sacaroidal.

Los clastos de esta primera etapa están casi totalmente silicificados y sólo presentan muy escasos y pequeños cristales de pirita, la mayoría de forma irregular aunque algunos presentan secciones rectangulares (cubos) y hexagonales (piritoedros). La hematites no es tan escasa como la pirita y se presenta bajo la forma de masas amorfas y pseudomorfos de cristales de pirita. El cementante de la brecha es exclusivamente cuarzo y también muestra pirita y hematites con la misma apariencia que en los clastos, pero en mayor proporción. Es de destacar que en las muestras estudiadas de esta 1ª etapa no se observaron minerales de oro y plata asociados (ver Tabla 4).

**TABLA 4. SUCESIÓN MINERAL**

|       | MINERAL                          | COMPOSICIÓN   | ETAPAS     |            |            |            |
|-------|----------------------------------|---|------------|------------|------------|------------|
|       |                                  |   | 1°         | 2°         | 3°         | 4°         |
| V, P  | CALCITA                          | Ca CO <sub>3</sub>  | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| V, P  | CUARZO                           | Si O <sub>2</sub>   | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| V, P  | ELECTRUM                         | (Au, Ag)  |            | ██████████ |            |            |
| ME, P | NAUMANNITA                       | Ag <sub>2</sub> Se  |            | ██████████ |            |            |
| ME    | TETRAEDRITA                      | Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> (Cu, Fe, Zn, Ag) <sub>12</sub>          |            | ██████████ |            |            |
| P     | PIRITA                           | Fe S <sub>2</sub>   | .....      | .....      | .....      |            |
| ME    | CALCOPIRITA                      | Cu Fe S <sub>2</sub>  |            | .....      |            |            |
| P     | HEMATITES                        | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |            |            | ██████████ | ██████████ |
| P     | GOETHITA                         | FeO (OH)  |            |            | ██████████ | ██████████ |
| P     | ADULARIA (Alterada)              | K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                                     |            | .....      |            |            |
| P     | CLINOZOISITA<br>(epidota sin Fe) | Ca <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> (OH) (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>   | .....      | ██████████ | .....      |            |
| V     | CLORARGIRITA                     | Ag Cl   |            |            |            | ██████████ |
| P     | ORO esquelético (libre)          | Au  |            |            |            | ██████████ |
| D     | PARTZITA                         | Cu <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> (O,OH) <sub>7</sub>                     |            |            |            | ██████████ |
| P     | MOSCOVITA                        | KAl <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) |            | .....      |            |            |
| P     | CALCEDONIA                       | SiO <sub>2</sub> (criptocristalino)                                     |            |            | ██████████ |            |
| V, P  | ÓPALO                            | Si O <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O                                   |            | .....      |            |            |
| D     | KAOLINITA (dickita)              | Al <sub>4</sub> ((OH) <sub>8</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> )    | ██████████ |            |            |            |
| V, P  | PIROLUSITA                       | Mn O <sub>2</sub>   |            |            |            | .....      |
| V     | MALAQUITA                        | Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>                       |            |            |            | .....      |

**EXPLICACIÓN**



Abundante



Moderado



Escaso

(V) mineral a la vista

(P) mineral identificado por petrografía

(ME) mineral identificado por microscopio electrónico

(D) mineral identificado por difracción de rayos X



#### 4.3.2.2 2ª Etapa

Esta etapa constituye la fase principal de mineralización económica por oro y plata. Se distingue por presentar una brecha con clastos monogénicos de calizas y lutitas encajonantes, mezclados con clastos de la brecha de la 1ª etapa, cementados por un enrejado de vetillas de calcita mayoritariamente y cuarzo en menor proporción que muestran un color blanco lechoso a gris claro, que a su vez están cortadas por escasas y delgadas vetillas de ópalo y calcita de color amarillo miel. Resalta la presencia de clinozoisita en cantidad moderada a abundante, intercrecida en vetillas de cuarzo y calcita que muestran texturas tipo crustiforme y peine, y también se observó rodeando a clastos con textura tipo peine (Fotos 5 y 6).

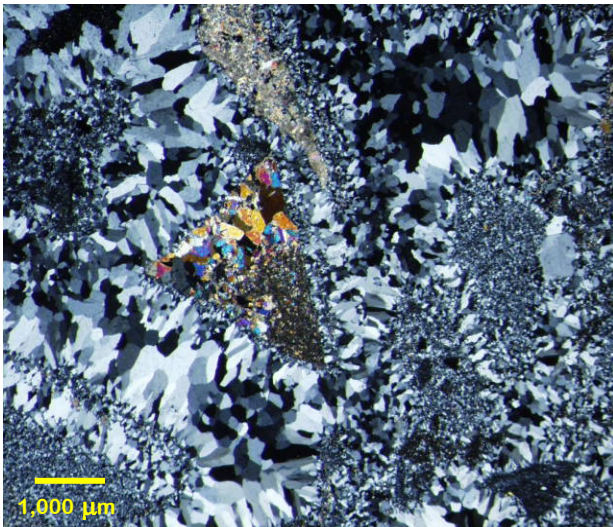


Foto 5. SM11-P13. Clasto triangular de calcita reemplazada por clinozoisita. Obsérvese las bandas en peine que cementan a los clastos.

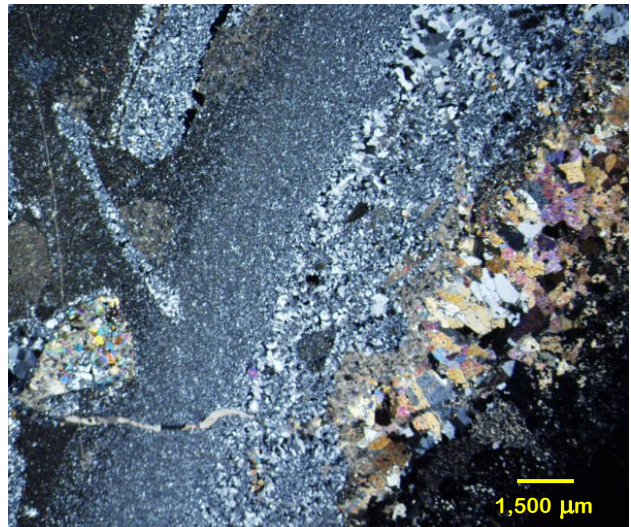


Foto 6. SM11-P13. A la derecha se observa una vetilla de clinozoisita .

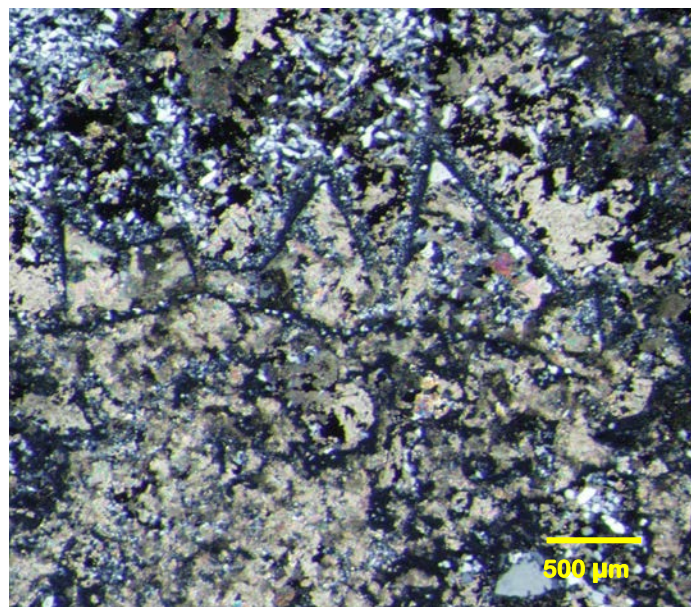


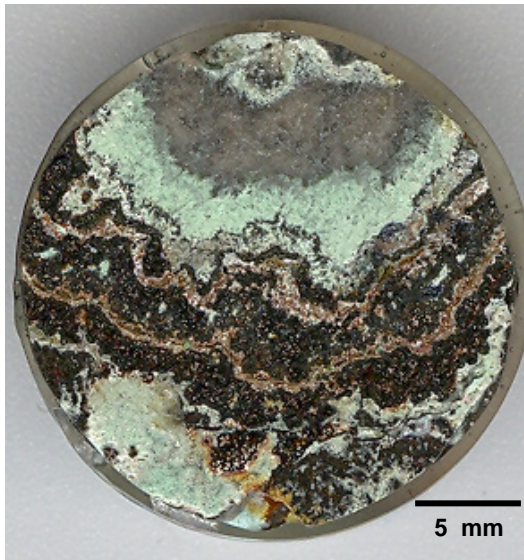
Foto 7. Muestra SM04-P8. Objetivo 32X. Cristales de adularia pseudomorfizados por calcita.

En esta etapa, también aparece adularia muy escasa, ya que sólo se identificó en la muestra SM04, donde los cristales de adularia están pseudomorfizados por calcita (estructuras triangulares) (Foto 7). En el cuerpo 28 y 29, el cementante de la brecha presenta bandas de textura de tipo crustiforme, coloforme y cocarda (ésto es, que el cementante forma bandas concéntricas con respecto a los clastos que une). Las bandas se presentan en colores café o verde, y contienen los más altos valores de oro y plata de toda la estructura mineralizada. Al microscopio petrográfico se observa que las bandas están formadas principalmente por cuarzo y algún otro mineral que es el que aporta el color. Alternan bandas café oscuro con bandas verde-azul, en su mayoría con textura coloforme, cocarda y algo de tipo peine (Fotos 8 - 11).

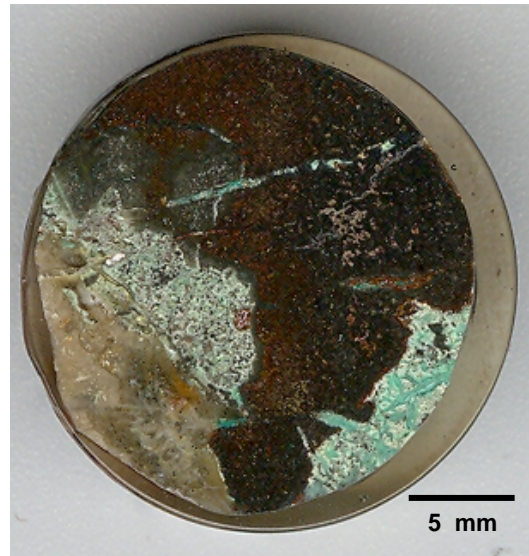
Las bandas de color café claro a oscuro están constituidas por un mosaico de cuarzo de grano fino, en partes con textura coloidal, con abundante goethita como mineral secundario, en posición intersiticial, en parches y rellenando fracturas. La proporción de los óxidos de hierro con respecto a la sílice microcristalina controla el color de las bandas. Tanto mediante el estudio minerográfico como bajo SEM-EDS se han identificado las fases presentes en la mineralización económica. Esta está formada esencialmente por electrum y naumannita junto con cantidades subordinadas de tetraedrita (Fig. 12), siempre alterada en mayor o menor grado a hematites, goethita y partzita, así como muy escasa calcopirita que sólo se detectó por microscopio electrónico. Estos minerales aparecen diseminados e intercrecidos con los granos de cuarzo. La pirita se presenta escasamente en cristales redondeados o subedrales diseminados en el cuarzo, en ocasiones parcialmente alteradas en sus bordes.

Se aprecia un conjunto de bandas y clastos de color verde-azul. Estas bandas están formadas por un mosaico de cuarzo de grano grueso junto con un mineral muy abundante de color verde-azul, identificado mediante difracción de rayos X como partzita ( $\text{Cu}_2\text{Sb}_2(\text{O},\text{OH})_7$ ). Este mineral se interpreta como el resultado de la alteración supergénica de la tetraedrita, por lo que forma parte de la 4ª etapa. También en estas bandas verde-azul se presenta naumannita y electrum diseminados escasamente y en mucho menor proporción que en las bandas color café. Cabe resaltar que el electrum se llega a observar a simple vista, ya que forma partículas de hasta un 1 mm de tamaño. La guía para encontrarlo es buscar clastos con bandas de color café o verde.

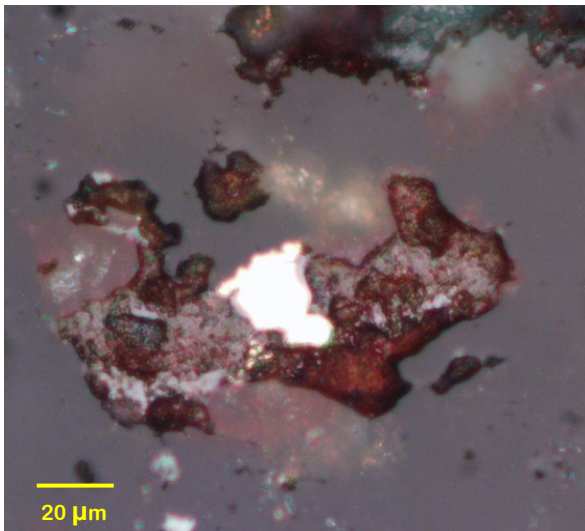




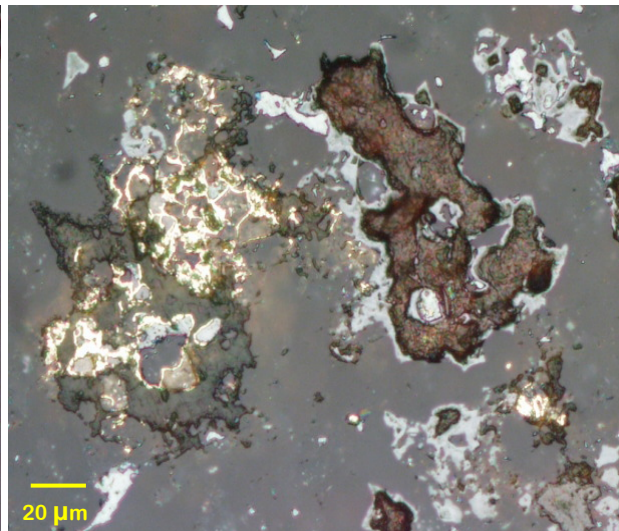
**Foto 8.** Sección pulida de la muestra SM05, donde se observa la intercalación de las bandas mineralizadas café y verde-azul.



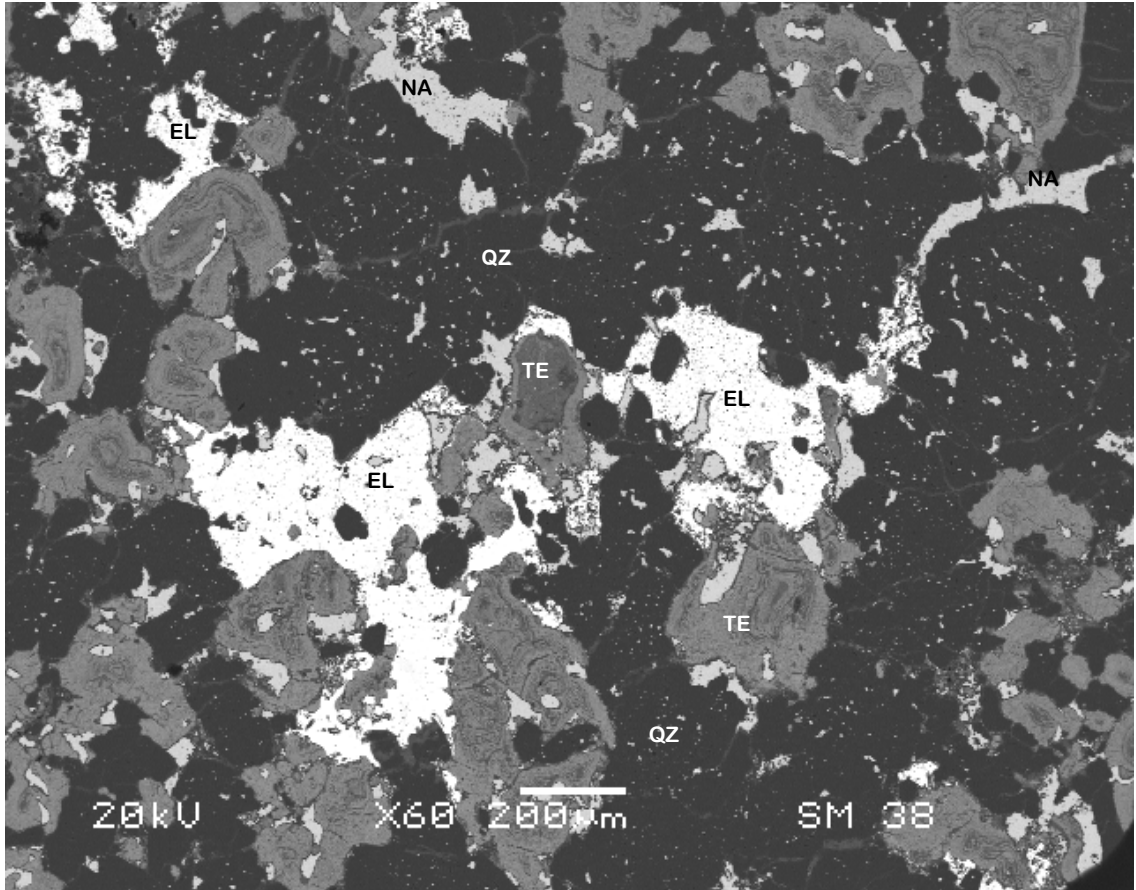
**Foto 9.** Sección pulida de la muestra SM05, donde se observa un clasto café oscuro, rodeado de partzita.



**Foto 10.** Muestra SM05. En el centro aparece una partícula de electrum, bordeada de naumannita. La tetraedrita se caracteriza por su color pardo oscuro rojizo.



**Foto 11.** Muestra SM05. El oro forma estructura esquelética, la naumannita se distingue por su color gris tenue y la tetraedrita por su color pardo oscuro rojizo y bordes muy definidos.



**Figura 12.** Imagen de microscopio electrónico de la muestra SM38, donde se obtuvieron los espectros individuales de los minerales EL= electrum, NA= naumannita, TE= tetraedrita y QZ= cuarzo, los espectros de cada mineral se pueden apreciar en el Anexo II.



### 4.3.2.3 3ª Etapa

Esta etapa se distingue por presentar clastos constituidos por fragmentos de los cementos crustiformes de sílice y calcita que aparecen en la 2ª etapa de brechamiento. Estos clastos se presentan siempre angulosos, con tamaños muy diversos, desde menos de 1 cm hasta 20 cm de tamaño.

En la muestra SM34, la 3ª etapa de cementante se distingue de la 2ª, porque donde predomina la calcita el color es blanquecino translúcido y en donde predomina el cuarzo es incoloro, transparente y con textura de mosaico grueso y peine. Además contiene: 1) Muy pocos clastos de rocas sedimentarias silicificadas y con vetillas internas de cuarzo; 2) Contiene abundantes y grandes cristales idiomórficos de calcita, indicativo de su crecimiento en un espacio vacío; 3) Clastos de cuarzo con textura sacaroidal con restos de calcita correspondientes a la 2ª etapa de cementante. En el contacto entre el cementante de 2ª y 3ª etapa, se forma un borde grueso de hasta 3 mm de grueso, conformado por cristales de calcita espática intercrecido con un poco de cuarzo (Foto 12).

En ésta 3ª etapa la clinozoisita se presenta en forma muy escasa. La muestra SM20 presenta cementante de cuarzo anedral de tamaño grueso, con escasa calcita y clinozoisita que rodea a los agregados de cuarzo. En contraste en la muestra SM19 el cementante es de calcita espática y contiene escasos cristales de clinozoisita.

En lo que respecta a mineralización metálica, al igual que en la 1ª etapa, no contiene mineralización de oro y/o plata. Observándose únicamente escasos y cristales aislados de pirita y pseudomorfos de hematites en pirita.

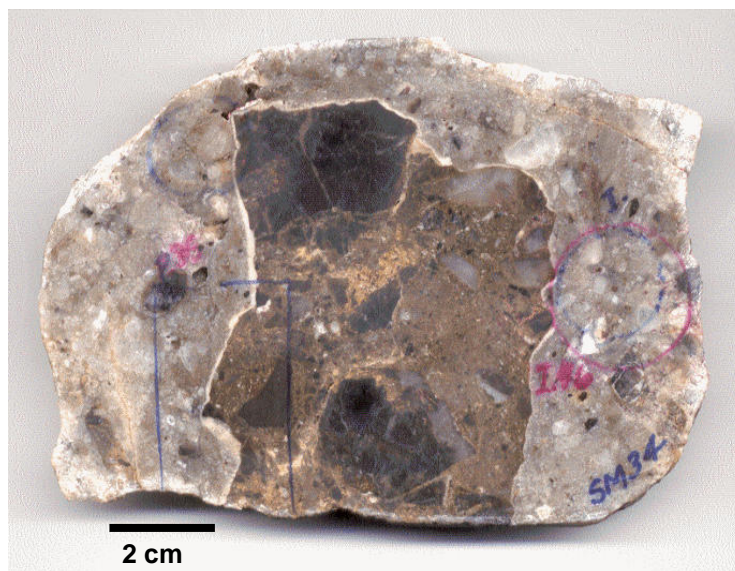


Foto 12. Muestra SM34 donde se observa un gran clasto con brechamiento de la 2ª etapa, recementado con calcita y cuarzo de la 3ª etapa.

#### 4.3.2.4 4ª Etapa

Está constituida por minerales formados por la alteración supergénica de los minerales metálicos de las tres etapas anteriores y vetillas delgadas de calcita que en algunas partes forman drusas que varían de color blanco a miel translúcido.

En esta etapa se presenta oro libre con textura esquelética (Foto 11) incluido en las oquedades del cuarzo cementante, y que muy probablemente tiene su origen en la alteración supergénica del electrum presente en la mineralización primaria de la 2ª etapa. También aparece un mineral como relleno de las últimas fracturas, que se distingue a la vista por su hábito laminar, su lustre ceroso y por su color café violáceo, café mate y/o verde mate, identificado como clorargirita. La presencia de este mineral, se explica como producto de la alteración supergénica de la naumannita, la tetraedrita y el electrum de la 2ª etapa.

La partzita (descrita anteriormente) se presenta abundantemente formando bandas junto con el cuarzo, que a su vez se intercalan con las bandas café, antes descritas, y también ocurre como halos de alteración de clastos de bandas café (Fotos 13 y 14). Asociada a la partzita se presentan muy escasas partículas que se clasificaron como malaquita por su color verde y por efervescer con el HCl. También se presenta hematites como pseudomorfo de los cristales de pirita, y goethita como alteración supergénica de los minerales que contienen alguna proporción de hierro, como son pirita, tetraedrita y/o calcopirita.

En la muestra SM05 se observa un mineral de apariencia terrosa y de color naranja, que reacciona con el ácido clorhídrico y rellena los últimos espacios dejados por el cuarzo café miel de la 3ª etapa (Foto 15). El análisis de microscopio electrónico indicó que se trata de calcita con pequeñas impurezas de Fe y Mg, que se infiere le dan ese color naranja tan distintivo.

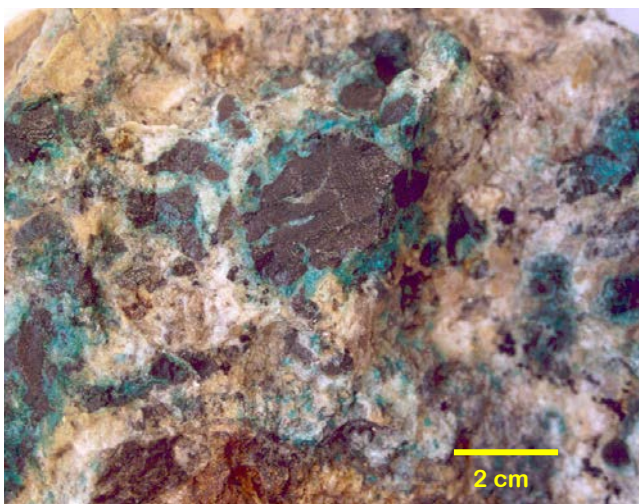


Foto 13. Ejemplar de mano de la muestra SM38. Obsérvese los Halos de alteración de partzita (mineral verde-azul) a partir de clastos café que al microscopio presentan tetraedrita, naumannita, electrum, goethita y cuarzo.

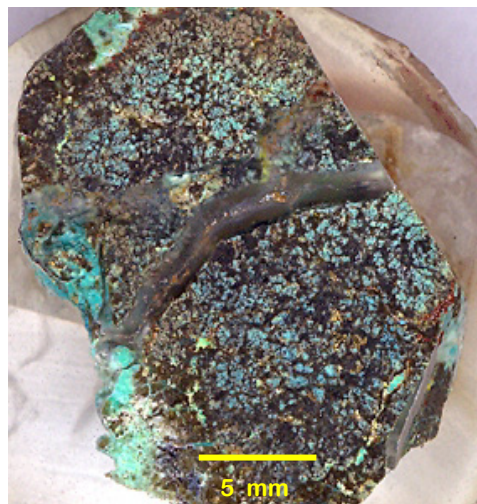


Foto 14. Sección pulida de la muestra SM38, clastos con partzita, naumannita y electrum a la vista.

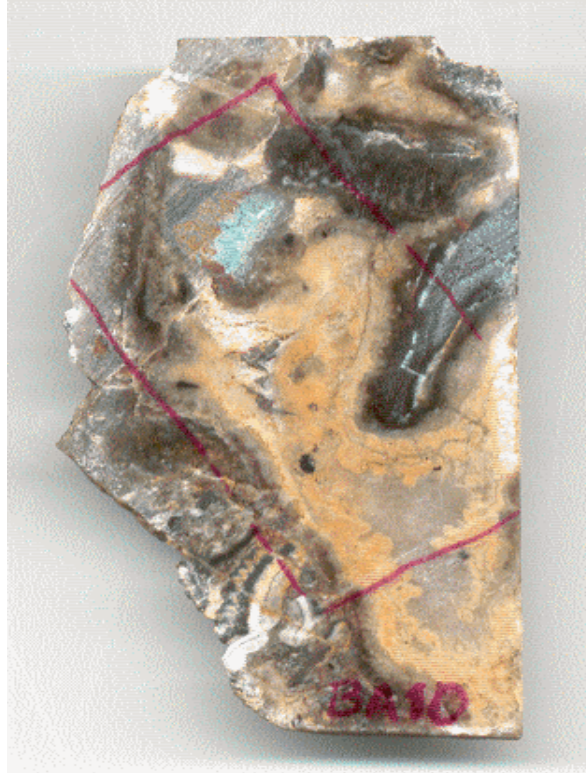


Foto 15. Detalle de la calcita de color naranja claro y cuarzo blanquecino, que forman bandas coloformas en el cementante de 4ª etapa.

Finalmente asociado a esta etapa, aparece un mineral de apariencia terrosa de color amarillo azufre, que esta relleno de las últimas fracturas y relleno de las cavidades de la muestra SM24. El análisis de microscopio electrónico indicó que por los elementos presentes se trata sólo de limonita.

## 4.4 INCLUSIONES FLUIDAS

### 4.4.1 Introducción

Los cristales perfectos no existen en la naturaleza y es generalmente aceptado que es virtualmente imposible que crezcan cristales ideales sin defectos, aún bajo las más rigurosas condiciones de laboratorio. El rango en el tamaño de las imperfecciones en los cristales van desde escala microscópica hasta defectos visibles a simple vista. Para los científicos del estado sólido estas imperfecciones obstaculizan la consecución de un cristal perfecto, pero para los geólogos esas imperfecciones bajo la forma de inclusiones líquidas, sólidas o de gases nos ofrecen la oportunidad de poder determinar los procesos físicos y químicos por los que el cristal creció en la naturaleza. El estudio de las inclusiones fluidas ha sido particularmente valioso en el campo de la génesis de los yacimientos minerales, utilizándose para determinar las condiciones de transporte de los metales y los mecanismos de formación de los yacimientos minerales (Roedder, 1979 ; Spooner, 1981).

Wilkinson (2001) menciona que los estudios de inclusiones fluidas se han venido utilizando desde hace más de 30 años, como una herramienta fundamental para el entendimiento de la génesis de yacimientos hidrotermales. Las inclusiones son muestras representativas de los fluidos que dieron origen al yacimiento y, en muchos casos, son los más precisos geotermómetros y geobarómetros que se pueden obtener para ese depósito.

### 4.4.2 Antecedentes Históricos

Según Roedder (1984), la primera descripción de una inclusión la aportó Abu Reykhan Al-Biruni un erudito asiático de siglo XI (Lemlein, 1956). Aparentemente la primera referencia en inglés fue de Robert Boyle (1672) quien describió una gran burbuja moviéndose dentro de un cristal de cuarzo. Los primeros trabajos analíticos para establecer la composición de una inclusión específica fueron hechos por Breislak (1818), Davy (1822), Brewster (1823a) y Nicol (1828); sus trabajos fueron usados como fuerte evidencia para apoyar la teoría Neptunista de la formación de minerales y rocas a partir del agua.

Sorby (1858), propuso que la burbuja de gas presente en el fluido de la mayoría de las inclusiones son el resultado del encogimiento (*shrinkage*) diferencial entre el líquido y el mineral

que las contiene durante el enfriamiento desde la temperatura de atrapamiento (Tt) hasta temperatura ambiente. Sorby mostró que los coeficientes de expansión por calentamiento (y en consecuencia el coeficiente de contracción por enfriamiento) para una variedad de soluciones líquidas, parecidas a los fluidos presentes en las inclusiones, eran uno o dos órdenes de magnitud mas grandes que los coeficientes para el mineral que las contiene. De esta manera él razonó que la temperatura de atrapamiento puede ser estimada calentando la muestra hasta el punto en el cual la burbuja desaparece, es decir, la temperatura de homogeneización (Th). A pesar de todas las limitaciones de su tiempo, los trabajos de hombres como Henry C. Sorby y Ferdinand Zirkel fueron sorprendentes, ya que muchas de sus conclusiones acerca del significado de las inclusiones fluidas aún son válidas en la actualidad. A Sorby se le ha reconocido como el “Padre de la Petrografía Microscópica” (D.W. Humphries, en Johnson, 1979) y también se le considera el “Padre de los Estudios de Inclusiones Fluidas”.

El mayor desarrollo del estudio de las inclusiones fluidas se da en el Siglo XX. Así, Smith (1953) publicó un catálogo con 400 trabajos escritos en inglés con anterioridad a 1953. El estudio de las inclusiones fluidas tuvo gran auge en la antigua Unión Soviética, destacando los trabajos de Lemlein (1956) que realizó una revisión corta de muchos trabajos de inclusiones escritos en ruso, y la presentó como un apéndice de la traducción al ruso del libro de Smith. Naumov et al. (1976) reportaron que sus archivos contenían 2900 registros de publicaciones sobre inclusiones fluidas hasta 1975. Bakumenko y Dolgov (1977) realizaron una revisión de los estudios soviéticos sobre inclusiones publicados hasta ese año. Ermakov y Dolgov (1979) publican su obra “Termobarogeoquímica”, término usado en la URSS como sinónimo para los estudios de inclusiones fluidas. Moiseenko y Malakhov (1979) y Rekharsky (1980) publican libros sobre los métodos y aparatos para estudios de inclusiones fluidas.

Destaca el desarrollo que, en los últimos años, están alcanzando las investigaciones sobre inclusiones fluidas en todas partes del mundo; se multiplican los congresos, los trabajos y datos experimentales y se prueban nuevas técnicas analíticas. En este sentido cabe destacar la recopilación de artículos sobre inclusiones fluidas en minerales y rocas llevadas por Roedder (USA) y Kozlowski (Polonia), desde 1968 hasta la actualidad. Así los resúmenes de todos los artículos que han salido en un año son recogidos en un volumen especial publicado por la Universidad de Michigan (USA). Estos volúmenes se reconocen con el nombre de COFFI (Commission on Ore-Forming Fluid in Inclusions) (Mangas y Sierra, 1991).

#### 4.4.3 Aplicación Actual de las Inclusiones Fluidas

Roedder (1984), menciona que como las inclusiones fluidas casi siempre se ubican en muestras geológicas (minerales en rocas), su estudio es aplicable a una gran variedad de problemas geológicos, como los que a continuación se describen:

- ❑ **En estudios de yacimientos minerales**, proveen información que aporta información desde la exploración de nuevos depósitos minerales hasta para determinar los mecanismos genéticos que dieron lugar a los yacimientos. Los yacimientos minerales son anomalías extraordinarias en la Tierra que nos proveen de las más claras evidencias de los fluidos que pasaron a través de fallas, fracturas y rocas porosas que, en el proceso, disolvieron, transportaron y concentraron minerales.
- ❑ **En el estudio de muestras lunares y meteóricas**, han ayudado a la reconstrucción de la génesis de procesos extraterrestres y posiblemente terrestres.
- ❑ **En la gemología**, las inclusiones fluidas se consideran características negativas, porque ellas son frecuentemente las imperfecciones que hacen la diferencia entre un gema muy valiosa o un espécimen sin valor. También pueden ayudar en la exploración de un yacimiento de gemas, en la identificación de la fuente original y en la distinción entre gemas naturales y sintéticas.
- ❑ **En la estratigrafía y sedimentación**, han sido utilizadas como patrones para identificar la proveniencia de los granos detríticos en areniscas, cuarcitas y conglomerados.
- ❑ **En terrenos complejos de rocas ígneas y metamórficas**, algunas veces han clarificado la petrogénesis y la tectónica, cambios en la presión y temperatura durante el levantamiento y la erosión e incluso han ayudado en el reconocimiento de los inicios de un volcanismo explosivo.
- ❑ **En la búsqueda de petróleo**, las inclusiones fluidas pueden contener hidrocarburos y/o agua que han dado información sobre la tectónica y la evolución de la presión y temperatura de las cuencas petroleras.
- ❑ **En la prevención de accidentes en la explotación de domos de sal**, debido al desplome en el interior de las minas causado por la decrepitación natural de las inclusiones de miles de toneladas de sal ricas en inclusiones. Reconociendo las inclusiones en las muestras de núcleos se puede prevenir este tipo de accidentes.



- ❑ **En el estudio de la evolución de la atmósfera y la paleoclimatología**, inclusiones de gas en capas de hielo polar han permitido la reconstrucción de paleoconcentraciones de CO<sub>2</sub> e inclusiones en depósitos de cavernas, en forma conjunta han aportado datos sobre la paleotemperatura y paleoclimatología durante los últimos 350,000 años.
- ❑ **En la perforación de sistemas geotérmicos activos**, inclusiones medidas en muestras de núcleos barrenados han dado información sobre el comportamiento de la temperatura a profundidad, de manera que las inclusiones se convierten en una guía en el desarrollo de los campos geotérmicos.
- ❑ **En el estudio de muestras de rocas del manto**, inclusiones estudiadas en xenolitos ultramáficos encontrados en basaltos y kimberlitas, han proporcionado información acerca de los elementos volátiles presentes en el manto.
- ❑ **Ubicación de reactores nucleares y almacenamiento de residuos nucleares**, las inclusiones han sido muy útiles en la evaluación y diseño de sitios seguros.

#### **4.4.4 Criterios de Clasificación**

El origen de los depósitos hidrotermales es consecuencia de una serie de procesos geológicos en los que los fluidos juegan un papel crucial. Estos fluidos pueden quedar atrapados en pequeñas cavidades o lagunas de cristalización (generalmente menores a 100 micras), que se conocen como inclusiones fluidas. Además, una inclusión fluida puede estar rellena por uno o varios fluidos, en los cuales pueden además haber uno o más minerales sólidos (Mangas y Sierra, 1991).

El criterio más ampliamente utilizado es el que se basa en su origen. Se consideran tres tipos principales (Roedder, 1984; Mangas y Sierra, 1991):

##### **4.4.4.1 Inclusiones Primarias**

Cuando un cristal crece o recristaliza en un medio fluido de cualquier clase, se forman irregularidades capaces de atrapar pequeñas porciones del fluido, de tal manera que cuando el cristal sigue su crecimiento, estas irregularidades con fluido son selladas formándose las inclusiones primarias. Estas inclusiones son las más representativas de las condiciones termodinámicas en el momento del atrapamiento, y se caracterizan por aparecer aisladas o

siguiendo los planos de crecimiento o cristalográficos. Los mecanismos de captura de inclusiones primarias, son los que se ilustran en los incisos a al f, de la Figura 13.

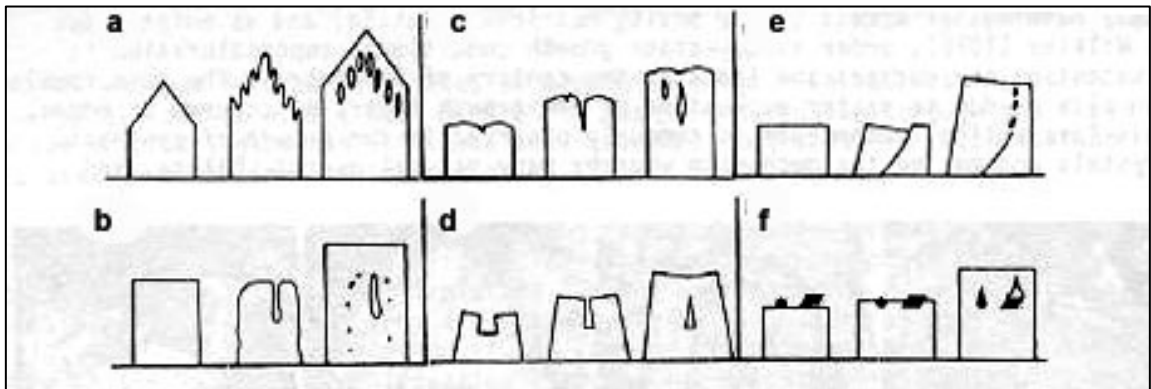


Figura 13. Tomada de Roedder (1984).

- a) El crecimiento rápido de un cristal propicia la formación de bordes dendríticos, si el cristal sigue creciendo pero ahora a una velocidad menor, puede propiciarse la formación de inclusiones de diversos tamaños.
- b) La disolución parcial de un cristal preexistente, genera entrantes profundas y contornos curvos, que cuando se reanuda el crecimiento originan la formación de inclusiones grandes o bandas de inclusiones pequeñas.
- c) Un cristal está formado por capas que estrictamente no son planas, sobre ellas se fijan gérmenes de diferente tamaño que propician la formación de vacíos y cavidades donde puede quedar atrapado fluido y formarse inclusiones primarias.
- d) El crecimiento subparalelo de un cristal puede ocasionar la captura de inclusiones.
- e) Una fractura en la superficie de un cristal en crecimiento, ocasiona un crecimiento imperfecto y en este lineamiento pueden quedar atrapadas inclusiones.

Como se describirá más adelante, este tipo de inclusiones actualmente se clasifican como pseudosecundarias.

- f) Cualquier objeto sólido en la superficie de un cristal, puede ser atrapado como inclusión sólida y al mismo tiempo puede propiciar la captura de una inclusión fluida.

#### 4.4.4.2 Inclusiones Pseudosecundarias.

Si un cristal se fractura durante su crecimiento, los fluidos pueden entrar dentro de esta fractura, recrystalizando el mineral huésped y quedando los fluidos atrapados dentro del cristal.



El posterior crecimiento de este mineral “sella” la fractura. Este tipo de inclusiones se conocen como pseudosecundarias y representan estados intermedios entre las inclusiones primarias y secundarias. Para poder definir las exactamente, es necesario que estén bien delimitadas las fracturas dentro del cristal.

#### 4.4.4.3 Inclusiones Secundarias

Las inclusiones secundarias son las que se forman por cualquier proceso posterior a la cristalización del mineral. Si un cristal se fractura en presencia de un fluido, este último puede penetrar en la fractura y puede provocar un proceso de disolución-recristalización del cristal huésped. El proceso continuará con la reducción de la superficie del cristal, lo que usualmente produce la captura de inclusiones secundarias.

Wilkins y Barkas (1978) dividieron a las inclusiones secundarias en dos subtipos: las que se crean por la deformación frágil (cicatrización de fracturas) y las que resultan por una deformación dúctil (plástica). Estos mismos autores proponen el término de inclusiones de exsolución para aquellas que se forman por una migración de fluidos durante los procesos de deformación dúctil, ya sea que los fluidos vengan de fuera del cristal o resulten de procesos dentro del mismo cristal.








En conclusión, las inclusiones primarias y pseudosecundarias nos dan información del fluido presente durante el crecimiento del cristal y en cambio las inclusiones secundarias proporcionan información sobre los fluidos que circularon por las fracturas del cristal, después de que éste ya se había formado.

Otra manera muy sencilla de clasificar las inclusiones es a partir de las fases (líquida, gaseosa, sólida) que presentan:

- **MONOFÁSICA**, si sólo presenta una fase.
- **BIFÁSICA**, si presenta 2 fases las cuales son la líquida y la gaseosa.
- **TRIFÁSICA**, si presenta 3 fases, que son la líquida, la sólida y la gaseosa.
- **POLIFÁSICA**, si presenta más de 3 fases.

Shepherd et al. (1985) y Mangas y Sierra (1991) describen y resumen una forma muy extendida de clasificar a las inclusiones, propuesta por varios autores, basado en las diferentes proporciones de sólidos, líquidos y vapor presenten en el interior de la inclusión. (Tabla 5)

**Tabla 5.** Clasificación de inclusiones fluidas de acuerdo a Shepherd et al. (1985)

| TIPO DE INCLUSIÓN          | ABREVIACIÓN | FASE ESENCIAL            | DESCRIPCIÓN   | EJEMPLO   |
|----------------------------|-------------|--------------------------|---|---|
| Monofásicas líquidas       | (L)         | L = 100%                 | Estas son las más simples de todas las inclusiones ya que están totalmente formadas por líquido.  |    |
| Bifásicas ricas en líquido | (L + V)     | L > 50%                  | La fase líquida domina pero siempre hay presente una pequeña burbuja de vapor, pero que no sobrepasa el 50% del volumen total.  |    |
| Bifásicas ricas en vapor   | V + L       | V = 50 a 80%             | Domina la fase de vapor ocupando más de la mitad del volumen total de la inclusión. De este manera un delgado anillo de líquido es aun visible.   |    |
| Monofásicas de vapor       | V           | V ≅ 100%                 | Están totalmente rellenas con una fase vapor de baja densidad (usualmente una mezcla de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> ), sin ningún líquido visible.   |    |
| Multifásicas sólidas       | S + L = V   | L = variable<br>S < 50%  | Éstas y las multisólidas, son similares ya que contienen una o más fases cristalina sólidas (minerales hijos) como un componente esencial, en adición al líquido y vapor. Si el sólido ocupa más del 50%, la inclusión se denomina como multisólida más que multifásica.  |   |
| Multisólidas               | S + L = V   | S > 50%<br>L, V variable |   |   |
| Líquidos inmiscibles       | L1 + L2 = V | L1. L2                   | Se caracterizan por la presencia de dos líquidos inmiscibles, siendo una acuosa y la otra rica en CO <sub>2</sub> . La fase rica en CO <sub>2</sub> puede contener cantidades importantes de CH <sub>4</sub> o N <sub>2</sub> .   |  |
| Vítreas                    | GL ± V ± S  | GL > 50%                 | Inclusiones atrapadas de la fusión del silicato "either" forme la inclusión cristalina. La característica esencial es la presencia de vidrio en al menos un 50%, de la parte sólida de la inclusión<br><br>Las inclusiones de vidrio son más comunes en fenocristales de rocas volcánicas o subvolcánicas y también se ha observado en meteorito y rocas lunares. |  |

#### 4.4.5 Fundamento de Estudio.

Según Mangas y Sierra (1991) en el estudio de las inclusiones fluidas es necesario establecer dos hipótesis fundamentales que condicionan su utilización y asumirse para que los resultados sean válidos:

- ❑ El fluido atrapado en la inclusión primaria representa el fluido a partir de la cual creció el mineral.
- ❑ Una vez atrapado el fluido, se supone que la cavidad permanece hermética y químicamente inerte.

A pesar de lo anterior, se deben tomar en cuenta una serie de fenómenos que pueden presentarse y ser contrarios a la validez de esta hipótesis.

- 1) En su gran mayoría, las inclusiones fluidas se forman por la captura de un fluido homogéneo, aunque existen casos excepcionales en que las inclusiones son atrapadas a partir de sistemas heterogéneos como, por ejemplo, fluidos que llevan partículas en suspensión o sistemas heterogéneos de dos o más fluidos inmiscibles.
- 2) Después de que un pequeño volumen de fluidos queda atrapado, pueden producirse diversos cambios en las fases capturadas y en la naturaleza física de la inclusión, tales como:
  - ❑ Cambios en las fases. Por ejemplo, la cristalización del mineral que contiene las inclusiones por enfriamiento natural; la presencia de una burbuja de gas o vapor que nuclea y crece cuando la presión en el interior de la inclusión es menor que la presión total de vapor del fluido atrapado; o la precipitación de nuevas fases sólidas diferentes a la del mineral encajante (cristales hijos).
  - ❑ Cambio del emplazamiento y la morfología. La forma de muchas inclusiones es diferente a la que tenían en el momento del atrapamiento. Esta variación es mínima si el enfriamiento es rápido, si la forma original es estable, o si la solubilidad del mineral es muy baja. Si las paredes de la inclusión son más estables de un lado que del otro, se producirá un movimiento de la inclusión a lo largo del cristal mediante la disolución y recristalización de éste. Las inclusiones también pueden sufrir roturas y, en ocasiones, cambios de volumen. Si la rotura no llega a la superficie externa y, posteriormente, recristaliza se forma un halo de inclusiones secundarias, lo que se denomina decrepitación parcial. Algunos cambios irreversibles de volumen pueden aparecer por una nueva recristalización de las paredes, así como por la contracción del mineral que contiene las inclusiones.

#### 4.4.6 Técnicas de Estudio

Los métodos empleados se dividen en dos tipos: los destructivos, que necesitan la extracción del contenido de las inclusiones y los no destructivos o indirectos, que en principio no afectan la estructura o composición de la inclusión (Mangas y Sierra, 1991):

##### 4.4.6.1 Métodos Destructivos.

- **Análisis de cationes (Crush-Leach):** Después de limpiarla con ácidos y agua destilada, la muestra es triturada hasta polvo para abrir la totalidad de sus inclusiones, los complejos volátiles son evaporados. El mineral triturado se lixivia con agua destilada muy pura, dopada con una sal de lantano. El extracto es analizado por técnicas estándar como ICP-MS, ICP, absorción atómica, fotómetro de llama o colorimetría, para determinar las relaciones de iones como Na, K, Ca, Mg, Cl, B, y SO<sub>4</sub> presentes en los fluidos.
- **Análisis de Aniones:** Por cromatografía de líquidos.
- **Análisis de gases:** Estos son liberados por trituración o calentamiento progresivo y analizados por cromatografía de gases.

El condicionante más importante para la utilización de estos métodos destructivos, es la presencia de varias generaciones de inclusiones con diferentes composiciones; por consiguiente el contenido que se extrae es una mezcla de todos los fluidos.

##### 4.4.6.2 Métodos No Destructivos.

- La microtemometría es el principal método no destructivo y se basa en la observación bajo el microscopio de los cambios de fase que ocurren en una inclusión al ser congeladas mediante nitrógeno líquido y al ser calentadas hasta su completa homogeneización. La naturaleza del contenido de la inclusión y las condiciones termobarométricas son función de la temperatura a la que se producen dichos cambios de fase.
- La microsonda Raman (microsonda molecular con láser, MOLE), permite analizar puntualmente compuestos poliatómicos con una componente de enlace covalente, y de pequeño tamaño (sólidos atrapados, fases congeladas) o volumen (gases). Los diferentes constituyentes se reconocen por la posición e intensidad de la radiación Raman.

#### **4.4.7 Microtermometría.**

Se basa en la medida de las temperaturas a las que se producen cambios de fases en las inclusiones cuando se congelan y calientan de forma controlada. Las temperaturas de fusión dan valores indicativos sobre la composición en sales del fluido atrapado. Las temperaturas de homogeneización se consideran temperaturas de atrapamiento de las inclusiones, siempre que la presión de captura no haya excedido la presión de vapor, en caso contrario ha de introducir una corrección por presión, estimada mediante un geobarómetro o geotermómetro independiente. Las temperaturas de homogeneización permiten estimar la densidad del fluido (Mangas y Sierra, 1991).

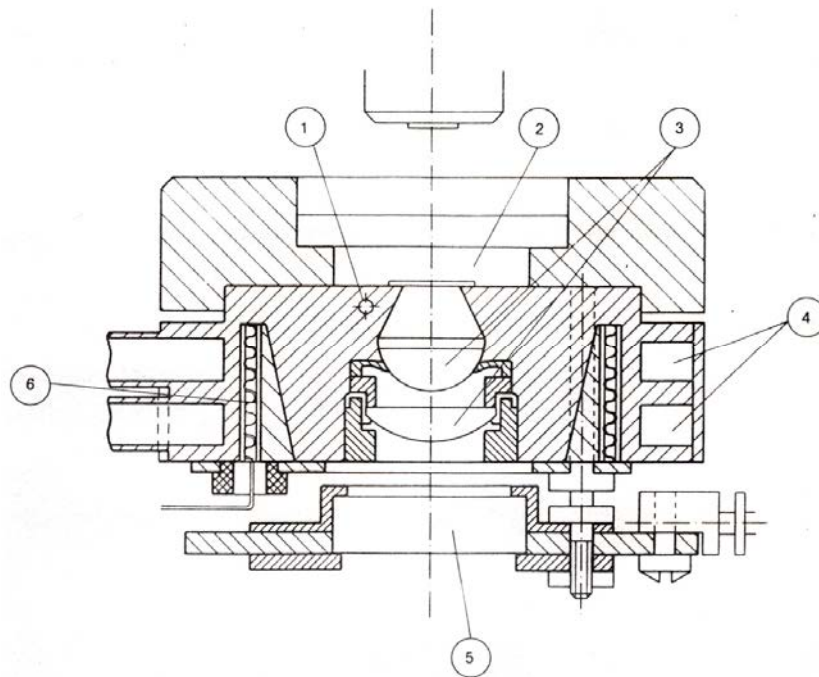
#### **4.4.8 Instrumental Utilizado en Este Estudio**

El estudio microtermométrico se llevó a cabo mediante una platina calentable – enfriable Chaixmeca modelo 1987, de fabricación francesa, instalada en el Laboratorio de Petrografía y Microtermometría del Centro de Geociencias de la UNAM. La platina es de operación manual y esta montada sobre un microscopio Carl Zeiss, con objetivos de hasta 40x, y un amplificador de 1.6 X.

El congelamiento de las inclusiones se logra a partir de la circulación de nitrógeno líquido a presión, por el bloque metálico de latón (Fig.14) que va colocado sobre la platina del microscopio y que contiene la muestra a estudiar. El calentamiento se logra a través de un sistema de resistencias eléctricas incluidas en el bloque metálico de la platina, complementado con un disipador de calor (flujo de agua en circuito cerrado) montado sobre el objetivo del microscopio para evitar que se afecte el lente por el incremento de temperatura. La temperatura se controla mediante un termopar instalado en el bloque de latón, a cierta distancia de la muestra, por lo que la temperatura medida no es la que presenta la inclusión. Esta diferencia se recalcula a través de la calibración de la platina mediante compuestos químicos de punto de fusión conocidos (Merck) e inclusiones fluidas sintéticas (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O ultrapura).

La operación de la platina se logra por medio de una sencilla consola electrónica, donde se puede manejar manualmente, tanto el calentamiento como el congelamiento, así como la velocidad con la que se realizan los cambios de temperatura. La platina Chaixmeca tiene capacidad para congelar las muestras hasta -196° y calentarlas hasta 500 °C. Sin embargo por

el tipo de inclusiones de este yacimiento sólo se trabajó en el rango de  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  y hasta un poco menos de  $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Las mediciones obtenidas, tanto en el congelamiento como en el calentamiento, se rectificaron manualmente a partir de curvas de calibración preparadas en el mismo laboratorio a partir de los estándares anteriormente mencionados.



**Figura 14.** Sección transversal de la platina Chaixmecha (Poty et al. 1976) tomado de Lunar y Oyarzun (1991). 1) Sonda de resistencia de platino; 2) Cámara para depositar la muestra; 3) Condensadores ópticos; 4) Conductos para circulación de nitrógeno líquido enfriante; 5) Filtro de rayos infrarrojos; 6) Resistencias eléctricas para producir el calentamiento.

#### 4.4.9 Preparación y Observación de las Superficies Para Inclusiones

Las muestras de roca utilizadas para el estudio de inclusiones fluidas fueron recolectadas en su mayor parte sobre la estructura mineralizada de la mina San Martín. En algunos pocos casos también se obtuvieron muestras de la roca encajonante en la proximidad de la estructura mineralizada (ver Anexo I).

Dentro de la muestra de roca, el punto preciso para obtener la superficie doblemente pulida se eligió mediante la presencia de cristales de cuarzo y/o calcita que a simple vista mostraran ser, cuando menos, un poco translúcidos o transparentes y que además, por medio del estudio petrográfico, pudieran ser incluidos en alguna de las etapas de brechificación de la mineralización descritas en este estudio. Para la denominación de las muestras se agregó la terminación QZ a las provenientes de cristales de cuarzo y CAL a las de cristales de calcita.

Se prepararon 52 superficies doblemente pulidas, con espesor medio entre 50 y 100 micras. La temperatura durante la preparación de la superficie no excedió los 100 °C para no provocar cambios de volumen irreversibles en las inclusiones. Estas muestras, una vez cortadas, fueron impregnadas mediante una resina de curado en frío, pulidas por una cara hasta calidad quasi-metalográfica. Esta superficie pulida fue pegada a un portaobjetos no esmerilado mediante una resina de curado en frío y soluble en acetona. Esta muestra se cortó dejando una lámina de 2 mm de espesor como máximo pegada al vidrio, se desbastó de forma controlada y se pulió mediante abrasivo de diamante hasta calidad quasi-metalográfica. Durante el pulido se tuvo en consideración tanto la velocidad de giro de la pulidora automática como ejercer poca presión sobre las muestras para evitar en lo más posible su deformación. El resultado final fueron láminas de roca doblemente pulidas de unas 100 micras de espesor.

Como paso previo al estudio de las inclusiones fluidas, se realizó un estudio petrográfico en detalle de las muestras de roca, que nos permitió situar a qué etapa de la mineralización pertenecen las inclusiones seleccionadas. Luego, para elegir a qué muestras se les medirían las inclusiones, se estudiaron al microscopio cada una de las superficies. En este estudio se elaboró un mapa de cada superficie, en donde se marcaron las zonas con las mejores inclusiones, se describieron las características de las inclusiones observadas como: forma, tamaño, tipo (primaria, pseudosecundaria, secundaria), grado de relleno, etc. Finalmente se tuvo que partir la superficie en fragmentos no mayores a 1 cm<sup>2</sup>, para que se pudiesen colocar dentro del bloque metálico de la platina y proceder a su estudio.

## 4.4.10 Petrografía de Inclusiones Fluidas

### 4.4.10.1 Inclusiones de Vidrio en el Dique

Únicamente en el dique silicificado se encontraron inclusiones de vidrio, de claro origen magmático. Estas inclusiones fueron analizadas mediante microsonda Raman en el laboratorio del CREGU de Nancy, Francia, por el Dr. Gilles Levresse (Foto 16).



Foto 16. Microsonda Raman (®Dilor-Jobin-Yvon) instalada en el laboratorio CREGU, en Nancy, Francia.

Esta técnica se usa en la cuantificación de moléculas poliatómicas en inclusiones fluidas que no presentan fluorescencia. Las inclusiones acuosas frecuentemente contienen gases disueltos, como  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{N}_2$ , cuyo contenido relativo puede ser determinado por medio de la microsonda con efecto Raman. La cantidad de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{CO}_2$  en las partes gaseosa y líquida de las Inclusiones se obtiene a partir de la relación al  $\text{H}_2\text{O}$  (ej:  $\text{CH}_4/\text{H}_2\text{O}$ ) obtenida a través de la integración del área de los picos para cada uno de estos compuestos. El procedimiento analítico se realiza en los siguientes pasos:

1. Se obtiene el espectro del mineral que contiene las inclusiones para determinar la posición de las bandas de vibración y determinar el grado de luminiscencia de la matriz. Si la fluorescencia es demasiado intensa puede enmascarar el espectro Raman, por lo que las bandas del metano y del agua no se pueden medir.



2. En el caso de la burbuja de vapor sea estable, el láser se enfoca dentro de la fase gas en condiciones ambientales para determinar la presencia de metano. Si no se detecta metano en la fase vapor, este no puede ser cuantificado en la inclusión ya homogeneizada.

La muestra del dique con inclusiones magmáticas (SM10) se obtuvo en el cuerpo 29 del rebaje 3-095. Al estudiarla al microscopio se observó la presencia de inclusiones constituidas por una burbuja de vapor y sólidos de carácter muy inusual, incluidos en los cuarzos magmáticos que forman al dique. Las inclusiones primarias en el núcleo de los cristales de cuarzo magmáticos (Fotos 17 y 18) están constituidas por vidrio, minerales atrapados y una burbuja de vapor muy oscura.

Por medio de la Microsonda Raman se determinó que la burbuja está constituida únicamente por  $\text{CO}_2$  gas. Asimismo, el análisis de los sólidos atrapados en las inclusiones de vidrio indicó que se trata de cristales de andalucita ( $\text{SiO}_5\text{Al}_2$ ), minerales no observados en la matriz de la roca (Fig. 15).

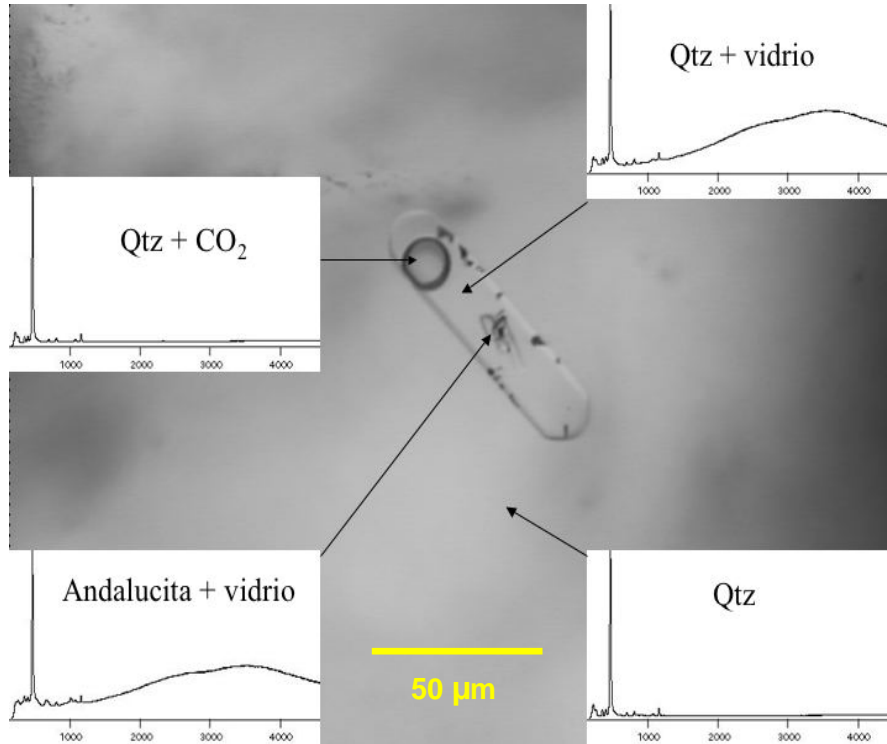


Figura 15. Inclusión primaria de vidrio con gas ( $\text{CO}_2$ ) en el interior de un cuarzo magmático, junto con el espectro obtenido mediante microsonda Raman de la composición del mineral encajonante de la inclusión y de la composición de los gases en la burbuja.

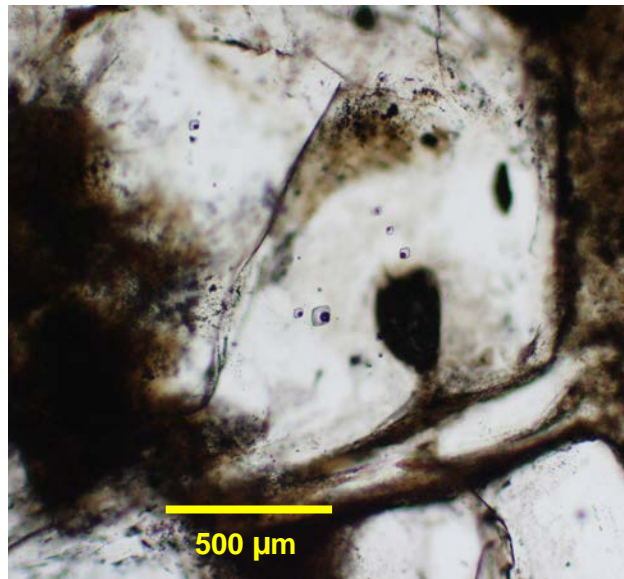


Foto 17. Muestra SM10. Inclusiones primarias de vidrio en el interior de un cristal de cuarzo magmático.

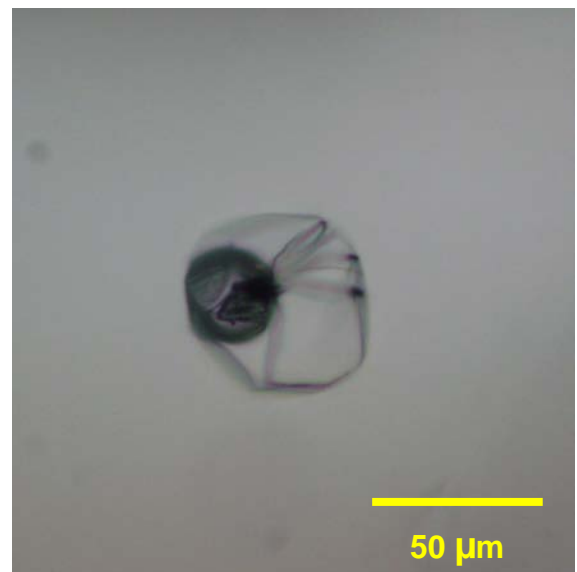
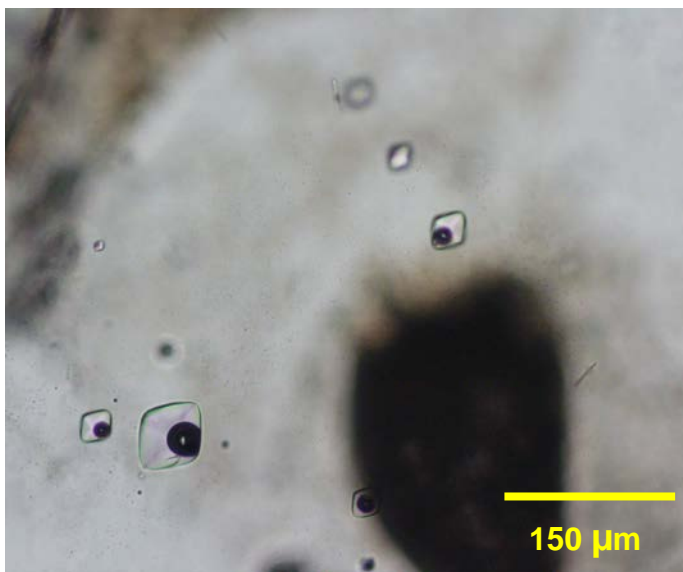


Foto 18. Muestra SM10. Detalle de las inclusiones de vidrio primarias. A la derecha se observan claramente los cristales de andalucita atrapados.

Debido a la falta de una platina de alta temperatura (1500 °C) para el estudio de inclusiones de vidrio, no fue posible realizar mediciones microtermométricas en estas inclusiones. No obstante, la presencia de andalucita atrapada bajo la forma de cristales idiomórficos (Foto 18) muy posiblemente indica que estos ya existían como sólidos y fueron atrapados junto con el fundido silicatado. La presencia de andalucita es compatible con la intrusión de un magma en condiciones de baja presión y temperaturas moderadas (Fig. 16), tal y como se correspondería con un cuerpo subvolcánico.

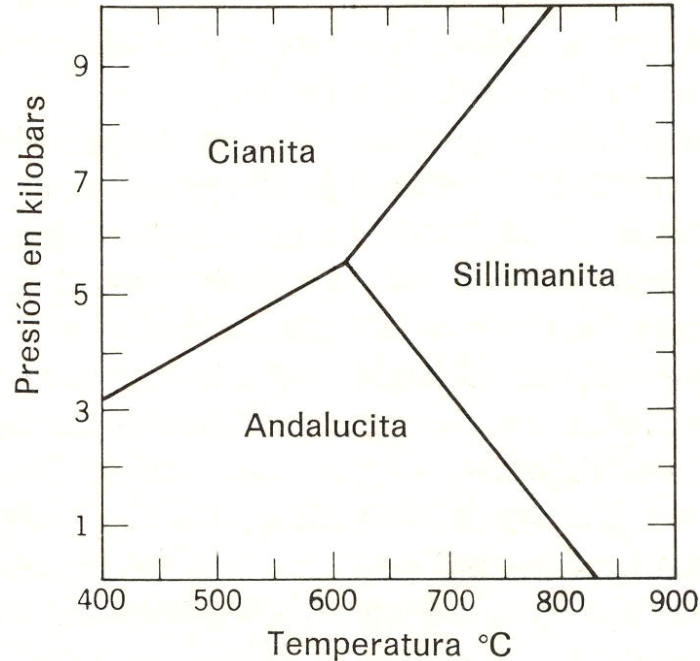


Figura 16. Diagrama de fases del  $\text{SiO}_5\text{Al}_2$

#### 4.4.10.2. Inclusiones Fluidas Acuosas

Los cristales de cuarzo claramente magmáticos están sobrecrecidos por cuarzo de origen hidrotermal que incluye inclusiones fluidas acuosas bifásicas, claramente hidrotermales con un grado de relleno estimado de 0.9%.

Las inclusiones fluidas que se presentan en los cementantes de las estructuras brechadas mineralizadas en su gran mayoría son acuosas bifásicas, esto es que presentan una fase de líquido predominante y una burbuja de vapor; el grado de relleno estimado predominante es de 0.9 a 0.95% y en algunos pocos casos baja hasta 0.8%. En sólo un caso aislado se presentan hasta en 0.65% y muy pocas se presentan monofásicas.

La forma de las inclusiones observadas es muy variada. Suelen ser elipsoidales con forma regular, irregulares pero con bordes conspicuos, alargadas como tubitos, rombohedrales y, en ocasiones en forma de ganchos. Aunque la mayoría son pequeñas, entre 5 y 20 micras, unas pocas presentan tamaños de hasta 100 micras. En este estudio (Fotos 19 - 24).

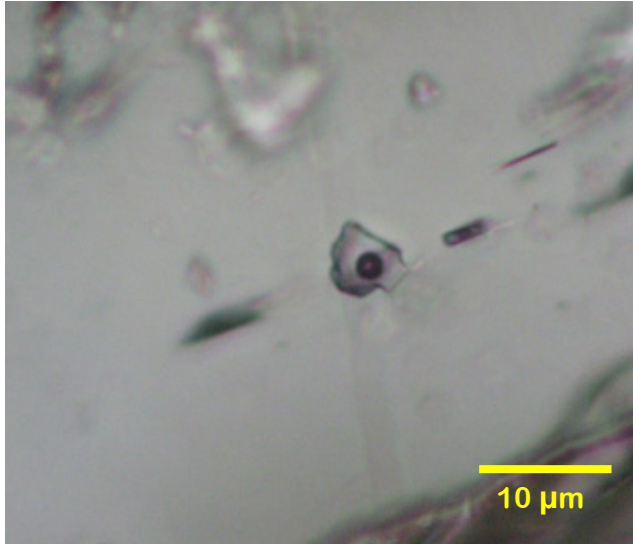


Foto 19. Muestra SM36 CAL, se observan Inclusiones de 1ª etapa.

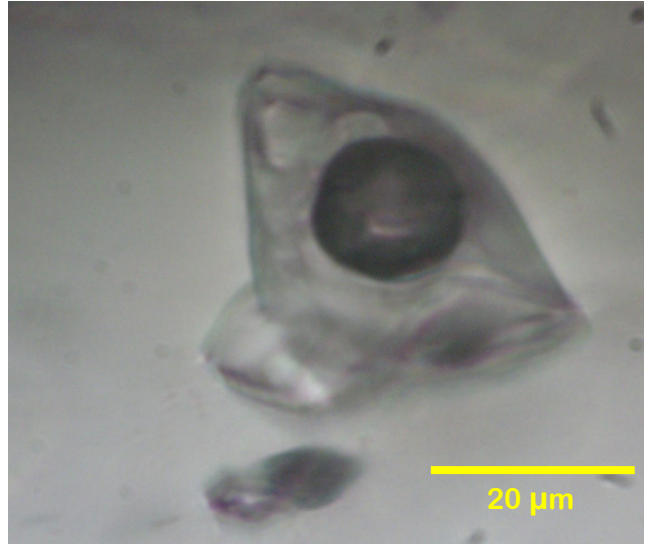


Foto 20. Muestra SM36 CAL, detalle de una inclusiones de 1ª etapa de tamaño poco común.



Foto 21. Muestra SM04QZ, inclusiones de 2ª etapa en cuarzo.

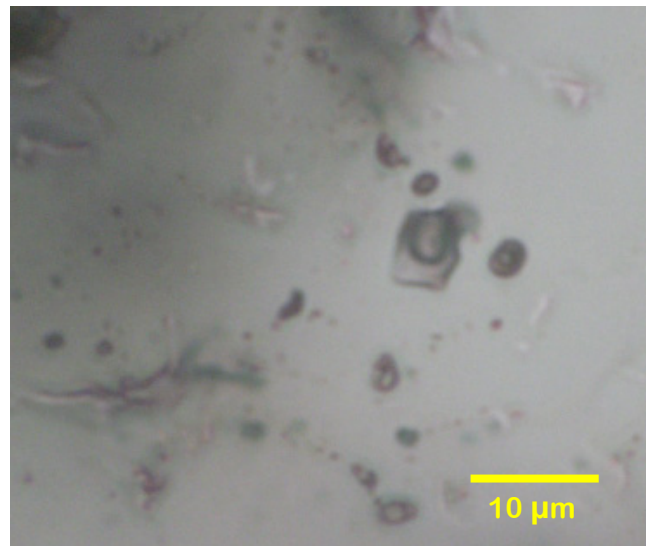


Foto 22. Muestra SM21QZ, inclusiones de 2ª etapa en cuarzo.

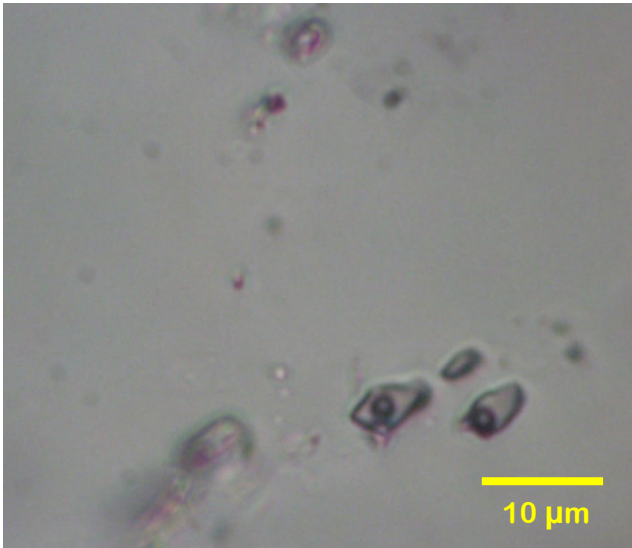


Foto 23. Muestra SM39 QZ, inclusiones de 3ª etapa en cristal de cuarzo.

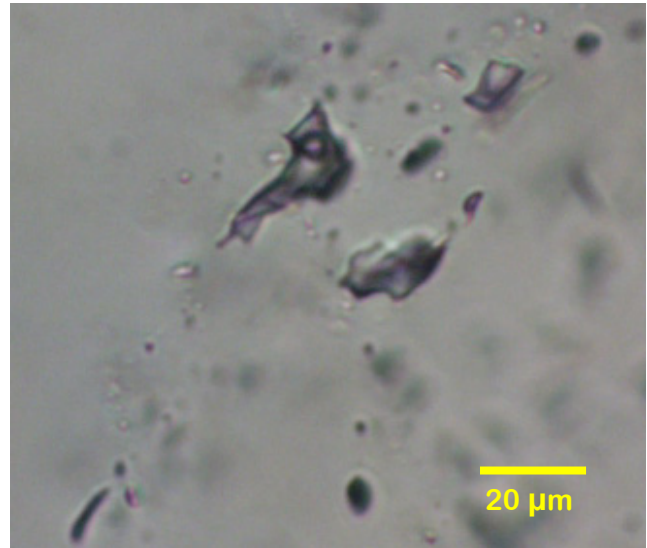


Foto 24. Muestra SM39 QZ, inclusiones de 3ª etapa en cristal de cuarzo.

#### 4.5 RESULTADOS MICROTERMOMÉTRICOS

La Tabla 6, resume los resultados obtenidos en el estudio de inclusiones fluidas y el total de mediciones microtermométricas se pueden consultar en el Anexo II. Las muestras estudiadas fueron elegidas por considerarse que son representativas de las diferentes etapas de la mineralización, además de estar ubicadas a lo largo de los diferentes cuerpos mineralizados y a diferentes profundidades de las obras mineras.

Lo primero que se intentó medir fue el punto eutéctico, desafortunadamente por problemas ópticos no fue posible obtener dicha medición. En segundo lugar se midió la temperatura de fusión del hielo, a partir de la cual se obtuvo la salinidad de la inclusión debido a la depresión del punto de fusión del mismo con respecto al contenido en sales. Por último se analizó la temperatura de homogeneización que siempre fue a fase líquida por desaparición de la burbuja. Nunca se observó la homogeneización a fase vapor, ni la fusión de clatratos.

El cálculo de la salinidad total para cada inclusión medida se realizó mediante la utilización del programa MacFlinCor (Brown, 1989, 1992), considerando el sistema NaCl-H<sub>2</sub>O. Estas mediciones en forma completa se pueden consultar en el Anexo II y un resumen de las mismas en la Tabla 6. Debido a que la homogeneización siempre fue a fase líquida y a que las inclusiones aparecen siempre en relación con las texturas brechoideas, se puede considerar que la precipitación mineral se dio bajo condiciones hidrostáticas y, muy probablemente, a poca profundidad, por lo que la corrección de presión es insignificante y las temperaturas de



homogeneización obtenidas se aproximan mucho a las temperaturas reales de atrapamiento de la inclusión.

**Tabla 6.** Resultados de mediciones microtermométricas

| MUESTRA    | INCLUSIÓN  | ETAPA | NÚM. MEDIC. | Th min (°C) | Th máx. (°C) | Th prom (°C) | Tfi (°C) | Sal. (wt.%) |
|------------|------------|-------|-------------|-------------|--------------|--------------|----------|-------------|
| SM10 DIQUE | I.19 DIQUE | 1     | 27          | 180         | 337          | 258.4        | -0.3     | 0.56        |
| SM27 OZ    | I. 39 OZ   | 1     | 27          | 154         | 223          | 178.9        | -1.1     | 1.74        |
| SM36 OZ    | I. 48 OZ   | 1     | 27          | 170         | 213          | 187.7        | -0.6     | 0.92        |
| SM36 CAL   | I. 48 CAL  | 1     | 12          | 180         | 212          | 195          | -0.3     | 0.45        |
| SM02 OZ    | I. 09 OZ   | 2     | 31          | 158         | 211          | 184.8        | -1.3     | 2.2         |
| SM02 CAL   | I. 51 CAL  | 2     | 11          | 151         | 178          | 166.6        | -0.4     | 0.6         |
| SM04 OZ    | I. 13 OZ   | 2     | 34          | 178         | 226          | 189.7        | -1.2     | 1.98        |
| SM11 CAL   | I. 20 CAL  | 2     | 48          | 169         | 203          | 183.4        | -0.9     | 1.55        |
| SM12 OZ    | I. 21 OZ   | 2     | 38          | 165         | 204          | 186.5        | -0.7     | 1.23        |
| SM16 OZ    | I. 26 OZ   | 2     | 32          | 155         | 295          | 196.1        | -0.7     | 1.08        |
| SM17 CAL   | I. 27 CAL  | 2     | 8           | 169         | 183          | 176.5        | -1.2     | 2.05        |
| SM17 OZ    | I. 27 OZ   | 2     | 3           | 149         | 161          | 157          | -0.7     | 1.16        |
| SM21 OZ    | I. 33 OZ   | 2     | 10          | 277         | 314          | 293.9        | -1.3     | 2.06        |
| SM21 CAL   | I. 33 CAL  | 2     | 4           | 295         | 330          | 318.8        | -1.3     | 2.09        |
| SM24 CAL   | I. 34 CAL  | 2     | 51          | 153         | 222          | 168.2        | -0.3     | 0.51        |
| SM29 OZ    | I. 41 OZ   | 2     | 22          | 146         | 196          | 163.3        | -0.5     | 0.81        |
| SM05 OZ    | I. 02 OZ   | 3     | 36          | 182         | 232          | 201.9        | -1.3     | 2.08        |
| SM06 OZ    | I. 15 OZ   | 3     | 17          | 165         | 223          | 198.5        | -0.6     | 0.94        |
| SM14 OZ    | I. 24 OZ   | 3     | 5           | 122         | 125          | 123.6        | -1.6     | 2.63        |
| SM20 CAL   | I. 31 CAL  | 3     | 31          | 129         | 148          | 136.8        | 5.2      | 7.46        |
| SM28 OZ    | I. 40 OZ   | 3     | 33          | 126         | 155          | 138.8        | -1.6     | 2.58        |
| SM31 OZ    | I. 42 OZ   | 3     | 36          | 160         | 186          | 168.3        | -2.1     | 3.55        |
| SM39 OZ    | I. 54 OZ   | 3     | 28          | 138         | 173          | 155.2        | ?        | ?           |
| SM40 CAL   | I.55 CAL   | 3     | 13          | 135         | 151          | 139.9        | ?        |             |

Th = temperatura de homogeneización  
OZ = inclusiones en cuarzo  
CAL = inclusiones en calcita

Tfi = temperatura de fusión del Hielo  
Sal. (wt.%) = salinidad wt.% NaCl equivalente  
NÚM. MEDIC. = número de inclusiones medidas por muestra

#### 4.5.1 Primera Etapa

Las inclusiones fluidas estudiadas en los recrecimientos hidrotermales en cuarzos magmáticos del dique silicificado (SM10) muestran dos máximos claramente diferenciados. El primero, situado entre 250 y 330 °C podría representar una etapa de alteración hidrotermal de alta temperatura ligada al propio calor residual del dique riolítico y su interacción con aguas residuales magmáticas y/o meteóricas. Las inclusiones fluidas del segundo grupo son escasas, presentan Th entre 150 y 230 °C, con un máximo entre 180 y 190°C y están parcialmente superpuestas a las inclusiones fluidas atrapadas en cementante de la 1ª etapa de brechamiento. Esta superposición podría indicar que existe una cierta continuidad en el fenómeno de alteración en el dique y la primera etapa de brechificación de la estructura mineralizada de San Martín (Fig. 17).

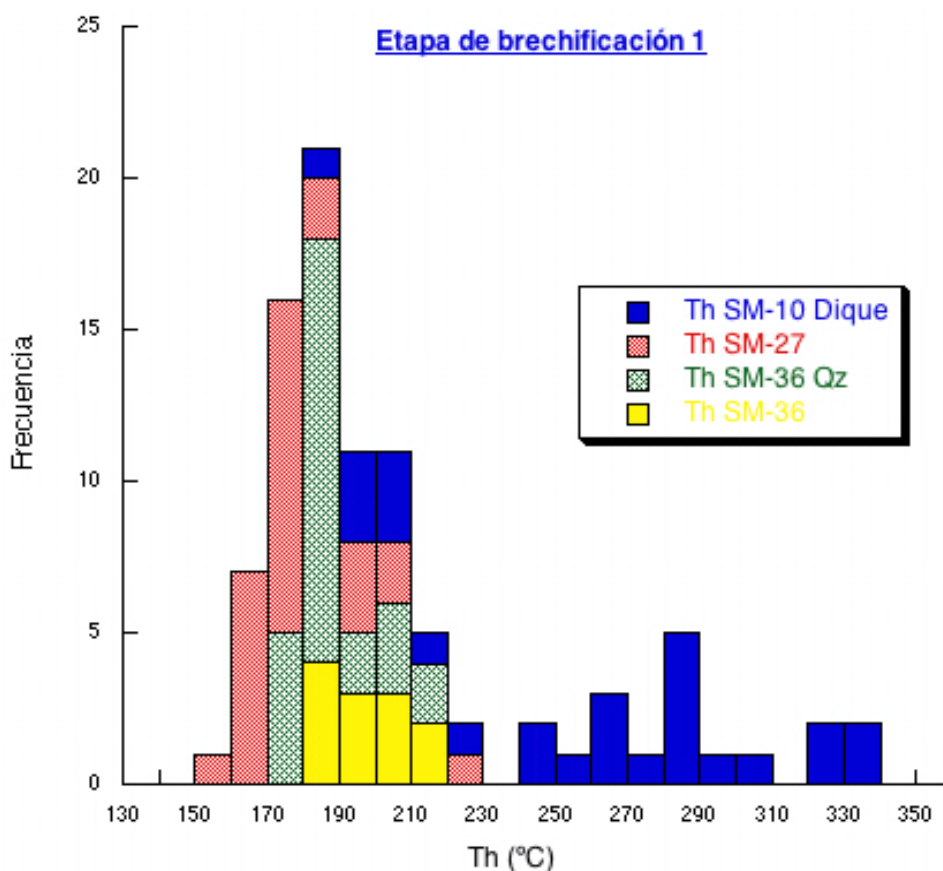


Figura 17. Diagrama de la temperatura de homogeneización contra la frecuencia en mediciones de la 1ª etapa de mineralización.

Los datos obtenidos de Th en muestras correspondientes a la 1ª etapa de brechamiento presentan una distribución normal, con un máximo entre 180-190 °C. Tanto debido a la presencia de fantasmas de adularia y texturas de calcita hojosa, que sugieren ebullición, así

como por la presencia de brechas “abiertas”, es posible considerar que el régimen de formación de esta estructura fue hidrostático, por lo que la corrección de presión a aplicar es prácticamente nula.

En lo que respecta a los diagramas de temperatura de homogeneización contra salinidad, el análisis resulta más complejo (Fig. 18). Es muy evidente que la muestra SM10 (dique), presenta las inclusiones de mayor Th, pero la distribución “plana” de los datos (igual salinidad, gran dispersión de las Th, entre 180 y 340°C) sugiere que las inclusiones primarias del dique han sido afectadas por fenómenos post-atrapamiento, como dilatación (stretching) provocada por las etapas subsiguientes de brechamiento (similar a las muestras SM36 QZ y SM36 CAL), recristalización y/o cambios térmicos. Esta distribución no puede corresponder a una mezcla debido a que la salinidad se conserva a temperaturas muy variables.

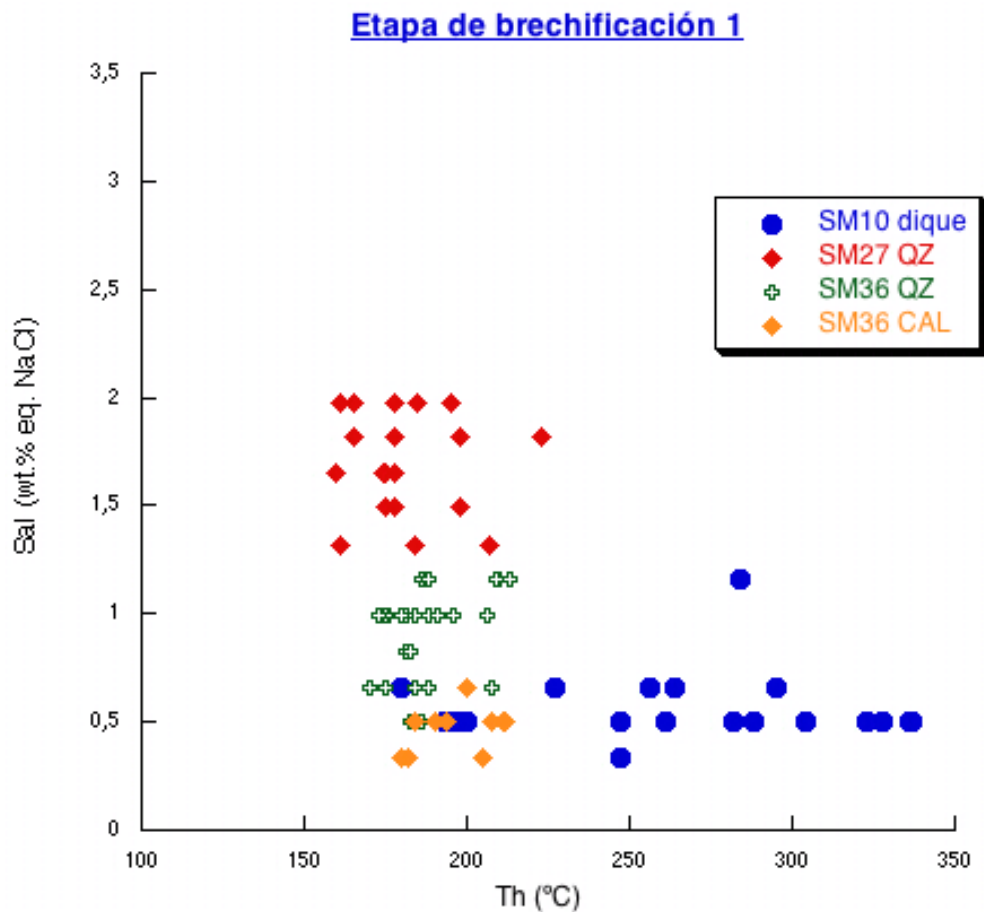


Figura 18. Diagrama de la temperatura de homogeneización contra salinidad.



En la muestra SM36 el cuarzo precipitó primero en la secuencia paragenética y luego co-precipitó con la calcita. La Figura 18 muestra una disposición en vertical de ambos conjuntos de datos, en los que los fluidos atrapados en la calcita muestran un ligero decremento de la salinidad con respecto a las inclusiones fluidas en cuarzo a temperatura casi constante, lo que puede indicar la dilución del fluido hidrotermal y, posiblemente la basificación de la solución para precipitar carbonatos, descartando el enfriamiento de la solución como mecanismo de precipitación. A pesar de que texturalmente se observan estructuras de calcita “hojosa” y fantasmas de adularia, sugiriendo que uno de los mecanismos que actuaron en la precipitación fue la ebullición, no se han encontrado evidencias de dicho mecanismo en el comportamiento de las inclusiones fluidas.

En el histograma de la salinidad (Fig. 19), las inclusiones del dique y las inclusiones de 1ª etapa se acumulan formando un máximo de frecuencia entre 0.5 y 1 wt.% NaCl eq.. Otro máximo de salinidad, pero de menor frecuencia, se presenta entre 1.5 y 2 wt.% NaCl eq. y lo constituye exclusivamente la muestra SM27. La Figura 20, muestra la ubicación, Th y salinidad de las muestras analizadas en cada etapa. Desafortunadamente son pocas las mediciones correspondientes a esta 1ª etapa y no se puede interpretar comportamiento alguno.

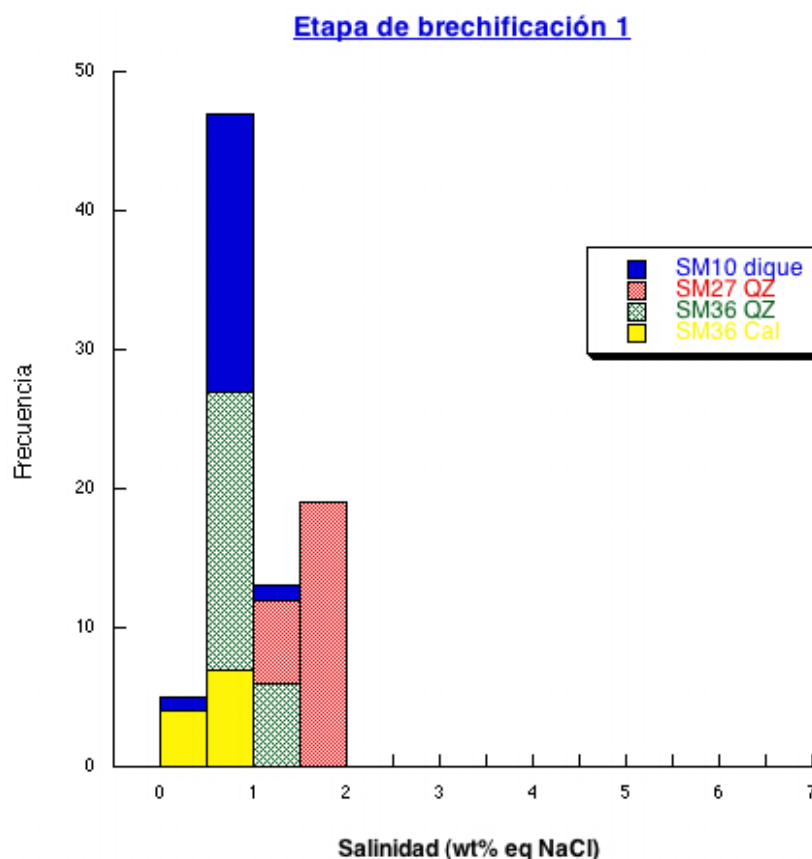


Figura 19. Diagrama de salinidad en relación con la frecuencia en la 1ª etapa de brechificación.

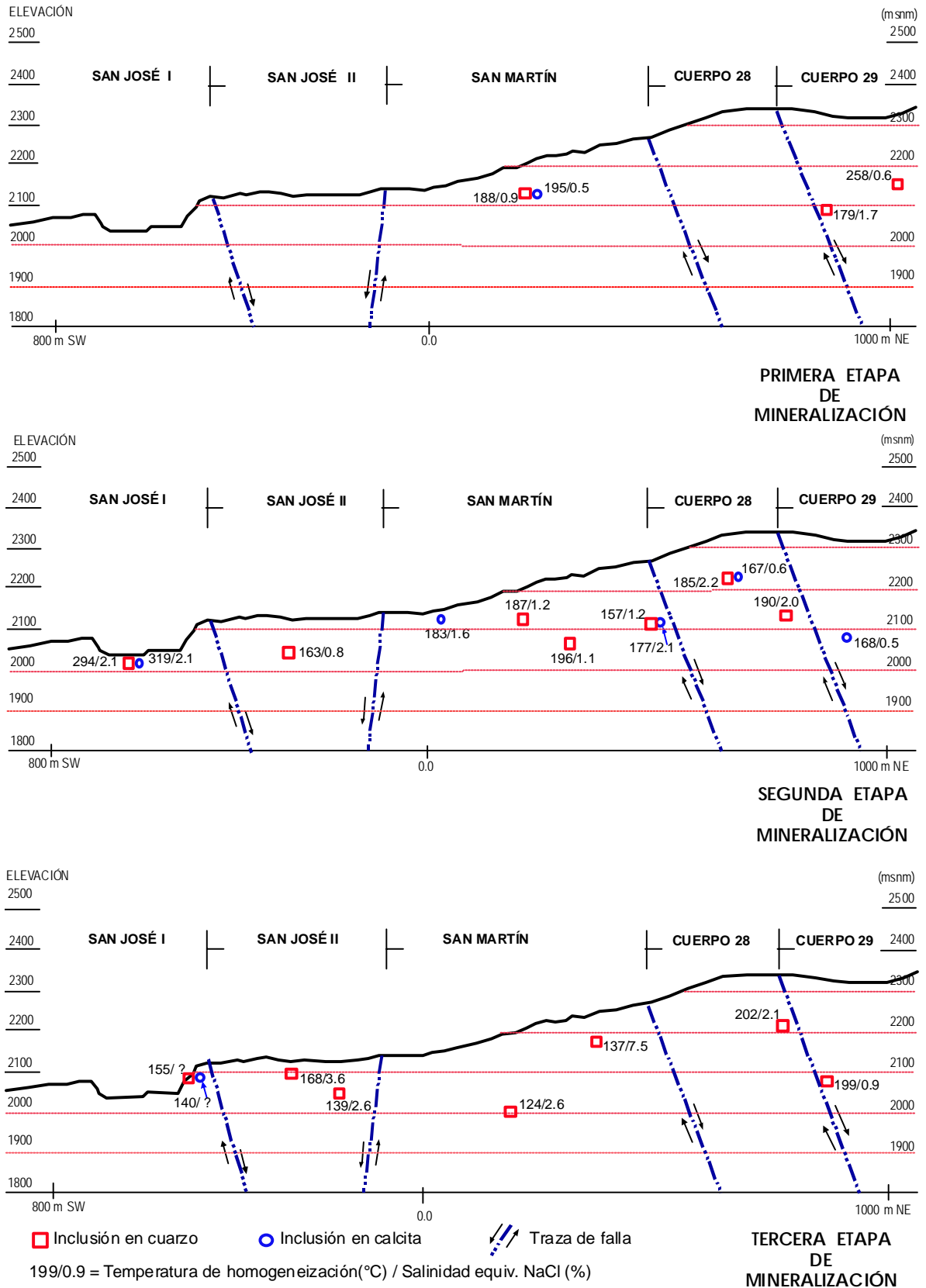


Figura 20. Temperatura de homogeneización y salinidad por etapa de mineralización

#### 4.5.2 Segunda Etapa

Esta etapa presenta condiciones muy parecidas a la anterior. El grupo principal de inclusiones presenta una Th máxima entre 180 y 190 °C , con un subgrupo de Th más bajas, situado alrededor de 160 °C (Fig. 21).

La muestras SM21 QZ y SM21 CAL forman un grupo aparte, mostrando un mayor rango de Th entre 240 y 340 °C, situándose las inclusiones fluidas en cuarzo entre 240 y 320 °C, y las de calcita en el sesgo a mayor temperatura, entre 290 y 340 °C. La gran dispersión sugiere que estas inclusiones fluidas han sufrido un proceso de recalentamiento y reequilibrio, siendo más evidente en la calcita por su mayor facilidad de recrystalizar. Es interesante destacar que estas muestras físicamente se ubican justo por debajo del tajo San José I (Fig. 20), que fue minado a cielo abierto por presentar una zona de stockwork con valores económicos de oro y plata, por lo que muy bien estas temperaturas pudiesen ser reales y estar asociadas a una zona de mayor circulación hidrotermal y/o de mayor profundidad durante el episodio de circulación hidrotermal.

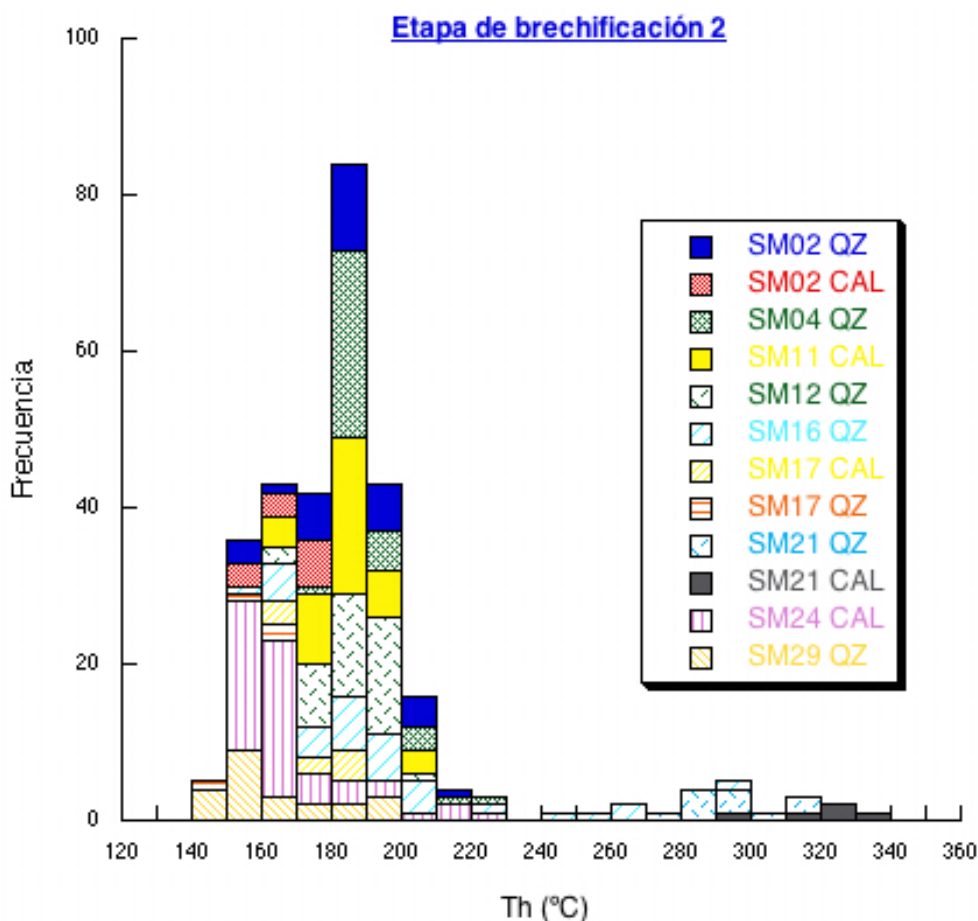


Figura 21. Diagrama de frecuencia de la temperatura de homogeneización correspondiente a la 2ª etapa de mineralización.

La salinidad calculada se comporta de forma muy homogénea, con un máximo de frecuencia situado entre 0.5 y 1% y un sesgo entre 1 a 2.5 wt.% NaCl eq. Fig. 22.

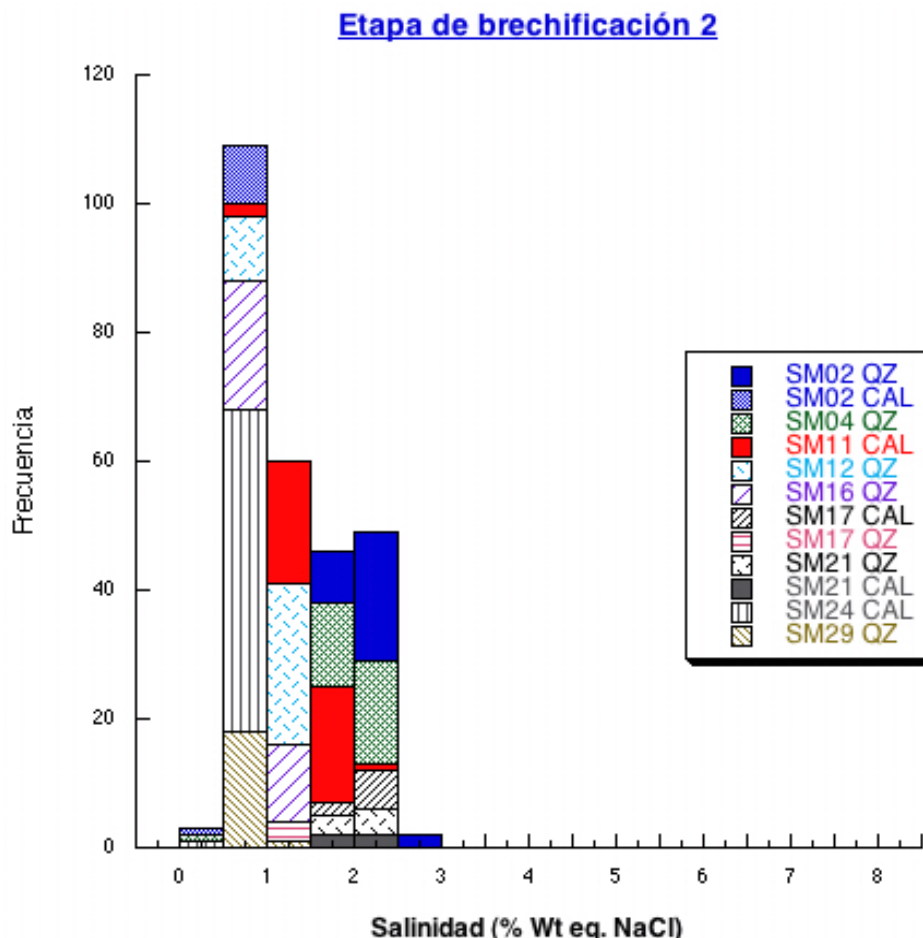


Figura 22. Diagrama de salinidad en relación con su frecuencia, en la 2ª etapa de brechificación.

En esta 2ª etapa al graficar la Th con relación a la salinidad, se observan varios grupos de datos. El grupo principal varía entre 0.5 y 2.5 wt.% NaCl eq. y entre 150 y 210 °C de Th, con una buena correlación positiva, ya que al aumentar la Th aumenta la salinidad. Esta disposición podría obedecer a una mezcla de fluidos entre un polo de mayor Th (190-200 °C) y más salinidad (2.5 wt% eq. NaCl) con otro de menor Th (~150C) y menor salinidad (0.5 wt% NaCl eq.). Este último polo de mezcla quizás represente la percolación de aguas superficiales al sistema, posteriormente calentadas (Fig. 23).

Otro grupo lo integran las inclusiones de la muestra SM16 QZ, ésta presenta una gran dispersión de su Th a salinidad prácticamente constante, indicando la presencia de modificaciones post-atrapamiento (estrangulamiento y/o dilatación), por lo que se han representado en el gráfico para denotar la presencia de estos fenómenos.

El último grupo es el representado por las muestras SM21 QZ y SM21 CAL, que forman un grupo aparte con Th más altas y salinidades similares a las del grupo principal de inclusiones fluidas anteriormente descrito (1.8 a 2.3 wt.% NaCl eq.). Estas muestras, tal y como ya se mencionó anteriormente, coinciden espacialmente con una zona de stockwork.

Las únicas inclusiones que parecen no haber sufrido procesos de modificación son las que se sitúan en la nube de puntos que sugieren un fenómeno de mezcla y quizás las situadas en el stockwork. No obstante, y debido a evidencias texturales de ebullición, no hay que excluir el posible flujo episódico de los fluidos hidrotermales a través de la estructura que, una vez atrapados, podrían mimetizar la disposición de las inclusiones fluidas, aunque no existen pruebas para apoyar esta suposición.

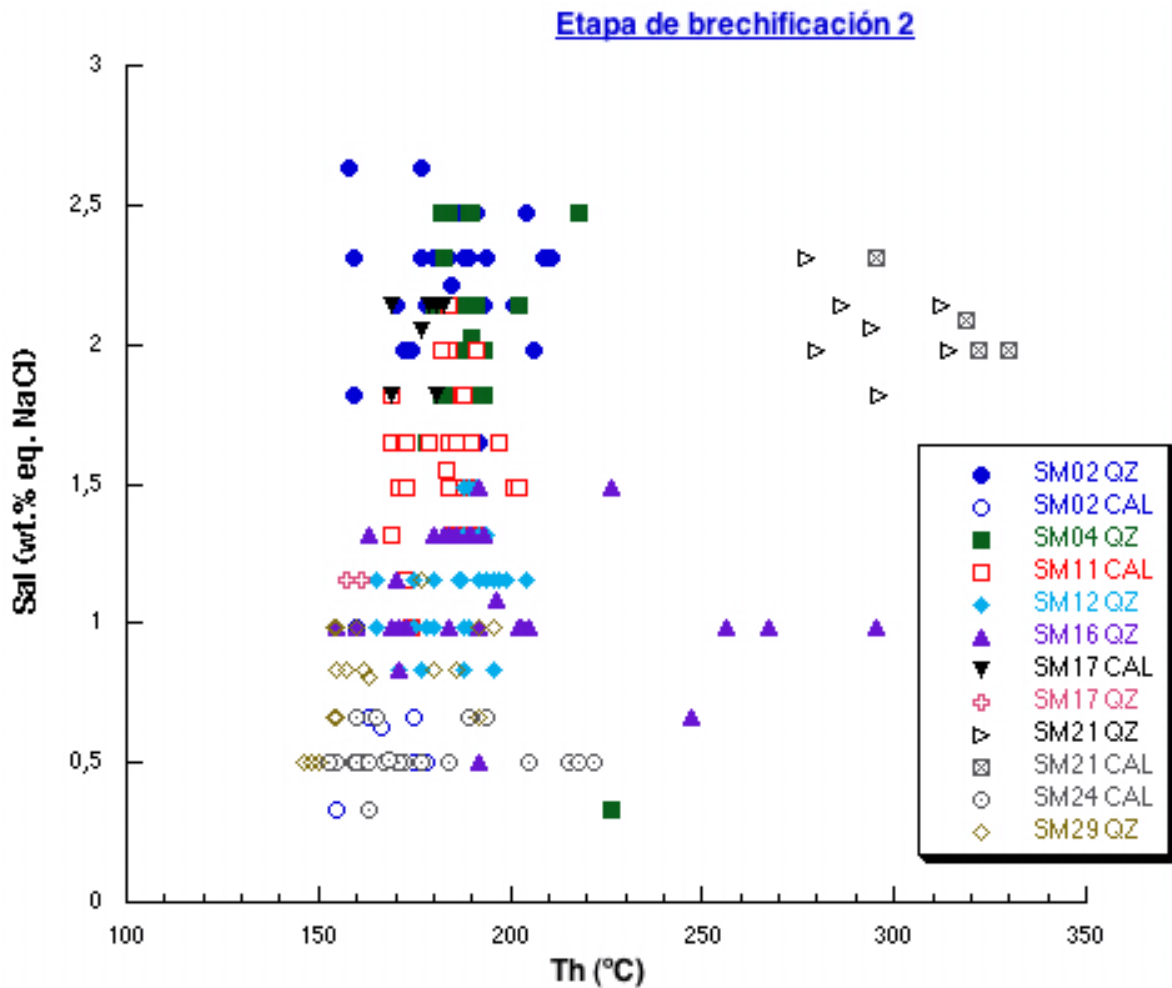


Figura 23. Temperatura de homogeneización en relación a la salinidad.

### 4.5.3 Tercera Etapa

En esta etapa otra vez se dibujan dos máximos. El primero se localiza entre 190 y 200 °C, y está constituido por las muestras SM05 y SM06. A primera vista, este primer máximo parece pertenecer a la 2ª etapa, debido a la distribución de sus Th, esto podría marcar una evolución del fluido desde la 2ª a la 3ª etapa (Fig. 24).

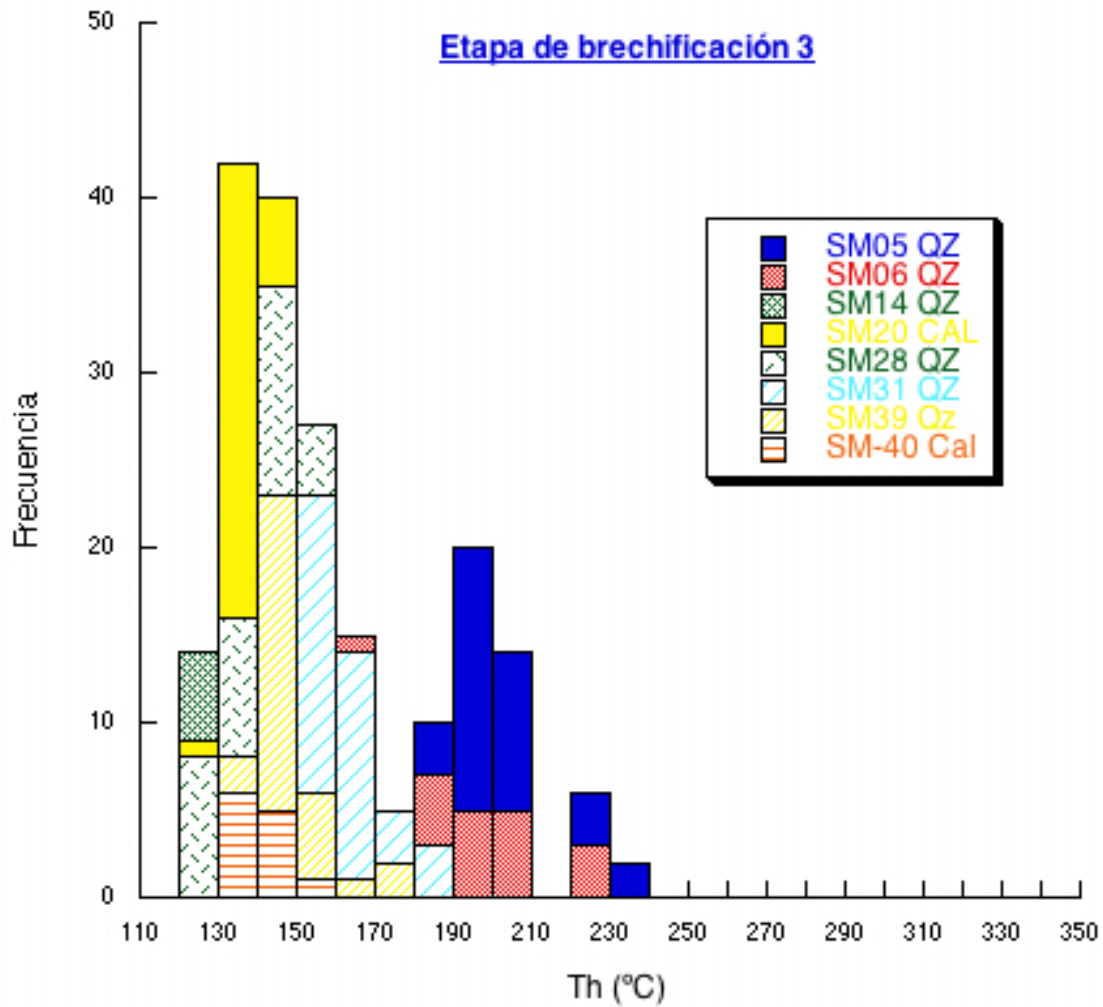


Figura 24. Diagrama de Th en relación a la frecuencia de la 3ª etapa de mineralización.

Un segundo máximo se sitúa entre 130 y 150 °C, está formado por el resto de las muestras y presenta una tendencia hacia Th más bajas, por lo que seguramente corresponden con una etapa tardía del depósito. Los datos siguen una distribución normal dibujando una campana de Gauss, lo que sugiere que no han sido afectadas por proceso post-atrapamiento.

En el histograma de salinidades (Fig. 25) se observa también un doble máximo. El primero se localiza a salinidades de un 3% eq. en peso de NaCl; el segundo presenta valores mucho más elevados, de entre 6 al 11% eq. en peso de NaCl.

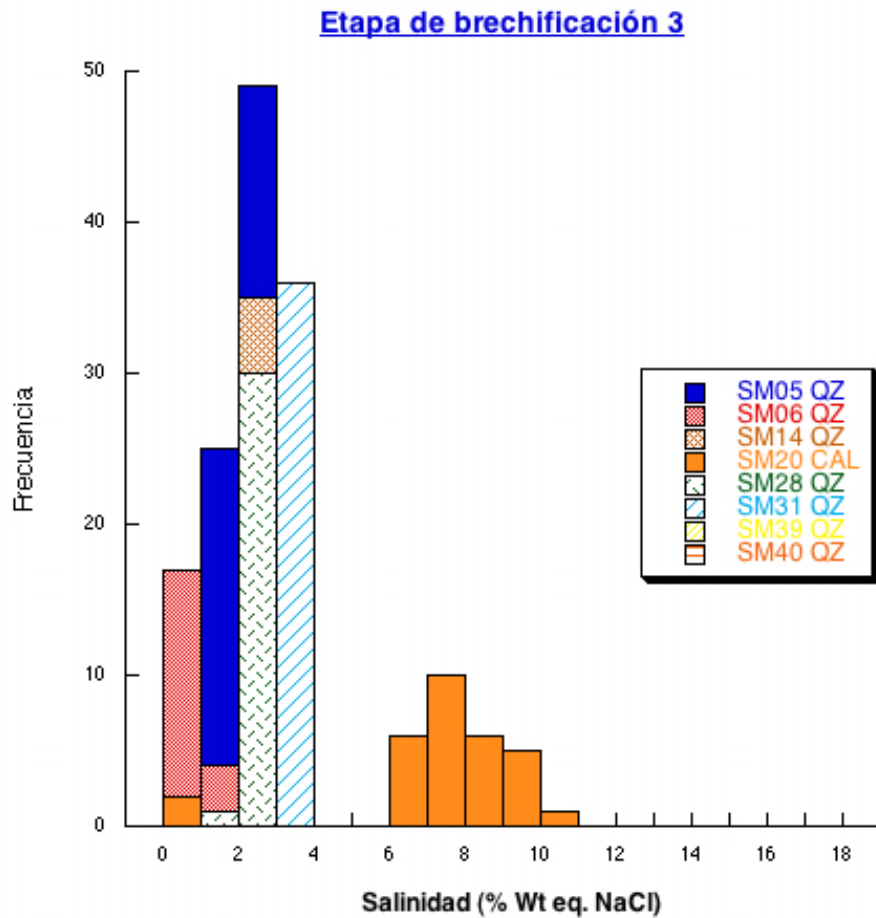


Figura 25. Diagrama de la salinidad en relación a su frecuencia, en la 3ª etapa.

En el diagrama de Th contra la salinidad (Fig. 26) se observa que las muestras situadas a 200 °C son muy similares a las de la 1ª y 2ª etapas, lo cual puede indicar que el fluido casi no ha cambiado en composición y temperatura durante la mayor parte del tiempo de mineralización. Los datos de baja temperatura y alta salinidad de la muestra SM20 CAL son diferentes al resto de las muestras, sin embargo pueden indicar un fluido residual de una ebullición, ya que no se ha observado la fusión del clatrato, lo que indicaría la presencia de CO<sub>2</sub> en el fluido. La formación de clatrato durante las mediciones microtermométricas provoca la fusión del hielo a temperaturas inferiores a las que le correspondería por la salinidad del fluido.

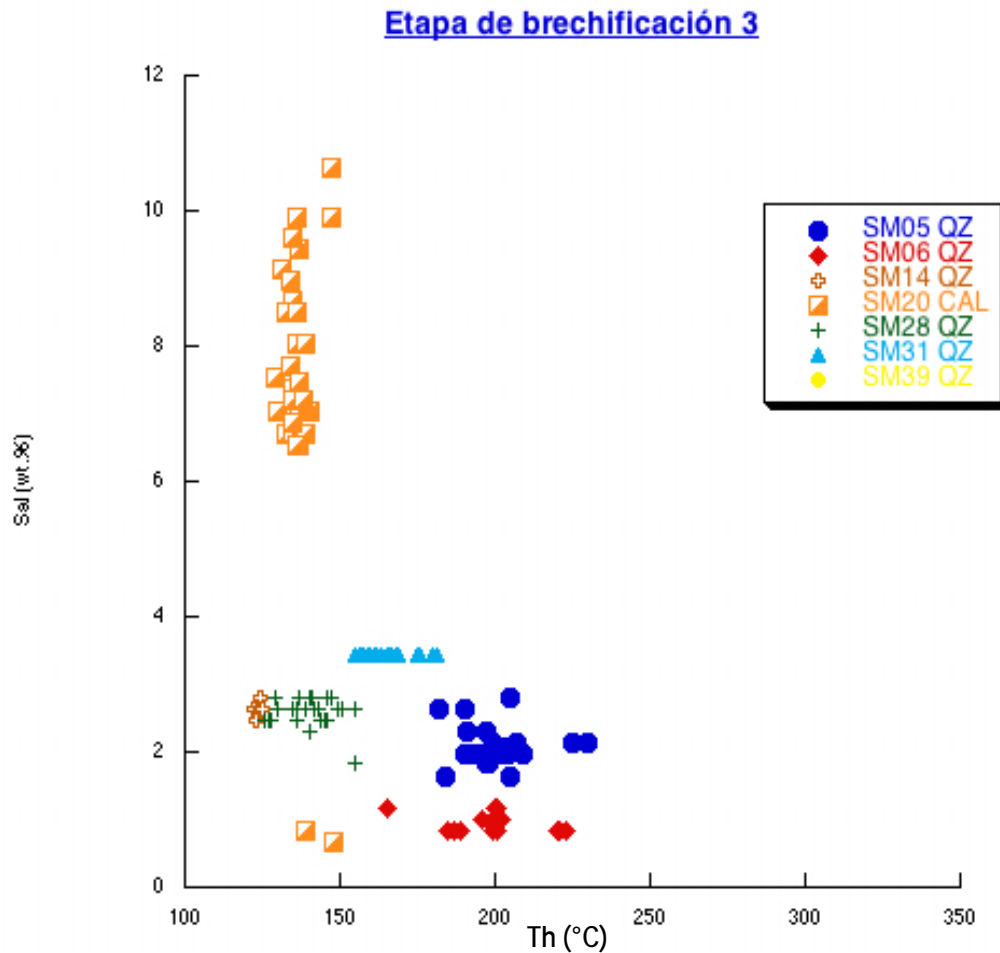


Figura 26. Diagrama de Th en relación a la salinidad de la 3ª etapa.



## 4.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El cuerpo mineralizado de San Martín encajona en una estructura con forma de L invertida que se localiza en el contacto entre un dique de composición riolítica, fuertemente alterado, y las rocas carbonatadas mesozoicas de la Formación Soyatal-Mexcala. Todo el conjunto se sitúa por debajo del estratovolcán de andesita/dacita que forma el Cerro San Martín y el dique a su vez, se emplaza a un lado del conducto alimentador de la estructura volcánica.

El dique riolítico juega un papel muy importante en el desarrollo de la mineralización, ya que su intrusión generó una zona de mayor permeabilidad por donde ascendieron los fluidos mineralizantes. En este dique se observan cristales de cuarzo de origen claramente magmático con abundantes inclusiones primarias de vidrio, que contienen cristales de andalucita atrapados y cuya fase vapor está caracterizada por la presencia de CO<sub>2</sub> gas, ambos determinados mediante microsonda Raman. Desafortunadamente no fue posible determinar la composición del vidrio, ni tampoco la temperatura de homogeneización de estas inclusiones debido a carecer del equipo necesario para tal fin (microsonda electrónica y platina microtermométrica de alta temperatura) y a la dificultad que representa analizar un vidrio volcánico en riolitas, que suele ser rico en agua. La presencia de cristales idiomórficos de andalucita atrapados en estas inclusiones es compatible con la intrusión de un cuerpo discreto de magma ácido en condiciones de baja presión, tal y como correspondería a un cuerpo sub-volcánico. Adicionalmente este dique presenta una etapa de brechamiento pre-mineral acompañada de una primera etapa de circulación hidrotermal que origina una fuerte alteración (silicificación y argilización). Esta alteración de los feldespatos y minerales ferromagnesianos provoca que la sílice liberada parcialmente precipite como bandas de recrecimiento alrededor de los cristales de cuarzo magmático, incluyendo las primeras inclusiones fluidas bifásicas acuosas. Estas inclusiones registran temperaturas de homogeneización relativamente altas, entre 250 y 330 °C, asociadas a fluidos de baja salinidad (entre 0.5 y 1 wt.% NaCl eq.). Esta etapa de alteración hidrotermal puede ser debida a la interacción entre el propio calor residual del dique y, quizás, aguas de origen meteórico, tal y como se deduciría de la baja o nula salinidad encontrada en las inclusiones fluidas, de su tipología de alteración (lixiviado de álcalis y reprecipitación de sílice residual) y de la ausencia tanto de los minerales hidrotermales que precipitan en la estructura como de sus texturas.

La estructura mineralizada de San Martín presenta tres etapas principales de brechamiento. La primera etapa se caracteriza por una brecha formada por fragmentos más o menos angulosos de calizas y lutitas provenientes de la Formación Soyatal-Mexcala que,

ocasionalmente, parecen responder a un fenómeno de fracturación hidráulica. Estos fragmentos suelen estar silicificados, hecho que queda en evidencia por el cambio de color de los fragmentos alrededor de las zonas cementadas (Foto 25). Estas brechas están cementadas por cristales de cuarzo creciendo “en peine” o en “cocardas” alrededor de los fragmentos silicificados, así como por calcita. Localmente se observa la precipitación y acumulación de cristales primarios de clinozoisita formados a expensas del exceso de Ca y Si en fluidos hidrotermales a temperaturas alrededor de los 200 °C (datos de inclusiones fluidas sin corrección de presión). Los fluidos hidrotermales estudiados en cuarzo están dominados por NaCl como sal principal, sin que se haya observado la presencia de CO<sub>2</sub> ni en la burbuja de las inclusiones, ni mediante la formación de clatratos. Las Th presentan dispersión entre 150 y 230 °C, con un máximo en su distribución situado a 190 °C, y salinidades calculadas mediante la depresión del punto de fusión del hielo, de entre 0.5 y 2.0 wt.% NaCl eq. No se ha aplicado corrección de presión sobre estos datos debido a no poderse calcular una presión o temperatura independiente de la obtenida mediante el estudio de las inclusiones fluidas. No obstante, las evidencias texturales (fragmentos angulosos, tipo de cementación) indican la presencia de un régimen de sobrepresiones dentro de la estructura, que se relajaron durante la fracturación, pasando a un régimen hidrostático en el momento de la precipitación de los cementos, durante el cual se atraparon las inclusiones fluidas estudiadas. Así, asumiendo la presencia de un gradiente hidrostático, la corrección de presión de las temperaturas se puede asumir que es prácticamente inapreciable. Cabe resaltar que esta primera etapa no presenta mineralización económica auroargentífera.



Foto 25. Ejemplar de mano de la muestra SM35. Brecha hidráulica correspondiente a la 1ª etapa. Obsérvese la silicificación en los clastos de caliza y su cementación por cuarzo.

La segunda etapa de brechamiento se caracteriza por presentar la mineralización económica. Esta etapa está constituida por clastos de las rocas encajonantes mezclados con clastos claramente derivados de la anterior etapa de brechamiento (autoclastos), cementados por un enrejado de vetillas de calcita mayoritaria, clinozoisita y cuarzo. La calcita suele presentar bajo el microscopio texturas que recuerdan a las llamadas “calcitas hojosas” (*bladed calcite*) así como cristales relictos de adularia actualmente pseudomorfizados por calcita. Localmente, el cementante de esta brecha está constituido por sílice microcristalina finamente bandeada que contiene electrum, naumannita, cantidades subordinadas de una sulfosal similar a una tetraedrita, junto con pirita y muy escasa calcopirita (Foto 26). Esta asociación sulfurada suele presentarse alterada en condiciones supergénicas a hematites, goethita, partzita y clorargirita (ver 4ª etapa). Las inclusiones fluidas presentan Th entre 150 y 210 °C, con dos máximos, uno situado a 190 °C y otro alrededor de 160 °C, y salinidades entre 0.5 y 2.5 wt.% NaCl eq. Aunque se observan claras evidencias texturales que sugieren la ebullición (calcitas hojosas, “fantasmas” de adularia, calcedonia) como uno de los procesos imperantes en la formación de las brechas, este proceso no queda registrado en las inclusiones fluidas. En cambio, se observa una incipiente correlación positiva entre las inclusiones de menor salinidad y menor Th con inclusiones de mayor salinidad y mayor Th, sugiriendo que también pudo actuar un mecanismo de mezcla de fluidos en la generación del depósito.

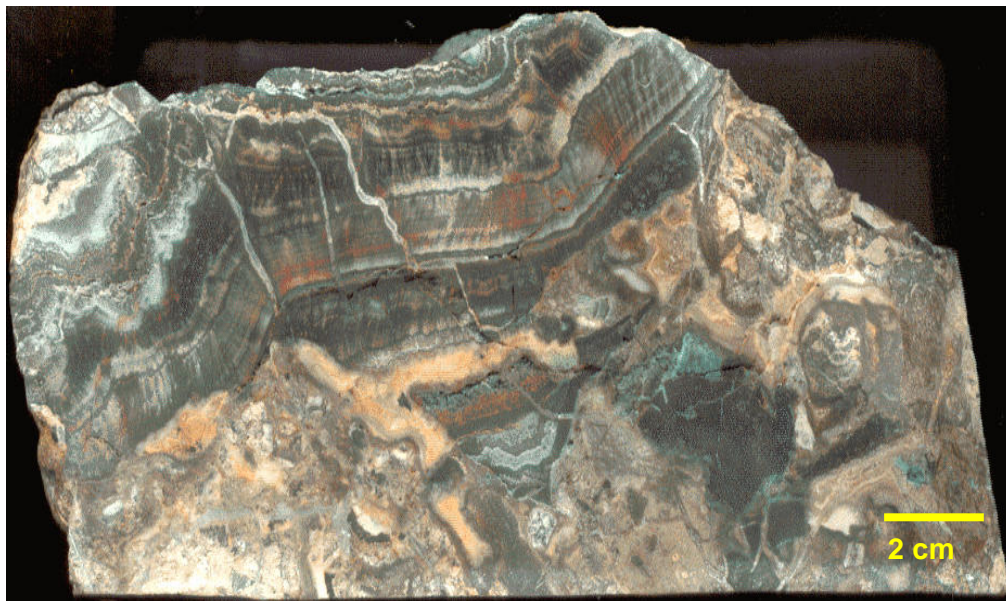


Foto 26. Muestra SM05. donde se observan las texturas bandeadas a las que se asocian los altos valores de oro y plata.

La tercera y última etapa de brechamiento se distingue por presentar fragmentos angulosos de las dos etapas anteriores, con un primer cemento de calcita espática y cuarzo intercrecidos rodeando a los clastos, y abundantes cristales idiomórficos de calcita creciendo en espacios abiertos (Foto 27). En esta etapa la clinozoisita es muy escasa y no contiene mineralización metálica. Las inclusiones fluidas presentan dos máximos en cuanto a su Th: un primero localizado a 190 °C y un segundo, con mucha mayor frecuencia, localizado entre 130 y 150 °C, con salinidades parecidas a los casos anteriores, excepto en una muestra problemática (ver SM20 en Fig. 20). Esta variación hacia Th ligeramente inferiores podría indicar el cese del sistema hidrotermal. Es de destacar que toda la cementación debida a esta etapa pudo haber actuado como “diluyente” de las leyes de la mineralización económica.

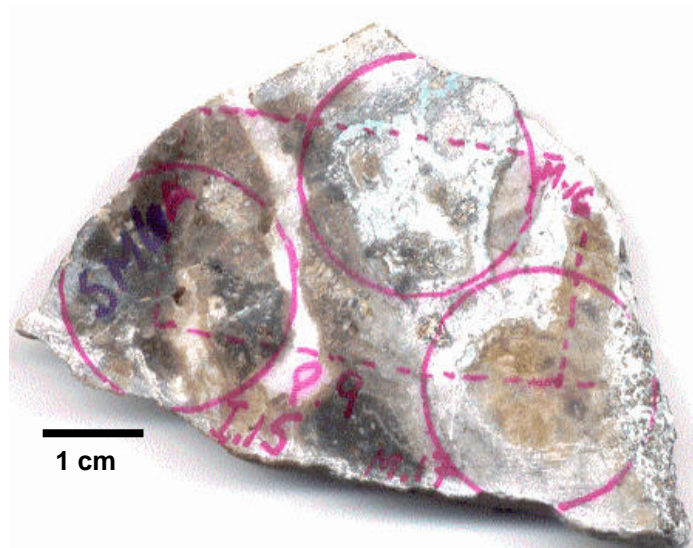


Foto 27. Se observa claramente el cementante de cuarzo de 3ª etapa, en color café translúcido.

Con posterioridad a la tercera etapa de brechamiento, una última e importante etapa de alteración supergénica afectó al depósito en correspondencia con las últimas etapas de cese de flujo hidrotermal y la invasión de la estructura por una pluma de aguas meteóricas. Esta alteración supergénica provocó la removilización y reconcentración parcial de algunos metales, especialmente Ag proveniente tanto del electrum como de la naumannita y de la tetraedrita, precipitando bajo la forma de clorargirita en fracturas y oquedades, así como Au nativo filiforme residual a partir de la alteración del electrum. Junto a estos minerales aparecen partzita, malaquita, hematites y goethita. Esta alteración está muy probablemente ligada a la fracturación tardía y segmentación del cuerpo mineralizado a favor de un sistema de fallas normales y

perpendiculares al rumbo de la estructura San Martín, formando un conjunto de bloques. Actualmente estos bloques son denominados por los geólogos y mineros como San José I y II, San Martín y Cuerpos 28, 29 y 30.

Otro problema que se plantea es el de la acumulación de la mineralización metálica exclusivamente en la segunda etapa de brechamiento. Este es un fenómeno ya observado en otros depósitos epitermales en México (p.e. La Guitarra, Camprubí et al. 2001a y b) y que se ha interpretado, sobre la base de las relaciones de gases nobles en inclusiones fluidas, como producto de la intervención de fluidos de origen claramente magmático que serían los que transportan los metales (Camprubí y Albinson, 2006). A falta de este tipo de análisis en el presente estudio, sólo podemos asumir dichas conclusiones con cierto grado de prudencia, ya que no tenemos argumentos ni a favor ni en contra de esta idea.

La integración de todo el conjunto de datos morfológicos, mineralógicos, texturales y de los fluidos adquiridos durante este trabajo, permite afirmar que el depósito se puede clasificar como epitermal de baja sulfuración, caracterizado por la presencia relativamente abundante de seleniuros de Ag. No obstante, se diferencia de la mayoría de depósitos epitermales mexicanos porque la porosidad en la que se forma la mineralización está controlada por una secuencia de eventos de brechamiento más que una precipitación a favor de fracturas abiertas por tectónica, con bandeamientos minerales simétricos.

Finalmente, se pudo apreciar que la relación oro-plata en el depósito es también muy poco común, ya que por cada gramo de oro hay entre 10 y 20 gramos de plata, siendo lo normal que la plata sea más abundante en los yacimientos mexicanos.

podrían representar una etapa de alteración hidrotermal de alta temperatura, ligada al propio calor residual del dique riolítico.

- Las inclusiones fluidas correspondientes a la 1ª etapa de brechamiento presentan un máximo alrededor de 190 °C y una salinidad entre 0.5 y 2.0 wt.% NaCl eq.
- En la 2ª etapa las inclusiones fluidas presentan una disposición que podría obedecer a una mezcla de fluidos entre un polo de mayor Th (190 °C) y uno de menor (160 °C), con salinidades entre 0.5 y 2.5 wt.% NaCl eq.
- Se han observado texturas que sugieren la ebullición del fluido hidrotermal como uno de los mecanismos que actuaron en la formación de este depósito. Estas texturas son: calcitas hojosas (bladed calcite) y adularia pseudomorfizada por calcita.
- En la 3ª etapa las inclusiones fluidas presentan una evolución hacia menores temperaturas de homogeneización (130 a 150 °C) y con salinidades parecidas a las etapas anteriores, hecho que podría indicar el cese de la circulación hidrotemal en la estructura.
- La presencia de tres generaciones principales de brechas, con evidencias de brechificación hidráulica, sugieren que la sobrepresión de los fluidos junto con el movimiento de la estructura, dio origen a dichas brechas. En el momento de la formación de las brechas se pudo dar la ebullición del fluido hidrotermal al caer la presión bruscamente, dando origen a las texturas coloformes descritas en este trabajo.
- Las inclusiones fluidas NO preservan evidencias de ebullición. No obstante, su interpretación sugiere la presencia de otros fenómenos que también pudieron actuar durante la formación del depósito, como son la mezcla de fluidos hidrotermales con aguas meteóricas durante las etapas de cese del pulso de fluidos.
- Considerando la mineralogía descrita, las temperaturas de las inclusiones cercanas a los 200 °C, la salinidad que oscila entre 0.5 y 2.6 wt.% NaCl eq., presencia escasa de pseudomorfos de adularia y abundante clinozoisita, así como las texturas antes descritas, es posible considerar a este yacimiento como epitermal de baja sulfuración, con una notable y poco común presencia de seleniuros y muy escasos sulfuros.

## 4.7 CONCLUSIONES

- La estructura mineralizada de San Martín se localiza entre el dique riolítico silicificado y las rocas sedimentarias carbonatadas de la Formación Soyatal-Mexcala.
- Existe una primera etapa de circulación hidrotemal y brechamiento pre-mineralización íntimamente asociada a las etapas tardías de la intrusión del dique riolítico.
- El cuerpo mineralizado presenta una historia compleja de brechificación y cementación. Se han detectado hasta 3 etapas de brechificación y cementación hidrotermal, junto con una última etapa de alteración supergénica que reconcentra Ag y Au en estructuras tardías.
- Los principales cementantes de las tres etapas de brechamiento son cuarzo y calcita en proporciones variables, junto con clinozoisita localmente abundante en la primera y segunda etapa. Existe una cierta variedad textural en estos minerales, aunque cabe destacar la presencia de calcitas hojosas y de agregados microcristalinos bandeados de cuarzo.
- La mineralización metálica primaria (hipogénica) consta de electrum, naumannita, tetraedrita, pirita y calcopirita.
- La mineralización económica primaria se concentra exclusivamente en la segunda etapa de brechamiento. Las mayores concentraciones coinciden con la presencia de bandas con texturas originales coloformes y/o microcristalinas de cuarzo con alteración a hematita y partzita.
- La tercera etapa de brechamiento es estéril y únicamente provoca la dilución de las leyes presentes en la segunda etapa de brechamiento.
- Existe una fuerte reconcentración supergénica tardía, con oro libre filiforme y clorargirita, rellenando las últimas fracturas, como resultado de la alteración de minerales primarios como naumannita y electrum. La partzita por su color verde-azul constituye una excelente guía visual en la mina para detectar sitios con leyes de decenas de gramos de oro y cientos de plata.
- Los cristales de cuarzo de origen magmático del dique riolítico presentan inclusiones primarias de vidrio que contienen cristales de andalucita. La presencia de este mineral atrapado es compatible con la intrusión de un magma en condiciones de baja presión tal y como correspondería con un cuerpo subvolcánico.
- Los cristales de cuarzo magmático están sobrecrecidos por cuarzo hidrotermal con inclusiones fluidas acuosas bifásicas, claramente de origen hidrotermal. Estas inclusiones



## 4.8 BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, M., Solomon, M., Walshe, J.L., 1987, Mineralogical and geochemical studies of the Emperor gold telluride deposit, Fiji: *Economic Geology*, 82, 345-370.
- Alán, M.A., Quesada, J.D., Seaward, M., Hutton, D., 1992, Economic geology of the Bellavista gold deposit, Costa Rica: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 121<sup>st</sup> Annual Meeting, Phoenix, AZ, Preprint 92-132, 18p.
- Albinson, T., 1988, Geologic reconstruction of paleosurfaces in the Sombrerete, Colorada, and Fresnillo districts, Zacatecas state, Mexico: *Economic Geology*, v. 83, p. 1647-1667.
- 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: Society of Economic Geology Special Publication 8, p. 1-32.
- Anderson, W.B., Eaton, P.C., 1990, Gold mineralization at the Emperor mine, Vatukoula, Fiji: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 36, p. 267-296.
- Anzoleaga, 1988, The La Joya copper-gold-silver district, Bolivia, en *Yacimientos Epitermales en ambientes de volcanismo Reciente*, Seminario-taller, La Paz, Bolivia 1988, IUGS-UNESCO, Preprint, 2p.
- Arribas, A. Jr., 1995, Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid: *Mineralogical Association of Canada Short Course handbook*, v.23, p. 419-454.
- Ashley, R.P., 1982, Occurrence model for enargite-gold deposits: United States Geological Survey, Open-file report 82-795, p. 144-147.
- Bakumenko, I.T., Dolgov, Y.A., 1977, Thermobarogeochemical Researches: *Geol. Geofiz.*, 18, (11), p.127-135 (en ruso; traducido en *Soviet Geol. Geophys.*, 18, (11), p. 98-104).
- Bartlett, M.W., Enders, M.S., Hruska, D.C., 1991, Geology of the Hollister gold deposit, Ivanhoe district, Elko County, Nevada, in *Geology and Ore deposits of the Great Basin*: Geological Society of Nevada, p. 957-978.
- Barton, P.B. Jr., 1970, Sulfide petrology: *Mineralogical Society of America, Special Paper*, 3, 187-198.
- Berger, B.R., Eimon, P., 1983, Conceptual models of epithermal precious metal deposits, en Shanks, W.C., ed., *Cameron volume on unconventional mineral deposits*: New York, AIME society of Mining Engineers, p. 191-205.
- Berger, B.R., Henley, R.W., 1989, Advances in understanding of epithermal gold-silver deposits, with special reference to the western United States: *Economic geologic monograph* 6, p. 405-423.
- Bethke, P.M., 1984, Controls on base and precious metal mineralization in deeper epithermal environments: U.S. Geological Survey Open-File Report 84-890, 40p.
- Black, J.E., Mancuso, T.K., Gant, J.L., 1991, Geology and mineralization at the Rawhide Au-Ag deposit, Mineral County, Nevada, in Raines, G.L., Lisle, R.E., Shafer, R.W. and Wilkinson., *Geology and Ore Deposits of the Great Basin*: Geological Society of Nevada, p. 1123-1144.
- Bonev, I.K., Kerestedjian, T., Atanassova, R., Andrew, C.J., 2002, Morphogenesis and composition of native gold in the Chelopech volcanic-hosted Cu-Au epithermal deposit, Srednogorie zone, Bulgaria: *Mineralium Deposita*, 37, 614-629.
- Bonham, H.F., Jr, 1986, Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: A review, in *Volcanism, hydrothermal Systems and Related Mineralization*, International Volcanological Congress, Symposium 5, Hamilton, New Zealand, 1986, Proceedings: University of Auckland Centre for Continuing Education, Auckland, N.Z., p.13-17.



- Bonham, H.F., Jr., 1988**, Models for volcanic-hosted precious metal deposits: A review, in Schafer, R.W., Cooper, J.J. y Vikre, P.G., eds., Bulk Mineable Precious Metal Deposits of Western United States: Geological Society of Nevada, p. 259-271.
- Boyle, R., 1672**, Essay about the origine and virtues of gems: William Godbid, London, 185 p.
- Brathwaite, R.L., Mckay, D.F., 1989**, Geology and exploration of the Martha Hill gold-silver deposit, Waihi: in Kear, D., ed., Mineral deposits of New Zealand: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph 13, p. 83-88.
- Brathwaite, R.L., Faure, K., 2002**, The Waihi epithermal gold-silver-base metal sulfide-quartz vein system: temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition: *Economic Geology*, 97, 269-290.
- Breislak, S., 1818**, Institusions géologiques: (traducido del francés por P.J.L Campmas) Institiutions geologiques, Milan, 1, 468 p.
- Brewster, D., 1823a**, On the existence of two new fluids in the cavities of minerals, which are immiscible, and which possess remarkable physical properties: *Edinburgh Philos.*, 9, p. 94-107.
- Brown, P.E., 1989**, Flincor: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusions data. *Am. Min.*, 74, 1390-1393.
- Brown, P.E., 1992**, Macflincor and Macflinc: Hypercard based, multimedia, fluid inclusion applications. Pacrofi IV, Program and Abstracts, 112-115.
- Bryan, K., 1948**, Los Suelos y fósiles de la Altiplanicie de México, en relación a los Cambios Climáticos. *Soc. Geol. Mexicana, Bol.*, v. 13. p. 1-20.
- Burk, R., 1993**, Regional geology of the San Martín Property and its relationship to precious metal mineralization central, Queretaro State, Mexico: Minera Teck, S.A. de C.V., reporte interno
- Burk, R., 1994**, Summary of the 1993-1994 Exploration Program Performed on the San Martín Project, Queretaro State, Mexico: Minera Teck, S.A. de C.V., reporte interno.
- Camprubí, A., Canals, À., Cardellach, E., Prol-Ledesma, R.M., Rivera, R., 2001a**, The Guitarra Ag-Au low sulfidation epithermal deposit, Temascaltepec district, Mexico: Vein structure, mineralogy and sulfide-sulfosalt chemistry: *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 8, 133-158.
- Camprubí, A., Cardellach, E., Canals, À., Lucchini R., 2001b**, The Guitarra Ag-Au low sulfidation epithermal deposit, Temascaltepec district, Mexico: Fluid inclusion and stable isotope Data: *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 8, 159-185.
- Camprubí, A., González-Partida, E., Levresse, G., Tritlla, J., Carrillo-Chávez, A., 2003**, Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 56, 10-18.
- Camprubí, A., Albinson, T., 2006**, Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica.: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, Revisión de algunas tipologías de depósitos minerales en México, Tomo LVIII, núm. 4*, p. 27-81.
- Carrillo, M., Suter, M., 1982**, Tectónica de los alrededores de Zimapán, Hidalgo y Querétaro: Libro Guía de la Excursión Geológica de la C.F.E., Reunión Nacional Geotecnia y Geotermia.
- Clarke, D.S., Lewis, R.H., Waldrom, H.M., 1990**, Geology and trace element geochemistry of the Umuna gold-silver deposit, Misima Island, Papua New Guinea: *Journal of Geochemical Exploration*, v.35, p. 225-240.
- Cooke, D.R., Bloom, M.S., 1990**, Epithermal and subjacent porphyry mineralization, Acupan, Baguio District, Philippines: a fluid-inclusion and paragenetic study: *Journal of Geochemical Exploration*, 35, 297-340.
- Cooke, D.R., McPhail, D.C., Bloom, M.S., 1996**, Epithermal gold mineralization, Acupan, Baguio district, Philippines: Geology, mineralization, alteration, and the thermochemical environment of ore deposition: *Economic Geology*, v. 91, p. 243-272.

- Cunneen, R., Sillitoe, R.H., 1989**, Paleozoic hot spring sinter in the Drummond Basin, Queensland, Australia: *Economic Geology*, v.84, p.135-142.
- C.R.M., 1992**, Monografía Geológico-Minera del Estado de Querétaro: Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Publicación M-4e, 108 p.
- C.R.M., 2000**, Cartas geológicas escala 1: 250,000 hoja Querétaro y Pachuca: Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Economía.
- Chauve, P., Fourcade, E., Carrillo-Martínez, M., 1985**, Les rapports structuraux entre les domaines cordillérain et mésogéen dans la partie centrale du Mexique, *Comptes Rendus de L'Académie des Sciences*, Tomo 301, serie II, No. 5, pp. 335-340.
- Damasco, F.V., De Guzmán, M.T., 1977**, The G.W. gold orebodies in the Acupan mine of Benguet Corporation, in 6<sup>th</sup> Symposium on Mineral Resources Development, Baguio City, Philippines, 1977: Proceedings, Section 6, Paper 7, p.6.
- Davy, H., 1822**, On the state of water and aeriform matter in cavities found in certain crystals: *Royal Soc. London Philos, Trans.*, 2, p. 367-376.
- Deicha, G., 1955**, Les lacunes des cristaux et leur inclusions fluides, signification dans la genèse des Gites minéraux et des roches: Masson et Cie, Paris, 126 p.
- Dong, G., Morrison, G., Jaireth, S., 1995**, Quartz Textures in Epithermal Veins, Queensland-Classification, Origin, and Implication: *Economic Geology*, vol. 90, p.1841-1856.
- Einaudi, M. T., Hedenquist, J.W., Inan, E.E., 2003**, Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments: Society of Economic Geologists, Special Publication 10, p. 285-313.
- Ermakov, N.P., Dolgov, Y.A., 1979**, Thermobarogeochemistry: Nedra Press, Moscow, 271 p. (en ruso).
- Enríquez, E., Rivera, R., 2001a**, Timing of magmatic and hidrothermal activity in the San Dimas district, Durango, Mexico: Society of Economic Geologists, Special Publication, 8, 33-38.
- Enríquez, E., Rivera, R., 2001b**, Geology of the Santa Rita Ag-Au deposit, San Dimas district, Durango, Mexico: Society of Economic Geologists, Special Publication, 8, 39-58.
- Ericksen, G.E., Cunningham, C.G., 1993**, Epithermal precious-metal deposits hosted by the Neogene and Quaternary volcanic complex in the Central Andes, en Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M. (eds), *Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada, Special Paper*, 40, 419-431.
- Fournier, R.O., 1985**, The behavior of silica in hydrothermal solutions: in Berger, B.R. and Bethke, P.M., eds., *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems: Reviews in Economic Geology*, v.2, p. 45-62.
- Fries, C., 1962**, Hoja Pachuca 14Q-e(11) con resumen de la geología de la hoja Pachuca, estados de Hidalgo y México: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, carta Geológica de México, Serie 1:100,000, 1 mapa con texto al reverso.
- Gemmell, J.B., Simmons, S.F., Zantop, H., 1988**, The Santo Niño silver-lead-zinc vein, Fresnillo District, Zacatecas, Mexico: part I. Structure, vein stratigraphy, and mineralogy: *Economic Geology*, 83, 1597-1618.
- Geyne, A.R., Fries, C. Jr. Segerstrom, K., Black, R.F., Wilson, I.F., 1963**, Geology and mineral deposits of the Pachuca-Real del Monte District, State of Hidalgo, Mexico: México, D.F., Consejo de Recursos Naturales No Renovables, Publ. 5E, 203 p.
- Giggenbach, W.F., 1981**, Geothermal mineral equilibria: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol.45, p.393-410.
- Giles, D.L., Nelson, C.E., 1982**, Epithermal lode gold deposits of the circum-pacific: Circum pacific Energy and Mineral Resources Conference, 3<sup>rd</sup>, Honolulu, August 1982, transations, p. 273-278.

- Gray, M.D., 2001, Exploration criteria for high sulfidation gold deposits in Mexico, en Corona-Esquivel, R., Gómez-Godoy, J. (eds.), Acta de Sesiones de la XXIV Convención Nacional de la AIMMG, Acapulco, Guerrero: México, D.F., Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, 68-71.
- Gröpper, H., Calvo, M., Crespo, H., Bisso, C.R., Cuadra, W.A., Dunkerley, P.M., Aguirre, E., 1991, The epithermal gold-silver deposit of Choquelimpie, northern Chile: *Economic Geology*, v.86, p. 1206-1221.
- Halsor, S.P., Bornhorst, T.J., Beebe, M., Richardson, K., Stroud, W., 1988, Geology of the Delamar silver mine, Idaho – A volcanic dome complex and genetically associated hydrothermal system: *Economic Geology*, v.83, p. 1159-1169.
- Harvey, B.A., Myers, S.A., Klein, T., 1999, Yanacocha gold district, northern Peru, en Proceedings of the Pacrim'99 Congress, Bali, Indonesia: Parkville, Victoria, Australia, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 445-459.
- Hayba, D.O., Bethke, P.M., Heald, P., Foley, N.K., 1985, Geologic, mineralogic and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious metal deposits, in: Berger B.R. y Bethke P.M. (eds), *Geology and geochemistry of epithermal systems, Reviews in Economic Geology*, 2: p.129-167.
- Heald, P., Foley, N.K., Hayba, D.O., 1987, Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types, *Economic Geology*, 82: p.1-26.
- Hedenquist, J.W., 1987, Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the circum-pacific basin: Circum pacific energy and mineral resources conference, 4th, Singapore, August 1986, transactions, p. 513-524.
- Hedenquist, J.W., 1995, The ascent of magmatic fluid: Discharge versus mineralization mineralization: Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook, v. 23, p. 263-289.
- Hedenquist, J.W., Henley, R.H., 1985, Hidrotermal eruptions in the Waiotapu geothermal system, New Zealand: Their origin, associated breccias and relation to precious metal mineralization: *Economic Geology*, v. 80, p. 1640-1668.
- Hedenquist, J.W., Lowenstern, J.B., 1994, The role of magmas in the formation of Hydrothermal ore deposits: *Nature*, v. 370, p. 519-527.
- Hedenquist, J.W., Izawa, E., Arribas R.A., White, N.C., 1996, Epythermal gold deposits: Styles, characteristic and explorations: Posters and bloklet, special publication 1, 17p.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. Jr., Reynolds, T.J., 1998, Evolution of an intrusión-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines: *Economic Geology*, 93, 373-404.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A.Jr., Urien-Gonzalez, E., 2000, Exploration for epithermal gold deposit: *Society Economic Geologists Reviews*, vol. 13, p. 245-277.
- Henley, R.W., 1985, The geothermal framework of epitermal deposits, in Berger,B.R. y Bethke, P.M., eds., *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems: Reviews in Economic Geology*, v.2, p. 1-24.
- Henley, R.W., Ellis, A.J., 1983, Geothermal systems, ancient and modern: *Earth Science Reviews*, vol.19, p. 1-50.
- Hillemeier, F.L., Johnson, M.D., Kern, R.R., 1991, Geology alteration and mineralization of the Modoc hot springs gold prospect, Imperial County, California, in Mckibben, M.A., eds., *The Diversity of Mineral and Energy Resources of Southern California: Society of Economic Geologists, Guidebook Series*, v.12, p.139-155.
- INEGI, 1983, Carta Geológica Pachuca: Escala 1:250,000 (F14-11), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Primera Edición.

- Izawa, E., Urashima, Y., Ibaraki, K., Suzuki, R., Yokoyama, T., Kawasaki, K., Koga A., Taguchi, S., 1990, The Hishikari gold deposit: High-grade epithermal veins in Quaternary volcanics of southern Kyushu, Japan: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 36, p. 1-56.
- Jannas, R.R., Beane, R.E., Ahler, B.A., Brosnahan, D.R., 1990, Gold and copper mineralization at the El Indio deposit, Chile: *Journal of Geochemical Exploration*, 36, 233-266.
- Jannas, R.R., Bowers, T.S., Petersen, U., Beane, R.E., 1999, High-sulfidation deposit types in the El Indio district, Chile: *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 7, 219-266.
- John, D.A., Nash, J.T., Clark, C.W., Wulfstange, W.H., 1991, Geology, hydrothermal alteration, and mineralization at the Paradise Peak gold-silver mercury deposit, Nye County, Nevada, in Raines, G.L., Lisle, R.E., Shafer, R.W. y Wilkinson, W.H., eds., *Geology and Ore Deposits of the Great Basin: Geological Society of Nevada*, p. 1020-1050.
- Johnson, D.A., 1979, H.C. Sorby Centenary Issue: *Sheffield University Geological Society, J*, 7, p. 181-193.
- Kiyokawa, M., 1982, Geological survey of the Pachuca-Zimapan area, central México: *Metal Mining Agency of Japan and Consejo de Recursos Minerales, México*, 194p. (unpub)
- Kwak, T.A.P., 1990, Geochemical and temperature controls on ore mineralization at the Emperor gold mine, Vatukuola, Fiji: *Journal of Geochemical Exploration*, 36, 297-338.
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., 1986, A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. *J. Petrol*, Vol. 27; 745-750.
- Lehrman, N.J., 1986, The McLaughlin mine, Napa and Yolo counties, California, in Tingley, J.V. and Bonham, H.F., Jr., eds., *Precious-metal Mineralization in Hot Springs Systems, Nevada-California: Nevada Bureau of Mines and Geology, Report 41*, p.85-89.
- Lemlein, G.G., 1956, Russian literature on liquid inclusions in minerals and on geological thermometry: Supplement to russian translation of F.G. Smith, *Historical development of inclusion thermometry. Inostrannaya literature, Moscow*, p. 123-166, (una traducción al inglés del suplemento hecha por E. Roedder, ed., esta disponible en la biblioteca de U.S. Geological Survey).
- Lindgren, W., 1922, A suggestion for the terminology of certain mineral deposits: *Economic Geology*, v.17, p.292-294.
- Lindgren, 1933, *Mineral deposits*, 4<sup>th</sup> edition: New York, McGraw-Hill, 930p.
- López, R.J., De los Santos, M.J.J., Cacho, C.S., Sánchez, B.G., 1997, Carta Geológico-Minera Pachuca, F14-11, escala 1:250,000: Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- López-Ramos, E., 1982, *Geología de México, Tomo II: 3<sup>o</sup> edición*, p. 443-446.
- Lunar R., Oyarzun, R., 1991, Yacimientos Minerales, Técnicas de estudio, Tipos, Evolución Metalogénica y Exploración, Parte I, Editorial de Centro de Estudios Ramón Areces (CESRA), Madrid, 950 p.p.
- Mangas, J., Sierra, J., 1991, Las inclusiones fluidas: Método de análisis e interpretación: en Lunar R. y Oyarzun R., p. 79-146.
- Margolis, J., 1989, Arkose-hosted, aquifer-controlled, epithermal Au-Ag mineralization, Wenatchee, Washington: *Economic Geology*, v. 84, p.1891-1902.
- Merchant, R.J., 1986, Mineralization in the Thames District - Coromandel, in Henley, R.W., Hedenquist, J.W. and Roberts, P.J., eds., *Guide o the Active Epithermal (Geothermal) Systems and Precious Metal Deposits of New Zealand: Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, Monograph Series on Mineral Deposits 26*, p. 147-163.
- Mérida, C.A., López, R.J., Buenrostro, A., Barrios R.F., López, O., 1984, Informe Geológico Evaluatorio Preliminar de la Mina Auroargentífera de San Martín, Municipio de Colón, Querétaro: Archivo Técnico del Consejo de Recursos Minerales.

- Mérida, C.A., López, R.J., Buenrostro, A., 1988, Cálculo Final de Reservas y Leyes del Yacimiento Auroargentífero San Martín, Z.R.M.N., Mpio. Colón: Archivo Técnico del Consejo de Recursos Minerales.
- Mérida, C.A., Ortiz, H.L.E., López R.J.E., 1993, Geología del Yacimiento Auroargentífero-Brechoide San Martín, Querétaro: XX Convención Nacional de la A.I.M.M.G.M., A.C., p. 216 - 226.
- Moiseenko, V.G., Malakhov, V.V., 1979, Physico-chemical conditions of endogene ore formation, Moscow, Nauka Publishing House, 200 p., (en ruso).
- Motilla, J.L., 1994, Interpretación genética de un depósito epitermal Au-Ag, San Martín, Colón, Querétaro, México: Reporte interno de la Cía. Minera Teck, no publicado.
- Muntean, J.L., Kesler, S.E., Russell, N., Polanco, J., 1990, Evolution of the Monte Negro acid sulfate Au-Ag deposit, Pueblo Viejo, Dominican Republic: Important factors in grade development: *Economic Geology*, v.85, p. 1738-1758.
- Muñoz, C. F., 1993, Modelo genético de los depósitos de oro, Proyecto San Martín, Oro.: XX Convención Nacional de la A.I.M.M.G.M., A.C., memorias, p. 246-260.
- Naumov, G.B., Mironova, V.B., Naumov, V.B., 1976, Carbon compounds in fluid inclusions of hydrothermal quartz: *Geokhimiya*, (8), p.1243-1251, (en ruso; traducido en *Geoquímica Internacional*, 13, p.164-171).
- Nelson, C.E., 1988, Gold deposits in the hot springs environment in Schafer, R.W., Cooper, J.J. and Vikre, P.G., eds., *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States: Geological Society of Nevada*, p. 417-431.
- Nicol, W., 1828, Observations on the fluids contained in crystallised minerals: *Edinburgh New Philos*, J, 5, p. 94-96.
- Ortiz, H.L.E., Solís P.G.N., 1985, Estudio metalogenético de la mina auroargentífera de San Martín, Mpio. Colón, Oro.: Gerencia de Estudios Especiales, Archivo Técnico del Consejo de Recursos Minerales.
- Ortiz, H.L.E., Solís P.G.N., Mérida, C.A. 1989, Geología y metalogénesis del yacimiento auroargentífero-brechoide epitermal (tipo carlin) de San Martín, Querétaro. XVIII Convención Nacional de la A.I.M.M.G.M., A.C., p. 42-62.
- Oviedo, L., Fuster, N., Tschischow, N., Ribba, L., Zuccone, A., Grez, E., Aguilar, A., 1991, General geology of La Coipa precious metal deposit, Atacama, Chile: *Economic Geology*, v. 86, p.1287-1300.
- Pérez, F.E., Mauvois, G.R., Menguelle, L.J., Moreno, V.J, Soto, A.R., López, O.A., 1999, Carta Geológico-Minera Querétaro F14-10, escala 1:250,000: Consejo de Recursos Minerales, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- Plumlee, G.S., Rye, R.O., 1986, Extreme sulfur isotope. As, Sb and Ag variations in late-stage botryoidal pyrite from Creede, Colorado: vestiges of a waning hydrothermal system: *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 18 (6), 719.
- Porter, R.G., 1988, The Pajingo gold mine, in Morrison, G.W., ed., *Epithermal and porphyry style gold deposits in north Queensland, Bicentennial Gold, 1988, Excursion guide book: Economic Geology Research Unit, James Cook University of North Queensland, contribution 29*, p. 23-34.
- Poty, B., Leroy, J., Jachimowicz, 1976, A new device for measuring temperatures under the microscope: The chaixmeca microthermometry apparatus: *Bull. mineralogical society of France. Cristallographic*, 99, 182-186 p.p.
- Ransome, F.L., 1909, The geology and ore deposits of goldfield, Nevada, U.S. geological survey, Professional paper 66, 258 p.
- Rekharsky, V.I., 1980, Methods and devices for studies of inclusions of mineral-forming media: Nauka Publishing House, Moscow, 200 p., (en ruso).

- Richards, J.P., 1992**, Magmatic-epithermal transitions in alkalic systems: Porgera gold deposit, Papua New Guinea: *Geology*, 20, 547-550.
- Richards, J.P., 1995**, Alkalic-type epithermal gold deposits -- a review, en Thompson, J.F.H. (ed.), *Magma fluids and ore deposits: Mineralogical Association of Canada Short Course Series*, 23, 367-400.
- Richards, J.P., Kerrich, R., 1993**, The Porgera gold mine, Papua New Guinea: magmatic hydrothermal to epithermal evolution of an alkali-type precious metal deposit: *Economic Geology*, 88, 1017-1052.
- Richards, J.P., Bray, C.J., Channer, D.M.DeR., Spooner, E.T.C., 1997**, Fluid chemistry and processes at the Porgera gold deposit, Papua New Guinea: *Mineralium Deposita*, 32, 119-132.
- Roedder, E., 1979**, Fluid inclusions as samples of ore fluids : En Barnes, H.L. (Ed) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2° Ed. Wiley, New York, p. 684-737
- Roedder, E., 1984**, Fluid Inclusions: Review in *Mineralogy*, vol. 12, Mineralogical Society of America, 644p.
- Russell, N., Kesler, S.E., 1991**, Geology of the maar-diatreme complex hosting precious metal mineralization at Pueblo Viejo, Dominican Republic, *Geological Society of America Special Paper*, 262, 203-215.
- Ruvalcaba-Ruiz, D.C., Thompson, T.B., 1988**, Ore deposits at the Fresnillo mine, Zacatecas, Mexico: *Economic Geology*, 83, 1583-1596.
- Rytuba, J.J. y Vander Meulen, D.B., 1991**, Hot-spring precious-metal systems in the Lake Owyhee volcanic field, Oregon-Idaho, in Raines, G.L., Lisle, R.E., Shafer, R.W. y Wilkinson, W.H., eds., *Geology and Ore Deposits of the Great Basin: Geological Society of Nevada*, p. 1085-1096.
- Sander, M.V., 1988**, Geologic setting and the relation of epithermal gold-silver mineralization to wall rock alteration at the Round Mountain mine, Nye County, Nevada, in Schafer, R.W., Cooper, J.J. and Vikre, P.G., eds., *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States: Geological Society of Nevada*, p.375-416.
- Sander, M.V., Einaudi, M.T., 1990**, Epithermal deposition of gold during transition from propylitic to potassic alteration at Round Mountain, Nevada: *Economic Geology*, 85, 285-311.
- Sawlan, M.G., Russell, K.D., Hart, B.A., 1991**, Gold mineralization and rhyolitic volcanism at the Crone Hill and Quartz Butte deposits, Quartz Mountain district, Oregon (abstract), in Raines, G.L., Lisle, R.E., Schafer, R.W. and Wilkinson, W.H., eds., *Geology and Ore Deposits of the Great Basin: Geological Society of Nevada*, p. 1145-1146.
- Seegerstrom, K., 1956**, Estratigrafía y tectónica del Cenozoico entre México, D.F. y Zimapán, Hidalgo: *Internat. Geol. Cong.*, 20<sup>th</sup>, México, D.F., Excursions A-3 and C-1, p.11-22.
- Sergerstrom, K., 1961a**, Geology of the Bernal-Jalpan área, Querétaro: *U.S. Geol. Survey Bull.* 1104-B, p. 19-85.
- Seegerstrom, K., 1961b**, Geología del suroeste del Estado de Hidalgo y del Noreste del Estado de México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, vol. XIII, Num. 3 y 4, p. 147-168.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M, 1985**, *Aprectical guide to fluid inclusion studies*: Blackie, Glasgow, London, 239 p.
- Sherlock, R.L., Tosdal, R.M., Lehrman, N.J., Graney, J.R., Losh, S., Jowett, E.G., Kesler, S.E., 1995**, Origin of the McLaughlin mine sheeted vein complex: Metal zoning, fluid inclusion, and isotope evidence: *Economic Geology*, v.90, p. 2156-2181.
- Sibson, R.H., 1987**, Earthquake rupturing as a mineralizing agent in hydrothermal systems: *Geology*, v.15, p. 701-704.
- Siddeley, G., Araneda, R., 1986**, The Indio-Tambo gold deposits, Chile, in MacDonald, A.J., ed., *Gold '86: An -International Symposium on The Geology of Gold deposits*: Toronto, ON, Proceedings, p. 445-456.

- Sillitoe, R.H., 1977, Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: A review, in *Volcanic processes in ore genesis*: London, Institution of Mining and Metallurgy and Geological Society, p. 99-116.
- Sillitoe, R.H., 1983, Enargite-bearing massive sulfide deposits high in porphyry copper systems, *Economic Geology*, v.78, p. 348-352.
- Sillitoe, R.H., 1985, Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs: *Economic Geology*, v.80, p. 1467-1514.
- Sillitoe, R.H., 1989, Gold Deposits in western pacific island arcs: The magmatic connection: *Economic Geology Monograph 6*, p.274-291.
- Sillitoe, R.H., 1991, Gold metallogeny of Chile – An introduction: *Economy Geology*, v.86, p. 1187-1205.
- Sillitoe, R.H., 1993, Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and Shallow features, *Geological Association of Canada, Special paper 40*, p. 403-417.
- Sillitoe, R.H., 1994, Erosion and collapse of volcanoes: Causes of telescoping in intrusion, centered ore deposits: *Geology*, v.22, p. 945-948.
- Sillitoe, R.H., 1995, Exploration of porphyry copper lithocaps: *Australasian institute of mining and metallurgy publication series No. 9/95*, p. 527-532.
- Sillitoe, R.H., 1999, Styles of high-sulphidation gold, silver and copper mineralization in the porphyry and epithermal environments, en *PACRIM'99 Congress, Bali, Indonesia, proceedings: Parkville, Victoria, Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, p. 29-44.
- Sillitoe, R.H., Bonham, H.F., Jr., 1984, Volcanic landforms and ore deposits: *Economic Geology*, v.79, p. 1286-1298.
- Sillitoe, R.H., Baker, E.M., Brook, W.A., 1984, Gold Deposits and hydrothermal eruption breccias associated with a maar volcano at Wau, Papua New Guinea: *Economic Geology*, v.79, p. 638-655.
- Sillitoe, R.H., Graubeger, G.L., Elliott, J.E., 1985, A diatreme-hosted gold deposit at Montana Tunnels, Montana: *Economic Geology*, v. 80, p. 1707-1721.
- Sillitoe, R.H. y Hedenquist, J.W., 2003, Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits: *Society of Economic Geologists, Special Publication 10*, p. 315-343.
- Sillitoe, R.H., Steele, G.B., Thompsom, J.F.H., Lang, J.R., 1998, Advanced argillic lithocaps in the Bolivian tin-silver belt: *Mineralium Deposita*, v.33, p. 539-546.
- Simmons, S.F., 1991, Hydrologic implications of alteration and fluid inclusion studies in the Fresnillo district, Mexico: Evidence for a brine reservoir and a descending water table during the formation of hydrothermal Ag-Pb-Zn orebodies: *Economic Geology*, v.86, p. 1579-1601.
- Simmons, S.F., 1995, Magmatic contributions to low sulfidation epithermal deposits: *Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook*, v. 23, p.455-477.
- Simmons, S.F., Gemmell, J.B., Sawkins, F.J., 1988, The Santo Niño silver-lead-zinc vein, Fresnillo, Mexico: Part II. Physical and chemical nature of ore-forming solutions: *Economic Geology*, v. 83, p. 1619-1641.
- Smith, F.G., 1953, *Historical development of inclusion thermometry*: Univ. Toronto Press, Toronto, Canada, 149 p.
- Sorby, H.C., 1858, On the microscopic structure of crystal, indicating the origin of mineral and rocks: *Geol. Soc. London Quart. Journal*, 14, pt.1, p. 453-500.
- Spooner, E.T.C., 1981, Fluid inclusion studies of hydrothermal ore deposits: in Hollister and M.L. Crawford Ed., *Short Course in Fluid Inclusions, Applications to Petrology*, vol.6, *Mineralogical Association of Canada*, p.209-240.
- Steele, G.B., 1996, *Metallogenesis and hydrothermal alteration at Cerro Rico, Bolivia*: Unpublished Ph.D. thesis, Aberdeen, University of Aberdeen, 435 p.

- Staupe, J.M., 2001**, Geology, geochemistry, and formation of Au (Cu) mineralization and advanced argillic alteration in the Mulatos district, Sonora, Mexico: Society of Economic Geologists Special Publication, 8, 199-216.
- Stoffregen, R., 1987**, Genesis of acid-sulfate alteration and Au-Cu-Ag mineralization at Summitville, Colorado: Economic Geology, v. 82, p.1575-1591.
- Strashimirov, S., Petrunov, R., Kanazirski, M., 2002**, Porphyry-copper mineralization in the central Srednogorie zone, Bulgaria: Mineralium Deposita, 37, 587-598.
- Suter, M., 1984**, Cordilleran deformation along the eastern edge of Valles-San Luis Potosí carbonate platform, Sierra Madre Oriental fold-thrust belt, east-central México: Geological Society of America Bulletin, vol. 95, p.1387-1397.
- Suter, M., 1987**, Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico: Geological Society of America Bulletin, vol. 98, p. 249-264.
- Suter, M., 1990**, Geología de la hoja Tamazunchale, Estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí: Carta geológica de México, Serie 1:100,000, Univ. Nac. Auton. de Méx., Instituto de Geología.
- Thompson, T.B., Trippel, A.D., Dwelley, P.C., 1985**, Mineralized veins and breccias of the Cripple Creek District, Colorado: Economic Geology, 80, 1669-1688.
- Tosdal, R. M., Willis, G.F., Manske, S.L., Lang, D., Lusk, M., 1991**, Mezquite mining district, southeastern California, in Mckibben, M.A., ed., The Diversity of Mineral and Energy Resources of Southern California: Society of Economic Geologists, Guidebook Series, v. 12, p. 87-103.
- Van Leeuwen, T.M., Leach, T.M., Hawke, A.A., Hawke, M.M., 1990**, The Kelian disseminated gold deposit, east Kalimantan, Indonesia: Journal of Geochemical Exploration, 35, 1-61.
- Vikre, P.G., 1985**, Precious metal vein systems in the National district, Humboldt County, Nevada: Economic Geology, v.80, p.360-393.
- Vikre, P.G., 1989**, Fluid-mineral relations in the Comstock Lode: Economic Geology, v. 84, p. 1574-1613.
- Weissberg, B.G., Browne, P.R.L., Seward, T.M., 1979**, Ore metals in active geothermal systems, in Barnes, H.L., ed., Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 2° Edition: John Wiley & Sons, New York, p. 738-780.
- White, D.C., Thompson, G.A., Sandberg, C.H., 1964**, Rocks, structure, and geologic history of steamboat springs thermal area, Nevada: United States Geological Survey, Professional Paper 458-B, 63p.
- White, D.E., 1948**, Antimony deposits of the Soyatal district, State of Querétaro, Mexico: U.S. Geological Survey, Bulletin, 960-B.
- White, N.C., Hedenquist J.W., 1995**, Epithermal gold deposits: Styles, characteristic and exploration, Society of Economic Geologists, Newsletter no. 23, p. 1-13.
- White, N.C. Wood, D.G., Lee, M.C., 1989**, Epithermal sinters of Paleozoic age in north Queensland, Australia: Geology, v.17, p. 718-722.
- Wilkinson, J.J., 2001**, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: Lithos, v.55, p. 229-272.
- Wilkins, R.W.T., Barkas, J.P., 1978**, Fluid Inclusions, deformation and recrystallization in granite tectonites, Contrib. Mineral Petrology., 65, p. 293-299.
- Wilson, B.W., Hernández, P., Meave T.E., 1955**, Un arrecife cretácico en la parte oriental del Estado de Querétaro, Sociedad Geológica Mexicana, Boletín, vol.18, p.1-10.
- Zirkel, F, 1870**, Mikromineralogische mittheilungen: Nevues Jarrb, Mineralogy, Geologie und Paläontologie, p. 801-832



## ANEXO I

### DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS

#### MUESTRA: SM05 LAJA

#### DESCRIPCIÓN

La muestra es una brecha que presenta clastos de rocas sedimentarias silicificadas y varias etapas de brechamiento y cementación.

La muestra presenta gran número de bandas de cuarzo con textura masiva en bandas coliformes y en peine.

Hay otras zonas donde las bandas de cuarzo rodean a los clastos de calcita formando texturas cocarda y coliforme.

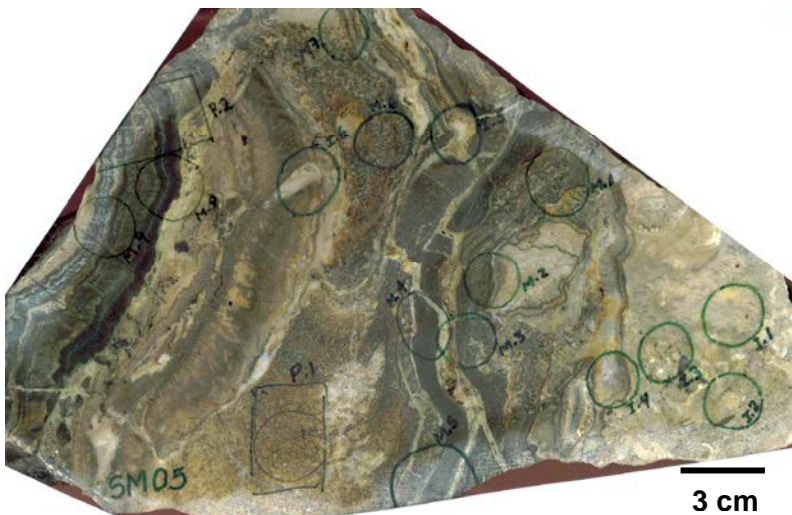
Algunas bandas de cuarzo delgadas de 1 a 2 mm presentan un mineral verde-azul que las destaca de las que las rodean. El resto de las bandas se diferencian por sus diferentes tonos de café.

Las bandas sirven de cementante a clastos de diversos tipos:

Los hay de clastos de calcita y también clastos de bandas de cuarzo.

Algunos poros de las areniscas están rellenos del mineral verde-azul y otros por óxidos de hierro.

La P2 está tomada en un área de bandas de cuarzo, con los minerales verdes y café antes descritos.



3 cm

#### LÁMINA DELGADA P1

Esta lámina se obtuvo de un clasto de banda. Al microscopio se pierden las laminaciones, lo que se observa es cuarzo en una textura aproximada a sacaroidal y entre esta textura muchos poros y los cristales de cuarzo siguen la alineación de los bordes del poro.

A la vista presenta porosidad que en la lámina delgada se presentan rellenos de bálamo. Los poros al microscopio son de contornos subredondeados. Se observan muy escasos cristales de calcita en donde el reemplazamiento del cuarzo no ha sido total.

Hay minerales opacos abundantes y diseminados en toda la muestra entre el cuarzo, la mayoría adopta la forma de los espacios que dejan los cristales de cuarzo.

Escasos minerales opacos presentan formas cúbicas y con objetivo 10X y sin nícoles, algunos muestran sus bordes rojizos, hay otros opacos que rellenan fracturas. Estas fracturas están rellenas de un mineral opaco negro que aún con aumento de objetivos permanece negro. El mineral en los bordes de la fractura se ve un poco coliforme.

### **LÁMINA DELGADA P2**

La mayor parte de la lámina son bandas de cuarzo, que a la vista se distinguen por su color y al microscopio, porque la banda está integrada de cuarzo y algún otro mineral que es el que aporta el color. Alternan bandas café oscuro con bandas verde-azul, con textura coloforme y algunas tipo peine. La textura general de las bandas de cuarzo es anedral de fino a medio.

- En las bandas que a la vista se ven café, el cuarzo está intercrecido con minerales abundantes minerales opacos.
- En las bandas que a la vista se ven verde-azul, al microscopio se observa que el color se los da un mineral verde claro, en masas irregulares fibrosas intercrecidas con el cuarzo. El cuarzo por su parte en estas bandas es de anedral pero de mayor tamaño que en las bandas café. Este mineral verde se clasificó como partzita . En estas bandas verdes, al microscopio los minerales opacos se presentan en mayor cantidad.

En unas fracturas rellenas se observa un mineral al microscopio verde muy oscuro (que a la vista se ve verde pistache), como si tuviera sericita manchada de verde oscuro pero en la misma fractura aparece el mineral verde-azul fibroso.

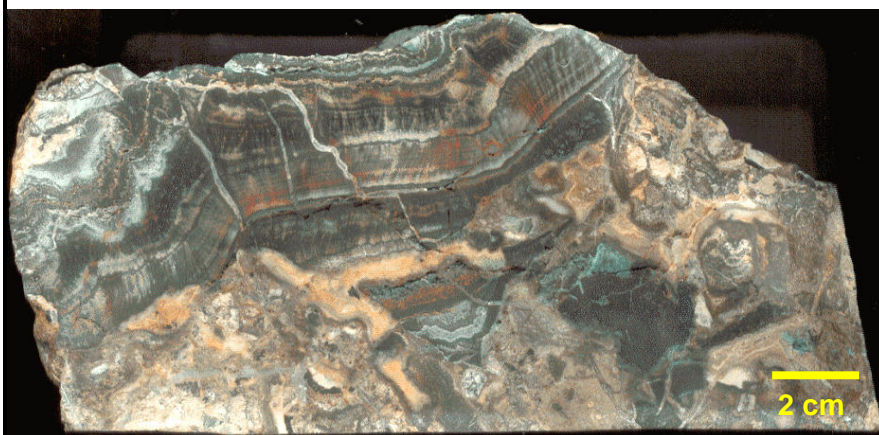
Una observación general, es que entre más clara (incolora) se ve la banda al microscopio, menos minerales opacos presenta.

En una esquina de la lámina hay un área de calcita que contiene fragmentos redondeados de cuarzo con textura anedral muy fino, que tiene bordes con cuarzoes recristalizados tipo peine. Se ve muy diferente al resto de la muestra.

**TEXTURAS:** cuarzo masivo anedral fino, en bandas coloformes, en peine, cocarda, sacaroidal.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos, partzita, óxidos de Fe secundarios.

### MUESTRA: SM05 ARCO IRIS



### DESCRIPCIÓN

La muestra fue tomada en el mismo sitio que SM05 laja, pero para distinguirla se le denominó arco iris, debido a que se presentan clastos con bandas de cuarzo de varios colores que asemejan un arco iris.

La muestra es una brecha con grandes clastos que muestran

una 1ª y 2ª etapa de brechamientos.

Los clastos de mayor tamaño llegan hasta 15 cm de largo y están constituidos por fragmentos de bandas de cuarzo, que se diferencian por su color.

Hay unas bandas que destacan por su color verde-azul, que lo adquieren por un mineral de ese color, aún no identificado. Otras bandas se destacan por su color café rojizo (color óxidos de Fe), donde se distinguen a la vista minerales metálicos amarillentos, posiblemente electrum y pirita.

En conjunto las bandas muestran texturas coliforme, algunas texturas en peine y otras cocardas.

Otros clastos son de brechas de 1ª etapa cementadas por sílice y muestran clastos de caliza silicificada y de calcita.

Todos los clastos están cementados por una mezcla de cuarzo y calcita de color naranja claro que muestra bordes coliformes y constituye una 3ª etapa de cementante.

Las muestras P3 y P4 están contiguas sobre la misma muestra y sobre un clasto con las bandas de cuarzo antes descritas.

### LÁMINA DELGADA P3

Lámina donde se observan bandas de cuarzo, en similares condiciones a la P2. Las bandas muestran una textura masiva anedral fina a intermedia.

Las bandas a la vista, entre más café rojizo se muestran, más opacos, minerales rojos y amarillentos translúcidos se ven al microscopio intercrecidos con el cuarzo. Las bandas delgadas presentan ondulaciones como textura coliforme.

Hay fracturas rellenas de un mineral negro (igual que P2) que cortan casi perpendicular a las bandas.

La mayoría de los minerales opacos se ven negros, están intercrecidos con cuarzo pero tienen formas irregulares. Algunos hilillos de cuarzo anedral mediano cortan casi perpendicular a las bandas, aunque son de cuarzo se distinguen por su tamaño mayor al de las bandas.

### LÁMINA DELGADA P4

Muestra de bandas de cuarzo, igual a P2 y P3. Pequeñas diferencias, los minerales opacos en esta lámina parecen estar en una mayor proporción.

Se observan a la vista unos hilillos de color café rojizo muy oscuro casi negro. Al microscopio se ven muy cargados de minerales opacos negros y con bordes translúcidos rojizos, pero algo notable es que los minerales opacos parecen tener comunicación unos con otros, lo que resalta más al hilillo.

También se presentan minerales opacos con bordes coliformes, parecen relleno de fracturas pero con nicoles se ve café muy oscuro distinguiéndose. Por eso, a su alrededor se ven manchas de óxidos secundarios que invaden al cuarzo que rodea al mineral opaco.

## **SECCIONES PULIDAS**

### **M100**

Naumannita y electrum intersticial en el mosaico de cuarzo y goethita-limonita. La naumannita está en mucho mayor proporción que el electrum.

El electrum aparece en cristales muy pequeños, que en parte son como bordes irregulares, tendiendo a ser simétricos.

Goethita-limonita abundante en parches, diseminada y en pseudomorfos de pirita. Sin analizador gris-pardo y con analizador rojizos.

Aparecen cristales pequeños y escasos de pirita en contacto franco con el cuarzo. Los bordes de la pirita son como gotitas sin ningún borde de reacción.

Un cristal solitario de tetrahedrita de la banda café oscuro.

### **M110**

Clasto silicificado con muy escasas piritas y bandas concéntricas alrededor de él.

La banda verde:

Está constituida de partzita con cuarzo. La partzita está reemplazando al cuarzo en textura tipo caries. Hay islas y continentes de cuarzo. En el cuarzo se ven escasos cristales de pirita.

La banda café oscuro:

Contiene de mayor a menor abundancia, cuarzo, naumannita, goetita, oro y pirita.

Venitas café:

Se encuentran separando 2 bandas café oscuro. Principalmente están formadas de goetita-limonita con gusanitos escasos de oro.

### **M13**

La mineralogía de las bandas café oscuro es cuarzo, goethita-limonita y hematita en pseudomorfos de pirita en un 20%. Se observan cubos de pirita muy bien pulidos y de color amarillo en < de 1%.

**TEXTURAS:** cuarzo masivo en bandas coliformes, en peine, cocardas, sacaroidal.

**MINERALES:** cuarzo, calcita mineral con brillo metálico (electrum), minerales opacos (pirita), mineral verde-azul, óxidos de fierro secundarios.

**MUESTRA: SM01**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de caliza gris oscuro, cementada por varias etapas de calcita y cuarzo.

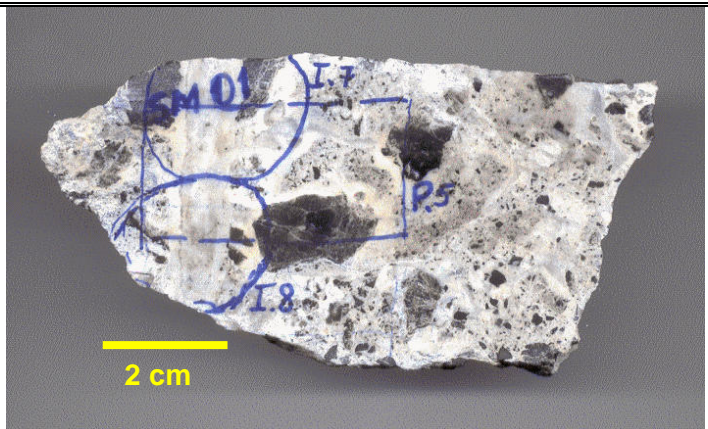
Los clastos de la brecha tienen tamaños variables entre 1 mm y 2 cm, predominan los menores a 5 mm, en su mayoría son de bordes angulosos y son de caliza silicificada gris oscuro. Algunos, los menos, muestran una etapa de brechamiento previa, o sea que son clastos brechados en una 1ª

etapa y consecuentemente esta muestra presenta 2 etapas de brechamiento y cementación.

El cementante de las brechas de 1ª etapa es de gris a blanquecino, pero en algunos fragmentos se muestra gris oscuro.

En la 2ª etapa el cementante es de calcita lechosa e incluso se ve bordeando los clastos y enseguida se observa un 2º cementante de cuarzo blanco translúcido. Asociada a esta 2ª etapa hay una vetilla de 1 cm de ancho con bandas delgadas de calcita y Cuarzo.

En una 3ª etapa, se presentan vetillas de calcita color miel, que cortan a todas las brechas y vetillas. En esta muestra la vetilla parece estar asociada a una microfalla, porque se ve desplazada.



**LÁMINA DELGADA P5**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha que presenta clastos brechados previamente y cementados por calcita, clinozoisita y cuarzo.

1ª etapa, los clastos de esta etapa de brechamiento y cementación se distinguen por presentar internamente clastos de rocas sedimentarias con laminaciones y silicificados. Están cementados por calcita (~65%) que tiene una apariencia de brechada, porque están siendo reemplazados por cuarzo (~30%) de textura masiva anedral fina que va ocupando espacios entre la calcita. Los minerales opacos (~<5%) en su mayoría son negros, pero aparecen algunos rojizos.

Otro tipo de clastos previamente brechados internamente presentan clastos de rocas sedimentarias con laminaciones y silicificados, pero a diferencia de los previamente descritos, están cementados por cuarzo con textura quasi sacaroidal.

2ª etapa, el cementante que une a los clastos de 1ª etapa, se forma principalmente de calcita micrítica muy oscura y abundante clinozoisita que rodea a los clastos. La clinozoisita trata de desarrollar una textura aproximada a tipo peine alrededor de los clastos, pero también se presenta abundante e irregularmente entre las zonas de calcita. Entre la calcita y clinozoisita se presentan escasas zonas con un mineral opaco muy negro y de forma irregular.

Del cementante de 2ª etapa se desprenden vetillas delgadas de calcita y clinozoisita que atraviesan a los clastos cementados por cuarzo de textura sacaroidal.

Aparece una vetilla de hasta 1 cm de espesor que es contemporánea con la 2ª etapa de cementante, ya que se forma principalmente de calcita y clinozoisita intercrecidas en bandas no muy definidas. La calcita es micrítica y muy oscura y la clinozoisita muy abundante y tratando de alinear algunos cristales hacia el centro de la vetilla. Esta misma vetilla en su parte central presenta unos cristales aislados de cuarzo, que se distinguen a la vista porque son muy grandes.

**TEXTURAS:** cuarzo masivo anedral fino , quasi sacaroidal , clinozoisita con textura aproximada tipo peine.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos, clinozoisita (muy abundante).



**MUESTRA: SM02**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de caliza gris oscura, cementadas por varias etapas de calcita y cuarzo.

Su apariencia general es muy similar a la de SM01, pero los clastos llegan a tamaños mayores de hasta 6 cm de diámetro mayor.

Los clastos que muestran brecha y cementante de 1ª etapa son los de mayor tamaño y más abundantes, y los que sólo son de caliza silicificada son de menor tamaño y menos abundantes.

Las vetillas de cuarzo-calcita de 2ª etapa se unen entre sí formando un enrejado y recementando la brecha. En ésta misma etapa se presentan unas delgadas (3 mm) vetillas de ópalo y calcita de color amarillo miel.

Finalmente se observa una 3ª etapa de vetillas de calcita blanca lechosa drusiforme que cortan a las 2 etapas antes descritas. Estas vetillas rellenan fracturas recientes y no parecen estar asociadas a la mineralización.



**LÁMINA DELGADA P6**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de rocas sedimentarias con o sin laminaciones que están cementados en su mayor parte por calcita que a su vez esta siendo reemplazada por cuarzo.

En un área donde confluyen dos hilillos de cuarzo de 2ª etapa, con textura aproximada tipo peine, se presentan grandes y escasos cristales de cuarzo.

Dentro de los grandes cristales de calcita espática aparecen muy pequeños y escasos de clinozoisita.

La mayoría de los clastos de rocas sedimentarias con laminaciones están siendo reemplazados por cuarzo con textura anedral fina y luego cruzado por vetillas de cuarzo sin ninguna dirección preferencial. Las vetillas mas gruesas desarrollan textura tipo peine.

En algunas pequeñas partes del cementante o clastos, la calcita ha sido reemplazada por cuarzo con textura aproximada a sacaroidal o mosaico.

El cementante de la brecha es de calcita micrítica y esta siendo reemplazada por cuarzo que va desarrollando una textura anedral de grano fino.

Los minerales opacos en los clastos de rocas sedimentarias son abundantes y alineados con las laminaciones, en cambio el cementante de calcita es muy escaso.

**TEXTURAS:** cuarzo masivo anedral fino, vetillas enrejadas con textura tipo peine.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, ópalo, minerales opacos, clinozoisita.

**MUESTRA: SM03A**

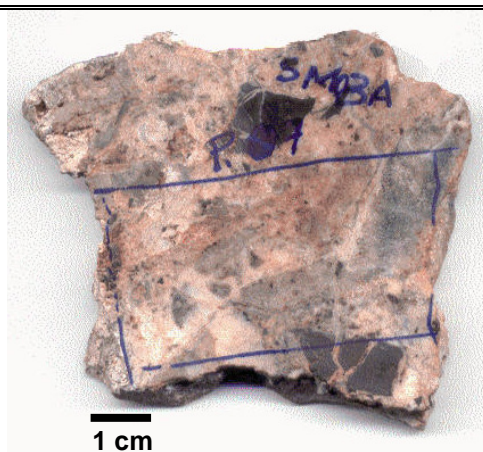
**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de rocas sedimentarias y cuarzo y que presenta 2 etapas de cementación claramente diferentes.

Los clastos son de calizas laminares gris oscuro y de cuarzo gris amarillento.

El 1° cementante es de calcita lechosa rosácea y une a los clastos antes mencionados

El 2° cementante es cuarzo gris amarillento que corta y recementa al 1° cementante de calcita y a los 2 tipos de clastos.



**LÁMINA DELGADA P7**

**DESCRIPCIÓN**

En la mayor parte de la lámina se observan las 2 etapas de cementantes, descritos a la vista.

El 1° cementante que a la vista es rosa, al microscopio se observa que en su mayor parte es calcita (~70-80%) y el resto (~15-25%) es de cuarzo que está reemplazando a la calcita y desarrollando una textura sacaroidal.

Entre este 1° cementante aparecen clastos angulosos de cuarzo que se distinguen muy bien por su textura masiva anedral fina. También hay pequeños clastos de rocas café rojizos muy redondeados y con textura masiva anedral muy fina.

Entre la calcita y el cuarzo hay disseminaciones de minerales opacos (<5%).

El 2° cementante al microscopio se observa que es en su mayoría cuarzo (~85%) con textura sacaroidal en su mayor parte y de mosaico de grano grueso en ciertas zonas. Contiene un poco de calcita (~15%).

Entre este 2° cementante aparecen clastos de cuarzo que se distinguen por su textura masiva anedral muy fina. También aparecen clastos de rocas con y sin laminaciones internas y con vetillas de cuarzo que se entrecruzan.

También presentan minerales opacos negros y rojizos, disseminados entre el cementante.

El 2° cementante de cuarzo corta y recementa al 1° cementante claramente.

Aparece sólo un agregado de muscovita con textura fibrosa radial que se desarrolla en una pequeña cavidad.

**TEXTURAS:** cuarzo masivo anedral fino a muy fino , sacaroidal, mosaico de grano grueso.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos negros y rojizos, moscovita.

**MUESTRA: SM04 clara**

**DESCRIPCIÓN**

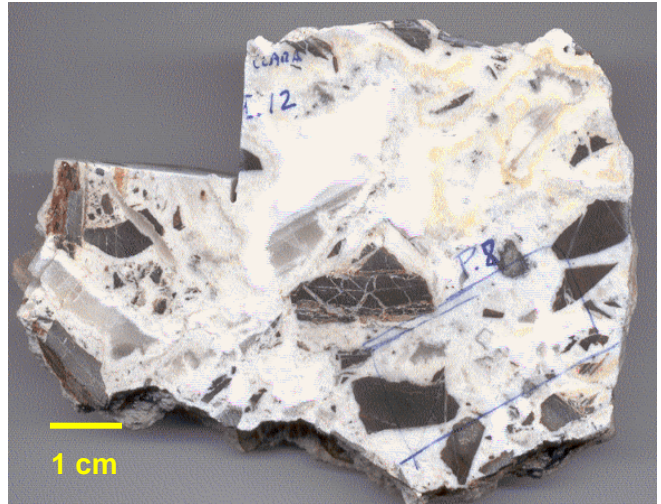
Brecha con clastos de calizas laminares cementados en 1ª etapa por un cuarzo algo translúcido y en 2ª etapa por calcita cuarzo blanco lechoso.

En su mayor parte presenta clastos de caliza laminar gris oscura un poco oxidadas, aunque también se presentan escasos clastos angulosos de cuarzo del cementante de 1ª etapa. En general los clastos presentan bordes angulosos y tamaños variables desde 1 a 30 mm.

El cementante de 1ª etapa, es cuarzo blanco grisáceo algo translúcido, es muy escaso pero se distingue porque hay clastos de calizas laminares cementados por éste y luego por el cementante de 2ª etapa.

El cementante de 2ª etapa está integrado por cuarzo y calcita, que se distingue por integrar la mayor parte de la muestra, su color blanco lechoso y por tratar de formar textura cocarda alrededor de los clastos de la brecha

Finalmente hay desarrollo de vetillas drusiformes de calcita, que siguen planos de fracturas que cortan a todo lo antes descrito, se consideran de 3ª y última etapa.



**MUESTRA: SM04 oscura**

**DESCRIPCIÓN**

Se recolectó en el mismo sitio que la SM04 clara, pero su color general es oscuro porque predominan los fragmentos de calizas gris oscuro.

Se trata de una brecha con clastos de calizas laminares cementados por cuarzo y calcita formando textura cocarda.

En 1ª etapa de brechamiento y cementación, hay clastos angulosos que en su interior muestran clastos de calizas gris oscuras fuertemente silicificados y cementados por cuarzo de color gris oscuro.

La 2ª etapa de brechamiento y cementación, muestra a los clastos de 1ª etapa rebrechados junto con clastos de calizas laminares gris oscuras y café rojizas por la oxidación, cementados por una mezcla de cuarzo y calcita blanquecina, que trata de formar textura cocarda alrededor de los clastos.





## LÁMINA DELGADA P8

### DESCRIPCIÓN

Esta lámina se obtuvo de la **SM04 clara**

Brecha con clastos de rocas sedimentarias con y sin laminaciones cementados por calcita y cuarzo.

Los clastos son de rocas sedimentarias con y sin laminaciones, presentan en general un color café rojizo.

Los clastos donde el color es más intenso, la silicificación es menor y contienen abundantes fósiles circulares, con estructuras radiales y concéntricas. En algunos casos ya no se notan las estructuras internas pero persiste la forma circular. El mineral que los forma es exclusivamente cuarzo.

En los clastos de rocas sedimentarias es donde mayor es la presencia de minerales opacos, la mayoría son negros pero hay algunos que con el objetivo 20X, se ven rojizos y un poco translúcidos.

Algunos opacos negros y rojizos presentan secciones hexagonales.

Hay otros clastos que no muestran fósiles pero su grado de silicificación es mayor.

El cementante de 2ª etapa en su mayoría es calcita pero contiene como islas de cuarzo, de 1ª etapa, con textura anedral fina a media y tiene un borde gris oscuro formado por cuarzo masivo anedral muy fino.

Hay partes donde la calcita predomina en ~80% y el otro ~20% es de cuarzo que está empezando a reemplazar a las zonas de calcita. Hay otras partes donde el cuarzo predomina en ~70% y la calcita se ve como islas que apenas suman el ~30%, e incluso hay pequeñas partes con desarrollo de textura sacaroidal.

En cuanto a los minerales opacos son muy abundantes (~20 a 30%) en los clastos de rocas sedimentarias y en cambio en el cementante de 2ª etapa son escasos (~ < 5% ) y lo mismo aparecen en calcita que en el cuarzo.

Hay una zona en el cementante de 2ª etapa, donde aparecen pseudomorfos de adularia (estructuras triangulares) que están siendo reemplazados por calcita, el borde de los pseudomorfos triangulares se destaca por la presencia de cuarzo de textura anedral muy fina y con nicols se ve como una sombra gris oscura muy homogénea.

En una esquina de la lámina aparece un agregado de cuarzo con textura mosaico de grano grueso, de manera que los granos individuales de cuarzo muestran inclusiones primarias. Parece más ligado a la 2ª etapa que a la 1ª.

**TEXTURAS:** En general textura masiva anedral,. Alrededor de clastos textura cocarda y colofome, pequeñas áreas en el cementante con textura sacaroidal.

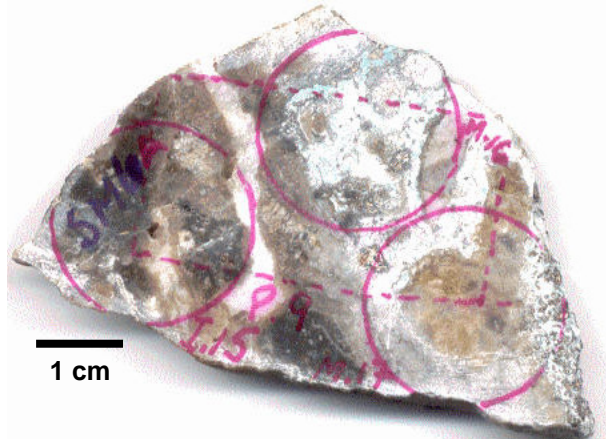
**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos, opacos burdamente cúbicos, pseudomorfos de adularia.

**MUESTRA: SM06A**

**DESCRIPCIÓN**

Se observan zonas intercrecidas muy irregularmente de cuarzo, calcita y un mineral verde-azul. Se puede asegurar que es una brecha porque aparecen algunos pequeños clastos de caliza silicificados que funcionan como núcleos para el desarrollo de texturas cocardas y coliformes.

La calcita es color blanca lechosa y el cuarzo es masivo de color pardo amarillento algo translúcido.



**LÁMINA DELGADA P 9**

**DESCRIPCIÓN**

Vetillas/bandas de calcita y cuarzo.

El cuarzo se presenta en bandas con bordes crustiformes y en peine, alrededor de la banda de calcita espática.

La banda de calcita parece la última en depositarse porque en la banda de cuarzo que la rodea, los cristales apuntan hacia la calcita.

En el resto de las áreas con cuarzo presentan textura masiva anedral fino, irregularmente intercrecido con anedral grueso.

Los cristales de las bandas crustiformes presentan numerosas inclusiones orientadas conforme el crecimiento.

**TEXTURAS:** cuarzo masivo anedral fino intercrecido con anedral grueso, alrededor de clastos texturas en bandas cocardas, coliformes, crustiformes y en peine.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, mineral verde-azul, minerales opacos.

**MUESTRA: SM06B**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha de 2ª etapa que en su mayor parte está integrada de clastos de caliza gris oscura y en menor proporción de lutitas café rojizos. Escasos fragmentos que muestran una 1ª etapa de brechamiento.

El tamaño de los clastos va de 1 a 20 mm.

La mayor parte del cementante es cuarzo masivo de color amarillento miel algo translúcido, pero éste se muestra fragmentado y cementado por calcita blanca lechosa. En el cuarzo se observan zonas porosas y con desarrollo de drusas.



### LÁMINA DELGADA P 10

#### DESCRIPCIÓN

Brecha con pequeños clastos, la mayor parte es cementante de cuarzo, con un poco de calcita. El cuarzo es masivo anedral fino y la calcita presenta cristales muy grandes respecto al cuarzo.

Varios tipos de clastos:

- 1) De fragmentos de lutita, se distinguen por su color café rojizo y bordes angulosos. Los clastos de lutitas muestran minerales Opacos asociados a la aproximada laminación.
- 2) De cuarzo masivo anedral muy fino, están rodeados por calcita y sus bordes aunque irregulares tienden a ser subredondeados.

Una última generación de cuarzo amarillento miel hasta translúcido, está formando alrededor de algunos clastos una textura cocarda a bandeada coliformes de pseudo acicular a tipo peine.

Dentro del cuarzo anedral fino que es el predominante, hay cristales o áreas de cristales de mayor tamaño que muestran inclusiones primarias porque están alineados con el crecimiento del cristal.

Hay abundantes opacos en los bordes / contactos entre 2 épocas de cuarzo.

**TEXTURAS:** En cuarzo predominante masiva anedral fino y en la calcita espática. En el cuarzo amarillento textura cocarda a bandeada coliformes de pseudo acicular a tipo peine.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos.

### MUESTRA: SM07

#### DESCRIPCIÓN

Se observan fragmentos muy escasos de calizas gris oscuras cementados en una 1ª etapa, por calcita blanca lechosa con textura un poco sacaroidal. Algunas manchas de óxidos secundarios impregnan parte de la calcita.

En una 2ª etapa de cementante es cuarzo gris claro algo translúcido en forma de bandas que recementa a la calcita, ya que incluso se observan vetillas de este cuarzo que atraviesan a la calcita lechosa.



### LÁMINA DELGADA (no se hizo lámina)

**MINERALES:** cuarzo, calcita, óxidos secundarios.

**MUESTRA: SM08 DOS**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con fragmentos de caliza y lutita silicificada que presentan 2 etapas de brechamiento y cementante de cuarzo y calcita.

En una 1ª etapa, la brecha está cementada por calcita blanca lechosa y luego aparece una 2ª etapa de cuarzo de textura masiva y de color gris claro que rebrecha y cementa a la calcita. Algunos óxidos de Fe secundarios asociados a la última calcita.



**LÁMINA DELGADA P 11**

**DESCRIPCIÓN**

La parte izquierda de la lámina muestra una brecha de 2ª etapa, ya que sus clastos muestran internamente una 1ª etapa de brechamiento, o sea clastos de lutita. Los que mejor se reconocen son clastos de cuarzo, un sólo mineral con bordes subredondeados, de calcita un sólo mineral y otros clastos de cuarzo y calcita mezclados y en agregados de cristales.

Los clastos de lutita de 1ª generación muestran hilillos de cuarzo que los cortan en diferentes direcciones.

El cementante de la brecha de 2ª etapa en su mayor parte es calcita espática.

Bordeando al fragmento de brecha de 2ª etapa hay bandas muy irregulares de cuarzo y calcita, las vetillas de cuarzo son masivo anedral fino intercrecidos con la de calcita con textura de mosaico grueso.

Los cuarzoes de vetas delgadas muestran numerosas inclusiones primarias, siguiendo fases de crecimiento y en arbolito.

**TEXTURAS:** cuarzo masivo anedral fino intercrecido con calcita con textura de mosaico grueso.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos.

**MUESTRA DE MANO: SM09**

**DESCRIPCIÓN**

Muestra de una roca arcillosa muy blanca y deleznable que se observa en el interior de la mina, que es el producto de alteración de la roca conocida como dique riolítico y que en este estudio se clasificó como pórfido sobresaturado en cuarzo y silicificado.

Esta roca arcillosa se pulverizó y se analizó por difracción de rayos X, en el laboratorio del CINVESTAV, Campus Saltillo, y el resultado indicó que se trata de caolín, variedad Dickita (ver difractograma en Anexo IV).

**MUESTRA: SM10**

**DESCRIPCIÓN**

Cuerpo intrusivo de color blanco lechoso amarillento

Presenta una textura general brechoide: áreas de cuarzo masivo brechado y cementado por otra etapa de cuarzo que silicifica toda la roca. Los clastos de cuarzo en su interior, también presentan cristales individuales de cuarzo bien redondeados en sus bordes o bien angulosos, con tamaño a la vista de 1 a 2 mm, fantasmas de ferromagnesianos.

Se observan algunas drusas, también de cuarzo que rellenan cavidades y a éstas se asocia una sombra de color amarillo óxido. A esta roca en la mina se le conoce como el Dique riolítico.



**LÁMINA DELGADA P12**

**DESCRIPCIÓN**

Casi en su totalidad la muestra es de cuarzo, en diferentes presentaciones.

Destacan los granos individuales de cuarzo, parecen ser los primeros en formarse, cristales anedrales a subedrales individuales, algunos con bordes redondeados, subredondeados y angulosos, con formas hexagonales, triangulares y rectangulares. También presentan abundantes inclusiones primarias.

Estos cristales individuales están en un cementante también de cuarzo pero masivo anedral muy fino en su mayor parte, pero sus bordes son coliformes y entre borde y borde se desarrollan hilillos de cuarzo, mosaico grueso.

Dentro de la masa anedral fina hay algunas pequeñas zonas de cuarzo bien delimitadas que internamente muestran texturas fibrosas, radiales o flamboyantes.

Se clasifica como un pórfido sobresaturado en cuarzo y silicificado.

**TEXTURAS:** cuarzo masivo anedral fino intercrecido con calcita con textura de mosaico grueso.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos.



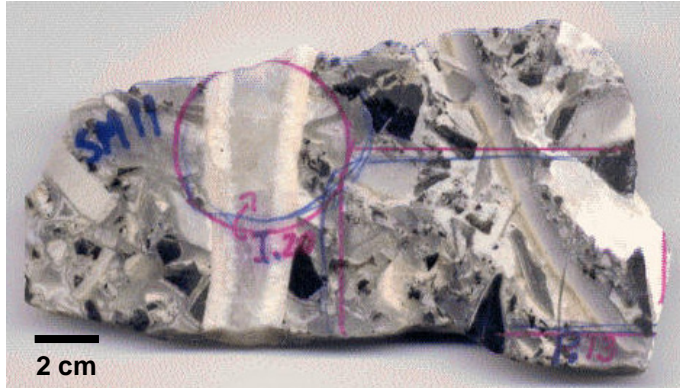
**MUESTRA: SM11**

**DESCRIPCIÓN**

Algunos clastos presentan evidencia de una 1ª etapa de brechamiento, lo que nos indica que la brecha presenta 2 etapas de brechamiento y cementación.

La Brecha de 2ª etapa presenta clastos de caliza gris oscuro y lutita silicificados, de calcita lechosa y de cuarzo masivo, todos cementados por calcita lechosa y el cuarzo gris claro.

Aparecen dos tipos de vetillas: una de bandas alternadas de calcita y cuarzo crustiforme y otra de un cuarzo masivo anedral fino de color café muy claro.



**LÁMINA DELGADA P 13**

**DESCRIPCIÓN**

La mayor parte de la muestra es una brecha 2ª etapa con clastos de varios tipos:

Lutitas, cuarzo anedral fino, clastos sustituidos por clinozoisita y lutitas que contienen otros clastos 1ª etapa.

La 2ª etapa de cementante en la brecha es cuarzo con textura tipo peine y cocarda en la parte donde a la vista se ve transparente. En la parte donde el cementante es calcita micrítica oscurecida contiene dispersos cristales pequeños de clinozoisita.

Tres tipos de clastos.

- De lutitas que por regular son angulosos, color café rojizo con opacos alineados en aproximada laminación.
- De calcita negra.
- De cuarzo masivo anedral fina.
- Una vetilla (1/2 cm) de cuarzo masivo anedral fino cruza la muestra, contiene abundantes cristales subedrales de mineral verde traslúcido (clinozoisita).

Finalmente una vetilla (21 mm) de cuarzo pero se observa textura crustiforme y peine, tiene clinozoisitas alineadas al borde externo de la vetilla.

**TEXTURAS:** cuarzo anedral fino, tipo peine, cocarda, crustiforme.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, clinozoisita muy abundante.

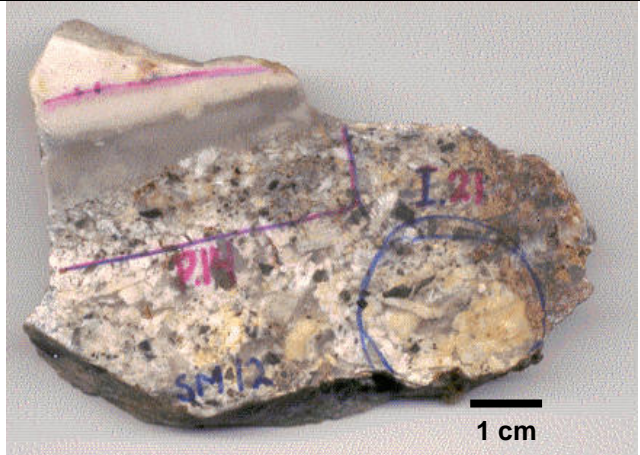
**MUESTRA: SM12**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha donde pocos clastos presentan evidencia de una 1ª etapa de brechamiento (clastos de caliza gris oscuro cementados por cuarzo-calcita).

La mayor parte de la muestra es una brecha de 2ª etapa, con clastos pequeños, no mayores a 1 cm y angulosos, de caliza gris oscuro y lutita silicificadas, de calcita lechosa y de cuarzo masivo todos cementados por cuarzo masivo de incoloro a amarillento y translúcido.

Aparece una vetilla de cuarzo-calcita de textura masivo anedral fino, algo sacaroidal, de color blanco lechoso que en el contacto con la brecha de 2ª etapa encajonante se torna gris-beige. El espesor de esta vetilla es de por lo menos 3 cm.



**LÁMINA DELGADA P 14**

**DESCRIPCIÓN**

Está situada en donde limita la brecha de 2ª etapa, con una vetilla ancha de calcita-cuarzo que se convierte a cuarzo-calcita, muestra una textura sacaroidal.

La brecha contiene clastos de lutita con bordes angulosos, alargados, café, rojizos y opacos alineados con la laminación. También contiene clastos de cuarzo masivo anedral muy fino.

La Vetilla de calcita se muestra oscurecida y presenta cristales dispersos de cuarzo (como si fuera inicio del reemplazamiento de cuarzo por calcita, para formar una textura sacaroidal)

En la mayoría de los bordes de clastos crecen cristales de cuarzo con textura aproximada a peine.

Donde la vetilla es de cuarzo, se muestra textura sacaroidal y sólo se presentan escasos cristales de calcita y algunos opacos muy dispersos.

**TEXTURAS:** sacaroidal, tipo peine incipiente, masivo anedral muy fino.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos.

**MUESTRA: SM13**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha de 2<sup>a</sup> etapa, presenta clastos brechados de 1<sup>a</sup> etapa, con clastos de caliza negra y lutita café rojiza silicificadas e incluso clastos de calcita lechosa. El cementante es de cuarzo gris pardusco, con textura sacaroidal y presenta numerosos poros y cavidades rellenas con óxidos de hierro secundarios.



**LÁMINA DELGADA P15**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de lutitas oxidados y cementados por cuarzo con textura sacaroidal (no muy clara) y numerosos poros a la vista y en lámina delgada.

Los clastos de lutitas tienen opacos con borde rojizos alineados con las laminaciones e hilillos de cuarzo que los cortan en diferentes direcciones y que presentan una aproximada textura en peine.

También los clastos de lutita en sus bordes presentan una orilla de cuarzo en textura peine pero muy incipiente.

**TEXTURAS:** sacaroidal, tipo peine.

**MINERALES:** cuarzo, minerales opacos bordes rojizos.

**MUESTRA: SM14**

**DESCRIPCIÓN**

La muestra sólo presenta cementante de cuarzo poroso y escasos clastos de caliza gris oscura. El cementante presenta cavidades y poros, además que recementa y silicifica a clastos de calcita.



No se realizó lámina delgada de esta muestra, sólo se realizaron 2 láminas doblemente pulidas para inclusiones fluidas.



**MUESTRA: SM15**

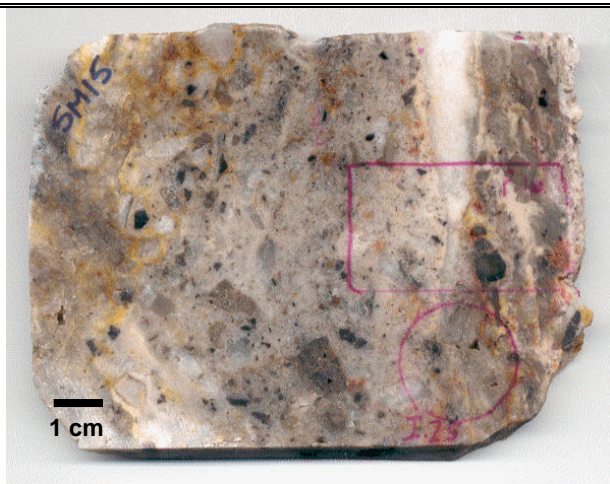
**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de varios tipos de roca silicificados y cementada totalmente por cuarzo.

Los clastos son de rocas sedimentarias, son angulosos y son de color gris oscuro y café intermedio. Hay clastos angulosos de cuarzo de color gris claro translúcido.

El cementante de los clastos es de cuarzo masivo, de color gris a beige muy claro.

Toda la brecha está cruzada por vetillas de cuarzo que presentan aspectos diferentes pero están entrelazadas: vetillas de cuarzo blanco lechoso, otras de color beige con manchas de óxidos amarillentos y otras de un cuarzo poroso y de textura sacaroide.



**LÁMINA DELGADA P16**

**DESCRIPCIÓN**

En la mayor parte de la lámina se observan vetillas de diferentes épocas de cuarzo y en una menor parte se presenta una brecha donde predomina el cuarzo, tanto en la composición de los clastos como en el cementante. Los minerales opacos son diseminados y escasos tanto en clastos como en cementante.

Los clastos de las brechas son de varios tipos:

1.- Los de mayor tamaño son de roca sedimentaria con laminaciones internas y con minerales opacos alineados con ellas, son de color café rojizo y también vetillas de cuarzo en todas direcciones y entrecruzadas.

2.- Hay otros clastos muy similares a los antes descritos, pero a diferencia de ellos no presentan laminaciones.

3.- Clastos de caliza gris oscuro, angulosos, no mayores a 1 cm de largo, que están intensamente silicificados.

- Hay áreas cubiertas de cuarzo en cristales grandes rodeados de cuarzo de textura anedral fina (como porfirítica).

- Las vetillas de cuarzo blanco lechoso en el microscopio se muestran con una textura casi homogénea masiva anedral fina.

- Alrededor de 2 grandes clastos de rocas sedimentarias con laminaciones, hay una aureola de óxidos secundarios pardo rojizos y amarillentos que mancha al cementante de cuarzo.

- Los cristales de cuarzo de mayor tamaño muestran numerosas inclusiones, algunas primarias por ser alineadas al crecimiento de los cristales y otras en posiciones irregulares.

-- Dentro de los cristales de cuarzo de mayor tamaño en la muestra, hay unos minerales pequeños de sericita muy birrefringentes.

**TEXTURAS:** cuarzo masivo anedral de fino a grueso.

**MINERALES:** cuarzo, minerales opacos, sericita.

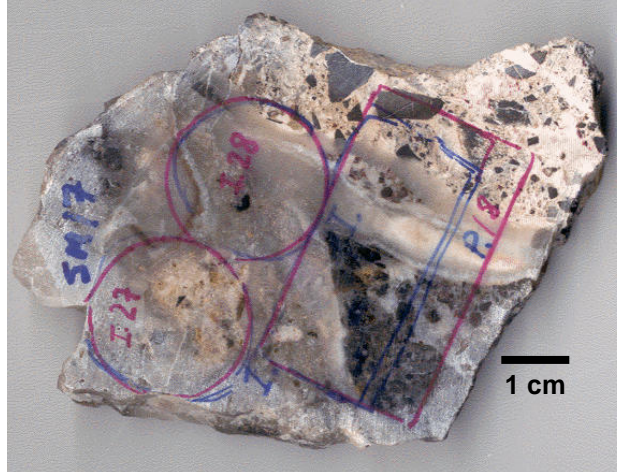
**MUESTRA: SM17**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de rocas sedimentarias que muestra 2 etapas de brechamiento y cementación.

La 1ª etapa de brechamiento y cementación, está representada por clastos que internamente contienen clastos de rocas sedimentarias de color gris oscuro con una sombra rojiza, silicificados pero que deben contener restos de calcita, porque todavía efervecen con el HCl. El cementante de estos clastos son cuarzo y calcita, en partes donde predomina la calcita es de color lechoso con manchas de óxidos secundarios rojizos y amarillentos, y en donde predomina el cuarzo es de color gris claro translúcido.

La 2ª etapa muestra a la de 1ª etapa rebrechada y recementada por cuarzo masivo, de color gris-beige un poco translúcido, que alcanza a presentar pequeñas oquedades.



**LÁMINA DELGADA P18**

**DESCRIPCIÓN**

La lámina muestra 3 áreas bien definidas, en los extremos 2 tipos de brecha en contacto por una parte central de vetillas de casi 1 cm de espesor, con bandas bien definidas de cuarzo y calcita.

Una brecha parece ser un clasto con evidencias de una 2ª etapa de brechamiento, contiene internamente clastos angulosos de roca sedimentaria con laminaciones de colores café rojizo a oscuro. También muestra clastos de una 1ª etapa de brechamiento cementados por cuarzo de textura anedral muy fino.

La vetilla que está en medio de las 2 brechas muestra bandas translúcidas de cuarzo con textura anedral muy fina y en sus bordes anedral mediano. A la vista hay una banda lechosa que al microscopio se observa que esta formada de calcita micrítica mezclada con cuarzo anedral fino.

El contacto entre las bandas de cuarzo- calcita se observa coloforme y bandas delgadas de cuarzo creciendo en textura tipo peine y fibroso acicular.

La otra brecha se delimita claramente con la vetilla porque aparece calcita micrítica mayoritariamente cementando a los clastos y porque aparece un mineral relleno de espacios que toma forma irregulares de color gris oscuro.

Los clastos de esta brecha son de roca sedimentaria con y sin laminaciones, cuarzo anedral fino con algo de textura sacaroidal.

Los minerales opacos están tanto en clastos como en cementante.

**TEXTURAS:** anedral muy fina a mediana, bandas coloformes y tipo peine.

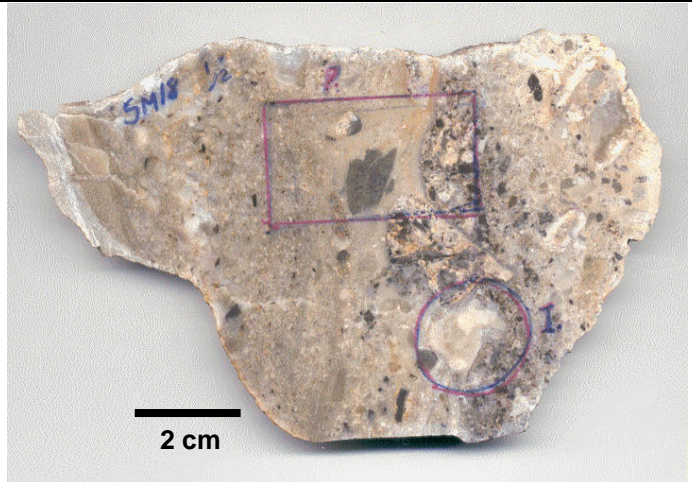
**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos.

**MUESTRA: SM18**

**DESCRIPCIÓN**

La muestra en parte es una brecha con clastos angulosos de caliza gris oscuro y rocas sedimentarias café rojizas y de cuarzos de una etapa anterior. El cementante de cuarzo-calcita es algo poroso, de color blanco amarillento algo translúcido.

La otra parte es una veta ancha de por lo menos 7 cm de ancho, de cuarzo color beige amarillento algo translúcido, con textura sacaroidal que gradúa a textura masiva. Esta veta contiene fragmentos angulosos de bandas de cuarzo café claro, con textura tipo peine.



**LÁMINA DELGADA P19**

**DESCRIPCIÓN**

Se observan 2 zonas bien definidas:

Una zona de brecha cementada por cuarzo de textura masiva anedral muy fina, con pequeñas zonas de cuarzo sacaroidal poco desarrollada y un poco de calcita micrítica dispersa en el cementante.

Hay varios tipos de clastos:

Clastos de roca sedimentaria con y sin laminaciones que tienen vetillas internas de cuarzo que los cortan sin una dirección preferencial e incluso se entrecruzan. Los clastos presentan una textura de cuarzo masiva anedral.

La otra zona es una veta de cuarzo, que en su mayor parte muestra textura sacaroidal en desarrollo, por el reemplazamiento de calcita por cuarzo.

En esta veta hay algunos clastos similares a los de la brecha pero destaca uno anguloso y grande, a la vista casi 4 cm de largo, formado por bandas de cuarzo café claro tipo peine, pero al microscopio se muestra masivo anedral mediano.

**TEXTURAS:** masiva anedral desde muy fina hasta mediana, tipo peine, sacaroidal.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos.

**MUESTRA: SM19**

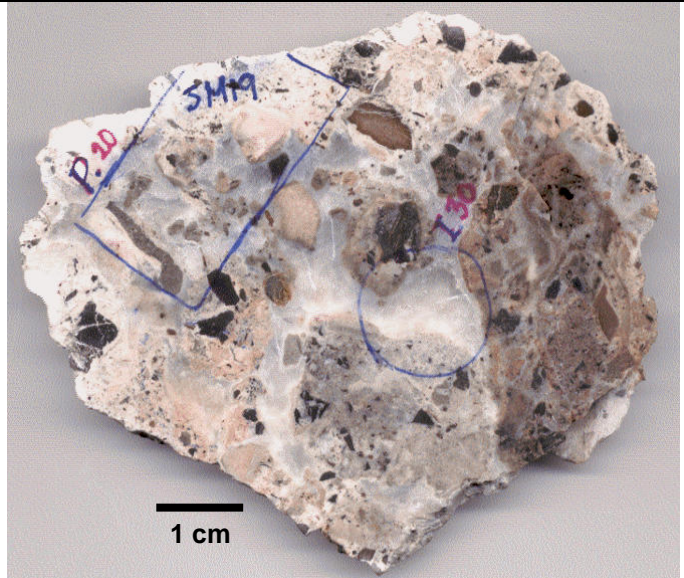
**DESCRIPCIÓN**

Brecha que muestra 3 etapas de cementación.

Los clastos de la 1ª etapa son angulosos y de colores café rojizo a gris oscuro casi negros. En cuanto al cementante en casi todos los clastos es de color café claro rosáceo.

La 2ª etapa de cementante une clastos que en su mayoría sólo muestran 1 etapa anterior de brechamiento y cementación, pero hay un clasto que presenta 2 etapas de brechamiento y cementación.

El cementante de la 3ª etapa es calcita blanquecina algo translúcida, lo que contrasta con los bordes de los clastos brechados de 1ª y 2ª etapa.



**LÁMINA DELGADA P20**

**DESCRIPCIÓN**

Toda la lámina se muestra como una brecha con clastos de roca sedimentaria cementadas por calcita espática de 3ª etapa.

Varios tipos de clastos:

- Hay clastos que internamente muestran otros clastos de roca sedimentaria con laminaciones color café rojizo, lo que los convierte en clastos de 2ª etapa.
- Clastos de cuarzo con textura masiva anedral fina, con indicios de textura sacaroidal, que algunos contienen internamente otros clastos de roca sedimentaria con laminaciones.

El cementante de calcita espática es abundante y en la muestra de mano se observa que es de 3ª etapa. Los cristales de calcita contienen escasos cristales de clinozoisita.

Los minerales opacos son escasos y sólo se presentan asociados al cuarzo de los clastos.

**TEXTURAS:** masiva anedral fina.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos y clinozoisita.



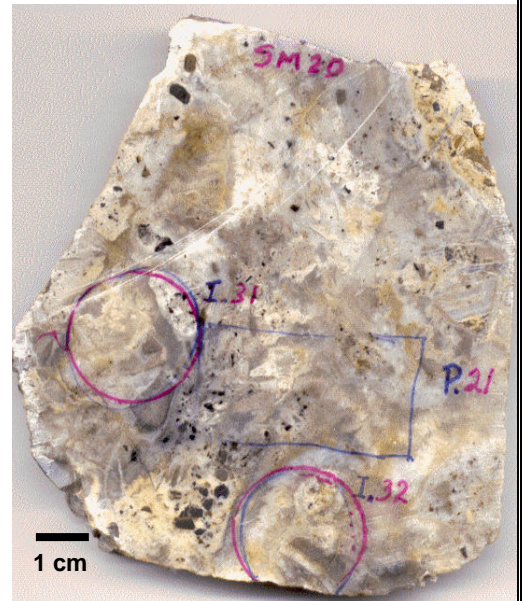
**MUESTRA: SM20**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha que muestra clastos de 1ª etapa, contiene clastos angulosos y de caliza gris oscuro a negra y algunos de café rojizo, cementados por calcita-cuarzo blanco lechoso.

Después se observa una 2ª etapa de cementación y brechamiento de cuarzo color blanco-beige lechoso que cementa a los clastos de 1ª etapa.

Una 3ª etapa se muestra cuando hay clastos del cementante de 2ª etapa a su vez recementados por un cuarzo gris amarillento algo translúcido.



**LÁMINA DELGADA P21**

**DESCRIPCIÓN**

Los clastos que presentan una 1ª etapa de brechamiento y cementación contiene clastos de roca sedimentaria con laminaciones y de cuarzo masivo anedral fino.

El cementante de la calcita de 1ª etapa tiene diminutas pero moderadamente abundantes clinzoisitas. La calcita está intercrecida con el cuarzo de textura anedral intermedia. Algunos cristales de cuarzo también presentan en su interior pequeños minerales muy birrefringentes (clinzoisita).

El cementante de 2ª etapa es principalmente de calcita que esta siendo reemplazada por el cuarzo.

El cementante de 3ª etapa en su mayor parte es cuarzo anedral de tamaño grueso, con algo de calcita y escasa clinzoisita que rodea a los agregados de cuarzo. En algunas zonas se presenta agregados de cuarzo tipo calcedonia.

Los minerales opacos son muy abundantes en los clastos de rocas sedimentarias y en menor proporción están diseminados en el cementante de cuarzo y calcita de la 3ª etapa.

Muchos cuarzos se ven fracturados.

**TEXTURAS:** masivo anedral fino a grueso.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, clinzoisita, calcedonia.

**MUESTRA : SM21**

**DESCRIPCIÓN**

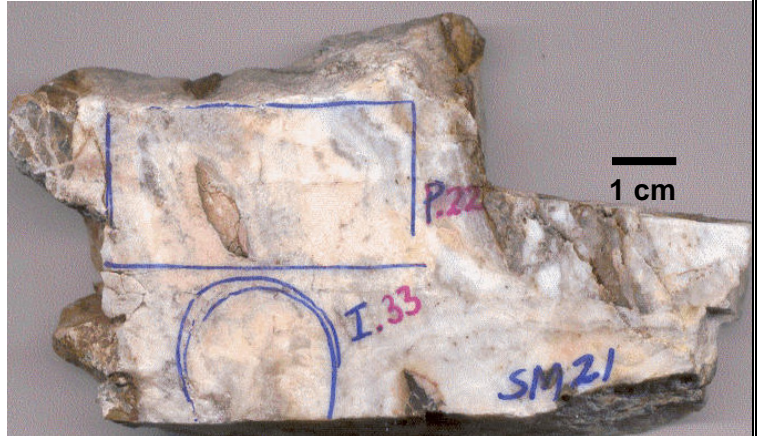
Brecha con 2 etapas de brechamiento y cementación.

En menor proporción se presenta una brecha con clastos de 1ª etapa de brechamiento, los clastos se caracterizan por ser alargados y angulosos.

En la mayor parte de la muestra se presenta lo que sería el cementante de 2ª etapa que une a todos los clastos. Este cementante es de calcita aunque debe tener mezcla de cuarzo ya que efervesce pero no se raya con facilidad. Tiene en general un aspecto sacaroides y la muestra es quebradiza.

Entre el cementante de calcita aparecen zonas de cuarzo como formando zonas de drusas, por lo que los cristales se distinguen a la vista.

Algunas veces la calcita presenta tonalidades rosas, pero da la impresión que se ha impregnado de los óxidos secundarios que se desprenden de los clastos de 1ª etapa.



**LÁMINA DELGADA P22**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con 2 etapas de brechamiento y cementación.

El cementante de 2ª etapa es mayoritariamente calcita pero hay zonas y cristales dispersos de cuarzo, producto de reemplazamiento de calcita por cuarzo. En este cementante se presentan algunas vetillas de cuarzo sin dirección preferencial con textura anedral gruesa.

Los clastos de la 1ª etapa son de rocas sedimentarias con laminaciones y tienen a su lado desarrollo de bandas de cuarzo con textura tipo peine. Los cristales de cuarzo de las vetillas presentan inclusiones. Cuarzos con textura acicular (calcedonia). Los minerales opacos son escasos y dispersos entre la calcita y el cuarzo. Se observan muy pocos y dispersos cristales de clinozoisita. Se presentan algunos clastos de rocas sedimentarias entre el cementante de calcita de 2ª etapa.

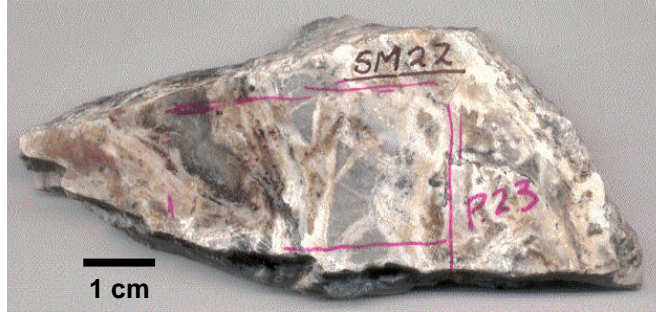
**TEXTURAS:** bandas de cuarzo con textura tipo peine.

**MINERALES:** calcita, cuarzo, minerales opacos, clinozoisita, calcedonia.

**MUESTRA: SM22**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha donde los clastos están cementados por cuarzo con textura cocarda. Lo resaltante es que varios clastos son de cuarzo con textura masiva, de color beige y bordes angulosos que son de una etapa anterior (similar al de 2<sup>a</sup> etapa de SM21)



Entre las bandas se observan hilillos de un mineral negro concordante a las bandas, en algunos cortes de la roca este mineral se observa como las dendritas de manganeso (pirolusita).

**LÁMINA DELGADA P23**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos totalmente de cuarzo cementados por bandas de cuarzo y calcita en menor proporción.

Se presentan grandes clastos angulosos totalmente de cuarzo con textura masiva anedral fina y que presentan zonas irregulares donde los cristales de cuarzo aumentan su tamaño.

Cementando a los clastos se presentan bandas de cuarzo y calcita con diferentes tamaños de granos y texturas que las distinguen.

1.- Hay bandas de calcita con reemplazamiento parcial de cuarzo. En ciertas zonas de estas bandas la calcita y un poco el cuarzo, muestran texturas plumosas y/o aciculares radiales.

2.- Hay bandas de cuarzo que se presentan con bordes coliformes y aureola de crecimiento color beige

3.- Hay otras bandas de cuarzo masivo anedral fino que tienen en sus extremos cristales plumosos de calcita que en sus bordes acumula minerales opacos negros alineados (pirolusita).

4.- Una banda de cuarzo describe cortes triangulares está entre la de cuarzo color beige y la de calcita plumosa. Junto a esta aparece un mineral café rojizo que se pone oscuro con nicoles. Los minerales opacos son escasos y diseminados entre los cuarzos que forman los clastos.

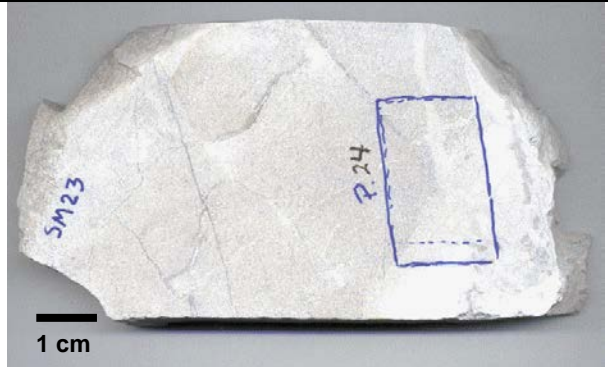
**TEXTURAS:** masiva anedral fina a mediana, bandas de cuarzo coliformes y cocardas.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, calcedonia, minerales opacos rojizos.

**MUESTRA DE MANO: SM23**

**DESCRIPCIÓN**

Toda la lámina es una caliza de color blanco cremosa, integrada por partículas de carbonato de calcio de tamaño arena. Sólo esta cortada por delgadas vetillas de calcita que cruzan la roca sin una dirección preferencial.



**LÁMINA DELGADA P24**

**DESCRIPCIÓN**

Toda la lámina es una caliza.

La mayor zona de la lámina contiene partículas de tamaño arena compuestas de calcita espática que están cementadas por calcita micrítica. Las partículas tienen en su mayoría bordes subredondeados a redondeados y otras con formas irregulares, las menos presentan bordes angulosos. Las calcitas espáticas están cementadas por calcita micrítica y oscura, que contienen escasos y diseminados minerales opacos los que en su alrededor producen impregnaciones de óxidos secundarios.

Hay otra zona de la lámina que presenta un cambio muy notable, ya que es pura calcita micrítica sin cristales espáticos, su color es más oscuro y en el contacto con la otra zona se desarrollan cristales de sericita en agregados radiales, aparece un mineral con **birrefringencia azul-violeta**, en formas irregulares y como cristales alargados y tendiendo a ser hexagonales. Estos 2 últimos minerales también aparecen entre la calcita micrítica.

Las 2 zonas de la lámina están cruzadas por una vetilla de calcita de hasta 2 mm de ancho, pero aparecen algunos cristales de sericita dentro de zonas donde se desarrollan cristales muy pequeños de cuarzo.

La vetilla de calcita que atraviesa toda la lámina desemboca en una zona donde es evidente el reemplazamiento de calcita por cuarzo, desarrollando una textura masiva anedral muy fina.

Entre la calcita micrítica están dispersos los minerales opacos negros que con nicols se ven café muy oscuros y un mineral de color óxidos naranja que con nicols conserva este color pero se torna brumoso.

**TEXTURAS:** calcita espática y micrítica, cuarzo masivo anedral muy fino.

**MINERALES:** calcita, minerales opacos, sericita, cuarzo.



**MUESTRA: SM24**

**DESCRIPCIÓN**

Toda la muestra es una brecha de calizas que muestra 2 etapas de cementación.

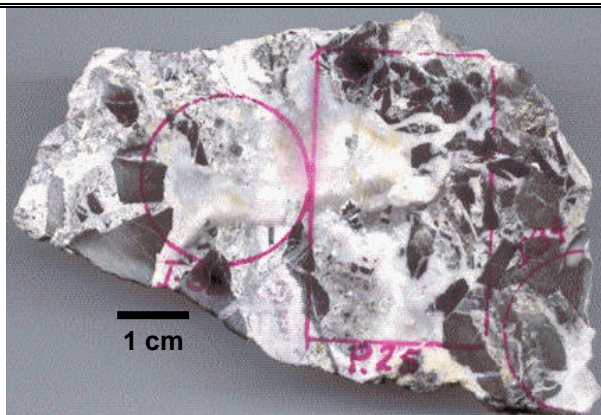
La 1ª etapa de brechamiento y cementación se caracteriza por clastos de caliza silicificados, de color gris oscuro, cementados por cuarzo y calcita mezclados de color gris claro lechoso.

La brecha de 2ª etapa une clastos de 1ª etapa y clastos de caliza gris oscuro y gris pardusca.

A simple vista los clastos de caliza presentan una aureola de silicificación, que se nota por el cambio de color (se oscurecen) y su textura se vuelve mas lisa.

En el cementante de la 2ª etapa parece que primero se depositó calcita blanca lechosa y después cuarzo-calcita blanquecino pero translúcido.

En general los cementantes se muestran porosos, algo sacaroides.



**LÁMINA DELGADA P25**

**DESCRIPCIÓN**

La muestra es una brecha en donde casi el 40% de la superficie son clastos y el restante 60% es cementante de 2ª etapa calcita-cuarzo, con un poco de predominancia de la calcita.

Algunos clastos de 2ª etapa internamente muestran brecha y cementación de 1ª etapa. Presentan clastos casi totalmente de cuarzo con textura sacaroidal y restos de calcita muy dispersos. En cuanto al cementante también es de cuarzo con textura anedral de grano intermedio y también minerales opacos diseminados.

Los clastos que a la vista muestran un color gris oscuro algo rojizo, al microscopio presentan mejor sus laminaciones internas y abundantes minerales opacos alineados (lutitas). También algunos muestran fantasmas de fósiles con forma circular y algunos un poco elípticos, que también se alinean con las laminaciones. Los fantasmas están rellenos de cuarzo con textura anedral.

Todos los fragmentos de rocas sedimentarias muestran vetillas de cuarzo sin ninguna dirección preferencial y en ocasiones entrelazadas. La textura del cuarzo en estas vetillas es anedral muy fino, pero en ocasiones logran desarrollar un poco de tipo peine.

Muchos clastos de roca muestran un halo muy delgado de cuarzo en su borde y en algunos se nota como el cuarzo ha reemplazado (silicificado) los bordes hacia el interior de los clastos.

Tanto el cementante de calcita como el de cuarzo muestran huecos rellenos de bálamo.

En los cristales espáticos de la calcita de 1ª y 2ª etapa se observan muy pequeños y escasos cristales de clinozoisita.

**TEXTURAS:** anedral intermedia, tipo peine, sacaroidal, clastos con fósiles.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales. opacos, clinozoisita.

**MUESTRA: SM25**

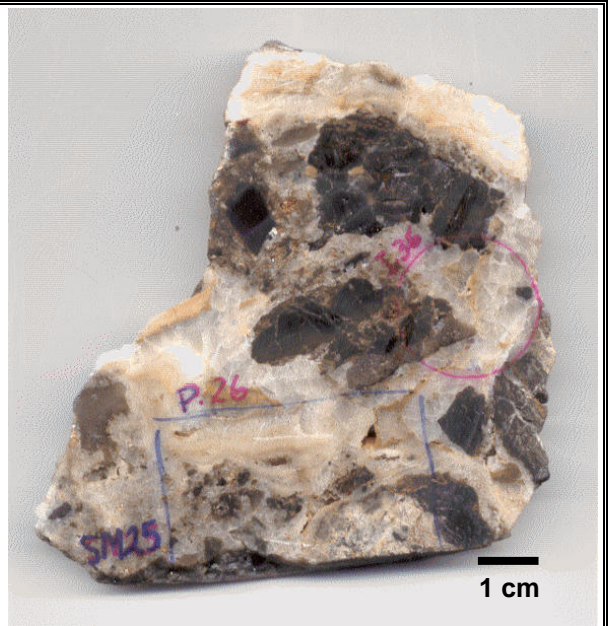
**DESCRIPCIÓN**

Brecha que muestra clastos y calcita-cuarzo de 1ª etapa y recementadas por calcita de 2ª etapa.

Los clastos de brecha de 1ª etapa son de rocas sedimentarias de color café oscuro, algunos se les nota las laminaciones (lutitas) y otros están silicificados y se muestran translúcidos.

La brecha de 1ª etapa se distingue porque presenta en su interior clastos cementados por cuarzo y calcita y su contacto con la calcita de 2ª etapa da la apariencia de tener un borde de reacción (como que se ve un poco brumoso).

La muestra presenta cavidades en la calcita de 2ª etapa, algunas con sus paredes cubiertas por óxidos secundarios y otras rellenas por arcilla color café claro cremoso.



**LÁMINA DELGADA P 26**

**DESCRIPCIÓN**

Se trata de una brecha con grandes fragmentos de rocas sedimentarias silicificadas, aunque la mayor parte de lámina abarca el cementante de calcita.

La 1ª etapa de brechamiento y cementación está formada por clastos, que a la vista se ven café claro un poco transparente, algunos alcanzan a mostrar tenuemente sus laminaciones internas y al microscopio se observa que están formados de cuarzo con textura sacaroidal, cementados por calcita.

El cementante en su mayor parte está formado por cristales espáticos de calcita con un poco de cuarzo diseminado entre las calcitas.

Algunos grandes cristales de calcita presentan en su interior agregados de cuarzo con textura anedral (formando como un núcleo) y otros cuarzoes aparecen siguiendo los planos de cruce de la calcita.

El cementante de 2ª etapa es calcita espática en textura de mosaico, con cristales de 2 tamaños chicos en una zona y grandes en otra. Los minerales opacos son abundantes entre el cuarzo de los clastos, casi nulos en el cementante de calcita de 2ª etapa y diseminados asociados al cuarzo de reemplazamiento.

**TEXTURAS:** cuarzo sacaroidal y masiva anedral intermedia, calcita espática en mosaico.

**MINERALES:** calcita, cuarzo, minerales opacos.

**MUESTRA: SM26**

**DESCRIPCIÓN**

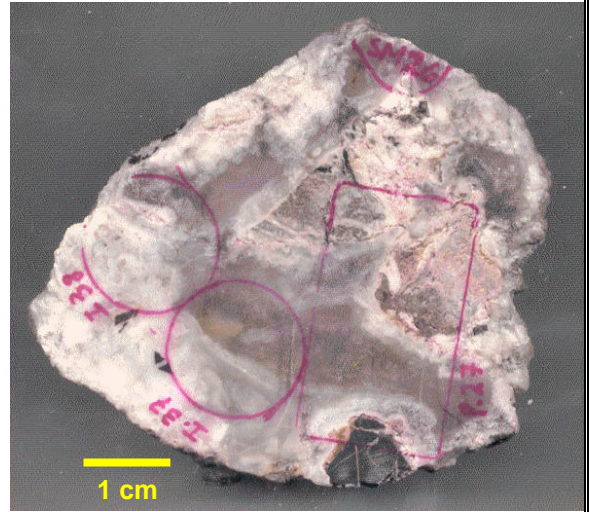
Brecha con clastos angulosos de rocas sedimentarias silicificados con 2 etapas de cementante muy diferenciadas.

La 1ª etapa de cementante cuarzo-calcita color blanco lechoso que rodea a los clastos y que tiende a formar bandas tipo cocardas alrededor de ellos. Hay zonas de calcita de esta 1ª etapa que se muestran terrosas y deleznales.

La 2ª etapa de cementante está formada por cuarzo color gris claro algo translúcido que une a los clastos cocardos.

Hay clastos muy afectados por la silicificación y otros conservan su apariencia original.

La muestra presenta mayoritariamente cementante ~80% y en menor proporción clastos ~20%.



**LÁMINA DELGADA P 27**

**DESCRIPCIÓN**

En esta lámina lo que predomina es el cementante de cuarzo de 2ª etapa. En la parte central de la lámina, este cuarzo es de textura anedral muy fina en los bordes a fina en el centro. Hacia ambos lados del cuarzo central se presenta una banda de calcita que muestra reemplazamientos parciales de cuarzo, aprovechando los planos de crucero.

Enseguida de la calcita aparece una banda de cuarzo, que se caracteriza por su textura en peine, cristales grandes que contienen muchas inclusiones. Se reconocen que la mayoría son primarias porque están alineadas con la dirección de crecimiento de los cuarzoes.

Los clastos que están rodeados de bandas, se presentan con mucho reemplazamiento de calcita por cuarzo. Este cuarzo presenta textura anedral muy fina y la calcita se observa en áreas dispersas (como restos).

En los clastos hay muchos huecos rellenos de bálsamo que concuerdan con lo deleznable de la muestra en ejemplar de mano.

Los minerales opacos son muy escasos entre las zonas de cuarzo y abundantes dentro de los clastos.

**TEXTURAS:** masiva anedral muy fina a fina, tipo bandeado y peine, muchas inclusiones en los cuarzoes.

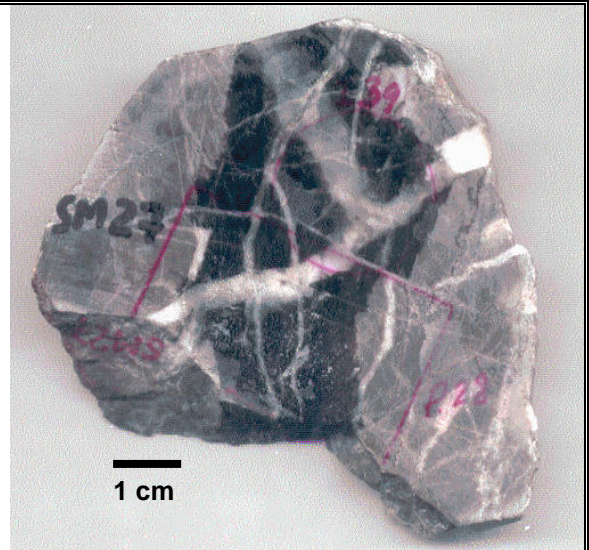
**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos.

**MUESTRA: SM27**

**DESCRIPCIÓN**

Se trata de una caliza de color gris mediano que presenta una intensa silicificación alrededor de vetillas de cuarzo que se entrelazan sin ninguna dirección preferencial. La zona silicificada se distingue porque la caliza se torna de color gris oscuro y este cambio de coloración ocurre donde confluyen varias vetillas.

Presenta una 2ª etapa de vetillas de cuarzo y calcita que cortan a las antes descritas y son posteriores a la etapa de silicificación.



**LÁMINA DELGADA P 28**

**DESCRIPCIÓN**

Caliza que presenta una intensa silicificación a partir de vetillas de cuarzo que la cruzan.

Las vetillas de cuarzo son de textura masiva anedral gruesa y en donde el cuarzo ha reemplazado a la calcita, la textura cambia a anedral muy fina. Donde todavía se aprecia la calcita de grano fino de la calcita, aparecen pequeños cristales de cuarzo diseminados. En la zona silicificada hay pequeños y escasos cristales de calcita.

Hay una 2ª etapa de vetillas que cruzan a las de 1ª etapa y se distinguen porque el borde de la vetilla tiene cristales de cuarzo en drusas apuntando hacia el centro de la vetilla y en la parte casi central se aparece calcita espática.

La caliza que ha sido reemplazada por cuarzo presenta mayor número de minerales opacos y la que casi no está reemplazada presenta menor cantidad.

Todo el cementante de cuarzo presenta una sombra amarillenta, posiblemente por óxidos secundarios

**TEXTURAS:** masiva anedral gruesa y fina.

**MINERALES:** calcita, cuarzo, minerales opacos.



**MUESTRA : SM28**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos silicificados y cementante totalmente de cuarzo.

Los clastos se presentan angulosos a subangulosos, la mayoría no sobrepasa los 15

mm de diámetro mayor, los hay de rocas sedimentarias color café oscuro (lutitas), de calizas gris oscuro y blanco cremoso algo poroso, pero todos los clastos están fuertemente silicificados.

El cementante es de cuarzo masivo pero presenta variaciones de color desde blanco lechoso que en ciertas zonas se torna amarillento y en otras partes es de color gris intermedio.



1 cm

**LÁMINA DELGADA P 29**

**DESCRIPCIÓN**

Es una brecha de clastos de cuarzo con cementante de cuarzo. No presenta calcita.

El cementante es totalmente de cuarzo con textura masiva anedral.

Hay varios tipos de clastos:

Clastos de rocas sedimentarias con laminaciones totalmente silicificados donde apenas y se notan las laminaciones, la textura es masiva anedral muy fina.

Clastos de cuarzo con textura algo sacaroidal y huecos rellenos de bálamo.

Clastos con cristales de cuarzo grandes e inclusiones primarias conforme al crecimiento.

Clastos combinados: parte anedral muy fina y parte anedral muy gruesa.

Clastos grandes con cuarzo en textura sacaroidal y con bordes tipo peine.

Los minerales opacos son escasos y diseminados tanto en los clastos como en el cementante.

**TEXTURAS:** masiva anedral de muy fina a gruesa, sacaroidal, tipo peine.

**MINERALES:** cuarzo, minerales opacos.

**MUESTRA: SM29**

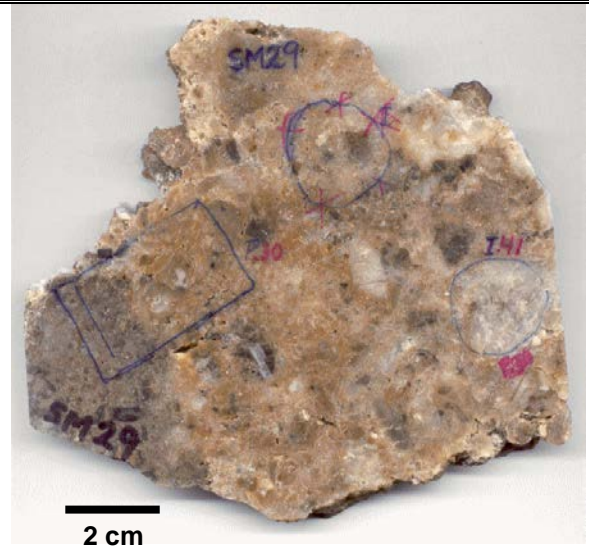
**DESCRIPCIÓN**

Toda la muestra es una brecha con clastos diversos pero fuertemente silicificados y el cementante es totalmente de cuarzo.

El cementante de cuarzo es de color café claro (color miel) y no es totalmente compacto debido a muchas oquedades que presenta.

Los clastos están muy silicificados pero se distingue que son de: de rocas sedimentarias color café oscuro y gris oscuro.

Algunos clastos dan la impresión de que en su interior tienen clastos de una etapa de brechamiento anterior.



**LÁMINA DELGADA P 30**

**DESCRIPCIÓN**

Esta lámina y la P29 al microscopio son muy similares.

Brecha de clastos silicificados en un cementante de cuarzo. No hay calcita.

Varios tipos de cuarzo:

Clastos angulosos de rocas sedimentarias, se distinguen por su color café rojizo, apenas si se notan las laminaciones internas, abundantes opacos, algunas vetillas sin ninguna dirección preferencial en su interior. Algunos presentan en su borde una banda de textura tipo peine.

Clastos de cristales grandes de cuarzo, con textura sacaroidal (¿?) con inclusiones.

Clastos de cristales individuales muy grandes de cuarzo, son escasos.

El cementante en partes es masivo anedral muy fino y en otras tiende a mostrar textura sacaroidal.

Tanto los clastos como el cementante presentan disseminaciones homogéneas de minerales opacos.

**TEXTURAS:** masiva anedral muy fina.

**MINERALES:** cuarzo y calcita.

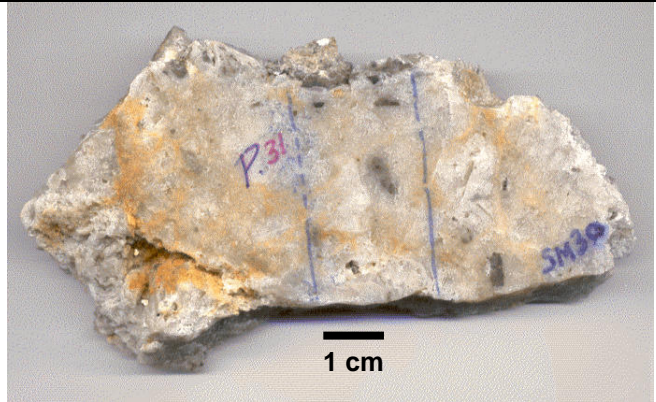
**MUESTRA: SM30**

**DESCRIPCIÓN**

Se trata de una brecha con intensa silicificación con escasos clastos de rocas sedimentarias y en su mayor parte es cementante de cuarzo con textura sacaroidal.

Se caracteriza por tener muchos huecos, por ser quebradiza y sobre todo porque el cementante es sólo de cuarzo. Los clastos apenas serán un ~5%.

Los minerales opacos son escasos y de color negro.



**LÁMINA DELGADA P 31**

**DESCRIPCIÓN**

La lámina muestra una brecha con clastos de rocas sedimentarias intensamente silicificados y con cementante totalmente de cuarzo.

Los clastos muestran una 1ª etapa de brechamiento y cementación. Pero el cementante de cuarzo mayoritario en la muestra corresponde a una 2ª etapa.

Los clastos de la 1ª etapa muestran en sus bordes crecimiento de cuarzo de bandas tipo aproximado a peine y las inclusiones son muy abundantes en estos cristales, de tal manera que indican perfectamente la dirección de crecimiento de los cristales. En algunos lugares se observan 2 bandas de crecimiento bien definidas.

Los clastos son muy escasos ~5%, el restante % es cementante de cuarzo.

Los clastos internamente muestran otros clastos de rocas sedimentarias intensamente silicificados, algunos muestran laminaciones y otros no, pero se distinguen por su textura masiva anedral muy fina y su color café rojizo. El cementante de cuarzo que los rodea tiene textura anedral pero gruesa e incluso en algunas partes presenta inclusiones conforme al crecimiento.

**TEXTURAS:** masiva anedral muy fina a gruesa, bandas tipo peine.

**MINERALES:** cuarzo, minerales opacos.

**SUPERFICIE PULIDA**



**MUESTRA: SM31**

**DESCRIPCIÓN**

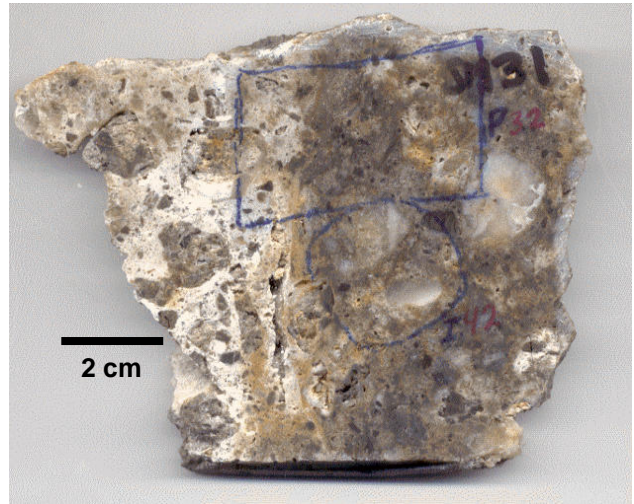
Brecha con clastos de rocas sedimentarias totalmente silicificados y unidos con cementante totalmente de cuarzo.

Hay diferentes tipos de clastos, pero todos son angulosos, de tamaño variable entre 2 mm y 25 mm:

- 1.- Clastos de rocas sedimentarias con laminaciones, se notan perfectamente las laminaciones de lutita, que se caracteriza por su color café oscuro algo rojizo.
- 2.- Otros clastos similares a los de rocas sedimentarias pero sin laminaciones.
- 3.- Clastos de caliza gris clara, pero silicificados dan color gris oscuro.
- 4.- Algunos pequeños clastos parecen tener una etapa de brechamiento anterior.

El cementante es de cuarzo blanquecino algo translúcido, hojoso, deleznable y muy poroso. También se presentan grandes cavidades.

Una parte del cuarzo cementante parece estar recementado por otro cuarzo pero de color café claro (miel).



**LÁMINA DELGADA P 32**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos totalmente silicificados y unidos por cementante totalmente de cuarzo.

Se observan diferentes tipos de clastos, todos angulosos, silicificados y predominan los de rocas sedimentarias.

- 1.- Clastos de rocas sedimentarias con laminaciones, intensamente silicificados y con los minerales opacos alineados a las laminaciones. Presentan su característico color café rojizo, vetilleos de cuarzo sin dirección preferencial y que se cruzan entre sí.
- 2.- Clastos de rocas sedimentarias con todas las características antes descritas, pero sin laminaciones.
- 3.- Clastos de un sólo cristal de cuarzo, con bordes rotos, su tamaño es menor que los de rocas sedimentarias. Contienen algunas inclusiones.
- 4.- Clastos de agregados de varios cristales de cuarzo, con textura anedral gruesa.
- 5.- Sólo un clasto muestra clastos internos de una etapa anterior de brechamiento y cementación anterior (1ª etapa) lo que llevaría a que todo el otro cementante es de 2ª etapa.

El cuarzo cementante de estos clastos trata de rodear a los clastos internos. Este clasto se distingue de los demás por su color café rojizo y por sus abundantes minerales opacos negros.

El cementante de la brecha es totalmente de cuarzo con textura masiva anedral fina, pero en ciertas zonas los cristales son más grandes y la textura tiende a ser sacaroidal.

Los minerales opacos están homogéneamente diseminados en el cementante de cuarzo. En los clastos de rocas sedimentarias son más abundantes que en el cementante.

**TEXTURAS:** masiva anedral fina y gruesa, sacaroidal, algunas inclusiones.

**MINERALES:** cuarzo, minerales opacos.

**MUESTRA: SM32**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de caliza parcialmente silicificados, cementados en su mayor parte por calcita y en pequeñas zonas aparece un poco de cuarzo.

Los clastos están muy oxidados, carcomidos y tiene una apariencia quebradiza, de esta manera se generan muchas cavidades dentro de los clastos y en el cementante.



**LÁMINA DELGADA P 33**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de rocas sedimentarias parcialmente silicificados y cementados por cuarzo y calcita.

Se presentan varios tipos de clastos:

1.- Clastos de rocas sedimentarias con laminaciones, angulosos, de color café rojizos, con vetillas de cuarzo que los cruzan sin dirección preferencial y presentan una intensa silicificación donde el cuarzo reemplaza la textura original en una aproximada textura sacaroidal.

Algunos clastos de rocas sedimentarias en sus bordes desarrollan una banda de cuarzo con textura tipo peine. Estos clastos de rocas sedimentarias presentan muchos huecos rellenos con bálamo que ya se veían en ejemplar de mano.

El cementante en su mayor parte es cuarzo con una aproximada textura sacaroidal. En ciertas partes aparecen calcitas en cristales espáticos, pero presentan inicios de reemplazamiento por cuarzo en el interior de los cristales.

Algunas áreas de calcita tienen un borde como una línea negra y sobre ella cristalitas rojas y naranjas. Por esa misma zona aparecen cristales más grandes del mineral rojizo,

Los clastos de rocas sedimentarias en esa zona de la lámina, tienen un mineral negro diseminado, que les da una apariencia diferente.

Los minerales opacos negros, los rojizos y naranjas aprovechan los intersticios entre el cuarzo para depositarse.

**TEXTURAS:** textura tipo peine y sacaroidal.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos, minerales rojizos y naranjas.

**MUESTRA: SM33**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de rocas sedimentarias silicificados con cementante totalmente de cuarzo.

Los clastos son todos angulosos, pequeños no mayores a 1 cm, su color varía de gris oscuro a gris algo café.

Se notan 2 etapas de cementante, la 1ª de cuarzo color café amarillento y relleno de intersticios, un 2º cementante blanco lechoso algo translúcido, haciendo textura cocarda alrededor de clastos o cementante de 1ª etapa.



**LÁMINA DELGADA P 34**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha donde tanto los clastos como el cementante están compuestos totalmente de cuarzo.

Los clastos de esta brecha todos están angulosos, se distinguen del cementante por su color café naranja muy claro. A algunos se les notan las laminaciones internas. Casi todos están cruzados por vetillas muy delgadas de cuarzo, que no muestran una dirección preferencial y que se cruzan entre ellas.

En la 1ª etapa casi todos los clastos están rodeados por 1 ó 2 bandas delgadas de cuarzo tipo peine, la banda que está en contacto con el clasto es de textura tipo peine de grano muy fino y la otra banda también es de peine pero de grano más grueso.

La textura de los clastos ha sido reemplazada por la de cuarzo con textura masiva anedral muy fina, que contrasta con la textura sacaroidal.

La 2ª etapa de cuarzo en la lámina esta integrada de 2 ó 3 bandas delgadas con textura tipo peine que rodean a huecos o incluso zonas de brecha que contiene clastos y cementante de 1ª etapa. No siempre aparecen las 2 ó 3 bandas delgadas, a veces sólo la de grano grande.

Los minerales opacos son escasos en los clastos, pero aún lo son mas en el cementante.

Se presentan cristales muy pequeños y birrefringentes dentro de los cuarzos o en los bordes de huecos.

**TEXTURAS:** bandas de cuarzo tipo peine fino a grueso, cocarda, sacaroidal.

**MINERALES:** cuarzo, minerales opacos.



**MUESTRA: SM34**

**DESCRIPCIÓN**

Se trata de una brecha que muestra hasta 3 etapas de brechamiento y cementación.

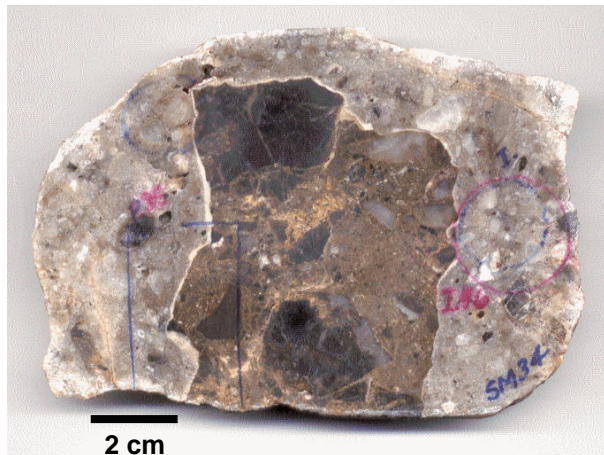
La 1ª etapa muestra clastos de rocas sedimentarias de color gris oscuro silicificados y un poco oxidados. El cementante es cuarzo blanco lechoso, pero debe tener algo de calcita ya que con HCl efervesce un poco.

Hay un clasto de 1ª etapa que muestra cuarzo blanco lechoso formando parte del clasto y a la vez cementa al resto del clasto.

La 2ª etapa muestra al clasto de 1ª etapa, junto con otros clastos de rocas sedimentarias silicificadas y clastos del mismo cuarzo blanco lechoso cementados por cuarzo diferenciables por su

color café mediano y toda esta segunda brecha forma a su vez un gran clasto con bordes de calcita blanca lechosa con respecto a la brecha de 3ª etapa.

La 3ª etapa de cementante une clastos de la 2ª etapa y además presenta clastos de calcita muy bien delimitados por su color café claro, el cementante calcita-cuarzo de color café más claro que los clastos.



**LÁMINA DELGADA P 35**

**DESCRIPCIÓN**

La lámina presenta 3 partes bien diferenciadas:

1.- Se observa un clasto con brecha en su interior de clastos de rocas sedimentarias con laminaciones cementados por cuarzo de 1º etapa, que a su vez forma parte de una segunda brecha.

2.- La 2ª etapa de brechamiento y cementación se distingue en general por su color café oscuro y por presentar:

- Grandes clastos totalmente de cuarzo de textura masiva anedral fina (~95%) y minerales opacos negros y rojizos (~5%) que le dan un color café oscuro algo translúcido a estos clastos.
- Clastos de rocas sedimentarias con y sin laminaciones silicificadas, con vetillas de cuarzo que sólo cortan estos clastos y que presentan abundantes minerales opacos negros y rojizos (~15 a 40%) que le dan a estos clastos un color general café oscuro rojizo.
- Clastos de 1ª etapa de brechamiento, porque internamente se distinguen clastos de rocas sedimentarias con y sin laminaciones, cementados por cuarzo con textura mosaico fino y desarrollo incipiente de tipo peine.
- El cementante de ésta 2ª etapa es cuarzo en un ~80%, que es distinguible por su textura quasi sacaroidal, con un restos de calcita en ~10% y minerales opacos negros y rojizos en ~10%.

3.- La 3ª etapa de brecha y cementante se distingue de la 2ª etapa, por que en partes con predominio de calcita es blanquecino translúcido y en donde predomina el cuarzo es incoloro y transparente. Además contiene:

- Pocos clastos de roca sedimentaria con laminaciones silicificada y vetillas internas de cuarzo.
- Contiene abundantes y grandes cristales idiomórficos de calcita, que nos indican que tuvieron espacio para desarrollarse.
- Clastos de cuarzo con textura quasi sacaroidal con restos de calcita correspondientes a la 2ª etapa de cementante.
- El cementante de esta 3ª etapa se distingue porque es de cuarzo con textura de mosaico grueso y tipo peine de cristales muy grandes.

El contacto entre las 2 zonas muestra un borde grueso de hasta 3 mm de grueso, conformado por cristales de calcita espática y en sus partes más gruesas intercrecido con un poco de cuarzo.

Cabe resaltar que los clastos de rocas sedimentarias son los que más presentan minerales opacos negros y rojizos, (~15 a 40%) , en el cuarzo de 2ª etapa son menos abundantes (~10%) y en el cuarzo de 3ª etapa los minerales opacos son muy escasos.

**TEXTURAS:** masiva anedral fina, quasi sacaroidal, tipo peine y mosaico.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos negros y rojizos.

**MUESTRA: SM35**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de caliza de color gris mediano que presentan intensa silicificación alrededor de las vetillas que cementan a la brecha. La zona silicificada se distingue porque la caliza se torna gris oscura y este cambio de coloración ocurre alrededor de vetillas de cuarzo o donde confluyen más de una. Estas vetillas se entrelazan sin dirección preferencial.

Existe una 2<sup>a</sup> etapa de vetillas de cuarzo- calcita que cortan a las primeras descritas y son posteriores a la etapa de silicificación.



**LÁMINA DELGADA P 36**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de caliza silicificada y cementante de calcita y cuarzo.

Los clastos ocupan aproximadamente el 70% de la lámina, son grandes, angulosos, de color café claro, que les permite diferenciarse muy bien del cementante, tiene laminaciones internas gruesas. Algunos clastos hasta presentan fósiles circulares reconocibles, alineados a las laminaciones.

La mayoría de los clastos presentan vetillas internas de cuarzo que lo cruzan sin ninguna dirección preferencial. Las vetillas internas en los clastos tratan de desarrollar textura tipo peine, sobre todo donde los cristales de cuarzo son muy grandes.

En la mayoría de los bordes de los clastos se desarrolla una bandita de cuarzo tipo peine.

La mayoría de los clastos presenta minerales opacos color negro y algunos rojizos oscuros un poco translúcidos. Algunos tienen forma cuadrada y otros son alargados conforme las laminaciones.

El cementante ocupa el 30% de la lámina, es de cuarzo y calcita de color blanquecino a través de un ramaleo de vetillas que cruzan en todas direcciones.

En el interior de las vetillas gruesas predomina la calcita, aunque empieza a haber reemplazamiento de cristales de cuarzo formando textura sacaroidal.

En el interior de algunos cristales de calcita aparecen diminutos y escasos cristales de clinozoisita.

**TEXTURAS:** tipo peine, sacaroidal.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos color negro y algunos rojizos oscuros un poco translúcidos.

**MUESTRA: SM36**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de caliza de color gris mediano que presentan intensa silicificación alrededor de las vetillas que cementan a la brecha. La zona silicificada se distingue porque la caliza se torna gris oscura y este cambio de coloración ocurre en alrededor de vetillas de cuarzo o donde confluyen más de una. Estas vetillas se entrelazan sin dirección preferencial



Existe una 2ª etapa de vetillas de cuarzo-calcita que cortan a las primeras descritas y son posteriores a la etapa de silicificación.

**LÁMINA DELGADA P 37**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de caliza que presenta una intensa silicificación a partir de vetillas de cuarzo que la cementan.

Al microscopio se observa cómo la textura micrítica de la calcita que forma los clastos de la caliza ha sido reemplazada por cuarzo, con textura masiva anedral fina a aproximada textura sacaroidal y algunos hilillos de cuarzo.

Hay vetillas de 2 etapas:

Las de 1ª etapa son vetillas que alcanzan hasta 1 cm de espesor (a la vista) y constituyen el cementante de la brecha. Del borde de un clasto hacia el centro de la vetilla que lo cementa, se presentan las siguientes bandas no muy bien definidas:

- 1.- Banda de cuarzo que en partes tiene textura masiva anedral fina y en otros sitios “quasi plumosa”. Los cristales grandes tienen inclusiones primarias y secundarias.
- 2.- Banda donde predomina la calcita y en menor proporción el cuarzo.
- 3.- Vuelve aparecer una banda de cuarzo, similar a la primera. También tiene inclusiones.
- 4.- Vuelve aparecer una banda como la segunda, donde predomina la calcita sobre el cuarzo.

La 2ª etapa de vetillas corta casi perpendicular a la vetilla principal de la 1ª etapa y a la vista tiene un espesor máximo de 4 mm.. De su borde a su centro presenta bandas diferenciadas:

- 1.- De cuarzo con textura anedral muy fina.
- 2.- De cuarzo en cristales de mayor tamaño con textura tipo peine, con los picos de los cristales apuntando hacia el centro.
- 3.- De calcita espática en el centro de la vetilla, rellena los espacios entre los picos del peine de cuarzo.

Hay zonas de los clastos de calizas donde se ven fantasmas de fósiles circulares y radiales.

En las calizas los minerales opacos son muy escasos, aumenta la presencia de éstos en donde hay reemplazamiento de cuarzo en las calizas y en los **bordes de cuarzo**.

**TEXTURAS:** bandas con textura masiva anedral fina, tipo peine y “quasi plumosa”.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, minerales opacos.



**MUESTRA: SM37**

**DESCRIPCIÓN**

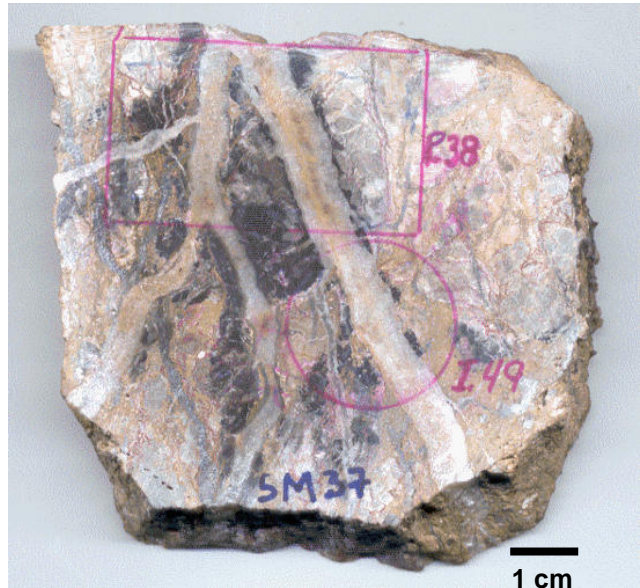
Brecha con clastos de rocas sedimentarias que muestran 2 etapas de brechamiento y cementación.

Los clastos de la 1ª etapa de brechamiento y cementación presentan clastos de caliza negra cementados por cuarzo gris claro, algo translúcido.

En los clastos de 2ª etapa aparecen clastos de la 1ª etapa y clastos de caliza cementados por una pasta arcillosa amarillo ocre y en ocasiones rojo óxido que casi no efervece, muy duro como sílice.

Los clastos de 2ª etapa presentan vetillos delgados (hilos) de un cuarzo oscuro, entrecruzados sin una dirección preferencial y también presentan hilillos de óxidos rojizos.

Finalmente vetillas de hasta 1 cm de espesor de calcita con un poco de cuarzo de color blanquecino translúcidos, con algo de manchas de óxidos amarillo ocre.



**LÁMINA DELGADA P 38**

**DESCRIPCIÓN**

Brecha con clastos de rocas sedimentarias y cuarzo que presentan 2 etapas de brechamiento y cementación bien diferenciadas.

La 1ª etapa se distingue por los clastos de rocas sedimentarias y de cristales de cuarzo individuales. Los clastos están tan silicificados que casi se han perdido las laminaciones internas, pero los minerales opacos abundantes permiten delinear los rastros de las laminaciones.

Los clastos de rocas sedimentarias se distinguen por su color café claro algo rojizo, algunos muestran fantasmas de fósiles circulares (ya se perdió casi toda la estructura interna).

Otros clastos de rocas sedimentarias ya muestran una textura de cuarzo masiva anedral de grano medio o aproximada a sacaroidal.

El cementante de estos clastos de 1ª etapa, es una mezcla de cuarzo, óxidos negros y rojizos que delimita muy bien los bordes de estos clastos.

La 2ª etapa muestra clastos de la 1ª etapa cementados por vetillos anchos de 7 a 10 mm de calcita espática, que en su contacto con los clastos de 1ª etapa desarrolla una banda de cuarzo con textura tipo peine, fácilmente distinguible. Los cristales de cuarzo de estas bandas muestran inclusiones primarias.

En su interior las vetillas de calcita muestran desarrollo de cristales de cuarzo individuales o en grupos que también presentan inclusiones y muy escasas clinozoisitas en cristales individuales.

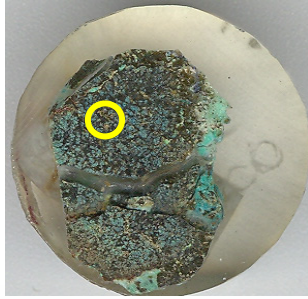
**TEXTURAS:** masiva anedral de grano medio o aproximada a sacaroidal.

**MINERALES:** cuarzo, calcita, clinozoisita.

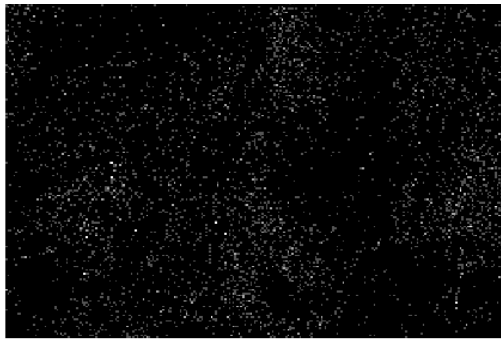
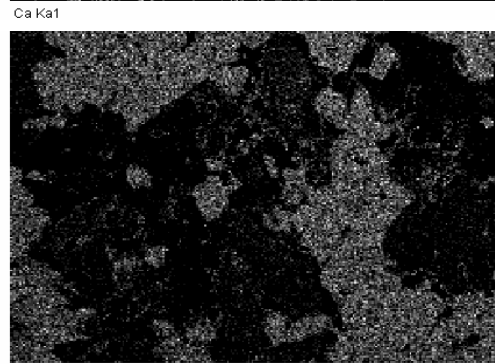
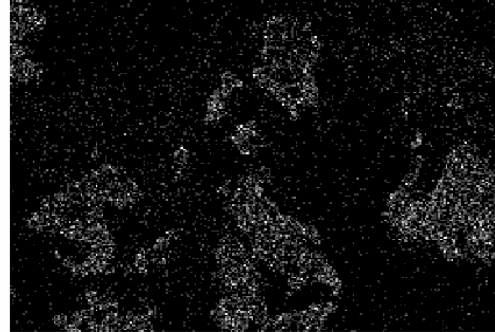
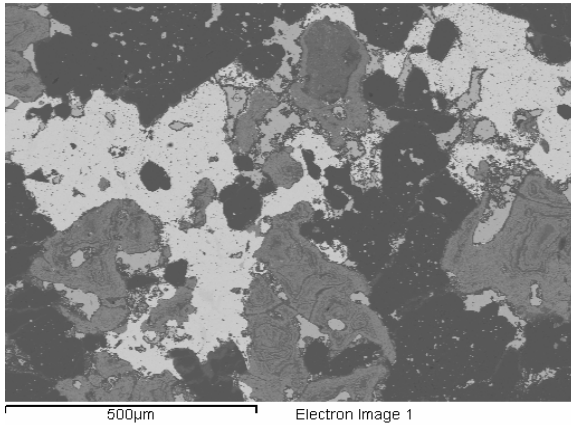


## ANEXO II

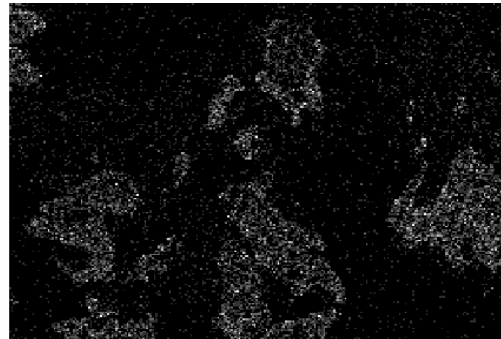
### ANÁLISIS DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO



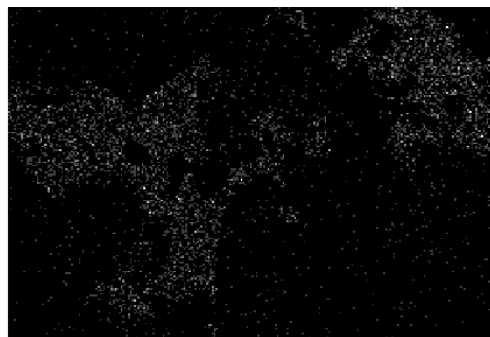
Muestra SM38.  
El círculo amarillo indica el área analizada.



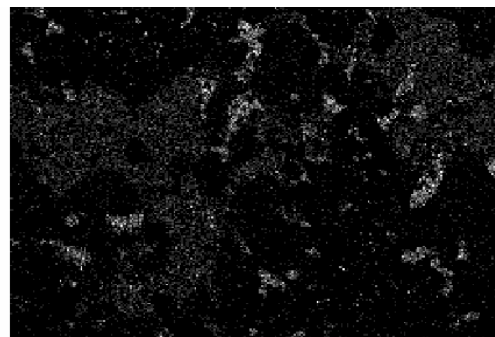
Cu Ka1



Sb La1

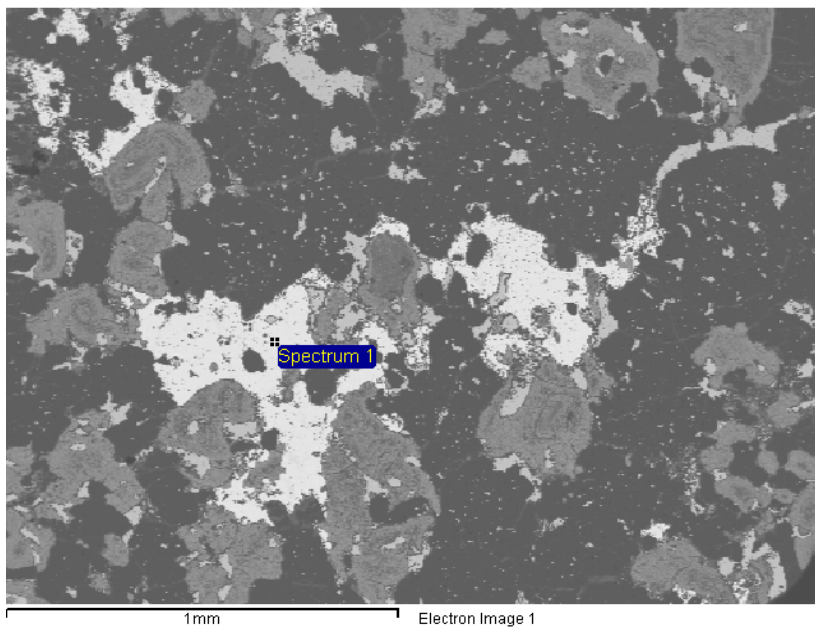


Au La1



Ag La1

Análisis con microscopio electrónico de barrido de la Muestra SM 38. Mapa de distribución de elementos, que junto con los estudios petrográficos, nos permiten confirmar la existencia de electrum (Au, Ag), naumannita (Ag) y tetraedrita (Si, Ca, Cu, Sb).



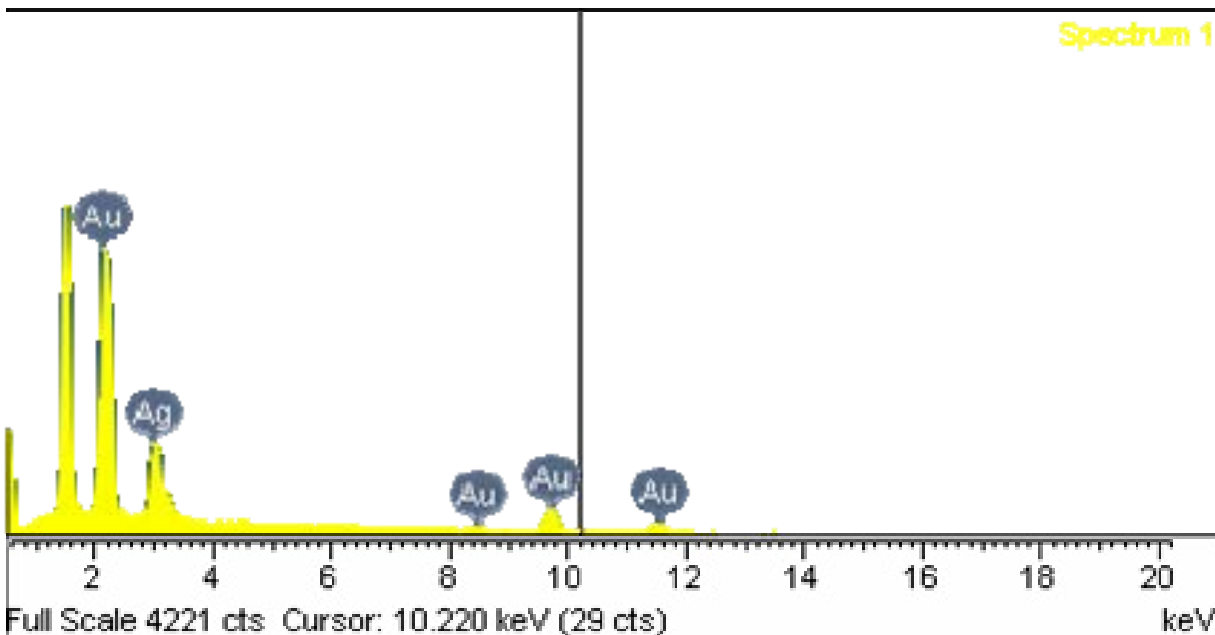
SM38 círculo  
 ELECTRUM

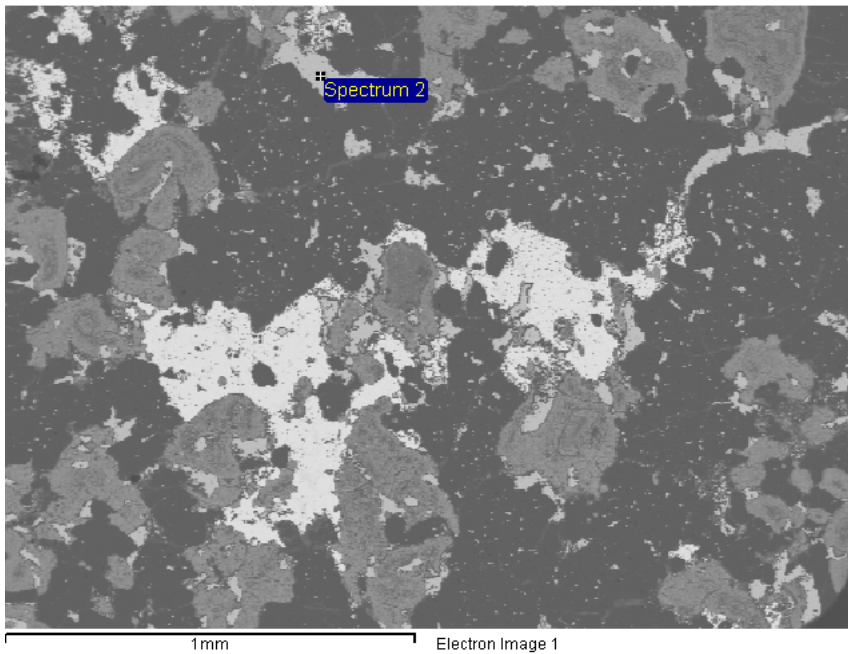
Spectrum processing : Peak possibly omitted : 4.527 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 2

Standard :  
 Ag Ag 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

| Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|
| Ag L    | 28.30   | 41.88   |
| Au M    | 71.70   | 58.12   |
| Totals  | 100.00  |         |





**SM38 círculo  
 NAUMANNITA**

Spectrum processing : No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 3

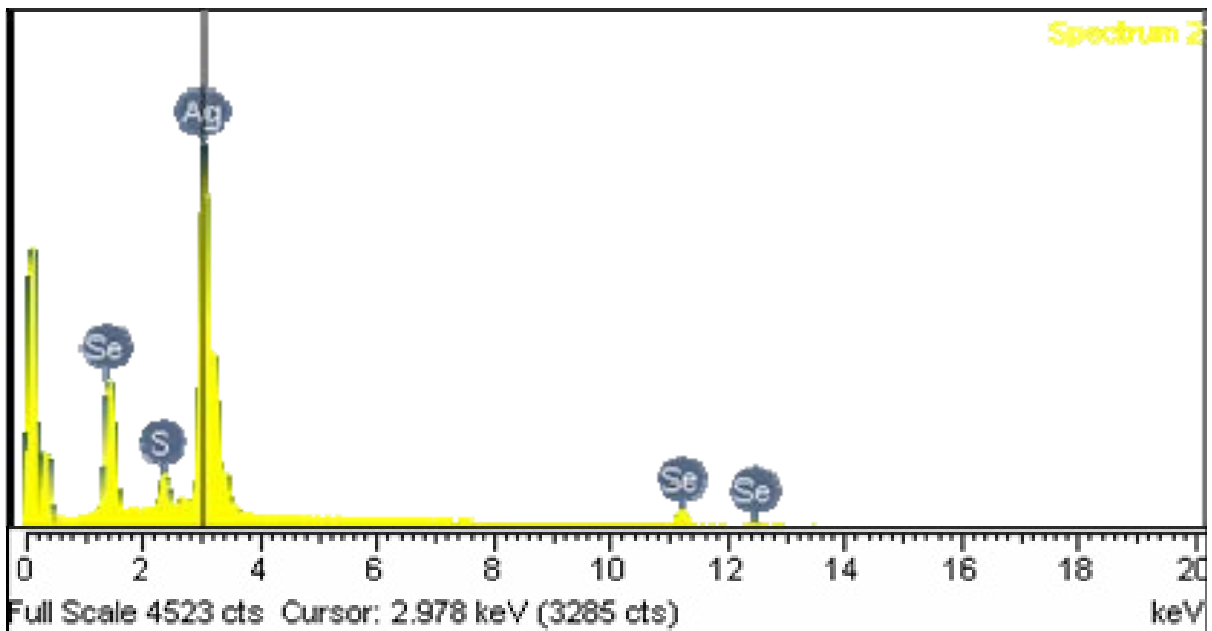
Standard :

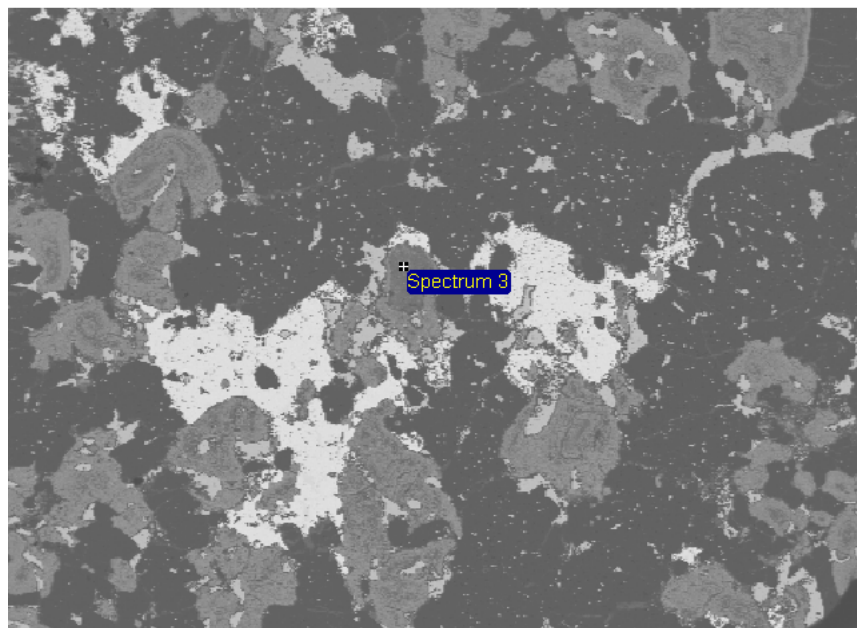
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM

Se Se 1-Jun-1999 12:00 AM

Ag Ag 1-Jun-1999 12:00 AM

| Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|
| S K     | 2.81    | 8.25    |
| Se L    | 21.27   | 25.39   |
| Ag L    | 75.93   | 66.36   |
| Totals  | 100.00  |         |





1mm

Electron Image 1

**SM38 círculo  
TETRAEDRITA**

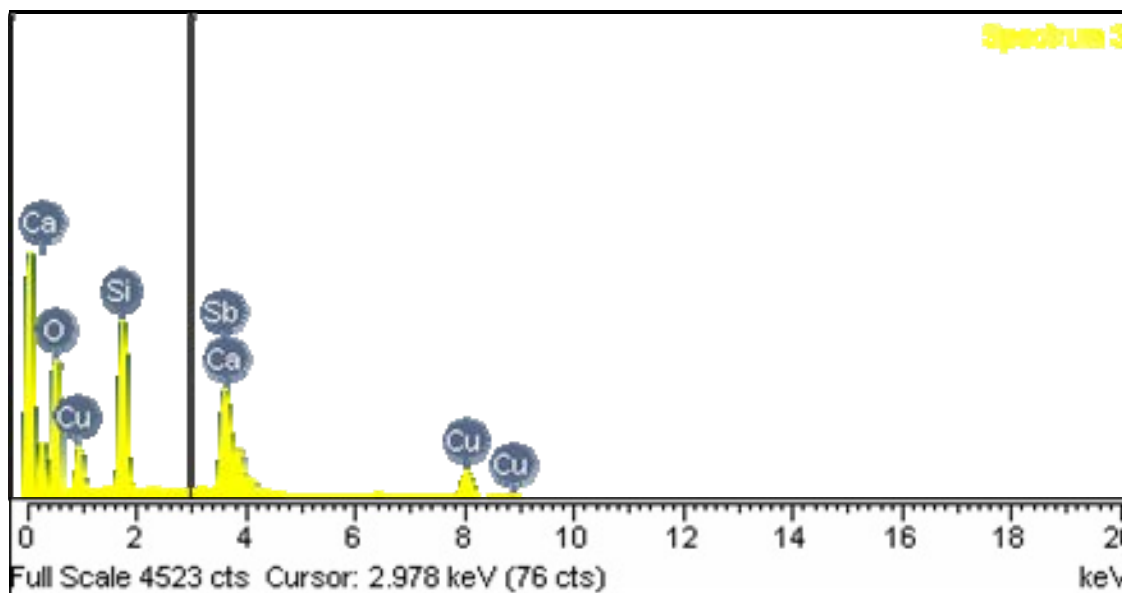
Spectrum processing : Peak possibly omitted : 6.399 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 3

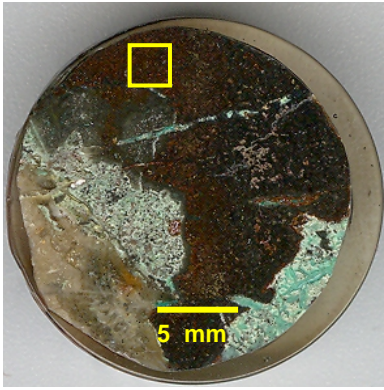
Standard :

O SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM  
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM  
Sb Sb 1-Jun-1999 12:00 AM

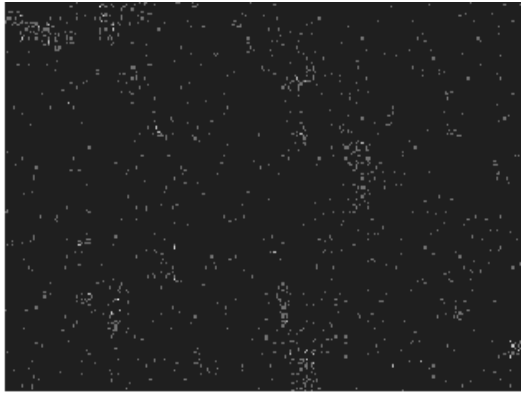
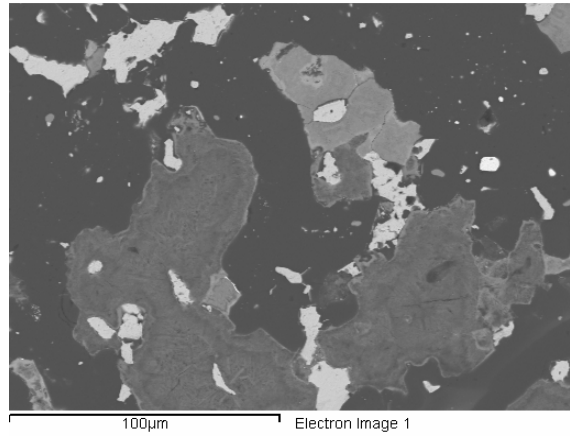
| Element | Weight % | Atomic % |
|---------|----------|----------|
| O K     | 35.74    | 66.26    |
| Si K    | 15.29    | 16.15    |
| Ca K    | 5.04     | 3.73     |
| Cu K    | 14.16    | 6.61     |
| Sb L    | 29.78    | 7.25     |



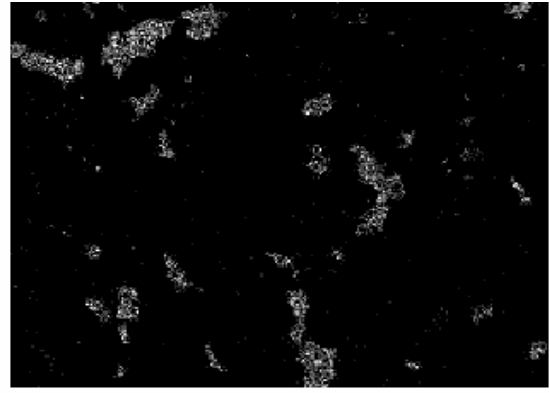




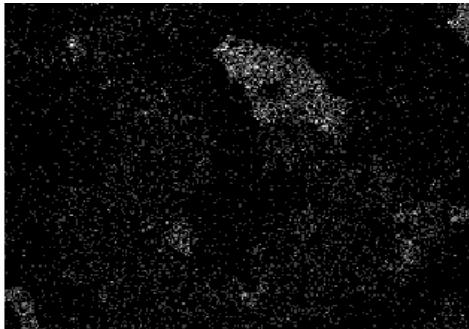
Muestra SM05.  
El cuadro amarillo  
indica el área  
estudiada.



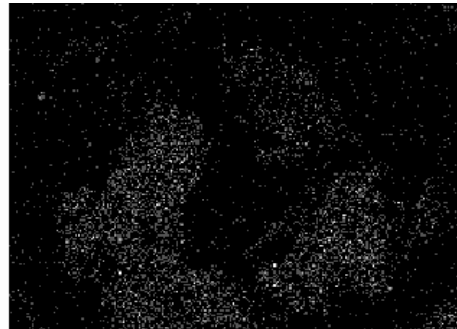
Se Ka1



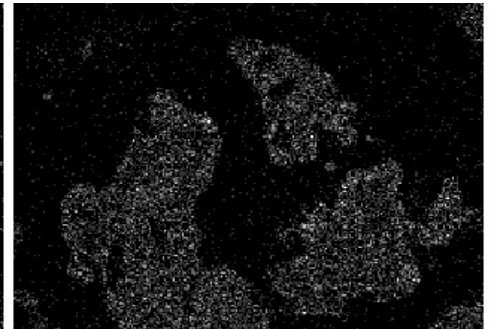
Ag La1



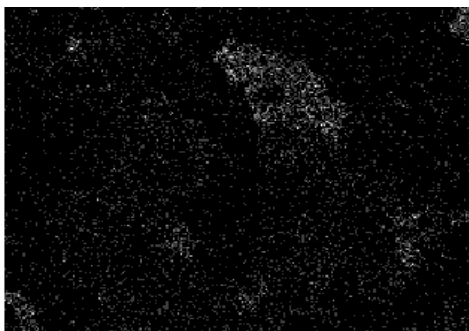
Sb La1



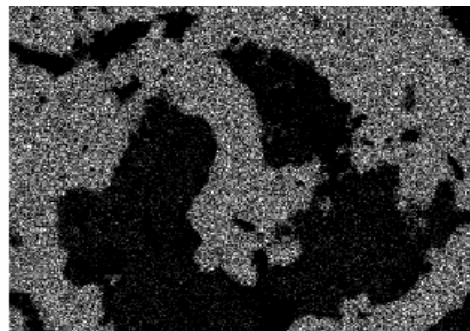
Cu Ka1



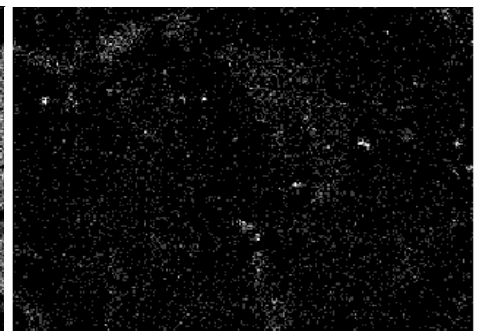
Fe Ka1



Ca Ka1

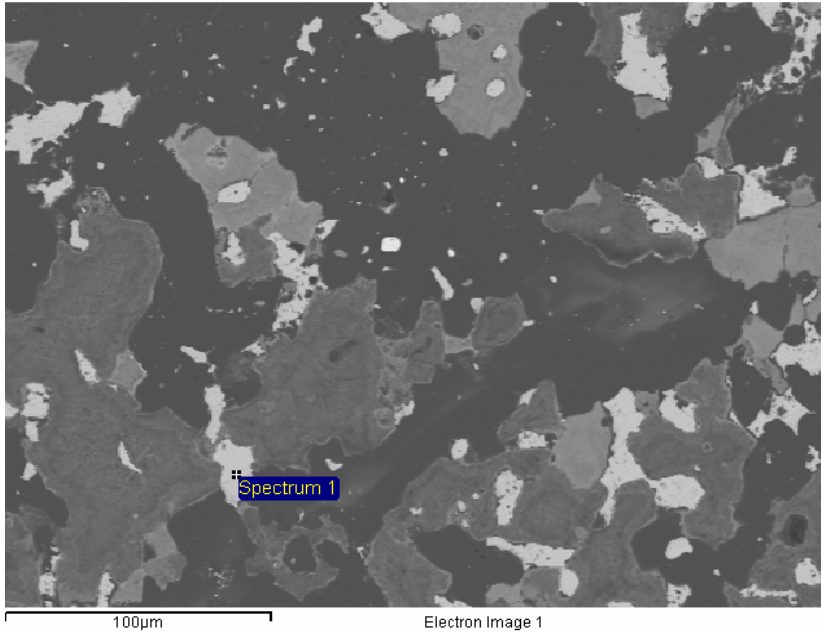


Si Ka1



S Ka1

Análisis con microscopio electrónico de barrido de la Muestra SM 05. Mapa de distribución de elementos, que junto con los estudios petrográficos, nos permiten confirmar la existencia de naumannita (Ag) y tetraedrita (Si, Ca, Cu, Sb).



SM05  
M100 cuadrado  
NAUMANNITA

Spectrum processing : Peak possibly omitted : 6.380 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 3

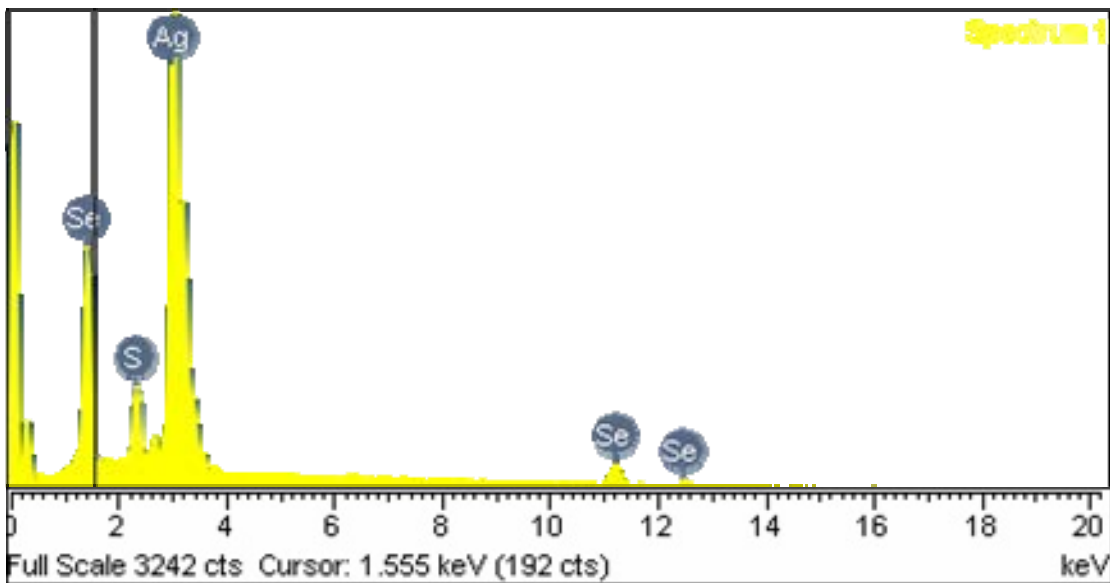
Standard :

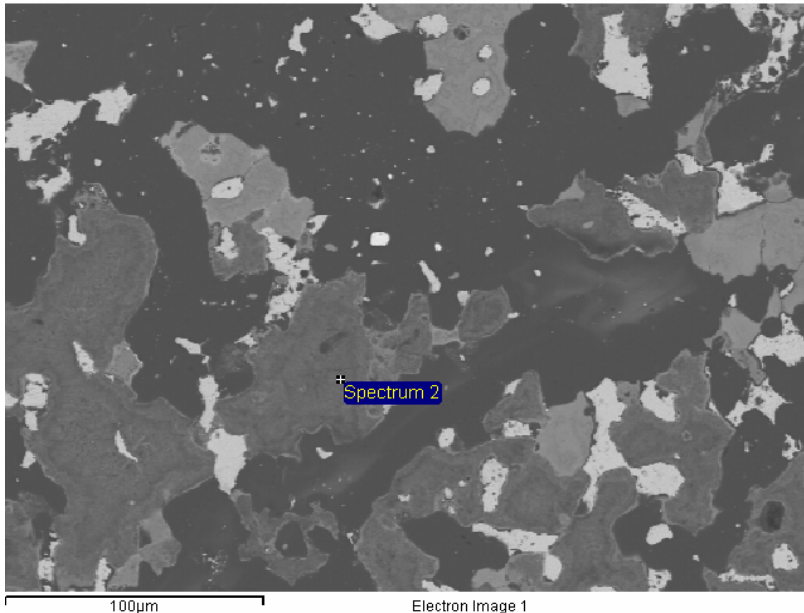
S FeS<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM

Se Se 1-Jun-1999 12:00 AM

Ag Ag 1-Jun-1999 12:00 AM

| Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|
| S K     | 3.63    | 10.52   |
| Se L    | 20.34   | 23.95   |
| Ag L    | 76.03   | 65.53   |
| Totals  | 100.00  |         |





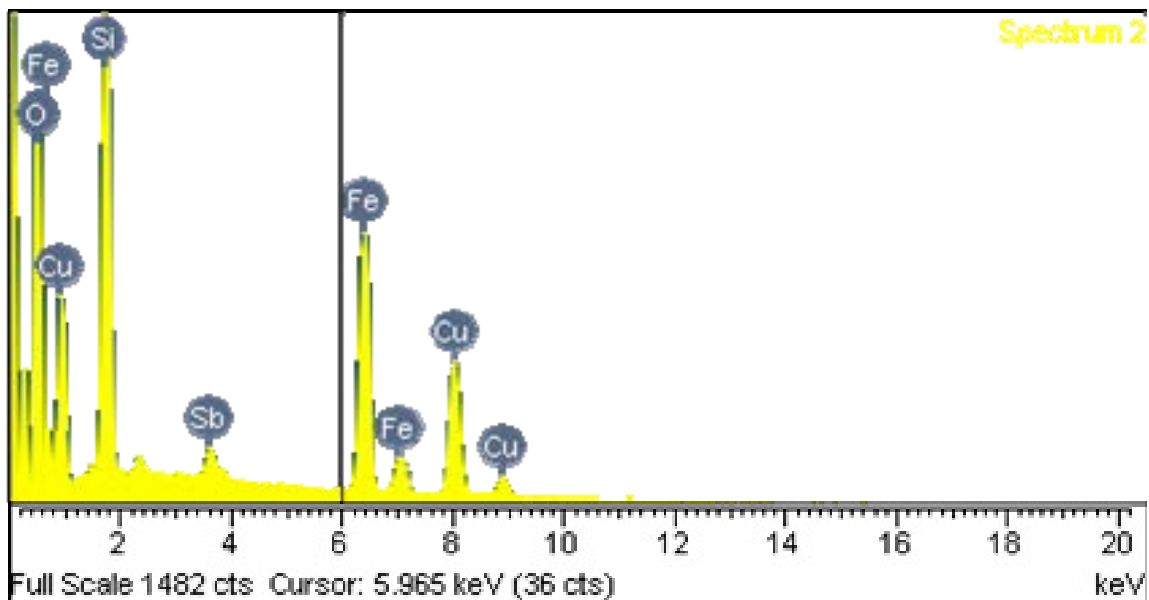
SM05  
M100 cuadrado  
TETRAEDRITA

Spectrum processing : Peak possibly omitted : 2.335 keV

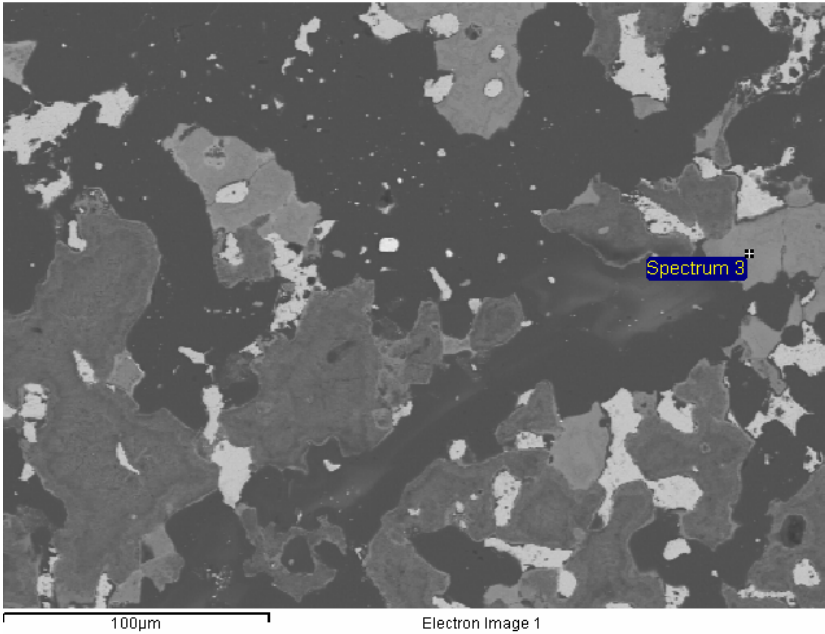
Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 4

Standard :  
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM  
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM  
Sb Sb 1-Jun-1999 12:00 AM

| Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|
| O K     | 31.74   | 58.21   |
| Si K    | 15.70   | 16.40   |
| Fe K    | 25.30   | 13.29   |
| Cu K    | 25.02   | 11.55   |
| Sb L    | 2.25    | 0.54    |
| Totals  | 100.00  |         |







SM05  
M100 cuadrado  
TETRAEDRITA

Spectrum processing : Peaks possibly omitted : 1.284, 6.401, 7.053 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

Standard :

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

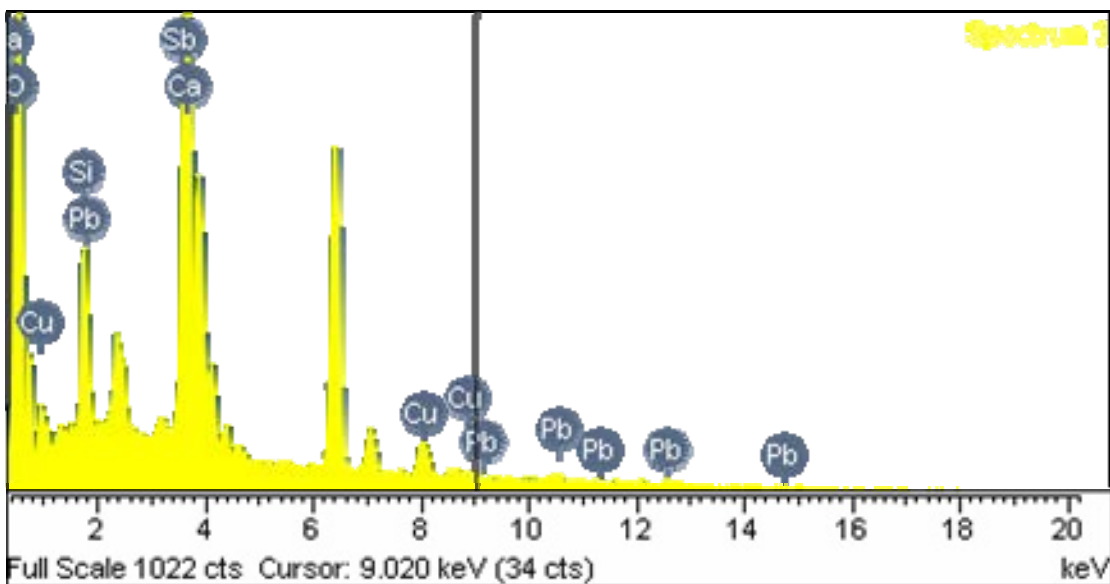
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM

Sb Sb 1-Jun-1999 12:00 AM

Pb PbF2 1-Jun-1999 12:00 AM

| Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|
| O K     | 43.48   | 80.22   |
| Si K    | 3.70    | 3.89    |
| Ca K    | 5.22    | 3.84    |
| Cu K    | 4.14    | 1.93    |
| Sb L    | 39.26   | 9.52    |
| Pb M    | 4.20    | 0.60    |
| Totals  | 100.00  |         |



## ANEXO III

### ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

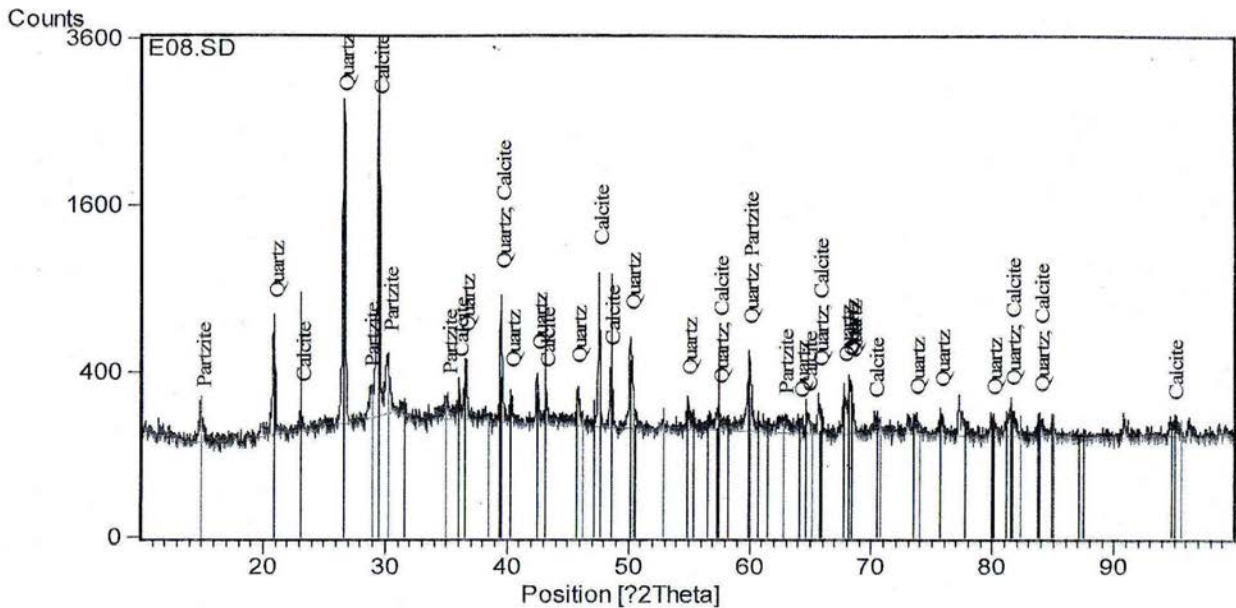
#### PARTZITA:

Se trata del mineral de color verde-azul, que no se pudo clasificar con microscopio petrográfico y que con microscopio electrónico sólo se pudo saber que contenía Sb y Cu. El estudio de difracción clasificó como Partzita, que es un hidróxido de Cu y Sb. Este resultado coincide perfectamente, ya que este mineral se encuentra como halos de alteración supergénica de clastos que contienen tetraedrita que es un sulfuro de Cu, Fe, y Sb. Las muestras en donde se observó este mineral son: SM05 y SM38 del cuerpo 28, SM06 del cuerpo 29 y en la muestra SM40 en el extremo norte del tajo San José.

Date: 21/04/2004 Time: 01:47:52 p.m.

File: E08.SD

User: Administrador



| Peak List  |
|--|
| 01-085-0930; Si O <sub>2</sub> ; Quartz                                      |
| 00-024-0027; Ca C O <sub>3</sub> ; Calcite                                   |
| 00-007-0303; Cu <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> (O, OH) <sub>7</sub> ; Partzite |

Page: 1 of 1

Difractograma del mineral verde-azul, clasificado como partzita.

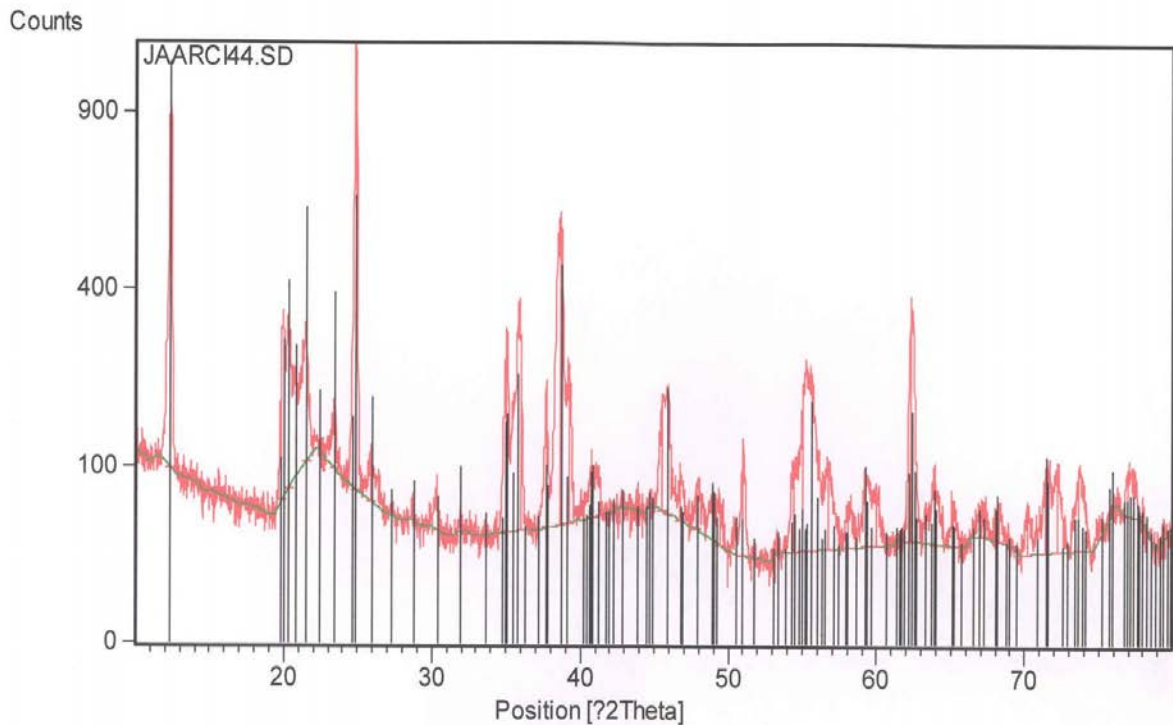
## DICKITA (CAOLÍN):

En el interior de las obras subterráneas de la mina San Martín, la mayor parte de la masa del dique está fuertemente argilizada y presenta sólo pequeños fragmentos aislados del dique totalmente silicificado. De manera que tiene el aspecto de una roca blanca terrosa y deleznable, que el estudio de difracción la clasificó como caolín, variedad dickita.

Date: 14/02/2005 Time: 10:32:50 a.m.

File: JAARCI44.SD

User: Administrador



Page: 1 of 1

Difractograma de la muestra de caolín, variedad dickita.

## ANEXO IV

### MICROTERMOMETRÍA DE INCLUSIONES FLUIDAS

| TABLA RESUMEN DE LAS MEDICIONES |             |         |            |        |        |         |      |           |
|---------------------------------|-------------|---------|------------|--------|--------|---------|------|-----------|
| # MTRA                          | #.INCLUSIÓN | ETAPA   | NUM MEDIC. | Th min | Th max | Th prom | Tfi  | sal (wt%) |
| SM10 DIQUE                      | I.19 DIQUE  | 1       | 27         | 180    | 337    | 258.4   | -0.3 | 0.56      |
| SM27 QZ                         | I. 39 QZ    | 1       | 27         | 154    | 223    | 178.9   | -1.1 | 1.74      |
| SM36 QZ                         | I. 48 QZ    | 1       | 27         | 170    | 213    | 187.7   | -0.6 | 0.92      |
| SM36 CAL                        | I. 48 CAL   | 1       | 12         | 180    | 212    | 195     | -0.3 | 0.45      |
| SM40 CAL                        | I.55CAL     | 1       | 13         | 135    | 151    | 139.9   | ?    |           |
| SM02 QZ                         | I. 09 QZ    | 2       | 31         | 158    | 211    | 184.8   | -1.3 | 2.2       |
| SM02 CAL                        | I. 51 CAL   | 2       | 11         | 151    | 178    | 166.6   | -0.4 | 0.6       |
| SM04 QZ                         | I. 13 QZ    | 2       | 34         | 178    | 226    | 189.7   | -1.2 | 1.98      |
| SM11 CAL                        | I. 20 CAL   | 2       | 48         | 169    | 203    | 183.4   | -0.9 | 1.55      |
| SM12 QZ                         | I. 21 QZ    | 2       | 38         | 165    | 204    | 186.5   | -0.7 | 1.23      |
| SM14 QZ                         | I. 24 QZ    | 2       | 5          | 122    | 125    | 123.6   | -1.6 | 2.63      |
| SM16 QZ                         | I. 26 QZ    | 2       | 32         | 155    | 295    | 196.1   | -0.7 | 1.08      |
| SM17 QZ                         | I. 27 QZ    | 2       | 3          | 149    | 161    | 157     | -0.7 | 1.16      |
| SM17 CAL                        | I. 27 CAL   | 2       | 8          | 169    | 183    | 176.5   | -1.2 | 2.05      |
| SM21 QZ                         | I. 33 QZ    | 2       | 10         | 277    | 314    | 293.9   | -1.3 | 2.06      |
| SM21 CAL                        | I. 33 CAL   | 2       | 4          | 295    | 330    | 318.8   | -1.3 | 2.09      |
| SM24 CAL                        | I.34CAL     | 2       | 51         | 153    | 222    | 168.2   | -0.3 | 0.51      |
| SM28 QZ                         | I. 40 QZ    | 2       | 33         | 126    | 155    | 138.8   | -1.6 | 2.58      |
| SM29 QZ                         | I. 41 QZ    | 2       | 22         | 146    | 196    | 163.3   | -0.5 | 0.81      |
| SM31 QZ                         | I. 42 QZ    | 2       | 36         | 160    | 186    | 168.3   | -2.1 | 3.55      |
| SM05 QZ                         | I. 02 QZ    | 3       | 36         | 182    | 232    | 201.9   | -1.3 | 2.08      |
| SM06 QZ                         | I. 15 QZ    | 3       | 17         | 165    | 223    | 198.5   | -0.6 | 0.94      |
| SM20 CAL                        | I. 31 CAL   | 3 ó 2 ? | 31         | 129    | 148    | 136.8   | 5.2  | 7.46      |
| SM39 QZ                         | I. 54 QZ    | 3       | 28         | 138    | 173    | 155.2   | ?    | ?         |

|             |   |
|-------------|---|
| Th (°C)     | Temperatura de homogeneización en grados centígrados  |
| Sal (wt. %) | Salinidad en peso porcentual equivalente en NaCl      |
| Tfi (° C)   | Temperatura de fusión del hielo en grados centígrados |
| QZ          | Inclusión fluida en cristales de cuarzo               |
| CAL         | Inclusión fluida en cristales de calcita              |

A continuación se presentan las tablas para cada muestra, obtenidas con las mediciones de las inclusiones fluidas. Al final se presentan los promedios de la Temperatura de homogeneización en grados centígrados, Th (°C); Temperatura de fusión del hielo en grados centígrados, Tfi (°C) y Salinidad en peso porcentual equivalente en NaCl, Sal (wt. %), los cuales se integraron a la tabla resumen con que inicia este Anexo IV.

| <b>SM10 DIQUE</b>   |                |                 |                   |  |                     |                |                 |                   |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|--|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |  | <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| <b>1</b>            | 247            | -0.2            | 0.33              |  | <b>15</b>           | 288            | -0.3            | 0.5               |
| <b>2</b>            | 193            | -0.3            | 0.5               |  | <b>16</b>           | 304            | -0.3            | 0.5               |
| <b>3</b>            | 264            | -0.4            | 0.66              |  | <b>17</b>           | 288            |                 |                   |
| <b>4</b>            | 276            |                 |                   |  | <b>18</b>           | 284            | -0.7            | 1.16              |
| <b>5</b>            | 227            | -0.4            | 0.66              |  | <b>19</b>           | 180            | -0.4            | 0.66              |
| <b>6</b>            | 256            | -0.4            | 0.66              |  | <b>20</b>           | 328            | -0.3            | 0.5               |
| <b>7</b>            | 282            | -0.3            | 0.5               |  | <b>21</b>           | 336            | -0.3            | 0.5               |
| <b>8</b>            | 288            | -0.3            | 0.5               |  | <b>22</b>           | 213            |                 |                   |
| <b>9</b>            | 202            |                 |                   |  | <b>23</b>           | 200            | -0.3            | 0.5               |
| <b>10</b>           | 202            |                 |                   |  | <b>24</b>           | 261            | -0.3            | 0.5               |
| <b>11</b>           | 196            | -0.3            | 0.5               |  | <b>25</b>           | 261            | -0.3            | 0.5               |
| <b>12</b>           | 247            | -0.3            | 0.5               |  | <b>26</b>           | 295            | -0.4            | 0.66              |
| <b>13</b>           | 199            | -0.3            | 0.5               |  | <b>27</b>           | 323            | -0.3            | 0.5               |
| <b>14</b>           | <b>337</b>     | <b>-0.3</b>     | <b>0.5</b>        |  |                     |                |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |  | <b>PROMEDIO</b>     | <b>258.4</b>   | <b>-0.3</b>     | <b>0.56</b>       |









| <b>SM04 QZ</b>      |                |                 |                   |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| 1                   | 184            |                 |                   |
| 2                   | 193            | -1.2            | 1.98              |
| 3                   | 189            | -1.1            | 1.82              |
| 4                   | 193            | -1.2            | 1.98              |
| 5                   | 193            | -1.1            | 1.82              |
| 6                   | 188            | -1.3            | 2.14              |
| 7                   | 188            | -1.3            | 2.14              |
| 8                   | 203            |                 |                   |
| 9                   | 189            | -1              | 1.65              |
| 10                  | 189            | -1              | 1.65              |
| 11                  | 184            | -1.1            | 1.82              |
| 12                  | 184            | -1.1            | 1.82              |
| 13                  | 182            | -1.1            | 1.82              |
| 14                  | 178            | -1              | 1.65              |
| 15                  | 188            | -1.2            | 1.98              |
| 16                  | 184            | -1.1            | 1.82              |
| 17                  | 218            | -1.5            | 2.47              |
| 18                  | 183            | -1.5            | 2.47              |
| 19                  | 189            | -1.5            | 2.47              |
| 20                  | 190            | -1.5            | 2.47              |
| 21                  | 182            | -1.5            | 2.47              |
| 22                  | 182            | -1.5            | 2.47              |
| 23                  | 184            | -1.3            | 2.14              |
| 24                  | 191            | -1.3            | 2.14              |
| 25                  | 189            |                 |                   |
| 26                  | 187            |                 |                   |
| 27                  | 184            | -1.3            | 2.14              |
| 28                  | 180            | -1.3            | 2.14              |
| 29                  | 202            | -1.3            | 2.14              |
| 30                  | 183            | -1.4            | 2.31              |
| 31                  | 203            |                 |                   |
| 32                  | 184            | -1.5            | 2.47              |
| 33                  | 184            | -1.2            | 1.98              |
| 34                  | 226            | -0.2            | 0.33              |
|                     |                |                 |                   |
| <b>PROMEDIO</b>     | <b>189.7</b>   | <b>-1.2</b>     | <b>2.02</b>       |
|                     |                |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |

| <b>SM12 QZ</b>      |                |                 |                   |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| 1                   | 189            | -0.6            | 0.99              |
| 2                   | 171            | -0.5            | 0.83              |
| 3                   | 175            | -0.7            | 1.16              |
| 4                   | 165            | -0.7            | 1.16              |
| 5                   | 165            | -0.6            | 0.99              |
| 6                   | 194            | -0.7            | 1.16              |
| 7                   | 188            | -0.5            | 0.83              |
| 8                   | 177            | -0.5            | 0.83              |
| 9                   | 196            | -0.5            | 0.83              |
| 10                  | 178            | -0.6            | 0.99              |
| 11                  | 197            | -0.7            | 1.16              |
| 12                  | 175            | -0.7            | 1.16              |
| 13                  | 175            | -0.6            | 0.99              |
| 14                  | 180            | -0.7            | 1.16              |
| 15                  | 180            | -0.6            | 0.99              |
| 16                  | 188            | -0.6            | 0.99              |
| 17                  | 194            | -0.7            | 1.16              |
| 18                  | 189            | -0.9            | 1.49              |
| 19                  | 191            | -0.9            | 1.49              |
| 20                  | 194            | -0.8            | 1.32              |
| 21                  | 194            | -0.8            | 1.32              |
| 22                  | 199            | -0.7            | 1.16              |
| 23                  | 194            |                 |                   |
| 24                  | 204            | -0.7            | 1.16              |
| 25                  | 196            | -0.7            | 1.16              |
| 26                  | 196            | -0.7            | 1.16              |
| 27                  | 186            |                 |                   |
| 28                  | 177            |                 |                   |
| 29                  | 177            |                 |                   |
| 30                  | 188            | -0.9            | 1.49              |
| 31                  | 188            | -0.8            | 1.32              |
| 32                  | 192            | -0.8            | 1.32              |
| 33                  | 186            | -0.8            | 1.32              |
| 34                  | 186            | -0.8            | 1.32              |
| 35                  | 192            | -0.8            | 1.32              |
| 36                  | 192            | -0.8            | 1.32              |
| 37                  | 187            | -0.7            | 1.16              |
| 38                  | 192            | -0.7            | 1.16              |
| <b>PROMEDIO</b>     | <b>186.5</b>   | <b>-0.7</b>     | <b>1.16</b>       |

| SM11 CAL     |         |          |            |  |                 |              |             |             |
|--------------|---------|----------|------------|--|-----------------|--------------|-------------|-------------|
| No. MEDICIÓN | Th (°C) | Tfi (°C) | Sal (wt.%) |  | No. MEDICIÓN    | Th (°C)      | Tfi (°C)    | Sal (wt.%)  |
| 1            | 187     | -0.8     | 1.32       |  | 26              | 169          | -0.8        | 1.32        |
| 2            |         | -1       | 1.65       |  | 27              |              | -0.8        | 1.32        |
| 3            |         | -0.9     | 1.49       |  | 28              |              | -0.9        | 1.49        |
| 4            | 184     | -0.9     | 1.49       |  | 29              | 179          | -1          | 1.65        |
| 5            | 184     | -1.3     | 2.14       |  | 30              | 190          | -1          | 1.65        |
| 6            | 184     | -1.2     | 1.98       |  | 31              |              | -1          | 1.65        |
| 7            | 190     |          |            |  | 32              | 171          | -0.9        | 1.49        |
| 8            | 184     | -0.9     | 1.49       |  | 33              | 173          | -0.9        | 1.49        |
| 9            | 184     | -0.9     | 1.49       |  | 34              | 171          |             |             |
| 10           | 186     | -0.8     | 1.32       |  | 35              | 172          | -1          | 1.65        |
| 11           | 185     | -0.8     | 1.32       |  | 36              | 169          |             |             |
| 12           | 182     | -1.2     | 1.98       |  | 37              |              | -0.9        | 1.49        |
| 13           | 184     | -1       | 1.65       |  | 38              | 189          | -0.9        | 1.49        |
| 14           | 184     | -1       | 1.65       |  | 39              | 173          | -1          | 1.65        |
| 15           | 184     |          |            |  | 40              | 174          | -0.6        | 0.99        |
| 16           | 187     | -1.1     | 1.82       |  | 41              | 173          | -0.7        | 1.16        |
| 17           | 191     | -1.2     | 1.98       |  | 42              | 174          |             |             |
| 18           | 186     | -1       | 1.65       |  | 43              |              | -0.6        | 0.99        |
| 19           | 186     |          |            |  | 44              | 201          | -0.9        | 1.49        |
| 20           | 188     | -0.9     | 1.49       |  | 45              | 202          | -0.9        | 1.49        |
| 21           | 197     | -1       | 1.65       |  | 46              | 188          | -1.1        | 1.82        |
| 22           | 191     | -0.8     | 1.32       |  | 47              | 184          |             |             |
| 23           | 197     |          |            |  | 48              | 203          |             |             |
| 24           | 169     | -1.1     | 1.82       |  |                 |              |             |             |
| 25           | 169     | -1       | 1.65       |  | <b>PROMEDIO</b> | <b>183.4</b> | <b>-0.9</b> | <b>1.55</b> |



| <b>SM17 QZ</b>      |                |                 |                   |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| 1                   | 161            | -0.7            | 1.16              |
| 2                   | 161            | -0.7            | 1.16              |
| 3                   | 149            |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |
| <b>PROMEDIO</b>     | <b>157.0</b>   | <b>-0.7</b>     | <b>1.16</b>       |
|                     |                |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |

| <b>SM17 CAL</b>     |                |                 |                   |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| 1                   | 181            |                 |                   |
| 2                   | 179            | -1.3            | 2.14              |
| 3                   | 183            | -1.3            | 2.14              |
| 4                   | 181            | -1.1            | 1.82              |
| 5                   | 181            | -1.3            | 2.14              |
| 6                   | 169            | -1.3            | 2.14              |
| 7                   | 169            | -1.1            | 1.82              |
| 8                   | 169            | -1.3            | 2.14              |
|                     |                |                 |                   |
| <b>PROMEDIO</b>     | <b>176.5</b>   | <b>-1.2</b>     | <b>2.05</b>       |

| <b>SM21 QZ</b>      |                |                 |                   |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| 1                   | 314            | -1.2            | 1.98              |
| 2                   | 309            |                 |                   |
| 3                   | 292            |                 |                   |
| 4                   | 277            | -1.4            | 2.31              |
| 5                   | 286            | -1.3            | 2.14              |
| 6                   | 296            | -1.1            | 1.82              |
| 7                   | 312            | -1.3            | 2.14              |
| 8                   | 286            |                 |                   |
| 9                   | 287            |                 |                   |
| 10                  | 280            | -1.2            | 1.98              |
|                     |                |                 |                   |
| <b>PROMEDIO</b>     | <b>293.9</b>   | <b>-1.3</b>     | <b>2.06</b>       |

| <b>SM21 CAL</b>     |                |                 |                   |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| 1                   | 328            |                 |                   |
| 2                   | 295            | -1.4            | 2.31              |
| 3                   | 322            | -1.2            | 1.98              |
| 4                   | 330            | -1.2            | 1.98              |
|                     |                |                 |                   |
| <b>PROMEDIO</b>     | <b>318.8</b>   | <b>-1.3</b>     | <b>2.09</b>       |
|                     |                |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |
|                     |                |                 |                   |

| SM24 CAL     |         |          |            |  |                 |              |             |             |
|--------------|---------|----------|------------|--|-----------------|--------------|-------------|-------------|
| No. MEDICIÓN | Th (°C) | Tfi (°C) | Sal (wt.%) |  | No. MEDICIÓN    | Th (°C)      | Tfi (°C)    | Sal (wt.%)  |
| 1            | 153     | -0.3     | 0.50       |  | 31              | 160          | -0.3        | 0.50        |
| 2            | 184     | -0.3     | 0.50       |  | 32              | 172          | -0.3        | 0.50        |
| 3            | 189     | -0.4     | 0.66       |  | 33              | 163          | -0.3        | 0.50        |
| 4            | 199     |          |            |  | 34              | 159          | -0.3        | 0.50        |
| 5            | 194     | -0.4     | 0.66       |  | 35              | 159          | -0.3        | 0.50        |
| 6            | 165     | -0.4     | 0.66       |  | 36              | 159          | -0.3        | 0.50        |
| 7            | 160     | -0.3     | 0.50       |  | 37              | 155          | -0.3        | 0.50        |
| 8            | 167     | -0.3     | 0.50       |  | 38              | 160          | -0.3        | 0.50        |
| 9            | 160     | -0.3     | 0.50       |  | 39              | 163          | -0.3        | 0.50        |
| 10           | 222     | -0.3     | 0.50       |  | 40              | 171          | -0.3        | 0.50        |
| 11           | 155     | -0.3     | 0.50       |  | 41              | 153          | -0.3        | 0.50        |
| 12           | 160     | -0.4     | 0.66       |  | 42              | 215          | -0.3        | 0.50        |
| 13           | 159     | -0.3     | 0.50       |  | 43              | 160          | -0.3        | 0.50        |
| 14           | 159     | -0.3     | 0.50       |  | 44              | 177          | -0.3        | 0.50        |
| 15           | 159     | -0.3     | 0.50       |  | 45              | 184          | -0.3        | 0.50        |
| 16           | 160     | -0.3     | 0.50       |  | 46              | 163          | -0.2        | 0.33        |
| 17           | 159     | -0.3     | 0.50       |  | 47              | 163          | -0.3        | 0.50        |
| 18           | 159     | -0.3     | 0.50       |  | 48              | 163          | -0.3        | 0.50        |
| 19           | 163     | -0.3     | 0.50       |  | 49              | 218          | -0.3        | 0.50        |
| 20           | 159     | -0.3     | 0.50       |  | 50              | 163          | -0.2        | 0.50        |
| 21           | 159     | -0.3     | 0.50       |  | 51              | 205          | -0.2        | 0.50        |
| 22           | 159     | -0.3     | 0.50       |  |                 |              |             |             |
| 23           | 159     | -0.3     | 0.50       |  | <b>PROMEDIO</b> | <b>168.2</b> | <b>-0.3</b> | <b>0.51</b> |
| 24           | 170     | -0.3     | 0.50       |  |                 |              |             |             |
| 25           | 163     | -0.3     | 0.50       |  |                 |              |             |             |
| 26           | 160     | -0.3     | 0.50       |  |                 |              |             |             |
| 27           | 159     | -0.3     | 0.50       |  |                 |              |             |             |
| 28           | 159     | -0.3     | 0.50       |  |                 |              |             |             |
| 29           | 159     | -0.3     | 0.50       |  |                 |              |             |             |
| 30           | 161     | -0.3     | 0.50       |  |                 |              |             |             |





| <b>SM31 QZ</b>      |                |                 |                   |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| 1                   | 155            | -2.1            | 3.44              |
| 2                   | 157            | -2.1            | 3.44              |
| 3                   | 158            | -2.1            | 3.44              |
| 4                   | 156            | -2.1            | 3.44              |
| 5                   | 157            | -2.1            | 3.44              |
| 6                   | 155            | -2.1            | 3.44              |
| 7                   | 155            | -2.1            | 3.44              |
| 8                   | 156            | -2.1            | 3.44              |
| 9                   | 167            | -2.1            | 3.44              |
| 10                  | 161            | -2.1            | 3.44              |
| 11                  | 160            | -2.1            | 3.44              |
| 12                  | 175            | -2.1            | 3.44              |
| 13                  | 167            | -2.1            | 3.44              |
| 14                  | 166            | -2.1            | 3.44              |
| 15                  | 169            | -2.1            | 3.44              |
| 16                  | 169            | -2.1            | 3.44              |
| 17                  | 159            | -2.1            | 3.44              |
| 18                  | 159            | -2.1            | 3.44              |
| 19                  | 176            | -2.1            | 3.44              |
| 20                  | 158            | -2.1            | 3.44              |
| 21                  | 157            | -2.1            | 3.44              |
| 22                  | 158            | -2.1            | 3.44              |
| 23                  | 181            | -2.1            | 3.44              |
| 24                  | 159            | -2.1            | 3.44              |
| 25                  | 180            | -2.1            | 3.44              |
| 26                  | 168            | -2.1            | 3.44              |
| 27                  | 163            | -2.1            | 3.44              |
| 28                  | 157            | -2.1            | 3.44              |
| 29                  | 163            | -2.1            | 3.44              |
| 30                  | 163            | -2.1            | 3.44              |
| 31                  | 162            | -2.1            | 3.44              |
| 32                  | 157            | -2.1            | 3.44              |
| 33                  | 159            | -2.1            | 3.44              |
| 34                  | 165            | -2.1            | 3.44              |
| 35                  | 181            | -2.1            | 3.44              |
| 36                  | 175            | -2.1            | 3.44              |
| <b>PROMEDIO</b>     | <b>163.4</b>   | <b>-2.1</b>     | <b>3.44</b>       |

| <b>SM05 QZ</b>      |                |                 |                   |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| <b>No. MEDICIÓN</b> | <b>Th (°C)</b> | <b>Tfi (°C)</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| 1                   | 232            |                 |                   |
| 2                   | 182            | -1.6            | 2.63              |
| 3                   | 225            | -1.3            | 2.14              |
| 4                   | 225            | -1.3            | 2.14              |
| 5                   | 225            | -1.3            | 2.14              |
| 6                   | 190            | -1.6            | 2.63              |
| 7                   | 205            | -1.7            | 2.79              |
| 8                   | 198            | -1.1            | 1.82              |
| 9                   | 207            | -1.3            | 2.14              |
| 10                  | 230            | -1.3            | 2.14              |
| 11                  | 197            | -1.1            | 1.82              |
| 12                  | 196            | -1.2            | 1.98              |
| 13                  | 199            | -1.2            | 1.98              |
| 14                  | 199            | -1.3            | 2.14              |
| 15                  | 198            | -1.2            | 1.98              |
| 16                  | 203            | -1.2            | 1.98              |
| 17                  | 209            | -1.2            | 1.98              |
| 18                  | 200            | -1.2            | 1.98              |
| 19                  | 205            | -1              | 1.65              |
| 20                  | 184            | -1              | 1.65              |
| 21                  | 190            | -1.2            | 1.98              |
| 22                  |                | -1.1            | 1.82              |
| 23                  |                | -1.2            | 1.98              |
| 24                  |                | -1.2            | 1.98              |
| 25                  | 190            | -1.2            | 1.98              |
| 26                  | 198            | -1.2            | 1.98              |
| 27                  | 199            | -1.2            | 1.98              |
| 28                  | 200            | -1.2            | 1.98              |
| 29                  | 204            | -1.2            | 1.98              |
| 30                  | 194            | -1.2            | 1.98              |
| 31                  | 191            | -1.4            | 2.31              |
| 32                  | 189            |                 |                   |
| 33                  |                | -1.4            | 2.31              |
| 34                  | 197            | -1.4            | 2.31              |
| 35                  | 197            | -1.4            | 2.31              |
| 36                  |                | -1.2            | 1.98              |
| <b>PROMEDIO</b>     | <b>201.9</b>   | <b>-1.3</b>     | <b>2.08</b>       |



| <b>SM39 QZ</b>          |              |            |                   |
|-------------------------|--------------|------------|-------------------|
| <b>No.<br/>MEDICIÓN</b> | <b>Th</b>    | <b>Tfi</b> | <b>Sal (wt.%)</b> |
| 1                       | 173          |            |                   |
| 2                       |              | 12         |                   |
| 3                       | 143          | 14.5       |                   |
| 4                       | 143          | 13         |                   |
| 5                       | 147          |            |                   |
| 6                       | 141          | 16.2       |                   |
| 7                       | 150          | 14         |                   |
| 8                       | 150          | 8.5        |                   |
| 9                       | 146          |            |                   |
| 10                      | 149          | 4.5        |                   |
| 11                      | 151          | -0.2       |                   |
| 12                      | 146          | 11.5       |                   |
| 13                      | 140          |            |                   |
| 14                      | 150          | -0.5       |                   |
| 15                      | 143          | -0.4       |                   |
| 16                      | 155          | -0.6       |                   |
| 17                      | 145          | -0.3       |                   |
| 18                      | 145          |            |                   |
| 19                      | 145          | -0.5       |                   |
| 20                      | 144          | 6.4        |                   |
| 21                      |              |            |                   |
| 22                      | 141          | 10         |                   |
| 23                      | 144          | 10.5       |                   |
| 24                      | 144          |            |                   |
| 25                      | 138          |            |                   |
| 26                      | 138          | 6          |                   |
| 27                      | 173          | -0.4       |                   |
| 28                      | 162          | -0.4       |                   |
| 29                      | 140          |            |                   |
|                         |              |            |                   |
| <b>PROMEDIO</b>         | <b>147.5</b> |            |                   |

## ANEXO V

### UBICACIÓN DEL MUESTREO DE INTERIOR MINA

|                |  |   |
|----------------|--|---|
| <b>Claves:</b> | Bx = brecha<br>Cz = caliza<br>I = muestras de inclusiones fluidas doblemente pulidas | M = secciones pulidas para metálicos,<br>P = láminas delgadas para petrografía<br>sil. = silicificada |
|----------------|--|---|

| Mta.            | Mina      | Rebaje y/o ubicación                            | Tipo                     | Descripción  | Au (g/t)       | Ag (g/t)      | Láminas                    |
|-----------------|-----------|---|--------------------------|--|----------------|---------------|----------------------------|
| SM01            | Cuerpo 28 | Bloque 0 - a<br>Entre cruceros<br>1-075 y 1-077 | Veta brecha              | Brecha que por lo menos muestra 2 etapas de brechamiento. La primera con cementante de calcita y la segunda con cementante de cuarzo.  | 2.4            | 16            | I.7, I.8<br>P.5            |
| SM02            | Cuerpo 28 | Rebaje 2- 615                                   | Veta brecha              | Brecha que por lo menos muestra 2 etapas de brechamiento. La primera con cementante de calcita y la segunda con cementante de cuarzo.  | 4.1<br>Bloque  | 86<br>Bloque  | I.9, I.10<br>P.6           |
| SM03a<br>Rosa   | Cuerpo 28 | Rebaje 2-084<br>Rebaje actual de explotación    | Bx de Cz<br>Mineralizada | Bx con fragmentos de caliza gris oscuro silicificados, con 2 etapas de cementante: 1ª etapa con cementante de carbonato rosa ( posible presencia de manganeso). En 2ª etapa de cementante de Qz y calcita blanca.  | 11.2<br>Bloque | 180<br>Bloque | P.7                        |
| SM03b<br>Oscura | Cuerpo 28 | Rebaje 2-084<br>Rebaje actual de explotación    | Brecha silicificada      | Brecha donde predominan los fragmentos de caliza gris oscuro silicificadas.<br>Presenta una oxidación rojiza que la distingue fácilmente del resto de las muestras. Aparentemente asociado a una falla.  | 11.2<br>Bloque | 180<br>Bloque | I.11<br>M.15               |
| SM04<br>Clara   | Cuerpo 28 | Rebaje 4-064                                    | Bx de Cz<br>Mineralizada | Bx de Cz gris oscuro silicificados, cementados por calcita blanca lechosa y en 2ª etapa cementante de vetillas de calcita blanco translúcida.  | 3.6<br>Bloque  | 65<br>Bloque  | I.12<br>P.8                |
| SM04<br>Oscura  | Cuerpo 28 | Rebaje 4-064                                    | Bx de Cz                 | Brecha con fragmentos de caliza gris oscuro silicificada (pedernal). La mayor parte del cementante de la brecha es cuarzo calcedónico.   | 3.6<br>Bloque  | 65<br>Bloque  | I.13, I.14                 |
| SM05            | Cuerpo 28 | Rebaje 2-068<br>(el pilar)                      | Veta                     | Altos valores de oro, donde aparece un exceso del mineral café resinoso laminar y el verde-azul, con muchos puntos de minerales metálicos.<br>Laja pilar: I.1, I.2, I.3, I.4, I.5, I.6, P.1, P.2, M.1, M.2, M.3, M.4, M.5, M.6, M.7, M.8, M.9<br>Base arcoiris: I.7, M.10, M.11<br>Laja arcoiris: M.12, M.13, M.14, M.100, M.110, P.3, P.4 | 4.8<br>Bloque  | 86<br>Bloque  | M13, M14,<br>M100,<br>M110 |
| SM06a<br>Clara  | Cuerpo 29 | Rebaje 4-090                                    | Brecha                   | Similar y en el mismo lugar que SM06b, pero a diferencia presenta Cz sil. cementado por Qz amarillento y después por calcita.<br>En el contacto entre el Qz y a la Cz sil, aparece el mineral azul turquesa con aspecto concéntrico y diseminación de puntos brillantes metálicos.   | 12.8           | 191           | I.15<br>M.16,<br>M.17      |

| Mta.             | Mina                   | Rebaje y/o ubicación  | Tipo                           | Descripción   | Au (g/t)      | Ag (g/t)     | Láminas           |
|------------------|------------------------|---|--------------------------------|---|---------------|--------------|-------------------|
| SM06 b<br>Oscura | Cuerpo<br>29           | Rebaje 4-090  | Brecha                         | Bx de Cz sil. cementada 2 veces, la mayor parte por Qz translúcido amarillento y en 2° evento un Qz blanco poroso.  |               |              | I.16<br>P.10      |
| SM07             | Cuerpo<br>29           | Rebaje 2-082  | Veta                           | Vetas de Qz translúcido con fragmentos de la brecha de Cz sil., que parcialmente están cementadas con Qz y calcita. Vetilleos en fallas de arrastre. Muy cerca de SM 05 "el pilar"                                  | 4.8<br>Bloque | 86<br>Bloque | I.17              |
| SM08             | Cuerpo<br>29           | Manto piloto  | Veta brecha                    | Bx de Cz sil que parcialmente esta cementada por Qz translúcido (inclusiones) y calcita blanca lechosa.   |               |              | I.18<br>P.11      |
| SM09             | Cuerpo<br>29           | Rebaje 3-095  | Dique<br>riolítico<br>Alterado | Presenta una intensa caolinización.   |               |              | No hay<br>lámina  |
| SM10             | Cuerpo<br>29           | Rebaje 3-095<br>(tope del cuerpo<br>29)                     | Dique<br>riolítico             | Presenta una intensa silicificación.  |               |              | I.19<br>P.12      |
| SM11             | Mina<br>San<br>Martín  | Rebaje 4-000  | Veta brecha                    | Bx de Cz silicificadas.   | 4.4<br>Bloque | 39<br>Bloque | I.20<br>P.13      |
| SM12             | Mina<br>San<br>Martín  | Rebaje 4-200  |                                | Bx de Cz sil. parcialmente (todavía efervescen), cementadas por Qz y aparece una banda coloidal de Qz calcedónico crema a café claro.   | 3.6<br>Bloque | 33<br>Bloque | I.21<br>P.14      |
| SM13             | Mina<br>San<br>Martín  | Nivel 6<br>Rebaje 6 - 012                                   | Veta brecha                    | Bx de Cz sil, con un grado muy alto de silicificación y algunos fragmentos de Cz oxidados. El cementante es totalmente de Qz. Casi nula la efervescencia y toda la brecha es porosa.                                |               |              | I.22<br>P.15      |
| SM14             | Mina<br>San<br>Martín  | Nivel 6<br>Rebaje 6 - 012                                   | Veta cuarzo<br>mineralizado    | Toda la muestra es Qz ahumado y translúcido con algunas burbujitas.<br>Presenta algo de porosidad y no efervece   |               |              | I.23 I.24         |
| SM15             | Minas<br>San<br>Martín | Entre 5-000 y 5-<br>200<br>A 25 m. Del<br>contrapozo        |                                | Bx de Cz totalmente sil. Casi no hay matriz de caliza y sí hay varias etapas de generación de cuarzos.<br>Roca muy dura y no efervece.  | 2.5           | 17           | I.25<br>P.16      |
| SM16             | Mina<br>San<br>Martín  | Entre 5-200 y 5-<br>300                                     |                                | Bx de Cz gris oscuro y sil.   | 1.7<br>Bloque | 12<br>Bloque | I.26<br>P.17      |
| SM17             | Mina<br>San<br>Martín  | Rebaje 4-500<br>(junto a punto<br>c1103) entre 488<br>y 487 | Veta brecha<br>mineralizada    | Bx de Cz, brechada 2 veces.<br>La 1ª contiene alto % de Cz recristalizada con cementante de cuarzo (se ve café oscuro).<br>En la 2ª Bx los fragmentos de Cz están más dispersos y lo que predomina es el cementante | 4             | 35           | I.27 I.28<br>P.18 |

| Mta. | Mina            | Rebaje y/o ubicación         | Tipo                               | Descripción  | Au (g/t) | Ag (g/t)  | Láminas           |
|------|-----------------|------------------------------|------------------------------------|--|----------|-----------|-------------------|
|      |                 |                              |                                    | de calcita y Qz blanco lechoso rosado.   |          |           |                   |
| SM18 | Mina San Martín | Rebaje 3-500                 | Veta brecha                        | Bx de Cz sil., cementadas por Qz y calcita y con unas vetas de Qz crema ocre que intrusiona a la Bx original. Todas las partes efervescen un poco.   | 4 Bloque | 82 Bloque | I.29<br>P.19      |
| SM19 | Mina San Martín | Rampa 2- 024<br>Rebaje 2- 03 | Veta brecha                        | Bx de Cz sil., con cementante de calcita y Qz (doblemente brechada). En la 2ª etapa de cementación hay calcita translúcida (posibles inclusiones).   | 3        | 100       | I.30<br>P.20      |
| SM20 | Mina San Martín | Rampa 2- 024                 | Veta brecha                        | Doble Bx. 1ª brecha fragmentos de Cz sil. con cementante de calcita y Qz.<br>2ª brecha rebrecha a la 1ª y ahora se cementa en su mayor parte por Qz amarillento un poco translúcido y en menor parte por carbonato.<br>Las I.31 y I.32 buscan inclusiones en el 2º cementante. | 1.8      | N         | I.31 I.32<br>P.21 |
| SM21 | San José I      | Rebaje 6-18                  | Veta brecha                        | Veta de Qz y calcita rosa con algunos fragmentos de Cz. En general la veta efervesce y no es muy dura. Algunas zonas pequeñas tienen Qz translúcido.   |          |           | I.33<br>P.22      |
| SM22 | San José I      | Rebaje 6-18                  | Veta brecha                        | Brechas de Cz sil., con 2 etapas de cementante. 1ª Qz calcedónico café y poca calcita y la 2ª vetillas de calcita blanca que efervesce.  |          |           | P.23              |
| SM23 | San José I      | Rebaje 6-18                  | Caliza                             | Fragmento de Cz soyatal con vetillas de calcita. Toda la muestra efervesce notoriamente.   |          |           | P.24              |
| SM24 | Cuerpo 29       | Rebaje 4-096                 | Veta brecha                        | Bx de Cz parcialmente sil., con cementante de calcita y cuarzo en menor proporción.<br>Las I.34 y I.35 buscan inclusiones en calcitas y cuarzos.   |          |           | I.34 I.35<br>P.25 |
| SM25 | Cuerpo 29       | Rebaje 4-097                 | Bx de calizas,<br>(tabla alto)     | Bx de Cz, los líticos están silicificados. Valores muy erráticos de Au. Se notan 2 épocas de Bx, porque los líticos ya están brechados previamente. El cementante de la 2ª brecha es calcita. Mismo lugar que SM 26.   |          |           | I.36<br>P.26      |
| SM26 | Cuerpo 29       | Rebaje 4-097                 | Veta brecha                        | Veta brecha, la muestra es casi puro Qz y calcita mineralizada. Donde el Qz y la calcita están intercrecidos la muestra se desmorona. (estructura piloncillo) Mismo lugar que SM 25.   |          |           | I.37 I.38<br>P.27 |
| SM27 | Cuerpo 29       | Rebaje 4-090 sur             | Bx de calizas.<br>(tabla del bajo) | Bx de calizas sin valores. Los fragmentos oscuros parecen pedernal y los gris claro, caliza. Hay vetillas de Qz y calcita bien delimitadas.  |          |           | I. 39<br>P. 28    |
| SM28 | San José II     | Rebaje 5- 064                | Bx de caliza                       | Bx de caliza. Los fragmentos están sil., cementados por calcedonia muy dura.   |          |           | I.40<br>P.29      |
| SM29 | San             | Rebaje 5- 064                | Veta brecha                        | Bx mineralizada cementada por Qz calcedonia  |          |           | I.41              |

| Mta.  | Mina            | Rebaje y/o ubicación  | Tipo                                 | Descripción   | Au (g/t)            | Ag (g/t) | Láminas            |
|-------|-----------------|---|--------------------------------------|---|---------------------|----------|--------------------|
|       | José II         |   |                                      | quebradiza.<br>Los líticos son muy pocos, predomina el cementante calcedónico.  |                     |          | P.30               |
| SM30  | San José II     | Rebaje 5-064  | Veta brecha                          | Bx mineralizada quebradiza, de baja ley.<br>Cementante Qz calcedónico amarillo claro, con pocos líticos y con mucha porosidad. No efervece.   |                     |          | P.31               |
| SM31  | San José II     | Rebaje 5-064  | Veta brecha                          | Bx mineralizada cementada por Qz poroso y quebradizo. El Qz en algunos sitios es translúcido. En general no efervece. I.42. No se refleja en el espejo testigo.   |                     |          | I.42<br>P.32       |
| SM32  | San José II     | Rebaje 5-064  |                                      | Bx de Cz sil. con cementante amarillento de Qz y calcita. En general es porosa, los fragmentos de Cz silicificado están como carcomidos. En general efervece.   |                     |          | I.43<br>P.33       |
| SM33  | San José II     | Rebaje 5-064<br>Al alto ¿ de la SM 28   | Bx estéril (jaspe)<br>Tabla del alto | Bx de Cz sil. Supuestamente estéril. Los fragmentos de Cz son café oscuro y el cementante ocre amarillento translúcido en ciertas zonas.<br>I.44 más translúcido que I.45.  |                     |          | I.44, I.45<br>P.34 |
| SM34  | Mina San Martín | Rebaje 4-000<br>Alto de SM 11<br>En medio de las muestras 699 y 691               | Bx de Cz.<br>(tabla del alto)        | Bx de caliza mineralizada. Es tabla pero tiene valores. La Bx presenta dos etapas de brechamiento.<br>1ª un block de Cz sil. Cementadas por calcedonia café oscuro y opaco.<br>2ª éste mismo bloque cementado por cuarzo amarillento translúcido. Se ubica junto a SM 12<br>699 Au: 1 y Ag: 20 691 Au: 9 y Ag: 15 | 5                   | 18       | I.46<br>P.35       |
| SM35  | Mina San Martín | Rebaje 4-000<br>Bajo de SM 11   | Bx de Cz<br>(tabla del bajo)         | Bx de Cz silicificadas al bajo, con vetillas de calcita y un poco de cuarzo.<br>La I.47 sólo busca inclusiones en Qz y calcita.   |                     |          | I.47<br>P.36       |
| SM36  | Mina San Martín | Rebaje 4-200<br>Al alto de SM 12  | Bx de Cz<br>(tabla del alto)         | Bx de Cz estéril al alto. Se observa mucha calcita que cementa la Bx.<br>Valores nulos de Au y Ag.  | N                   | N        | I.48<br>P.37       |
| SM37  | Mina San Martín | Rebaje 4-200<br>Al bajo de SM 12<br>a 7 m hacia la entrada, línea de muestreo 276 | Calizas al bajo                      | Calizas sin aparente mineralización.<br>A 13 m del contrapozo hacia adentro.  | 0.9                 | 30       | I.49<br>P.38       |
| SM38  | Cuerpo 28       | Rebaje 2-084  | Veta- brecha                         | Brecha de brechas, la veta que contiene las partículas metálicas visibles (oro y otros) se encuentra rebrechada y cementada por Qz translúcido y un mineral verde-azul intenso.<br>Los bloques individuales de esta zona han dado valores de hasta 2 kg/t.  | Valores Aprox.2 kg. |          |                    |
| SM 39 | San José I      |   | Veta-brecha                          | Entrada del socavón que está en la pared del tajo. Sobre estructura mineralizada.   |                     |          |                    |



| Mta. | Mina              | Rebaje y/o ubicación | Tipo           | Descripción  | Au (g/t) | Ag (g/t) | Láminas |
|------|-------------------|----------------------|----------------|--|----------|----------|---------|
|      |                   |                      |                |  |          |          |         |
| SM40 | San José I        |                      | Caliza Al bajo | Caliza con vetillas de Oz, Al bajo y contigua a la estructura mineralizada |          |          |         |
| SM41 | San José I        | Nivel 8              | Veta           | Estructura mineralizada a 1.5 m del tope de la frente.                     |          |          |         |
| SM42 | San José I        |                      | Veta           | Estructura mineralizada argilizada y no más de 2 m de ancho.               |          |          |         |
| SM43 | Zanja Santa Elena |                      | Dique          | Dique riolítico Santa Elena. La zanja tiene aprox. 20 m de largo.          |          |          |         |