



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



ESTUDIO DE MICROTERMOMETRÍA EN INCLUSIONES
FLUIDAS DEL YACIMIENTO MINERO SAN MIGUEL DE
UNTUCA, SANDIA – PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ROSA MARIA RAMOS ZARATE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2018



DEDICATORIA

A Dios padre todo poderoso y a
Jesucristo, por su amor eterno, compasión
y por cada bendición que me ha regalado
en mi vida.

A mis Padres: Praxides Zarate Velarde y
Miguel Angelino Ccallata Flores, por ser mi
inspiración, por su apoyo incondicional, por su
amor y comprensión. A mi hermana Yanela por
ser el regalo más bello y puro que mis padres y
Dios me dieron, por ser mi fuerza para seguir
por el buen camino de la vida, y a mi hermana
Katherinne por su apoyo incondicional y amor
brindado.



AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios y a mis padres por haber forjado día a día para lograr me como profesional y a mi familia por su apoyo constante.
- Agradezco a los geólogos de la consultora GEOMIN INGENIEROS E.I.R.L.: Esteban Aquino Alanoca, Roger Gonzales Aliaga, Roberto Zegarra Ponce, Miguel Calcina Benique por haberme permitido las facilidades de uso de información geológica para ejecutar esta investigación.
- A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica por plasmar e impartir conocimientos a fin de una buena formación profesional mediante los ingenieros docentes; agradezco al laboratorio de Yacimientos Minerales por haberme permitido el uso del equipo de LINKAM para el análisis microtermométrico.
- Agradezco a mi asesor Ing. Roberto Zegarra Ponce por su apoyo, guía y sugerencias en la elaboración y culminación de esta tesis.
- Agradecimiento especial al M.Sc. Roger Gonzales Aliaga por su orientación y apoyo constante para la ejecución de esta investigación de inclusiones fluidas.
- De igual manera mis agradecimientos a los ingenieros Edgar Chura Mamani, Edmundo Mamani Reyes, Erick Medina Luza, Katia Quispe Lipa, Roxana Medrano Pari y Adonái Pacompia Quispe, por su colaboración en la ejecución, formulación y edición de este trabajo.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. ANTECEDENTES.....	18
1.3. HIPOTESIS.....	19
1.4. OBJETIVOS	20
1.4.1. Objetivo general	20
1.4.2. Objetivos específicos	20
1.5. JUSTIFICACIÓN	20
1.6. MARCO GEOGRÁFICO	21
1.6.1. Ubicación y accesibilidad	21

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 PETROGRAFÍA	24
2.1.1. Clasificación petrográfica de las rocas metamórficas.....	24



2.1.2.	Sección delgada (SD).....	25
2.2	MINERAGRAFÍA.....	25
2.2.1.	Sección pulida (SP).....	26
2.3	MICROTERMOMETRÍA.....	27
2.3.1.	Definición de microtermometría.....	27
2.3.2.	Inclusión fluida.....	27
2.3.3.	Sección delgada doblemente pulida (SDP).....	28
2.3.4.	Aparición y distribución de las inclusiones fluidas.....	28
2.3.5.	Reglas de Roedder.....	29
2.3.6.	Morfología de las inclusiones fluidas.....	29
2.3.7.	Clasificación según su contenido.....	31
2.3.8.	Clasificación según su genética.....	34
2.3.9.	Sistemas de inclusiones fluidas.....	36
2.3.9.1.	Sistema H ₂ O.....	37
2.3.9.2.	Sistema H ₂ O – NaCl.....	38
2.3.9.3.	Sistema H ₂ O – sales.....	40
2.3.9.4.	Sistema H ₂ O – CO ₂	41
2.3.10.	Cálculo del % de CO ₂ y % mol CO ₂	44
2.3.11.	Temperatura de homogenización (T ^{°h}).....	46
2.3.12.	Principios básicos del análisis termométrico.....	47
2.3.13.	Decrepitación total o parcial.....	50
2.3.14.	Cálculo de la densidad.....	51
2.3.15.	Calculo de la presión y profundidad de la captura de inclusiones fluidas.....	52
2.3.16.	Microtermometría y su aplicación en la exploración de minerales.....	54



2.4	GEOLOGÍA REGIONAL.....	55
2.4.1.	Estratigrafía	55
2.4.1.1.	Paleozoico Inferior	55
2.4.2.	Depósitos cuaternarios (Gh-al)	57
2.4.3.	Rocas intrusivas	57
2.4.3.1.	Leucogranito de Utccuccacca (PTr-u/gr).....	58
2.5	GEOLOGIA LOCAL.....	60
2.5.1.	Alteraciones.....	62
2.5.2.	Brechamiento tectónico.....	63
2.5.3.	Geología estructural	63
2.5.4.	Geoquímica	66
2.5.4.1.	Muestreo en mantos /vetas (canal).....	66

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	68
3.1.1.	Recopilación y revisión de la información.....	68
3.1.2.	Primer trabajo de gabinete	68
3.1.3.	Trabajo de campo	68
3.1.4.	Etapas de laboratorio	70
3.1.5.	Gabinete	80
3.2	INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES.....	80
3.2.1.	Equipos, instrumentos y materiales utilizados en campo.....	80
3.2.2.	Materiales, equipos y aditivos utilizados en laboratorio.....	81
3.2.3.	Materiales y equipos utilizados en gabinete.....	82



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO LOCAL	83
4.1.1.	Estudio Petrográfico	85
4.1.1.1.	Pizarras	85
4.1.1.2.	Filitas	86
4.1.1.3.	Esquistos	90
4.1.1.4.	Cuarcitas	92
4.1.1.5.	Estructuras de cuarzo	93
4.1.2.	Estudio Minerográfico	96
4.2.	ESTUDIO DE MICROTERMOMETRIA EN INCLUSIONES FLUIDAS	109
4.2.1.	Petrografía en inclusiones fluidas y selección de campos	109
4.2.2.	Caracterización de las inclusiones fluidas	110
4.2.3.	Tipos de inclusiones fluidas identificadas	117
4.2.4.	Composición de los fluidos	117
4.2.5.	Temperatura de homogenización	121
4.2.6.	Estimación de presión y profundidad	121
4.3	INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN	122
4.3.1.	Micro termometría y Geoquímica	122
4.3.2.	Cuadro comparativo de resultados	122
4.3.3.	Microtermometría y geoquímica	125
4.3.4.	Clasificación del yacimiento según temperaturas versus salinidad	127
4.3.5.	Relación de temperatura, presión y profundidad en el yacimiento San Miguel de Untuca	128
V.	CONCLUSIONES.....	133



VI. RECOMENDACIONES	135
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136
ANEXOS.....	140

Área : Geología Regional

Tema : Inclusiones Fluidas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de diciembre de 2018



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Morfología de inclusiones fluidas.....	31
Figura 2. Clasificación de Nash (1976).....	33
Figura 3. Distribución de las inclusiones.	35
Figura 4. Diagrama de temperatura y densidad para el sistema H ₂ O.....	37
Figura 5. Cambios en el proceso de congelación de un sistema H ₂ O – NaCl.....	39
Figura 6. Diagrama de presión (P) y salinidad para el sistema H ₂ O – NaCl.	39
Figura 7. Evolución de una inclusión perteneciente al sistema H ₂ O – NaCl - CO ₂	42
Figura 8. Presión en función a la temperatura de homogenización y % moles CO ₂	43
Figura 9. Diagrama para la relacionar la temperatura de fusión y contenido de NaCl.	44
Figura 10. Ejemplo de cálculo de la densidad y contenido de CO ₂ (% wt) para una inclusión trifásica perteneciente al sistema H ₂ O-CO ₂	46
Figura 11. Temperatura de homogenización.	47
Figura 12. Diagrama de fases P-T del agua.....	48
Figura 13. Efecto Streching y leaking.	50
Figura 14. Isotermas del sistema H ₂ O-NaCl.....	53
Figura 15. Porfidoblastos de cuarzo y cizallamiento.	61
Figura 16. Budings de tamaños métricos a centimetricos de cuarzo metamórfico.	64
Figura 17. Brechamiento con grietas tensionales rellenas de cuarzo lechoso metamórfico en pizarra.	65
Figura 18. Muestreo en estructura mineralizada para estudio microtermometrico.	69



Figura 19. Muestra codifico para el estudio de inclusiones fluidas.	70
Figura 20. Muestra de una estructura Budding en cuarzo ahumado, emplazado en una filita.	71
Figura 21. Muestras de roca con su respectiva sección delgada y pulida.	72
Figura 22. Secciones doblemente pulidas para estudios de microtermometría.	72
Figura 23. Estudio mineragráfico con el microscopio Leica y toma de micrografías en el software LAS EZ.	73
Figura 24. Componentes del equipo de inclusiones fluidas LINKAM.	74
Figura 25. Instalación del equipo LINKAN.	75
Figura 26. Equipo en funcionamiento.	76
Figura 27. Desarrollo de las etapas de laboratorio.	79
Figura 28. Fotomicrografía de la muestra SMU-FCT-01.	85
Figura 29. Fotomicrografía de la muestra SMU-M2-04.	86
Figura 30. Fotomicrografía de la muestra RC-MLLP/CONSTANTINO.	87
Figura 31. Fotomicrografía de la muestra CAJA – M2 – 05.	88
Figura 32. Fotomicrografía de la muestra SMU-MLL-01.	89
Figura 33. Fotomicrografía de la muestra RC – 01.	90
Figura 34. Fotomicrografía de la muestra SMU – M9 – 02.	91
Figura 35. Fotomicrografía de la muestra CZ – SC.	92
Figura 36. Fotomicrografía de la muestra QZ– 01.	93
Figura 37. Fotomicrografía de la muestra CZ-SC.	94
Figura 38. Fotomicrografía de la muestra B-9.	95
Figura 39. Fotomicrografía de la muestra SMU – M2 – 05.	96
Figura 40. Fotomicrografía mineragráfica 1 de la muestra SMU – M2 – 04.	97
Figura 41. Fotomicrografía mineragráfica 2 de la muestra SMU – M2 – 04.	98



Figura 42. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra RC – 01.....	99
Figura 43. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra B-9.	100
Figura 44. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra B-52.	101
Figura 45. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra CAJA - M2 – 05.	102
Figura 46. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra SMU – FCT – 01.	103
Figura 47. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra B-16.	104
Figura 48. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra BX-01.	105
Figura 49. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra SMU-M7-01.	106
Figura 50. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra RC-MLL-CONSTANTINO.....	107
Figura 51. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra SMU-M9-02.	107
Figura 52. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra SMU-M2-05.	108
Figura 53. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra SMU-MLL-01.	109
Figura 54. Muestra SMU-MLL-01.....	110
Figura 55. Muestra SMU-M2-05.....	111
Figura 56. Muestra SMU-M7-02.....	112
Figura 57. Muestra SMU-M2-04.....	113
Figura 58. Muestra BX-01.....	114
Figura 59. Muestra RC-MLL-P.....	114
Figura 60. Evidencia de CO ₂ a temperaturas de -60°C.....	119
Figura 61. Inclusiones fluidas con componentes inmiscibles de CO ₂ en temperaturas menor a +1°.	120
Figura 62. Clasificación de yacimiento en base a principios de Willkinson (2001)...	127



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ubicación Geográfica del área de estudio.	23
Tabla 2. Cuadro de accesibilidad a la zona de estudio.....	23
Tabla 3. Características principales de las rocas metamórficas más comunes.	25
Tabla 4. Principales minerales opacos ordenados por clase, grupo y especie.	26
Tabla 5. Temperaturas del punto eutéctico para diferentes sistemas salino-acuosos.	40
Tabla 6. Resultado Del Análisis De Oro.....	67
Tabla 7. Formato para toma de datos del análisis de inclusión fluida.	80
Tabla 8. Base de datos microtermométricos	115
Tabla 9. Resultados de presión y profundidad.....	122
Tabla 10. Resumen de resultados petrográficos, mineragráficos y microtermométricos.	124



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Cz	: Cuarzo
Gh-al	: Deposito cuaternaria.
Goe	: Goethita
IF	: Inclusión fluida
INGEMMET	: Instituto geológico, Minero y Metalúrgico.
IR	: Irregular
Kg	: Kilogramos
Km	: Kilómetros
L	: Liquido
Mlta	: Melnicovita
Os-s	: Formación Sandia
OV	: Ovoide
P	: Presión
Po	: Pirrotita
PTr-u/gr	: Leucogranito de Utccuccacca
R	: Regular
SD	: Sección delgada
SD-a	: Formación Ananea



SDP	: Sección delgada doblemente pulida
SP	: Sección pulida
T	: Temperatura
T^{°f}	: Temperatura de fusión
T^{°h}	: Temperatura de homogenización.
TB	: Tabular
V	: Vapor
P	: Densidad



RESUMEN

El área de estudio se enmarca en el Yacimiento Minero San Miguel de Untuca, ubicado al sur de la Cordillera Oriental Peruana, en la Comunidad Campesina de Untuca, Distrito de Quiaca, Provincia de Sandia, Departamento de Puno. La presente tesis da a conocer las condiciones iniciales de los fluidos mineralizantes ocurridos en el yacimiento minero, según a los estudios previos se emplaza en rocas de la Formación Sandia del Paleozoico inferior; se caracteriza por el gran potencial de oro que oscilan entre 0.12g/t - 44.69g/t en forma de diseminado y como oro suelto ocurridos en cuarzo ahumado, motivo por el que se inició esta investigación de microtermometría en inclusiones fluidas. La metodología de la investigación consistió en un reconocimiento de campo seguido de un muestreo para inclusiones fluidas, se continuo con la preparación de 13 secciones delgadas y pulidas, y 6 secciones doblemente pulidas, seguido de un estudio de petromineralogía, luego se ha seleccionado los campos de inclusiones en cada sección doblemente pulida, continuando con el análisis microtermométricos y finalizando con la interpretación de resultados. En el estudio petrográfico se identificó pizarras, filitas y esquistos de textura lepidosblástica y granoblástica, asociados a cuarzo, muscovita, clorita, feldespatos y biotita. En el estudio de minerografía se identificó oro nativo en charpas y diseminado, pirrotita, pirita, calcopirita, melnicovita, goethita y galena. En el estudio microtermométrico se analizaron un total de 156 inclusiones fluidas de los cuales 93 tuvieron resultados óptimos, se caracterizó inclusiones pseudosecundarias (primer pulso) y secundarias (segundo fluido) en sistemas $H_2O-NaCl$ y H_2O-CO_2 , a este último sistema se relacionan las leyes más altas de oro; las temperaturas de captura oscilan entre 250-550°C, las densidades mínimas son de 0.72 g/cm³ relacionadas al sistema H_2O-CO_2 y las densidades máximas son de 1.08 g/cm³ en el sistema $H_2O-NaCl$, respecto a la salinidad se tiene una variación que oscila entre 0.01-36.75 % Wt NaCl eq en ambos sistemas, el contenido de CO_2 oscila en 6.79 a 38.71 % CO_2 (Wt en peso); sometidos a presiones de captura en un rango de 5 a 300 bares, la profundidad en condiciones hidrostáticas le correspondería 51m-3058m y en condiciones litostáticas de 19m.-1 133m.

Palabras clave: Inclusión fluida, temperatura, salinidad y presión.



ABSTRACT

The study area is part of the San Miguel de Untuca Mining Site, located south of the Peruvian Eastern Cordillera, in the Untuca Peasant Community, Quiaca District, Sandia Province, Puno Department. The present thesis discloses the initial conditions of the mineralizing fluids that occurred in the mining deposit, according to previous studies it is emplaced in rocks of the Sandia Formation of the Lower Paleozoic; is characterized by the great potential of gold that oscillate between 0.12g / t - 44.69g / t in the form of disseminated and as loose gold occurring in smoky quartz, reason for which this investigation of microthermometry in fluid inclusions was initiated. The methodology of the investigation consisted of a field survey followed by a sampling for fluid inclusions, continued with the preparation of 13 thin and polished sections, and 6 double-polished sections, followed by a petromineralogy study, then the fields were selected of inclusions in each double polished section, continuing with the microthermometric analysis and ending with the interpretation of results. In the petrographic study, slates, phyllites and schists with lepidosplastic and granoblastic texture were identified, associated with quartz, muscovite, chlorite, feldspars and biotite. In the study of mineragraphy, native gold was identified in charpas and disseminated, pirrotite, pyrite, chalcopyrite, melnicovite, goethite and galena. In the microthermometric study, a total of 156 fluid inclusions were analyzed, of which 93 had optimal results, characterized pseudosecondarias inclusions (first pulse) and secondaries (second fluid) in systems H₂O-NaCl and H₂O-CO₂, to this last system are related the highest gold laws; the capture temperatures range between 250-550 ° C, the minimum densities are 0.72 g / cm³ related to the H₂O-CO₂ system and the maximum densities are 1.08 g / cm³ in the H₂O-NaCl system, with respect to the salinity it has a variation that ranges between 0.01-36.75% Wt NaCl eq in both systems, the CO₂ content ranges from 6.79 to 38.71% CO₂ (Wt by weight); subjected to capture pressures in a range of 5 to 300 bar, the depth under hydrostatic conditions would correspond to 51m-3058m and in lithostatic conditions of 19m.-1 133m.

Keywords: Fluid Inclusion, temperature, salinity and pressure.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos de oro orogénico que se presentan en la Cordillera Oriental del Perú, se caracterizan por su alto potencial de oro, cuya mineralización se emplazan en vetas, vetillas y stockwork, diseminado en la roca huésped conformado por pizarras, filitas y esquistos bituminosos de la Formación Sandía, que datan de edades del Ordovícico que data los 400 m.a., del Paleozoico inferior; además de contar con más de tres sistemas de fallas; con leyes de oro que oscilan entre 0.12g/t-44.69g/t, estas características mencionadas han despertado un gran interés de investigación para determinar las condiciones en las que se formó dicho yacimiento.

Con el estudio de inclusiones fluidas se logró determinar las condiciones iniciales a las que fueron sometidos los fluidos mineralizantes, además de proporcionarnos la profundidad del yacimiento en base a la determinación de la salinidad y presión. Para una interpretación completa de inclusiones fluidas nos basamos en estudios previos de petrografía y minerografía. Mediante esta técnica de investigación se comprende las condiciones a las que fue expuesta la roca encajonante, aportando con esta información a entender mejor la evolución del yacimiento San Miguel de Untuca y determinar las temperaturas, presión y posible profundidad de los eventos asociados a la mineralización.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los yacimientos de oro orogénico se emplazan en rocas encajonantes que datan desde el ordovícico, con leyes muy altas de variedades de oro, en cuarzo y rocas bituminosas, rompiendo principios geológicos que sobre pasan el entendimiento de una paragénesis lógica, generando interrogantes sobre cuáles fueron las condiciones iniciales



en las que ocurrió la mineralización y a que se debe los mantos mineralizados, además existe escasas investigaciones en las que se plantea un modelo geológico que indique características propias de un yacimiento de oro orogénico; estos aspectos mencionados generan la necesidad de investigar y aportar a la geo-ciencia en conocimientos de yacimientos de oro orogénico; por ello se realizó el estudio de microtermometría en inclusiones fluidas del yacimiento minero San Miguel de Untuca.

Además, la falta de información que indique las zonas de alta temperatura, para tener un mayor grado de confiabilidad al momento de indicar fiders de mineralización, y que nos permita conocer la continuidad de galerías y la orientación de las exploraciones, nos llevó a realizar este estudio.

En el aspecto socioeconómico, el historial de los precios del oro nos muestra un aumento paulatino de la onza de oro como parte de una recuperación continua con precios que sobrepasan los \$1000 la onza troy. Según las bolsas de valores. Motivo por el que se orientan nuevas exploraciones de yacimientos de oro en el mundo.

1.2. ANTECEDENTES

Gonzales *et al.* (2014) realizo un estudio de caracterización y análisis microscópico en pizarras negras y filitas de estructura foliada pizarrosa y de textura granolepidoblastica constituida por minerales de cuarzo, moscovita y clorita asociado a montmorillonita, cuyas rocas son atravesadas por venillas de feldespatos de origen metamórfico que se encuentran asociados a cuarzo. En el artículo de caracterización estructural y deformacionales en los mantos auríferos de San Miguel de Untuca, se describe los fallamientos principales con orientaciones NE-SO que como consecuencia evidencian tres fases de deformación dúctil en la Formación Ananea (F1, F2 y F3), donde (F1) produjo fábricas de tipo planar, lineaciones de mineral y bandeo tectónico, (F2)



produjo cizallamientos en algunos niveles favorables a pizarras y filitas con la consiguiente generación de porfidoblastos tipo sigma de cuarzo, y la tercera fase (F3) marca el plegamiento junto a la generación de buding de cuarzo paralelo al eje del pliegue, Gonzales *et al* (2012). También se realizó el informe geoeconómico presentado por Calcina y Gonzales (2012) en el que indica que los minerales auríferos en charpas están asociados al cuarzo ahumado y el oro diseminado se encuentra en la pirita y pirrotita; llegando a una hipótesis en el cual la ocurrencia del oro está asociado a mineralización hidrotermal y estructural.

Respecto a la descripción geológica se tiene el trabajo de Chávez *et al* (1996) en el que menciona a la Formación Sandia constituida por una secuencia detrítica de cuarcitas entrelazados con niveles de pizarras negras, que cabalga sobre la Formación Ananea que consta de pizarras negras en paquetes de 10 a 80cm de espesor intercalados con bancos delgados masivos de areniscas de grano fino, cuya unidad fue afectada por un metamorfismo regional leve de tipo epizonal; además según su descripción microscópica, se tiene porfidoblastos de cuarzo producido durante la foliación.

Bonnemaison *et al.* (1983) menciona el potencial de oro en San Miguel de Untuca, los mismos que ocurren en mantos lenticulares emplazados en pizarras y filitas. Miranda *et al* (1980) realizó un estudio mineragráfico de la Mina Rinconada, en el cual menciona la ocurrencia de minerales de sulfuros de cobre, fierro y plomo; los mismos que se manifiesta en San Miguel de Untuca.

1.3. HIPOTESIS

A partir de los estudios de microtermometría en inclusiones fluidas, se determinará la temperatura de formación del oro, salinidad, densidad, presión y



profundidad del yacimiento, información con el que se va determinar las condiciones iniciales del fluido mineralizante.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Determinar la temperatura, presión y profundidad de los fluidos hidrotermales acontecidos en el yacimiento minero de Untuca, mediante el estudio de inclusiones fluidas, basadas en estudios previos de minerografía y petrografía.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar el reconocimiento geológico local del yacimiento minero San Miguel de Untuca.
- Realizar el estudio de microtermométricos en inclusiones fluidas del yacimiento minero San Miguel de Untuca.

1.5. JUSTIFICACIÓN

El yacimiento San Miguel de Untuca cuenta con una interesante historia geológica; constituida por pizarras bituminosas, filitas, esquistos y cuarcitas; además de presentar sistemas de deformación dúctil y frágil que se manifiestan en pliegues, fallas inversas y brechamientos, además de presentar tres variedades de cuarzo; estas características geológicas mencionadas emplazan leyes de 1g/t a 70 g/t tm de oro; en vista de este gran potencial minero y falta de conocimiento de su paragénesis, nos encontramos con la oportunidad de investigar microscópicamente y microtermométricamente las inclusiones fluidas, que aporten en el incremento de



conocimiento para una valiosa información e interpretación acertada sobre su evolución y condiciones en las que se dio la mineralización.

1.6. MARCO GEOGRÁFICO

1.6.1. Ubicación y accesibilidad

El Yacimiento San Miguel de Untuca se ubica en la Cordillera Real del Sur de los Andes Peruanos, a una altitud mínima de 4,200 m.s.n.m. y máxima de 5,150 m.s.n.m., geopolíticamente está ubicada en la Comunidad Campesina de Untuca, Distrito de Quiaca, Provincia de Sandia, Departamento de Puno (Ver Lamina 1).

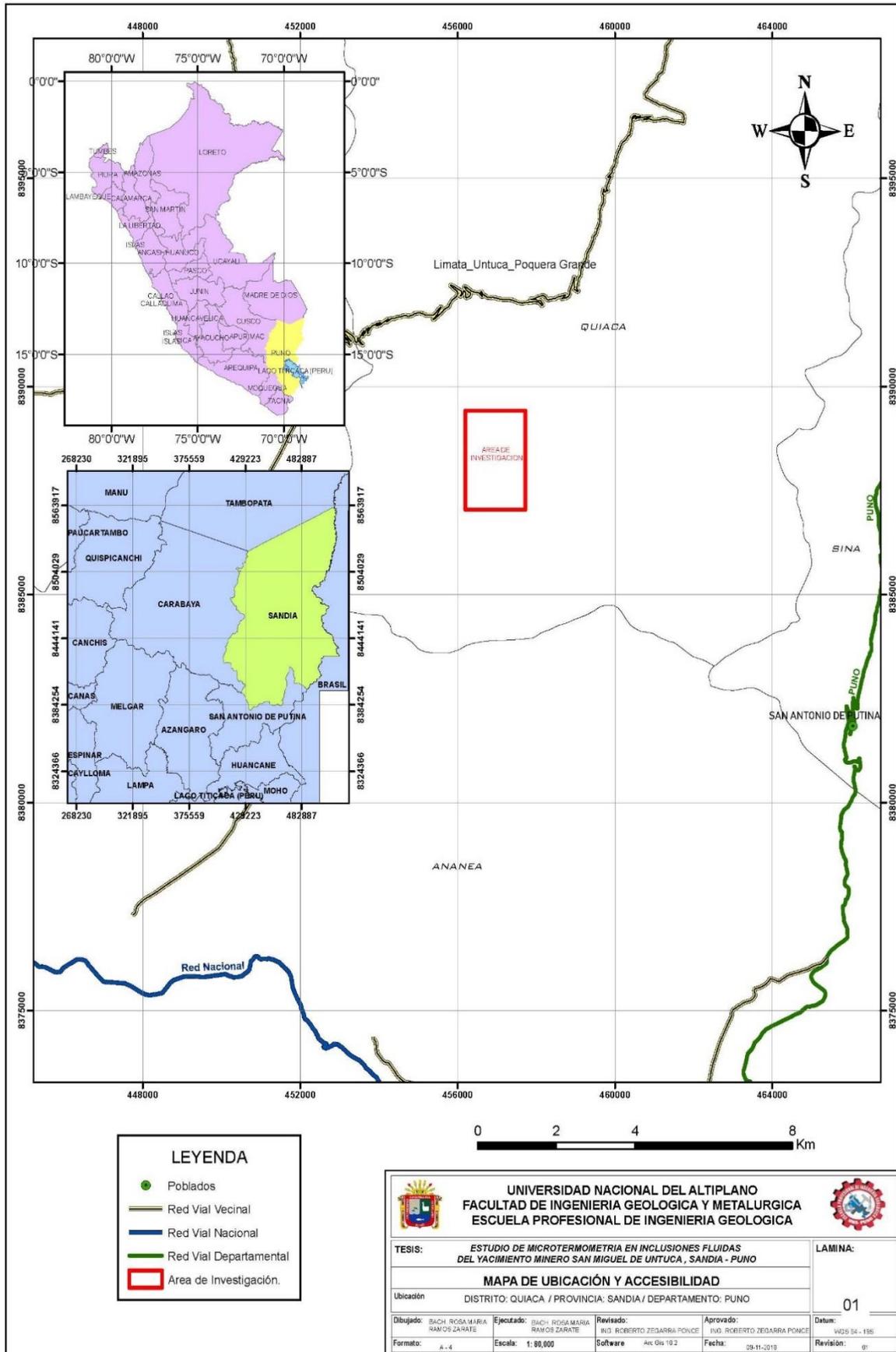




Tabla 1. Ubicación Geográfica del área de estudio.

VERTICES	COORDENADAS UTM		ÁREA Km ²
	Norte	Este	
1	8 388 598	457 572	2.286 991
2	8 387 060	456 572	
3	8 387 060	456 133	
4	8 388 598	456 133	

DATUM: WGS84.

El acceso al área de investigación se realiza vía terrestre; considerando como punto de partida la ciudad de Puno, se toma la vía asfaltada hacia Juliaca, de Juliaca se toma la vía Huancané - Ananea. De Ananea se continua hacia el noreste por la vía afirmada hasta Untuca, una vez llegado a Untuca se parte hacia la zona de investigación por trocha carrózable, este trayecto dura 6 horas en camioneta 4x4

Tabla 2. Cuadro de accesibilidad a la zona de estudio.

N ^o	Rutas	Distancia (Km)	Velocidad Promedio (Km/h)	Tiempo Promedio (Hrs)	Condición
1	Puno - Juliaca	44.00	60.00	0:45	Asfaltada
2	Juliaca - Ananea	142.00	60.00	3:00	Asfaltada
3	Ananea-Untuca	42.63	60.00	2:00	Afirmada
4	Untuca- Mina	1.5	60.00	0.15	Trocha
	TOTAL	230:13		6:00	



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 PETROGRAFÍA

Ciencia que compone a la geología, estudia el origen, evolución y composición de las rocas, usando el método descriptivo, el estudio petrográfico implica una serie de observaciones rigurosas, cuyo resultado se expone ordenadamente, comprendiendo habitualmente cuatro aspectos fundamentales como composición mineralógica, textura, clasificación y observación; los tres primeros deben contener, en síntesis, las informaciones objetivas esenciales para la correcta definición de la roca (Castroviejo, 1998).

2.1.1. Clasificación petrográfica de las rocas metamórficas

Estas clasificaciones se basan principalmente en características texturales, estructurales y composicionales. Atendiendo a estas características se clasifican en dos grandes grupos: rocas foliadas o esquistosas (filitas, esquistos, gneises y anfibolitas) y rocas no foliadas o masivas (corneanas, granulitas, cuarcitas, mármoles y eclogitas).

Tabla 3. Características principales de las rocas metamórficas más comunes.

ROCA	TAMAÑO DE GRANO	RASGOS COMPOSIC.	ESTRUCTURAS Y MICROESTR.	TEXTURA	METAMORFISMO
FILITA	afanítica	sericita (Q) (Cl),(Bi)	esquistosidad	lepidoblást.	regional bajo grado
ESQUISTO	fanerítica	menos de 20% de fk	Esquisto. Y band. Compos	lepidoblást. Granolepid.	regional, bajo y medio
ESQUISTO NODULOSO	fanerítica	= esquistos + cord, and	Esquistos. Y nódulos meta.	lepidoblást. Granolepid.	contacto bajo grado
CORNEANA	afanítica a fanerítica	composición variada	Masiva o band. Isótropa	lepidoblást. Granolepid.	contacto gr. medio y alto
GNEIS	fanerítica	más de 20% de fk	Band. Esquist. Fol. Metam.	granoblást	regional gr. Medio y alto
ANFIBOLITA	fanerítica	anfíbol	Band. O masi. Esquis. Lin.	granoblást. Granonemat	regional gr. Bajo y medio
GRANULITA	fanerítica	minerales anhidros	Masiva o band. Isótropa	nematoblást.	Regional grado alto.
CUARCITA	fanerítica	cuarzo	masiva (isótropa)	granoblást.	regional (contacto)
MARMOL	fanerítica	calcita dolomita	Mas. O band. Isótropa	granoblást.	regional (contacto)
ECLOGITA	fanerítica	onfacita granate	Mas. O band. Isótropa	granoblást.	regional alto grado

FUENTE: Castro (1989).

2.1.2. Sección delgada (SD)

Está definida como una lámina delgada de 30 micras de espesor que se elabora a partir de la muestra de roca natural, es usado para el estudio petrográfico, sirve para determinar la mineralogía alteraciones y la composición de la muestra.

2.2 MINERAGRAFÍA

Es una herramienta que estudia la identificación de diferentes especies minerales metálicos asociados a la mineralización, y ayuda a determinar la relación mutua de la evolución en el tiempo y espacio. Los minerales opacos son estudiados bajo la luz reflejada, debido a su propiedad de absorber la luz, por lo que es imposible estudiarla bajo luz transmitida (Picot, 1982).

Tabla 4. Principales minerales opacos ordenados por clase, grupo y especie.

Clase	Grupo	Especie	Abrev.	Clase	Grupo	Especie	Abrev.
Ens		Oro	Au			Pearcita	prc
		Plata	Ag		PGRs	Polibasita	plb
		Cobre	Cu			Proustita	pro
		Arsénico	As		PRJs	Pirargirita	pgt
		Antimonio	Sb			Tetraedrita	tet
		Bismuto	Bi	SFSs	CGRs	Tennantita	ten
		Grafito	gf			Bournonita	bnn
		Argentita	arg			Boulangerita	blg
		Calcosita	cc		SFSsPb	Jarmesonita	jm
		Digenita	dg			Enargira	en
		Bornita	bn			Luzonita	luz
		Calcopirita	cp			Cuprita	cup
		Galena	gn			Tenorita	tn
		Escalerita	ef			Magnetita	mt
SULs		Pirrotita	po			Hermatina	hm
		Pentlandita	pnt	Oxs		Ilmenita	il
		Covelita	cv			Rutilo	rt
		Rejalgar	rj			Pirulosita	prl
		Oropimente	orp			Casiterita	cst
		Estibnita	stb			Cromita	crm
		Bismutinita	brnt	WFTs		Wolframita	wfm
		Pirita	py				
		Bravoita	bv				
		Marcasita	mc				
	Arsenopirita	apy					
	Molibdenita	mb					

Abreviaturas

ENs = Elemento nativo

PGRs = Platas grises

SULs = Sulfuros

PRJs = Platas rojas

SFSs = Sulfosales

CGRs = Cobres grises

Oxs = Óxidos

SFSsPb = Sulfosales de plomo

WFTs = Wolframatos

FUENTE: INGEMMET - Boletín N°1, Serie (2010).

2.2.1. Sección pulida (SP)

Es una briqueta pulida que se prepara a partir de una muestra de roca, la sección pulida sirve para el estudio minerográfico en la que se puede determinar la mineralogía, paragénesis, conteo de granos y composición de la muestra en minerales opacos.



2.3 MICROTERMOMETRÍA

2.3.1. Definición de microtermometría

Es definida como una técnica analítica, basada en los análisis petrográficos preliminares, en el cual se identifica las inclusiones fluidas y luego estudiada en una platina de calentamiento. Los resultados contribuyen a la caracterización de varios procesos naturales que ocurren en la corteza terrestre. Es de múltiples aplicaciones en la geología, como en la exploración minera y en la investigación geocientífica (Salazar, XVIII Congreso peruano de geología).

2.3.2. Inclusión fluida

Las inclusiones fluidas son cantidades pequeñas de fluidos atrapados en cristales durante su crecimiento o bien introducen a lo largo de microfracturas y clivajes después de la cristalización del mineral que los contiene. Los fluidos guardan relación con los procesos hidrotermales magmáticos que han ocurrido en dicho depósito de minerales. (Shepherd, 1985). Gracias a estas evidencias, se supone que las inclusiones fluidas han conservado las propiedades químicas y físicas de las soluciones originales, y se les considera como muestras directas de las fases volátiles.

Los métodos de estudio de las inclusiones fluidas deben comenzar siempre con un detallado y cuidadoso trabajo petrográfico, integrado en otros estudios de campo y con investigaciones más sofisticadas de tipo geoquímico. Básicamente el estudio microtermométrico de las inclusiones fluidas proporciona información sobre las condiciones de temperatura, presión y densidad en el momento de la precipitación o en etapas posteriores y sobre la composición y origen de los fluidos involucrados en estos procesos.



2.3.3. Sección delgada doblemente pulida (SDP)

Es una lámina delgada doblemente pulida a 100 micras de espesor que se prepara a partir de una muestra de roca que tenga las características de minerales transparentes tales como cuarzo, fluorita, calcita, etc. Es preparada para determinar la presencia de inclusiones fluidas.

2.3.4. Aparición y distribución de las inclusiones fluidas

Teniendo en cuenta lo extraordinariamente diminutas que son la mayoría de las inclusiones, casi siempre por debajo de las 50 μm , su reconocimiento debe realizarse con la ayuda de un microscopio petrográfico, bajo luz transmitida y con fuertes aumentos. En un estudio rutinario es aconsejable comenzar con aumentos medios (x10, x20, x40, que ofrecen aproximadamente 100, 200 y 400 aumentos, respectivamente, usando oculares de 10x) y luz polarizada, retirando las lentes del condensador situadas debajo de la platina, para mejorar el contraste y visualizarlas mejor. Lógicamente, se excluyen del estudio aquellas inclusiones que son tan pequeñas que no dejen apreciar su naturaleza ni los cambios que ocurren en su interior. También suelen ser desestimadas aquellas demasiado grandes que terminan abriéndose y destruyéndose durante la manipulación microtermométrica o durante los procesos de confección de las láminas. Si bien casi todos los minerales presentan numerosas inclusiones fluidas, sólo podemos observarlas con facilidad en aquellos minerales suficientemente transparentes. Los minerales más frecuentes en los que es fácil encontrar inclusiones fluidas son los siguientes: cuarzo, fluorita, carbonatos (Calcita, Dolomita, Ankerita, Siderita) barita, celestita, esfalerita, halita, apatito, topacio, casiterita. De todos ellos, la inmensa mayoría de los estudios se han centrado en el cuarzo. Esto se explica por la enorme ubicuidad del cuarzo en la mayoría de los depósitos y por sus características de completa transparencia y gran



estanqueidad. En estos casos, cuando realizamos la búsqueda de las inclusiones bajo el microscopio, es relativamente fácil observar la presencia de cientos e incluso miles de diminutas cavidades secundarias rellenas de líquidos. Algunos autores han estimado su abundancia en millones por centímetro cúbico, lo que viene a suponer más del 0.1% del volumen total. Por lo general suelen aparecer agrupadas, frecuentemente en planos, superficies ligeramente alabeadas o en zonas delimitadas por el crecimiento, en cualquier caso con fuerte control cristalográfico y/o genético. La cuestión de cómo aparecen distribuidas las inclusiones en el interior de los cristales juega un papel muy importante, ya que como veremos, supone uno de los criterios de clasificación genética más fiables (Velasco, 2004).

2.3.5. Reglas de Roedder

La obtención de información válida relativa a las condiciones de atrapamiento originales para las inclusiones de fluidos se basa en tres supuestos, que se refiere como "Reglas de Roedder".

1. La inclusión es atrapada una sola fase, homogénea.
2. Nada se añade a, o se retira de la inclusión durante el atrapamiento.
3. El volumen se mantiene constante durante el atrapamiento de la inclusión, es decir, representa un sistema isocora.

2.3.6. Morfología de las inclusiones fluidas

Si observamos un conjunto de inclusiones y nos fijamos en su aspecto, notaremos la existencia de una gran variedad de formas, gradando desde las completamente irregulares, hasta las totalmente automorfas, controladas por la estructura cristalina del



mineral. No obstante, podemos ensayar una clasificación morfológica, atendiendo exclusivamente a la regularidad de las paredes de las inclusiones (Figura 1):

- a) **irregulares (IR).** Esta categoría recoge a todas las inclusiones de formas aplastadas con bordes lobulados, esqueléticas, etc., cuyos planos externos no parecen reflejar los rasgos estructurales del mineral encajante. Suelen encontrarse alojadas en las superficies de exfoliación y en las microfisuras que cruzan los cristales.
- b) **regulares (R).** Cuando los bordes de la inclusión muestran superficies planas que pueden estar relacionadas con la estructura del cristal o bien son paralelas a las caras cristalinas o direcciones de exfoliación. Este mimetismo puede llegar a copiar tan perfectamente la forma del encajante que la inclusión adopta la forma de un diminuto cristal negativo. Entre este extremo y las formas totalmente irregulares podemos encontrar todos los grados.
- c) **ovoides (OV).** Presentan tendencia a formas esferoidales u ovoides, con bordes siempre redondeados y en algunos casos con extremos de gancho o de huso.
- d) **tabulares/prismáticas (TB).** En ellas domina el carácter alargado con los extremos más o menos redondeados. Suelen encontrarse en los minerales de desarrollo prismático y pueden considerarse como una variante extrema del tipo ovoide, previamente considerado, o bien una morfología regular próxima a los cristales negativos.

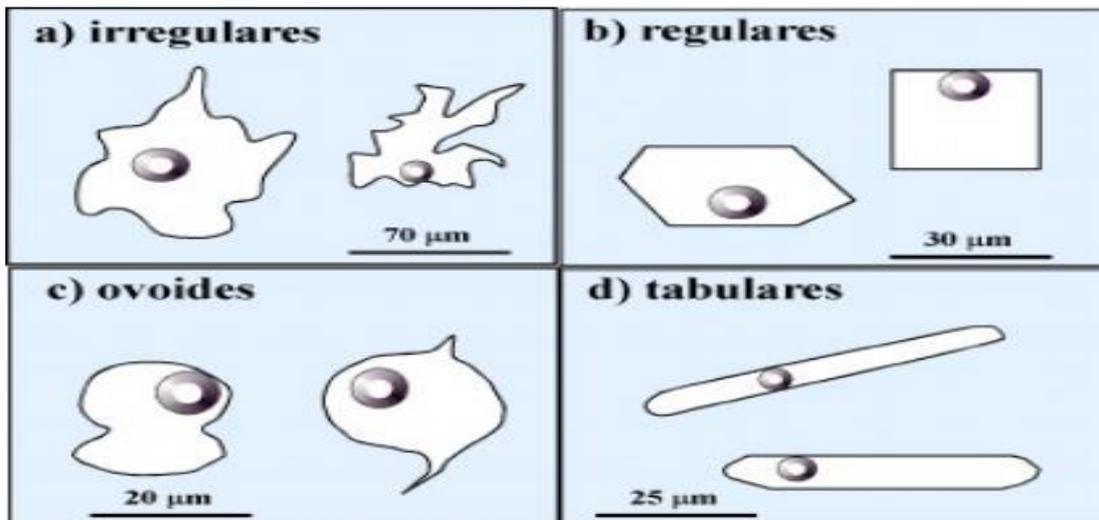


Figura 1. Morfología de inclusiones fluidas.

FUENTE: Velasco, 2004.

2.3.7. Clasificación según su contenido

Según la naturaleza de los contenidos de las inclusiones, encontraremos gases, líquidos y sólidos en diferentes proporciones. Desde este punto de vista podemos clasificarlas en:

- a) Monofásicas
b) Bifásicas
c) Trifásicas
d) Polifásicas

a) Monofásicas. Existen las formadas completamente por líquido (L), gas (V) o sólidos (S o inclusiones minerales). Entre las fluidas las más frecuentes son las rellenas de líquidos acuosos, en general formadas a muy baja temperatura. Las completamente rellenas de gas son mucho más raras (e.g., las que aparecen en ambientes en los que se ha producido la ebullición de las soluciones acuosas), aunque pueden aparecer en ambientes volcánicos, sedimentarios y metamórficos en los que han circulado soluciones extremadamente ricas en CO₂, CH₄, etc. Los fluidos suelen contener como solutos otras sustancias entre las que encontramos Na⁺, SO₄, Cl⁻, CO₃, PO₄, HCO₃⁻, H₄SiO₄, y otros cationes (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Li⁺, Al³⁺, etc).



- b) Bifásicas.** Presentan sólo dos fases, siendo más frecuentes las que tienen vapor y líquido. No obstante, tendríamos que considerar varios subtipos:
- Ricas en líquido (L + V). En estas podemos encontrar volúmenes variables de gas según la temperatura de formación. En ocasiones las diminutas esferas de gas, al ser activadas por el paso de la luz, se mueven en el interior del líquido de la inclusión, chocando con las paredes y rebotando en una agitación "browniana".
 - Ricas en gases (V + L). Presentan un volumen de vapor superior al del líquido que queda restringido a menos de la mitad del volumen. Son frecuentes en ambientes de ebullición.
- c) Trifásicas.** Cuando aparecen más de dos fases el esquema de clasificación se complica, ya que unas veces son predominantemente líquidas, otras gaseosas con líquidos inmiscibles o baja proporción de sólidos (L + L' + V) o (L + V + S), mientras que en otras son muy abundantes los sólidos (S + L ± V). Las más típicas son las carbónicas, con dos fases líquidas LH₂O y LCO₂ u una vapor (V CO₂).
- d) Poli- o multifásicas.** Las inclusiones más complejas las tenemos cuando aparecen varios tipos de sólidos ("daughter minerals") junto con el líquido o líquidos inmiscibles y la burbuja de gas. Entre los sólidos más frecuentes tenemos halita, silvita, anhidrita, hematites, cuarzo, sulfuros de hierro, dawsonita (NaAlCO₃(OH)₂), etc., mientras que los líquidos inmiscibles que aparecen con mayor frecuencia son: fase acuosa junto con líquido CO₂ con presencia de ± CH₄, ± N₂, y/o ± H₂S.

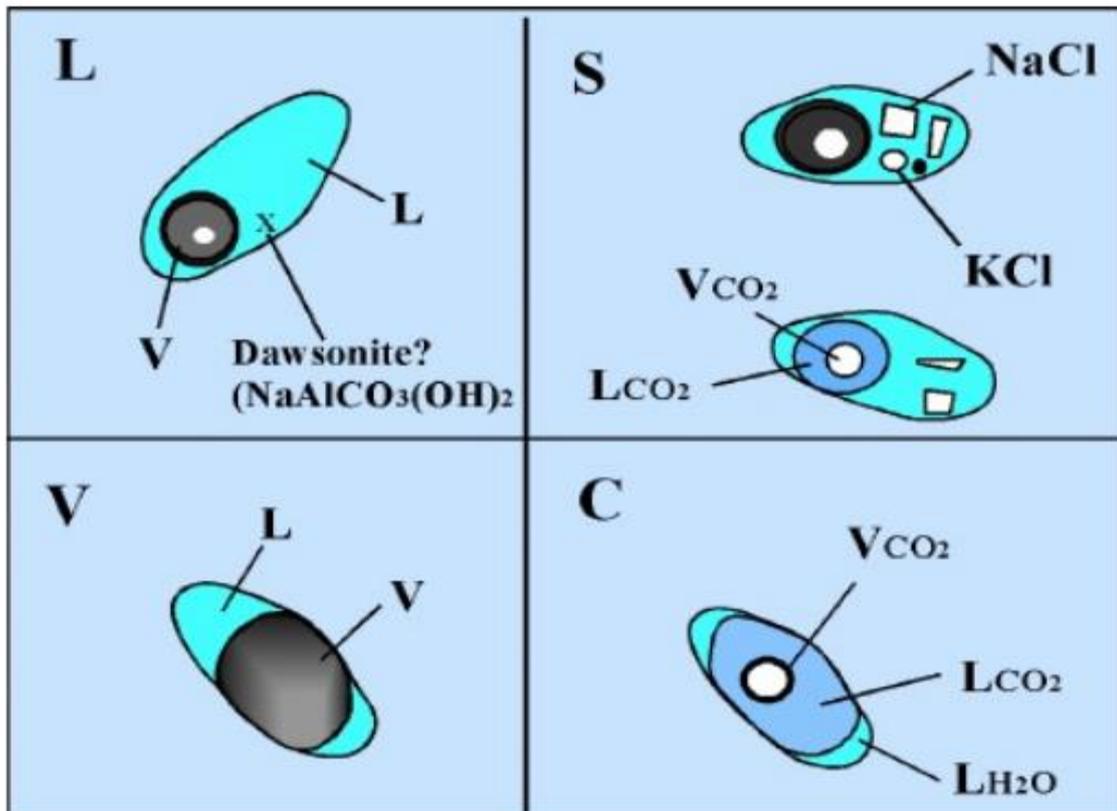


Figura 2. Clasificación de Nash (1976).

Según estos criterios que atienden a la composición se han propuesto varios tipos de clasificaciones. De todas ellas la más conocida es la de Nash (1976) que se reproduce en la Fig. 2 y que distingue cuatro tipos de inclusiones:

Tipo L de moderada salinidad, con dos fases: una líquida (agua) y otra gaseosa (vapor de agua) con diferente volumen según la temperatura de atrape.

Tipo V ricas en gas (normalmente vapor de agua representando más del 60% de la inclusión); como se ha comentado previamente suelen interpretarse como buenos indicadores de la existencia de ebullición, especialmente cuando se encuentran coexistiendo con las de tipo L. Aunque sean predominantemente acuosas, pueden contener algo de CO_2 .



Tipo S muy salinas, conteniendo pequeños cristales de halita de hábito cúbico y en ocasiones de silvita, anhidrita, hematites, etc.

Tipo C ricas en CO₂, con una relación CO₂/H₂O variable pero casi siempre comprendida entre 3 y 30% del volumen, según se acerquen a los tipos anteriores.

2.3.8. Clasificación según su genética

Todas las inclusiones formadas durante las etapas de crecimiento de un cristal deben ser consideradas como primarias. Estas contienen información relativa a los procesos genéticos formadores de minerales, y por tanto son las que suscitan mayor interés en cualquier estudio metalogénico, ya que se trata de fracciones de solución hidrotermal incorporada o atrapada por el cristal. Por otro lado, todas aquellas inclusiones que se encuentran en el interior de los cristales, pero que se han formado por mecanismos posteriores a la cristalización vamos a considerarlas como secundarias. Estas últimas se forman tras la apertura y circulación de soluciones por microfisuras desarrolladas por esfuerzo o térmicamente, y ocupadas por fluidos completamente distintos a los originales.

Criterios para un origen primario

1. Distribución de las inclusiones paralelamente a las caras de crecimiento, siguiendo una distribución zonada o aonada típica, esta zonación puede ponerse de manifiesto, no sólo contemplando las caras finales del cristal, sino por medio de la observación de variaciones composicionales en el cristal, cambios de coloración o ayudándose por medio de la catodoluminiscencia.

2. Pequeños grupos de inclusiones con distribución al azar en las tres direcciones espaciales. Este criterio no es del todo seguro cuando el cristal presenta abundantes inclusiones secundarias entrecruzadas.
3. Presencia de inclusiones aisladas, claramente separadas entre sí. Entre inclusión e inclusión debería de haber una distancia mayor de cinco veces el diámetro medio de las inclusiones.
4. Tamaño relativamente grande respecto a los tamaños que exhiben las inclusiones de claro origen secundario.

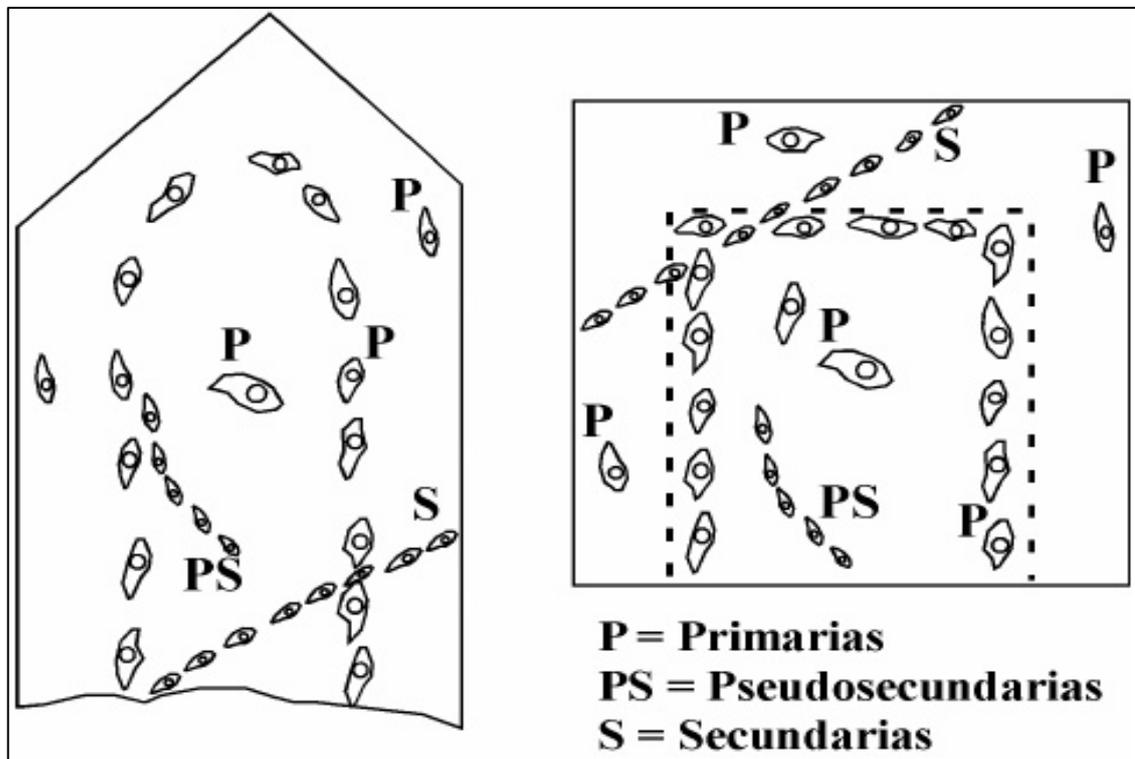


Figura 3. Distribución de las inclusiones.

FUENTE: Roedder, 1984.

Criterios para un origen secundario

1. Grupos muy numerosos, con una disposición planar claramente referible a unamicro fisura que corta los bordes del cristal o superficies de



exfoliación. Pueden encontrarse varias generaciones superpuestas en el tiempo.

2. Morfologías irregulares con hábitos ovoides de tamaños muy variables, pero en general muy pequeñas. Morfologías y distribuciones claramente referibles a "neching down" (grados de relleno muy distintos en inclusiones adyacentes).

Criterios para distinguir las pseudosecundarias

Formas irregulares alojadas en fracturas que se pierden antes de que termine el crecimiento sonado del cristal (antes de llegar al borde). Aparecen casi siempre como cristales negativos de tamaños similares.

Además de estos criterios, en la práctica se suelen seguir otras guías, como son la presencia de composiciones características correspondientes a tipos concretos de inclusiones, aspectos de tipo morfológico (ovoides y xenomorfas suelen ser secundarias, mientras que las limitadas por caras suelen ser primarias), criterios estadísticos (dos poblaciones suelen indicar la existencia de primarias y secundarias), etc. Una vez que se ha estudiado una extensa población de inclusiones, se pueden procesar los datos y deducir diferentes tipos a los que se les asigna un origen primario o secundario, después de una cuidadosa discusión que tenga en cuenta las temperaturas de homogenización, salinidad, morfología, distribución, etc.

2.3.9. Sistemas de inclusiones fluidas

Para comprender mejor estos problemas hay que estar familiarizado con la Regla de las Fases de Gibbs. Por ejemplo, si tenemos en la inclusión fluida (IF) un sistema de un solo componente y observamos tres fases coexistiendo en equilibrio (e.g., un sistema

acuoso con hielo, agua y vapor de agua). De cualquier manera, la complejidad y dificultad de interpretación de estos problemas la va a mostrar el estudio individualizado de los sistemas más importantes (e.g., H_2O , $H_2O-NaCl$, CO_2 , H_2O-CO_2 , etc.) que resume a continuación:

2.3.9.1. Sistema H_2O

Parece obligado empezar por el estudio del sistema H_2O que es, de entre los sistemas con un único componente, el más frecuente y conocido. Considerando presiones inferiores a las 2,000 atm y temperaturas no excesivamente bajas, podemos encontrar una, dos o tres fases en equilibrio como hielo ordinario, agua líquida y vapor. Sin embargo, a presiones muy elevadas, el hielo presenta varias estructuras muy compactas, con densidades más elevadas que el agua. La parte del sistema que más interesa en geología es la de bajas presiones y temperaturas, correspondientes al ambiente hidrotermal.

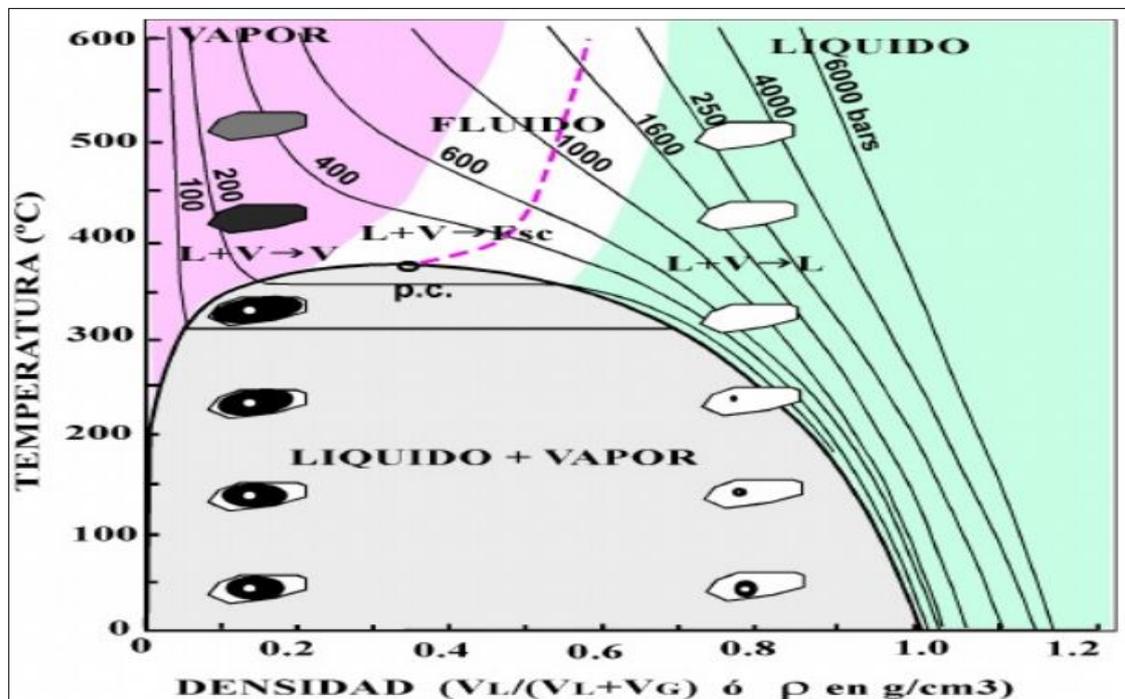


Figura 4. Diagrama de temperatura y densidad para el sistema H_2O .

FUENTE: Velasco, 2004



2.3.9.2. Sistema H₂O – NaCl

En este sistema binario con un punto eutéctico se pueden formar varias fases sólidas: hielo, hidrohalita (NaCl.2H₂O) y halita. El rango más frecuente de los fluidos naturales, fundamentalmente acuosos, se puede establecer entre los 0% y 60% Wt. NaCl. En este sistema tenemos un punto eutéctico a temperatura de -20.8°C (Te), por debajo de la cual coexistirán hielo e hidrohalita. Para conocer la composición de estos sistemas es imprescindible disponer de buenas medidas de temperatura de fusión de los sólidos, lo que implica que observemos lo que pasa en la inclusión una vez congelada. El típico proceso de calentamiento de una inclusión acuosa salina nos proporciona características como el aumento "instantáneo" de la transparencia en la parte congelada marca claramente el comienzo de la fusión del hielo. Posteriormente va decreciendo paulatinamente la proporción de hielo que finalmente funde a una temperatura concreta que se toma como temperatura de fin de fusión o temperatura de melting; en el ejemplo que se muestra en la figura presentada se muestra una temperatura de -3.5°C el cual tiene lugar la desaparición del último cristal de hielo. Los cristales de hielo adquieren formas redondeadas, caracterizadas por su bajo índice con relieve negativo. El proceso de recristalización conduce a la formación de unos pocos cristales de mayor tamaño y tendencia a la isometrización (de acuerdo con el principio de Curie para minimizar la energía). Es importante comprobar que lo que acaba de fundir es hielo (grandes cristales transparentes, redondeados y de bajo índice), ya que en caso contrario habría fundido hidrohalita (pequeños cristales poco visibles) y estaríamos en un sistema fuertemente salino.

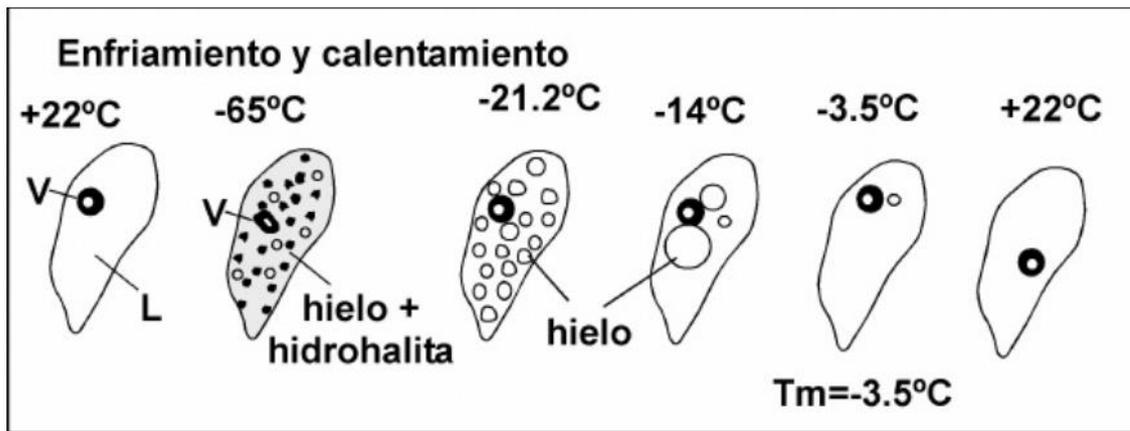


Figura 5. Cambios en el proceso de congelación de un sistema H₂O – NaCl.

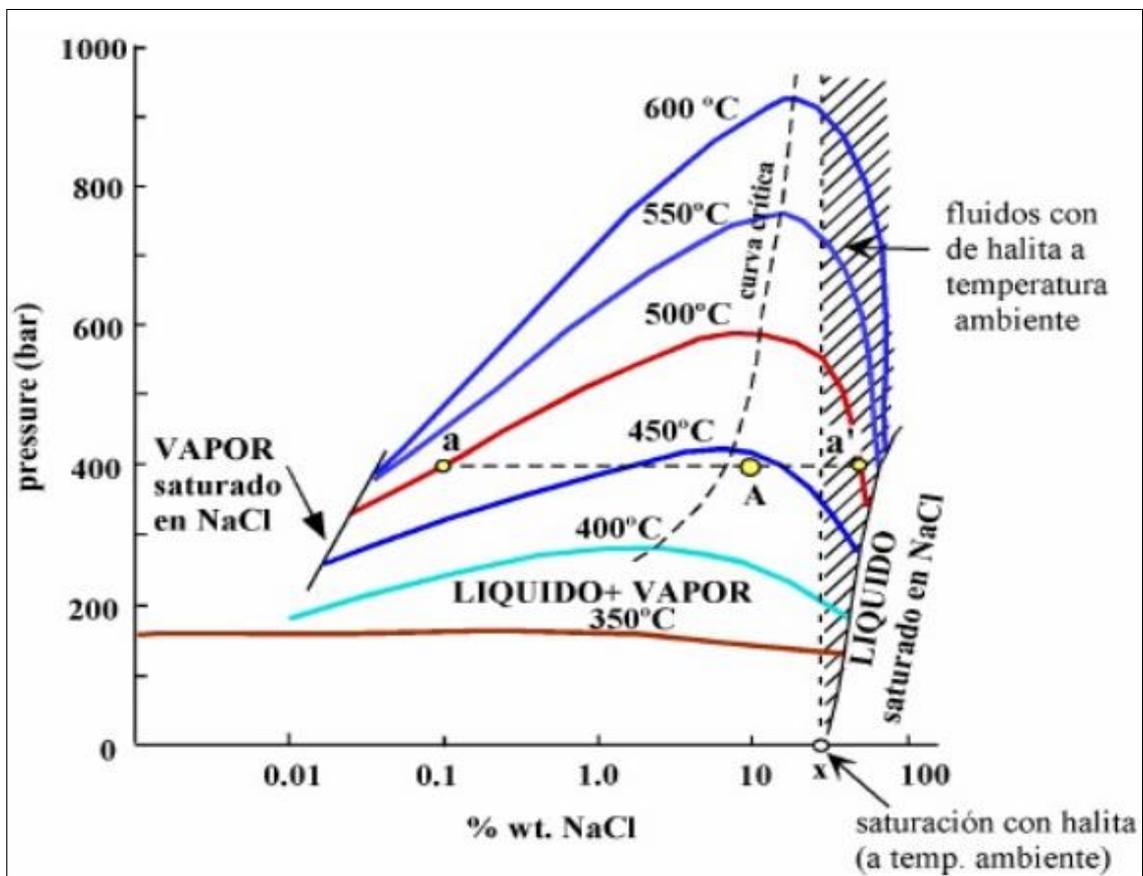


Figura 6. Diagrama de presión (P) y salinidad para el sistema H₂O – NaCl.

FUENTE: Modificado de Shepherd *et al*, 1985.

2.3.9.3. Sistema H₂O – sales

En general la presencia de sales en el sistema H₂O hace descender el punto de congelación, siendo su disminución proporcional al porcentaje de sales disueltas. Pero no todas las sales hacen descender el punto de congelación en la misma medida. La Figura 1.15 muestra gráficamente el efecto de "depresión" en el punto de congelación de las soluciones en función de las distintas proporciones de las sales más frecuentes (NaCl, CaCl₂, MgCl₂, KCl). Consiguientemente, la existencia en una solución acuosa de varias sales en distintas proporciones, hace difícil de estimar los tipos de sales implicadas y sus proporciones. En estos casos y de manera convencional se utiliza una estimación de la salinidad, expresada en "equivalentes de NaCl", ya que esta sal es por lo general la más abundante y se comporta de forma intermedia entre las que cambian poco y las que cambian mucho el punto de congelación.

Tabla 5. Temperaturas del punto eutéctico para diferentes sistemas salino-acuosos.

Sistema salino	Tem. Eutéctico (°C)	Fases solidas
H ₂ O-NaCl-CaCl ₂	-55 (-52)	Hielo+NaCl.2H ₂ O+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-MgCl ₂ -CaCl ₂	-52.2	Hielo+MgCl ₂ .12H ₂ O+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-KCl-CaCl ₂	-50.5	Hielo+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-CaCl ₂	-49.8	Hielo+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-Na ₂ CO ₃ -K ₂ CO ₃	-37.0	Hielo+(Na,k) ₂ CO ₃ .6H ₂ O+K ₂ CO ₃ .6H ₂ O
H ₂ O-NaCl-FeCl ₂	-37.0	Hielo+NaCl.2H ₂ O+FeCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-FeCl ₂	-35.0	Hielo+FeCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-NaCl-FeCl ₂	-35.0	Hielo+NaCl.2H ₂ O+MgCl ₂ .12H ₂ O
H ₂ O-MgCl ₂	-33.6	Hielo+ MgCl ₂ .12H ₂ O
H ₂ O-NaCl-KCl	-23.5 (-22.9)	Hielo+NaCl.2H ₂ O+KCl. nH ₂ O
H ₂ O-NaCl-NaSO ₄	-21.7	Hielo+NaCl.2H ₂ O+Na ₂ SO ₄ .5H ₂ O
H ₂ O-NaCl-NaHCO ₃	-21.8	Hielo+ NaCl.2H ₂ O+NaHCO ₃
H ₂ O-NaCl-Na ₂ CO ₃	-21.4	Hielo+ NaCl.2H ₂ O+Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-NaCl	-21.2 (-21.8)	Hielo+ NaCl.2H ₂ O
H ₂ O-KCl	-10.6	Hielo+KCl. nH ₂ O
H ₂ O-NaHCO ₃ -Na ₂ CO ₃	-3.3.	Hielo +NaHCO ₃ +Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-NaHCO ₃	-2.3	Hielo+NaHCO ₃
H ₂ O-Na ₂ CO ₃	-2.1	Hielo+Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-Na ₂ SO ₄	-1.2	Hielo+Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O

FUENTE: Velasco, 204.



2.3.9.4. Sistema $H_2O - CO_2$

En estos casos las IF se muestran bajo el microscopio como trifásicas, con dos líquidos inmiscibles que suelen ser descritos como una inclusión dentro de otra inclusión. Esto se debe a que a temperatura ambiente la observación microscópica permite ver de manera clara que la miscibilidad entre H_2O y CO_2 es prácticamente despreciable y por tanto, ambos líquidos aparecerán separados por un menisco. La evolución o comportamiento de estas fases durante los ensayos de enfriamiento y calentamiento ayuda a conocer las características composicionales del sistema fluido. Podemos distinguir entre lo que llamaremos "homogenización del CO_2 ", es decir, homogenización entre líquido y vapor CO_2 (T_h parcial) y la homogenización total (T_h) entre las fases agua y CO_2 . Por otro lado, también se estudia la formación de los clatratos o hidratos- CO_2 formados durante los procesos de enfriamiento, además de la congelación y fusión del líquido CO_2 .

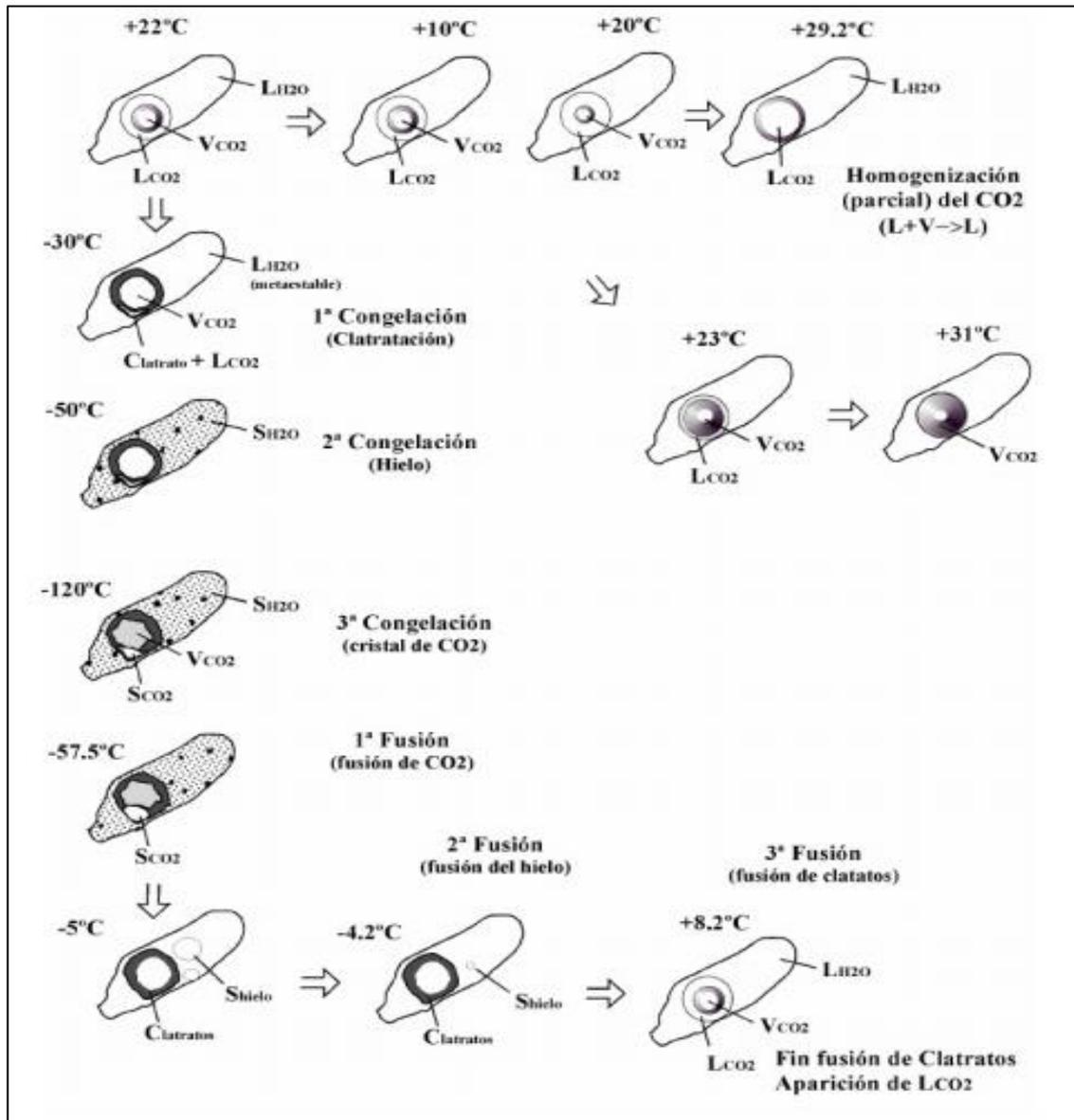


Figura 7. Evolución de una inclusión perteneciente al sistema $H_2O - NaCl - CO_2$.

Secuencia de dibujos mostrando diferentes evoluciones de una inclusión fluida trifásica ricas en CO_2 , durante el calentamiento hasta homogenización parcial del CO_2 y enfriamiento para producir diversas congelaciones y fusiones.

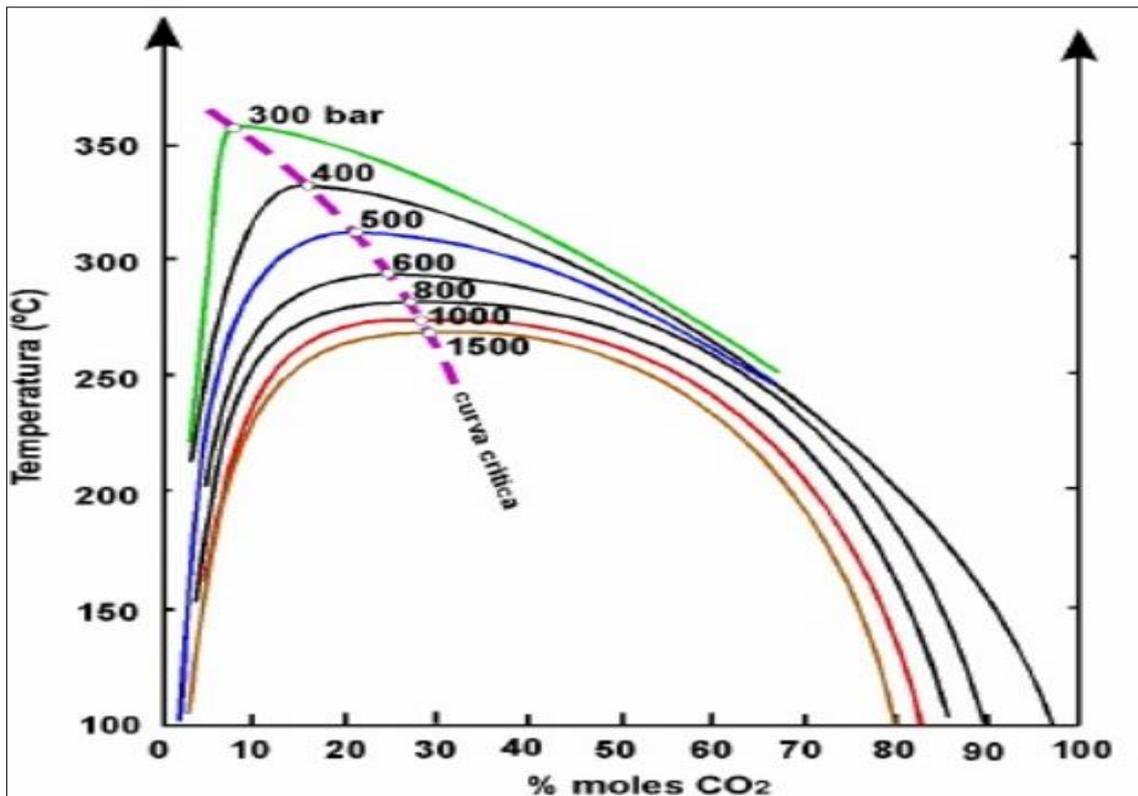


Figura 8. Presión en función a la temperatura de homogenización y % moles CO₂.

FUENTE: Velasco, 2004.

Los fenómenos que se desarrollan en este sistema, si procedemos a un enfriamiento se provocara la congelación del CO₂ como clatratos, se muestra cuando la burbuja se deforma ligeramente y aparece rodeada de una banda oscura granulosa. El índice de refracción de estos clatratos es muy próximo al del líquido CO₂ por lo que la mayoría de los casos es difícil verlos se (presentan a temperaturas de 0°C a 8.2°C).

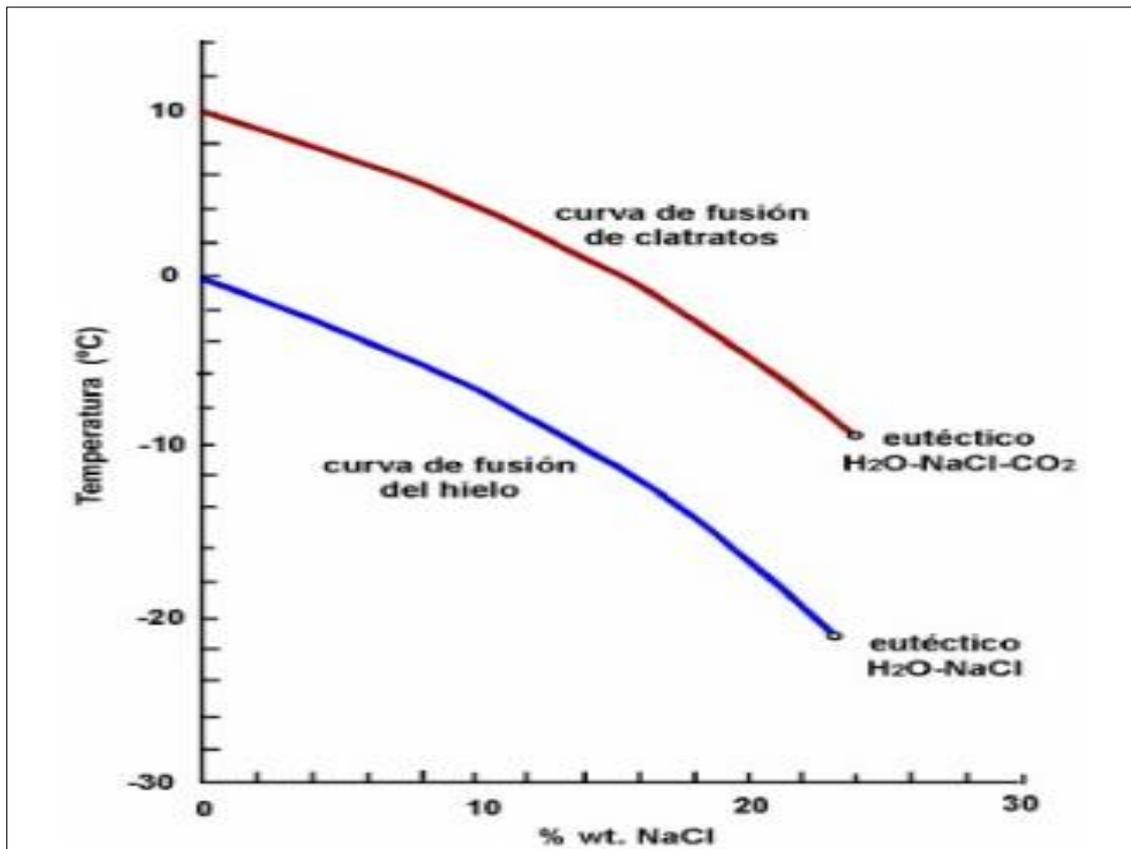


Figura 9. Diagrama para la relacionar la temperatura de fusión y contenido de NaCl.

FUENTE: Colims, 19979.

La figura permite determinar la salinidad en el sistema H₂O – NaCl - CO₂. A partir de la temperatura de fusión del clatrato.

Efecto de la presencia del NaCl en el sistema H₂O– CO₂.

El aumento de la salinidad en el sistema H₂O-CO₂ causa cambios y elevación en las temperaturas y provoca una variable disminución de la solubilidad del CO₂ que produce el efecto de incrementar la extensión de la región bifásica de inmiscibilidad.

2.3.10. Cálculo del % de CO₂ y % mol CO₂.

Como se ha comentado, las inclusiones serán a temperatura ambiente trifásicas (conteniendo agua, líquido CO₂ y vapor CO₂) y en ellas se puede calcular la proporción de CO₂ a partir de la estimación del volumen que ocupa cada fase (esta medida es



muy imprecisa y los cálculos siguientes se encuentran sometidos a fuentes de error importantes).

Un problema de interés general que podemos plantear es conocer cuánto CO_2 contienen las soluciones atrapadas en las inclusiones pertenecientes al sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. Para resolver esta cuestión podemos tomar un ejemplo práctico, considerando una inclusión trifásica con $L(\text{H}_2\text{O})$, $L(\text{CO}_2)$ y $V(\text{CO}_2)$ en determinadas proporciones que pueden ser estimadas visualmente a temperatura ambiente. De esta hipotética inclusión se ha extraído la siguiente información:

$T_h(\text{CO}_2) = +25.5^\circ\text{C}$ ($L+V \rightarrow L$) (utilizando una platina calentadora)

$$\rho = 0.70 \text{ g/cm}^3 \text{ CO}_2$$

Por estimación visual (a partir de la Figura 1.27):

40% vol. ocupado por CO_2 ($L+V$)

60% vol ocupado por H_2O (L)

Salinidad (del líquido acuoso): muy baja o despreciable (luego $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$)

Solubilidad del CO_2 en H_2O a temperatura ambiente: despreciable

Densidad total de la inclusión ($\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$):

$$\rho(\text{total}) = (0.4 \times 0.70) + (0.6 \times 1.0) = 0.28 + 0.6 = 0.88 \text{ g/cm}^3$$

$$(\text{vol} \times \rho) + (\text{vol} \times \rho)$$

$$\% \text{ CO}_2 = 0.28 / 0.88 = 31.8 \% \text{ CO}_2 \text{ (wt. en peso)}$$

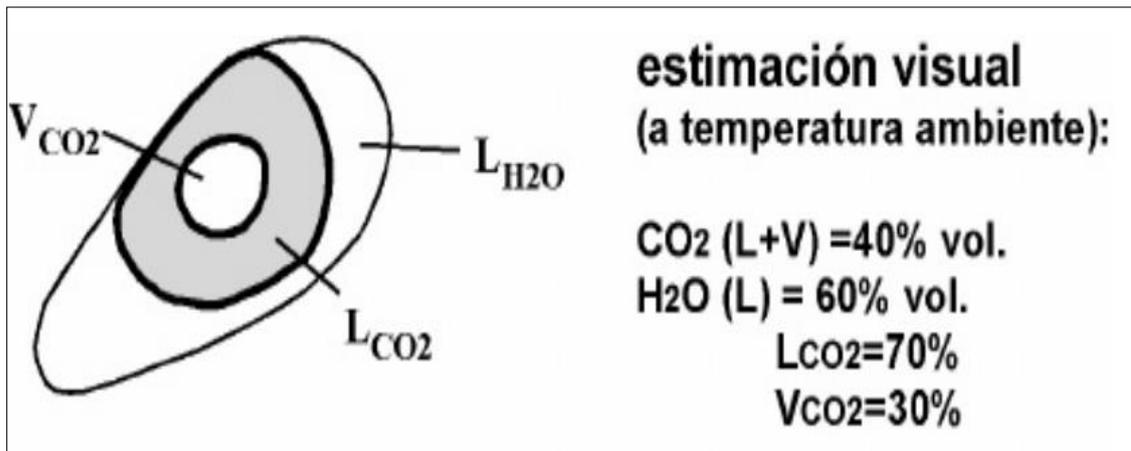


Figura 10. Ejemplo de cálculo de la densidad y contenido de CO₂ (% wt) para una inclusión trifásica perteneciente al sistema H₂O-CO₂.

Para expresar estos datos en forma molar (% mol CO₂) debemos considerar 1Kg de solución, calcular el contenido molar de H₂O y recalculamos a 100. Por tanto (siendo P_mCO₂ = 44 y P_mH₂O = 18 y wt CO₂ + wt H₂O = 100):

$$\% \text{ mol CO}_2 = \% \text{ wt CO}_2 \times 1000 / 44 \Rightarrow 18\%$$

$$\% \text{ mol H}_2\text{O} = \% \text{ wt H}_2\text{O} \times 1000 / 18 \Rightarrow 82\%$$

2.3.11. Temperatura de homogenización (T^{°h})

Es la temperatura de atrape del líquido por el mineral durante su crecimiento, puede estimarse calentando la inclusión hasta que desaparezca la burbuja gaseosa; la causa principal reside en que el coeficiente de expansión de los líquidos durante los cambios de temperatura, es uno o dos veces mayor que el de los minerales. Este método geotermométrico es llamado también como el principio de Sorby.

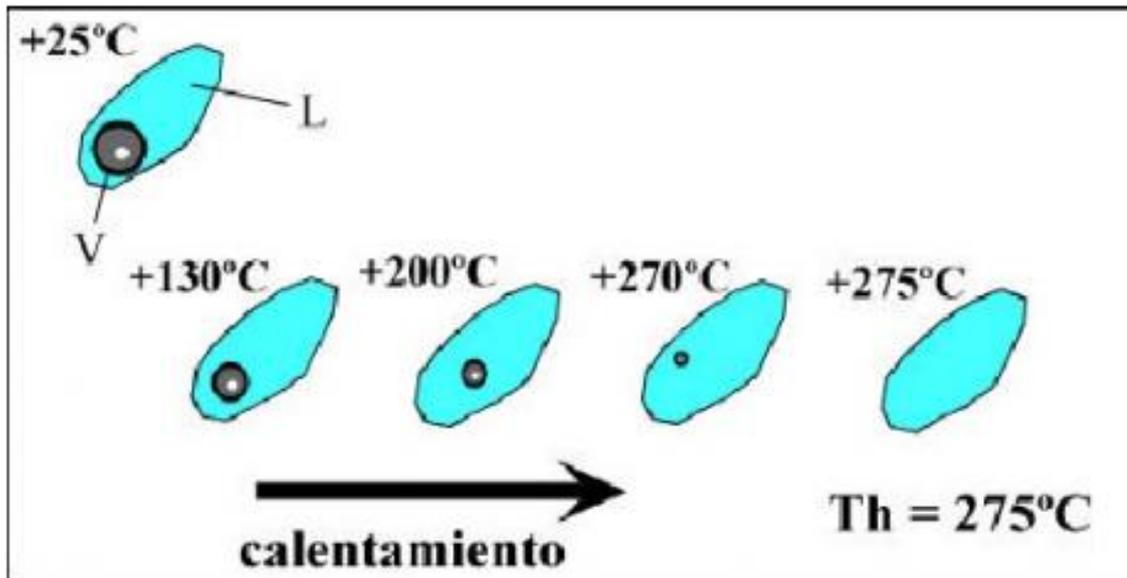


Figura 11. Temperatura de homogenización.

FUENTE: Velasco, 2004.

Secuencia que muestra la desaparición de la burbuja gaseosa durante un proceso de calentamiento, hasta llegar a la total homogenización entre el líquido y el gas ($T^{\circ}h =$ temperatura de homogenización).

2.3.12. Principios básicos del análisis termométrico

Los principios básicos del análisis termométrico de las inclusiones fluidas fueron descritos por Roedder (1984) Shepherd *et al.* (1985), Goldstein y Reynolds (1994). A continuación, se resumen la técnica para la toma de datos obtenidos a partir del equipo de inclusiones fluidas.

Calentamiento

Cuando se forma una inclusión a partir de un líquido homogéneo a una presión y temperatura determinada, el líquido se enfría conservando su densidad a lo largo de una línea de igual densidad. De esta manera, si una inclusión se encuentra a la temperatura ambiente llena de L+V, en el laboratorio se puede invertir el proceso si se calienta la inclusión hasta el punto de desaparecer la burbuja. Es así como la temperatura medida

corresponde a la temperatura de homogenización ($T^{\circ}h$), la cual es la temperatura mínima de captura del fluido hidrotermal. Pero como no conocemos la presión de captura del fluido, esta temperatura medida debe ser corregida para obtener la temperatura de captura o de formación. De este modo, debemos hacer una corrección por presión:

$$T^{\circ} \text{ de captura} - T^{\circ} \text{ de homogenización} = \text{corrección por presión}$$

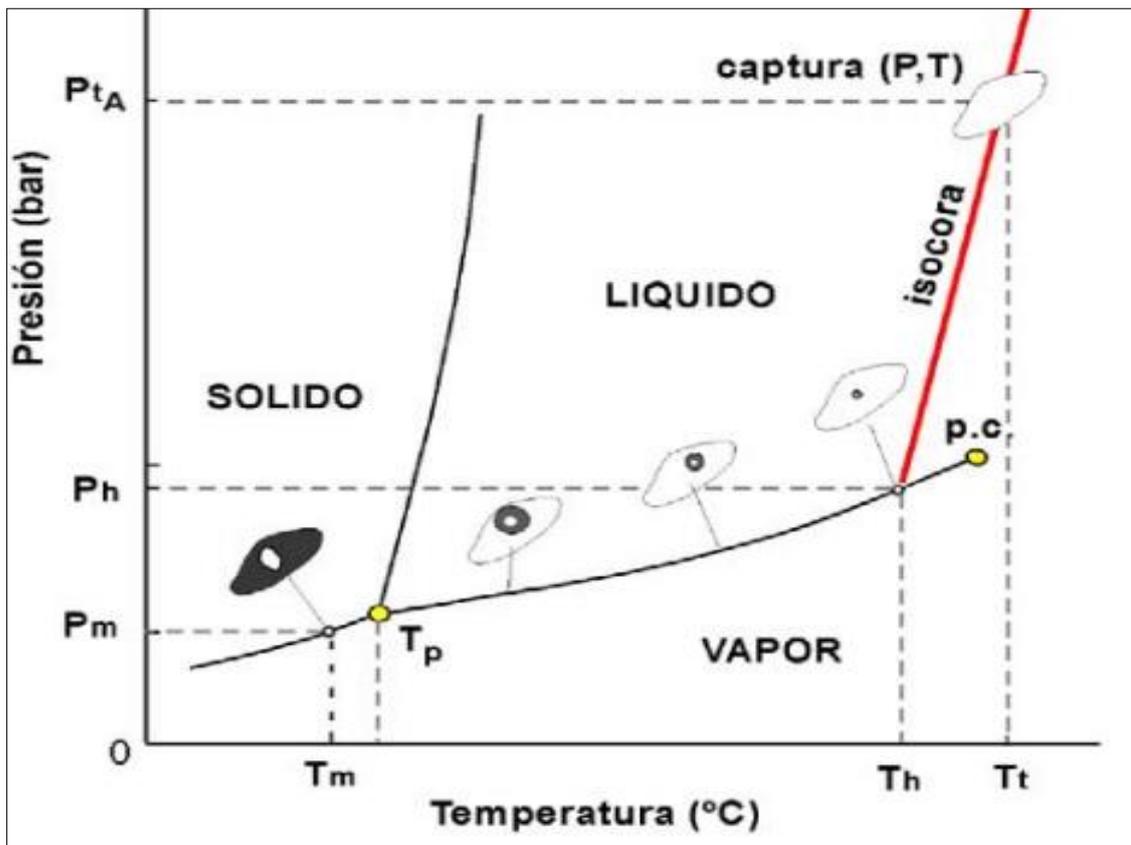


Figura 12. Diagrama de fases P-T del agua.

Se muestra la diferencia que existe entre la temperatura de homogenización (T_h) a líquido y la temperatura de captura (T_t) de una inclusión. También se puede apreciar la trayectoria al descender la temperatura en un diagrama de fases de H_2O de un líquido a atrapado en una inclusión fluida ($V = \text{vapor}$) (Velasco, 2004).



Sólo en el caso cuando la inclusión ha sido atrapada a partir de un fluido en ebullición (donde coexiste la fase líquida + gaseosa) tenemos que $T_h = T_t$, por lo que no es necesario hacer una corrección por presión.

Congelación

Por otra parte, los fluidos hidrotermales son en general soluciones salinas y otro antecedente de interés a obtener de las inclusiones fluidas es la salinidad del fluido atrapado y esto se obtiene en términos relativos a partir de la temperatura de fusión del hielo de una inclusión, la que es dependiente de la salinidad del fluido.

La temperatura de fusión del hielo nos permite determinar la salinidad del fluido en % peso NaCl equivalente de acuerdo a curvas determinadas experimentalmente. Cabe señalar que las inclusiones frecuentemente tienen otras sales disueltas Ej. KCl, NaCl, etc., pero como la determinación es indirecta se asume un sistema simple de $H_2O + NaCl$ y se determina la salinidad relativa a este sistema.

Cuando no hay sales (sólidas) en la inclusión, la salinidad puede determinarse por la fórmula planteada por (Potter, 1977).

$$\% \text{ peso NaCl eq.} = 1,76958T^{\circ}f - 4,2384 \times 10^{-2}(T^{\circ}f)^2 + 5,2778 \times 10^{-4}(T^{\circ}f)^3 \pm 0,028$$

Dónde: $T^{\circ}f$ = temperatura en $^{\circ}C$ a la que se funde el último cristal de hielo en la inclusión.

La fórmula permite calcular la salinidad en el rango $-20,8^{\circ}C < T^{\circ}f < 0^{\circ}C$ de temperaturas de fusión.

En inclusiones fluidas saturadas que contienen fases sólidas de sales hay que calentarlas para disolver la fase sólida y con la temperatura a la que se disuelve el último cristal de sal se puede determinar la salinidad por la fórmula:

$$\% \text{ peso NaCl eq.} = 26,218 + 0,0072T_s + 0,000106T_s^2 \pm 0,05$$

Dónde: T_s = temperatura a la que el último cristal de sal se disuelve en la inclusión (en este caso no es la temperatura de fusión; hay que calentar la inclusión para que la sal se disuelva).

2.3.13. Decrepitación total o parcial

Debido a causas naturales, como es la deformación y el metamorfismo, algunas inclusiones con presión interna muy elevada pueden experimentar cambios muy severos de volumen (densidad que conducen al stretching y eventualmente pueden llegar a romperse con el consiguiente escape y pérdida de solución (Touret, 2001).

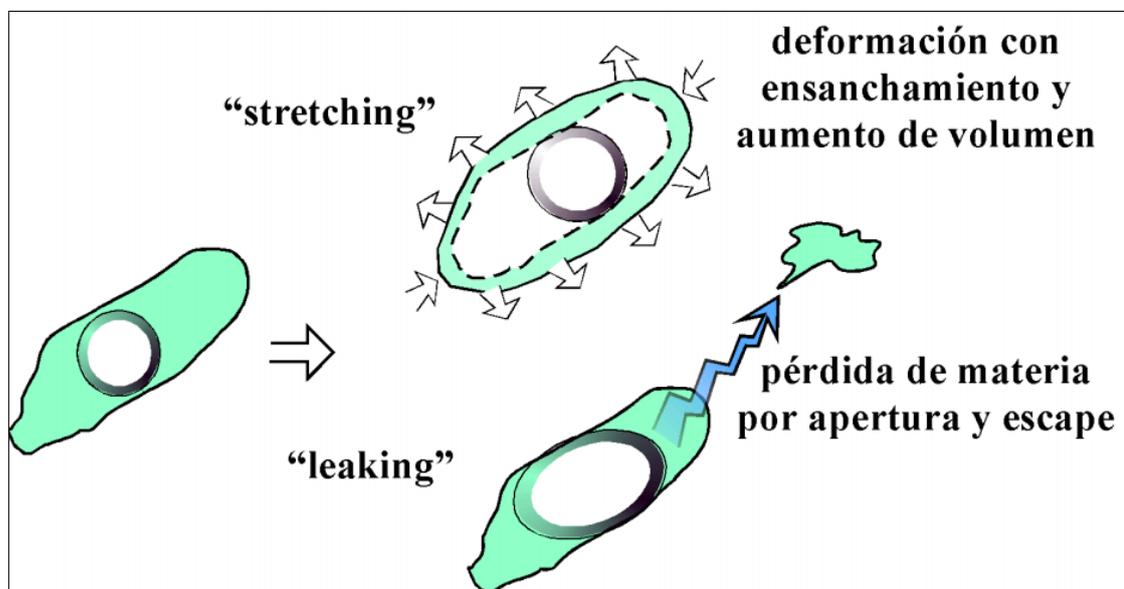


Figura 13. Efecto Streching y leaking.

FUENTE: Velasco (2004).



2.3.14. Cálculo de la densidad

A partir del cálculo de la densidad de cada inclusión en el momento en que fué atrapada, se pueden obtener una información muy valiosa, ya que este parámetro permite definir una isocora en el espacio P-T y, por tanto, aproximadamente la temperatura y presión mínima de formación. De aquí que necesitemos estimar visualmente la proporción existente entre el volumen que ocupa el líquido (o el gas) respecto al volumen total.

Para calcular la densidad de una inclusión es necesario comenzar estimando su "grado de relleno" F (o "degree of fill"), comparando visualmente con gráficos que tienen en cuenta la forma de la inclusión. En las inclusiones bifásicas con líquido L y vapor V, el grado de relleno se expresa con la relación entre el volumen que ocupa la fase líquida (VL) respecto al volumen total (VL + VV):

$$F = VL / (VL + VV)$$

Se asume que la inclusión es isométrica y por tanto que los volúmenes quedan bien representados en el área bidimensional de proyección. Con criterios semejantes podemos llegar también a estimar el volumen de las fases sólidas en el caso de que estas se presenten.

La relación entre grado de relleno (F) y densidad total (ρ_T) de la inclusión viene dada por la expresión:

$$\rho_T = \rho_L \times F + \rho_V \times (1 - F)$$

Donde:

ρ_T = densidad total



ρ_L = densidad del líquido

ρ_V = densidad del vapor (en la mayoría de los fluidos ρ_V igual a cero) luego ρ_T

$=\rho_L \times F$

2.3.15. Cálculo de la presión y profundidad de la captura de inclusiones fluidas

La corrección de presión no es significativa en depósitos formados a bajas temperaturas y poca profundidad con fluidos salinos y densos, habitualmente en estos casos la corrección no excede de 25°C. Sin embargo, en minerales formados a altas temperaturas a partir de fluidos de baja salinidad y a profundidades mayores de 10 Km, la corrección puede exceder de 300°C. La corrección de presión se puede realizar si existen datos independientes de la profundidad en que se emplazó el depósito mineral hidrotermal y si la precipitación ocurrió en condiciones de presión hidrostática o litostática.

Si existió ebullición coexistirán inclusiones fluidas ricas en líquido con inclusiones ricas en vapor y ambas deberían homogenizarse dentro de un mismo rango de temperatura tanto a líquido como a vapor respectivamente (haciendo la salvedad que no es fácil determinar al microscopio la temperatura de homogenización de inclusiones ricas en vapor porque estas homogenizan justamente a vapor y es casi imposible apreciar la fina película de líquido que queda dentro de la inclusión antes que llegue a ser vapor homogéneo). Dadas estas condiciones la presión de fluido puede usarse para estimar la profundidad de captura asumiendo condiciones de presión hidrostática (sistema hidrológico abierto hacia la superficie) o condiciones litostáticas como se muestra en la figura siguiente (Figura 14).

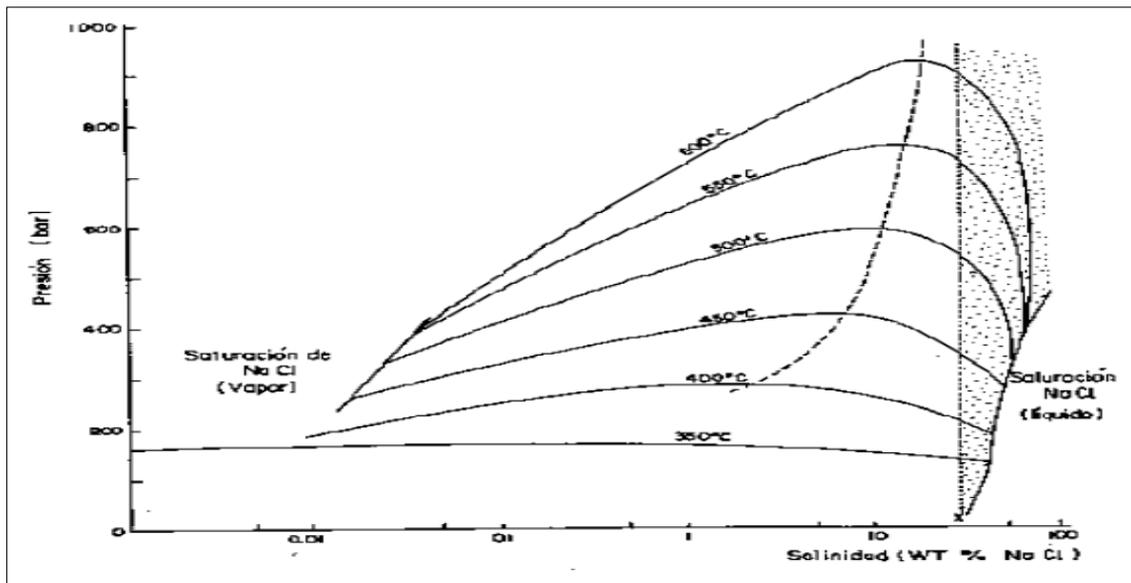


Figura 14. Isotermas del sistema H₂O-NaCl.

FUENTE: Shepherd, 1985.

La figura ilustra la relación entre la temperatura de ebullición, la presión en bares y el contenido salino de la solución (X = indica la saturación de la halita a temperatura ambiente).

En este caso particular la fórmula que relaciona la presión con la profundidad es:

$$P = h \cdot \rho \cdot g$$

Donde:

h = profundidad, P = presión, ρ = densidad, g = aceleración de gravedad

Para simplificar los cálculos la profundidad (h) se expresa en m y la presión P en bares (Shepperd *et al.*, 1985).

En la mayoría de los estudios de inclusiones fluidas la presión no se determina a partir de las inclusiones. Muchas inclusiones son atrapadas a presiones mayores que su presión de vapor y generalmente la presión a la que ocurrió se determina a partir de evidencias geológicas (Ej. a partir de reconstrucciones geológicas del material removido por erosión desde la formación del yacimiento); entonces esta presión se usa junto con



datos termodinámicos para soluciones apropiadas para calcular la corrección por presión. Sin embargo, normalmente habrá incertidumbre en la composición del fluido y a priori no se puede asegurar si la inclusión fluida fue atrapada en condiciones hidrostáticas o litostáticas, de modo que habitualmente esta condición debe ser inferida. En consecuencia, la geobarometría de inclusiones fluidas es poco precisa y no es exacta ya que algunos de los métodos comunes usados para determinar presión de inclusiones fluidas dan valores de presión erróneos (Roedder, 1984). Por otra parte, la densidad del fluido atrapado en una inclusión fluida puede derivarse de las relaciones de fase y la temperatura de homogenización de la inclusión. Esta es la única manera que tenemos de estimar la densidad del fluido hidrotermal que circuló durante la formación de un depósito mineral, lo que tiene importancia dado que la circulación de fluidos hidrotermales se debe principalmente a diferencias de densidad.

2.3.16. Microtermometría y su aplicación en la exploración de minerales

Las inclusiones fluidas nos permiten obtener datos del sistema hidrotermal en el que se formó el mineral: temperatura (geotermometría), presión (geobarometría) y composición general del fluido, densidad del fluido. Las inclusiones primarias y secundarias contenidas en los minerales de mena y ganga pueden ser utilizadas de manera indirecta como la huella digital de ciertos tipos de fluidos formadores de menas; para caracterizar asociaciones particulares de minerales de mena y definir las áreas dónde estos fluidos pueden concentrarse. También es posible predecir si las condiciones de estado de presión y temperatura, determinadas para el fluido, favorecen a la deposición de la mena (Shepherd, 1985). Aunque fundamentalmente su campo de aplicación son los estudios de yacimientos minerales y de petrología, en la actualidad están siendo aplicados en la sedimentología, tectónica, gemología, estudios de rocas lunares, geología del petróleo, geotermia y paleoclimatología, etc.



2.4 GEOLOGÍA REGIONAL

El are de estudio regionalmente se enmarca en el cuadrángulo de La Rinconada, hoja 30-Y, a una escala de 1/100 000 (INGEMMET-Boletín 66, Serie A). Se tiene el afloramiento de rocas metamórficas y sedimentarias del Paleozoico, integrado por la Formación Sandia y la Formación Ananea, las mismas que son secuencias de pizarras, cuarcitas, filitas y esquistos, además de un stock intrusivo denominado leucogranito de Utccuccacca, el cual desarrolla una aureola de metamorfismo a andalucita, que disminuye a medida que se aleja del granito.

2.4.1. Estratigrafía

2.4.1.1. Paleozoico Inferior

2.4.1.1.1. Formación Sandia (Os-s)

Es definida inicialmente por Laubacher (1978) con un espesor aproximado de 3,000m, constituida por una secuencia detrítica de cuarcitas, entrelazadas con niveles de pizarras negras, datan del Ordoviciano medio. Su contacto estratigráfico con la unidad infrayacente no se observa, mientras que el contacto con la Formación Ananea es anormal a través de un sobreescurreamiento.

La columna más importante está en la quebrada Iscaycruz, que da un grosor aproximado de 1,600m. En la base se presentan un conjunto de siltitas finas de 150m de espesor, con una foliación paralela de nominada como de color gris oscuro a negro, inmediatamente después viene unos 700m de una alternancia métrica o milimétrica de areniscas de grano fino, con cristales de muscovita y siltitas de grano fino, también con cristales de muscovita distribuidas subparalelamente a la esquistosidad, en banco de espesor de 1 a 5m.



Sus estructuras sedimentarias internas son muy variadas, formando microdunas de 4 a 20cm de longitud de onda, también lenticular bedding, unas conectadas y otras sin conectar, presentan laminaciones paralelas, niveles de reactivación arcillosa dentro de los niveles de areniscas.

Por tratarse de una sedimentación impuesta por siltitas y lutitas, cuyas estructuras internas corresponden a Flaser Bedding, Lenticular Bedding, Wave Bedding y otras, indicarían que la formación se habría sedimentado en un ambiente llano.

2.4.1.1.2. Formación Ananea (SD-a)

Fue denominado así por Laubacher (1978) en la Cordillera Oriental. Consiste en una gruesa serie de esquistos epimetamorficos, ha sido asignado al Siluro – Devoniano.

La litología de esta formación corresponde a una homogénea y monótona sucesión de pizarras negras en paquetes de 20 hasta 80 cm.

En el estudio al microscopio se observa una alternancia micrométrica de siltitas muy finas, con minerales cuarzo, serisita, muscovita, clorita, finamente cristalizado, que están afectadas por un metamorfismo regional leve de tipo epizonal. Se intercalan en esta formación algunos delgados bancos masivos de areniscas de grano fino con grosor de 20 – 40 cm.

Sus contactos estratigráficos con la formación infrayacente están relacionados a un fallamiento inverso que muestra a la Formación Sandia cabalgando sobre la Formación Ananea, mientras que el contacto con la Formación suprayacente no se observa.

Esta formación está afectada por una esquistosidad de flujo (S1) sudparalela a la estratificación SO y también, con el desarrollo de un microplegamiento en Chevron centimétrico, cuyas direcciones de sus ejes son N 105° E y un acortamiento NE – SO.



Esta esquistosidad y pequeños pliegues se presentan localizados al costado de fallas o en bloques limitados por fallas o fracturas.

2.4.2. Depósitos cuaternarios (Gh-al)

Los depósitos cuaternarios se encuentran distribuidos en el área de estudio, como los depósitos morrénicos conformado por clastos sin ningún arreglo, disperso en una matriz limo-arcillosa-arenosa. En estos depósitos existen variaciones en la composición litológica de los clastos, dependiendo de su lugar de origen. Los depósitos morrénicos tienen una importancia económica debido a sus contenidos de placeres auríferos. Los depósitos aluviales están constituidos por limos y arcillas retrabajados de substratos pliocénicos. Los depósitos aluviales son producto de la meteorización del substrato rocoso el cual es transportado muy lentamente o en forma muy violenta por la acción fluvial y depositada en las depresiones. Los depósitos coluviales se localizan al pie de los flancos de los cerros producto de la meteorización.

2.4.3. Rocas intrusivas

La deformación del Devónico tardío en la Cordillera Oriental, estuvo asociada con un metamorfismo en la zona axial de la cuenca en el Paleozoico inferior. Este metamorfismo regional con facies de esquistos verdes, fue reconocido por primera vez por Laughlin (1924) en el Perú Central.

En la parte axial de esta cuenca paleozoica se encuentra un plutonismo sintectónico asociado a la deformación, atribuida a perturbaciones termales locales (Kontack, 1990) que dió como resultado el emplazamiento de intrusiones graníticas las que causaron zonas de metamorfismo de contacto muy desarrolladas.



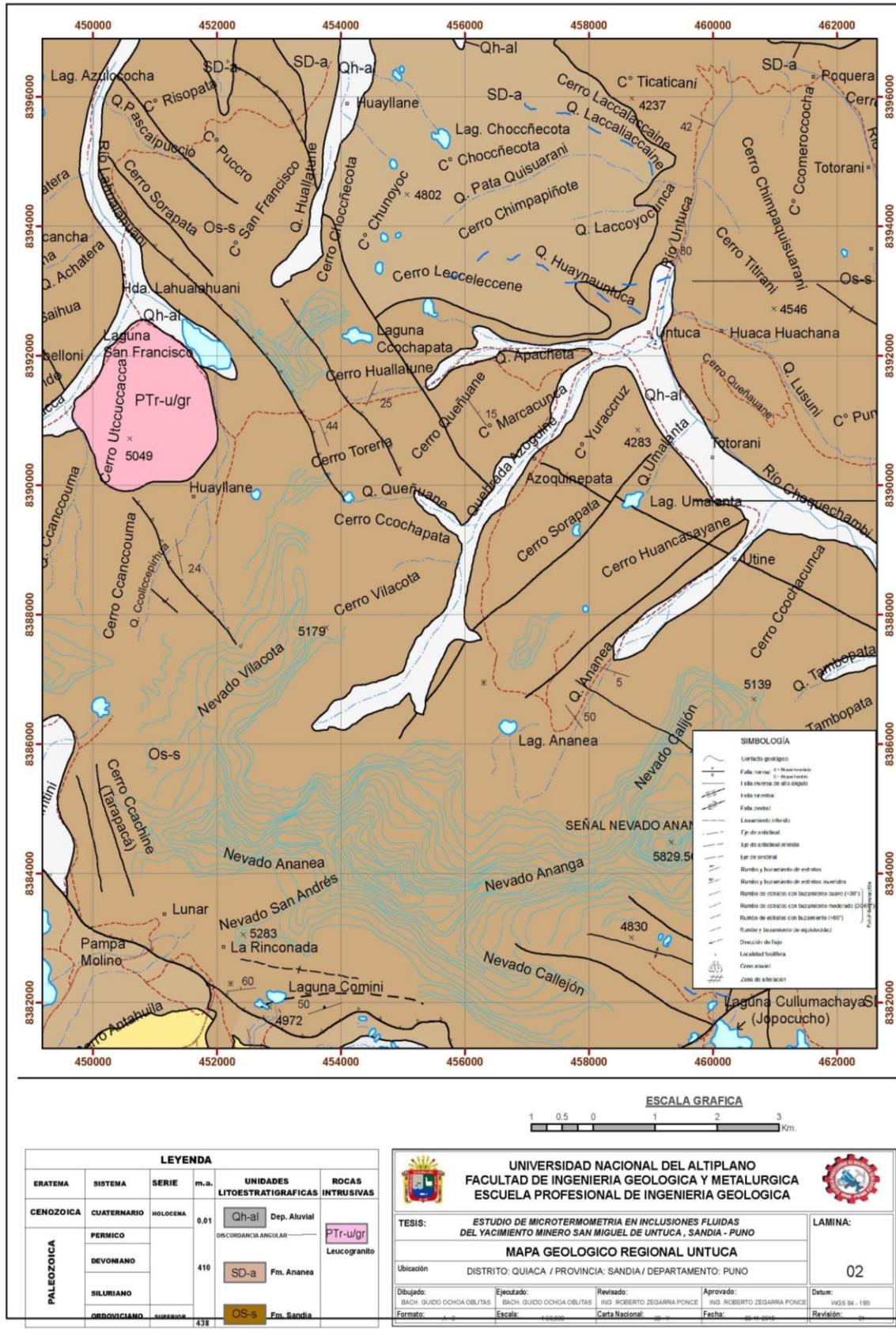
2.4.3.1. Leucogranito de Utccuccacca (PTr-u/gr)

En el sector NO del cuadrángulo de La Rinconada, aflora un pequeño stock granítico que por sus relaciones con el conjunto de terrenos encajantes, se instala dentro de la Formación Sandía de manera muy aislada, probablemente controlado por un sistema de fallamiento regional NO- SE. El mejor afloramiento está en el C0 Utccuccacca, limitado por las Qdas. Lahualahuani, Utccuccacca, Colcepihua y laguna San Francisco. En sección delgada, este granito presenta el siguiente inventario mineralógico: ortosa, microclina, cuarzo, plagioclasa, muscovita, biotita. Los minerales de biotita 2 y muscovita, junto con el cuarzo se instalan siguiendo un alineamiento preferencial probablemente sin - a postectónico; también se puede apreciar que algunos minerales de biotita están quebrados y no están asociados a una foliación definida.

La instalación de este stock intrusivo, desarrolla una aureola de metamorfismo a andalucita, que disminuye a medida que se aleja del granito. En el borde este de la laguna San Francisco, existen facies de monzogranito a sillimanita con una textura de grano medio con cuarzo, plagioclasa, ortosa, muscovita, sillimanita, cordierita y probablemente estauroлита. Al norte de Trapiche en el C0 Jaccuykata sobre una falla de dirección NO-SE que pone en contacto anormal a la Fm. Ananea con el Grupo Tarma, se instala un pequeño stock monzogranítico compuesto por cuarzo, plagioclasas, ortosa, completamente alteradas a sericita, clorita y epidota. Este intrusivo desarrolla una pequeña aureola de metamorfismo con una presencia importante de óxidos de fierro.

Edad de emplazamiento

Las relaciones de campo muestran el intrusivo de Utccuccacca emplazado y cortando a las rocas de la Fm. Sandía, se le asigna una edad Siluro - Devoniano. (Ver Lamina 1)





2.5 GEOLOGIA LOCAL

Las secuencias litológicas que conforman el área de estudio son esencialmente pizarras, filitas y cuarcitas de la formación Sandia, las cuales fueron afectadas por metamorfismo de bajo grado, hidrotermalismo y orogenias que trajeron deformaciones en regímenes dúctil y frágil, o la mezcla de los dos regímenes. La secuencia de pizarras y cuarcitas se intercala con algunos niveles de filitas que se muestran con alto contenido de carbón (filitas bituminosas) los que se relacionan también a disseminaciones masivas de sulfuros de fierro con arsénico; estos afloramientos se ubican en el sector de Huancasaya. Ya en la Quebradas Azoguini se reconoció cuarcitas, que guardan concordancia con los niveles de pizarras. Todo esto basado en el estudio de “estimación de reserva de la zona mineralizada y estudio geológico en la concesión San Miguel de Untuca” realizado por GEOMIN INGENIEROS EIRL (2012) y en el estudio “Caracterización y Análisis Microscópico de Muestras Mineralizadas de San Miguel de Untuca, Sandia – Puno” presentado en el XVII Congreso Peruano de Geología, Octubre (2014).

El reconocimiento mesoscópico en el campo ayudo a diferenciar tres tipos de cuarzo en la zona de trabajo:

1. Cuarzo lechoso de origen metamórfico, que forma estructuras métricas de tipo *buding* y porfidoblastos en las cercanías de los laboreos en la Mina Santa Rosa, el cual es confundido con diques. También aquí están incluidos los “diques” que se ubican en el sector NO de Huancasaya, que forman una prominente zona de cizallamiento dentro de una falla de forma curvada (Foto 1).
2. Cuarzo ahumado de color gris azulado (llamado por los lugareños cuarzo “cachiso”), no se tiene la certeza todavía del origen de este tipo de cuarzo (se

espera estudios microscópicos), pero es el que contiene la mineralización aurífera, su comportamiento muestra concordancia con la foliación de la pizarra, aunque a veces la corta con poca inclinación. Bonnemaïson *et al* (1983) menciona que los mantos con cuarzo ahumado de la Mina Rinconada ubicada al sur de la zona de trabajo presentan extinción ondulante y son engranados (lo que actualmente se le llama “puntos triples” relacionados a metamorfismo). Según mención de los guías este tipo de cuarzo trae partículas visibles de oro nativo (Foto 2).

3. Cuarzo lechoso que ocurre como matriz en brechas tectónicas polimícticas, el cual presenta en algunos casos cristalización hexagonal (indicación de hidrotermalismo). Las brechas tectónicas en régimen frágil dúctil presentan también este tipo de cuarzo, pero rellenando grietas tensionales cercanas a los planos de falla con formas de tipo “Z” y “S”.

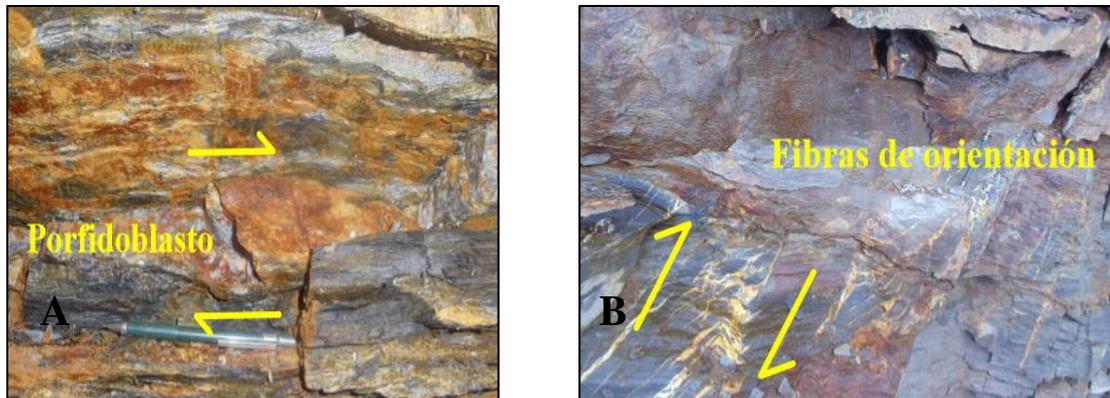


Figura 15. Porfidoblastos de cuarzo y cizallamiento.

- a) Porfidoblasto de cuarzo ahumado en filita, contiene mineralización aurífera.
- b) Cuarzo lechoso, refleja zona de cizallamiento con orientación dextral en pizarras silicificadas.

2.5.1. Alteraciones

Los tipos de alteración y ocurrencias con interés geoeconómico en el área son, oxidación, silicificación y brechamiento tectónico.

Alteración por hematización

El origen de esta alteración es exótica, lo cual se observa en niveles de pizarra cercanos a los mantos de la Mina Santa Rosa, estos niveles oxidados son atribuidos a la presencia de sulfuros de fierro y cobre. Al parecer esta coloración rojiza se debe a la oxidación de los sulfuros, en el cual primero ocurre la precipitación del Fe, y, el azufre pasa a estar en estado disuelto dentro de un fluido (aguas meteóricas y de origen glaciario). Los cristales de sulfuros son de formas anhedrales a subhedrales y sus tamaños son milimétricos, generalmente se presentan en las cajas de los mantos auríferos.

Los óxidos de hierro ocurren rellenando fracturas milimétricas, planos de foliación (oxidación exótica) y disseminaciones menores al 5% en cuarzo ahumado (oxidación indígena). Estos óxidos forman minerales como hematita y limonita. Este tipo de alteración también se asocia a una moderada sulfatación de minerales sulfurados que se observa en fracturas y planos de foliación (sulfatos de Cu).

Alteración por silicificación

Algunos niveles de pizarras que tienen rellenos de óxidos de Fe; también muestran silicificación débil a moderada entre los planos de foliación y fracturas, por lo que se deduce presencia de fluidos hidrotermales, posiblemente post metamorfismo. Estos fluidos epigenéticos, aprovecharon las debilidades estructurales para alterar en parte la roca, y solo se observa en las cercanías de la Mina San Miguel, y su halo de alteración



tiene una orientación NS, NE y SO; es muy estrechamente relacionado a brechamiento tectónico y/o hidrotermalismo.

2.5.2. Brechamiento tectónico

Los sectores en donde ocurre con mayor frecuencia el brechamiento es en los alrededores de Cotacunca, Mina San Miguel e interior de las labores en la Mina Llactapata; la ocurrencia del brechamiento es relacionado a zonas de debilidad estructural generadas por plegamiento. La matriz del brechamiento es de cuarzo lechoso en el cual en algunos casos se observa cristales hexagonales de dicho mineral; los clastos que forman esta brecha son pizarras con formas angulosas a manera de rompecabezas de tamaños centimétricos (2cm a 10 cm); algunos de estos clastos contienen disseminaciones masivas de arsenopirita; al cortar los afloramientos de pizarra estas brechas generan halos de oxidación y solidificación. Las potencias de las brechas van desde los 10 cm hasta los 80 cm, pero agrupándolas pasan los 20 m; las grietas tensionales ocasionadas por la deformación que van junto a este tipo de estructuras demuestran cinemática de tipo normal. No se descarta la presencia de bandeamiento metamórfico en algunos niveles de la secuencia de roca metamórfica; en algunos fragmentos de roca rodada se reconoció plagioclasa en bandas; este bandeamiento es cortado por venillas de cuarzo lechoso. Si esto fuese así, quizás tendría un tipo de roca volcánica coetánea a la formación del conjunto litológico.

2.5.3. Geología estructural

Análisis geométrico de la deformación en la formación Ananea zona San Miguel de Untuca

De manera local, dentro de la zona se distinguen deformaciones en regímenes de tipo dúctil, frágil-dúctil y frágil. En la secuencia de pizarras se reconocieron hasta tres

fases de deformación; los cuales serán seguidamente descritas de acuerdo al régimen de deformación.

Deformación en régimen dúctil

Las estructuras de fábrica planar son las prominentes en el área y muestran superficies S_1 penetrativas (foliación). En S_1 se puede verificar la existencia de fases de deformación que afectaron a S_1 , como crenulaciones poco diferenciadas y posibles plegamientos con la consecuente formación de clivajes de plano axial. S_0 (estratificación) es muy difícil de definir y distinguir, cuando se observa en afloramiento, ya que se encuentra al parecer paralelo a S_1 , por lo que se deduce que la primera fase de deformación regional ha dado origen a pliegues isoclinales con una producción de clivaje de plano axial que está representada por S_1 .

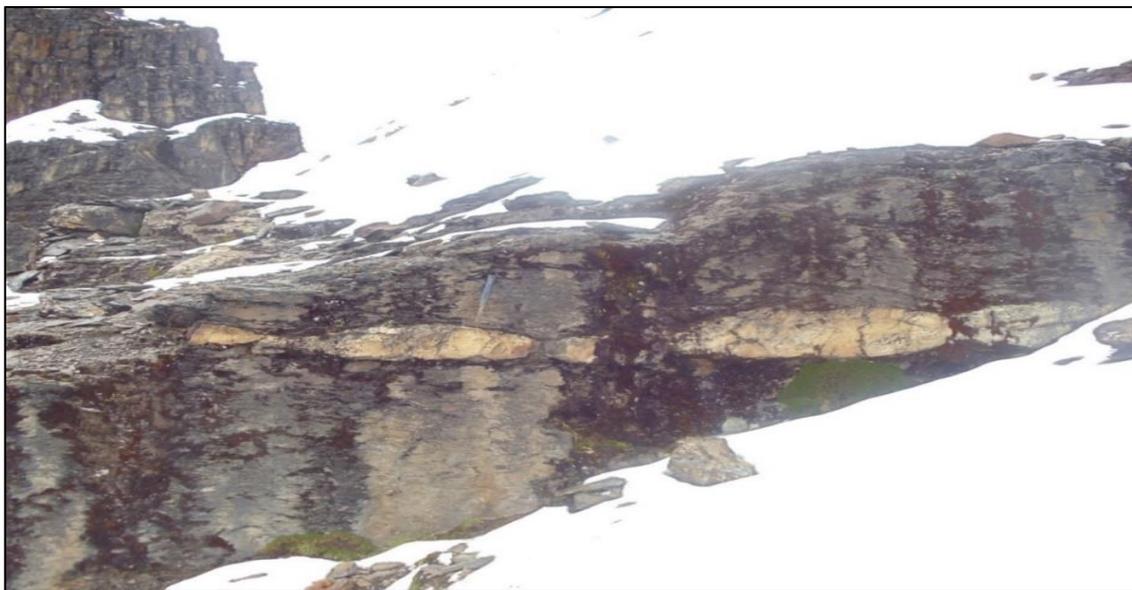


Figura 16. Budings de tamaños métricos a centimétricos de cuarzo metamórfico.

Las observaciones mesoscópicas de porfidoblastos de cuarzo (Figura 75) ayudan a diferenciar que algunos de los niveles de la secuencia de pizarras se encuentran filonitizadas dando lugar a foliaciones miloníticas. Las direcciones de porfidoclastos tipo sigma demuestran cizallamientos con direcciones que están aproximadamente a $N250E^\circ$

a N255°E. Las estructuras de fábrica lineal, presentan lineaciones de mineral caracterizada por una conspicua “estriación” sobre las superficies S, debida una elongación de los granos de minerales filosilicatados. Las lineaciones de crenulación guardan direcciones N155°E que vendrían a representar S₂ en las pizarras y se comporta de manera oblicua a S₁.

Deformación en régimen frágil dúctil

Está dado por presencia de brechamiento tectónico de régimen frágil, con una componente de tipo dúctil por la existencia de grietas tensionales con rellenos de cuarzo lechoso, que ocurren a lo largo de la misma brecha y en la roca caja de la brecha (sobre el espejo de falla); su composición principal es de clastos angulosos de pizarra en una matriz de cuarzo lechoso (Figura 17). De forma irregular ocurren algunos clastos de pizarras que presentan masivas diseminaciones de arsenopirita, lo cual ocasiona la consiguiente oxidación de la roca caja. La cinemática del brechamiento demuestra movimientos en su mayoría de tipo normal; se observó también estrías de falla que demuestran movimientos con componentes sinistral no bien definidos.



Figura 17. Brechamiento con grietas tensionales rellenas de cuarzo lechoso metamórfico en pizarra.



Deformación en régimen frágil

Como se ve en el plano geológico regional (30y) hecho por el INGEMMET, la zona de estudio está cortada por tres fallas principales, de las cuales una de ellas corta la concesión con una dirección NE-SO, esta falla tiene un azimut aproximado de N40° a 45°E, y presenta un buzamiento sub vertical hacia el NE. Dos estructuras más, en régimen frágil se observan en de manera regional; una de ellas tiene dirección azimutal de N50°E, que se comporta casi paralela a la estructura geológica que ya se mencionó. Ya en el sector NE de la concesión existe otra falla que corta casi perpendicularmente a las dos estructuras con dirección acimutal de N115°E. Los otros dos sistemas de fracturamiento actúan cortando de manera casi perpendicular a los planos de foliación; una tiene direcciones que va desde los 60° hasta los 80° con buzamientos en su mayoría subverticales; este sistema mantiene paralelismo con la principal falla que corta la zona de trabajo. El otro sistema de fracturamiento tiene direcciones que van desde los 160° hasta los 180°, también con buzamientos subverticales.

2.5.4. Geoquímica

GEOMIN INGENIEROS EIRL (2012) Tomo 53 muestras para análisis geoquímico solamente por Au. El tipo de análisis geoquímico fue ICP OES.

2.5.4.1. Muestreo en mantos /vetas (canal)

La toma de muestras se realizó a lo largo de una sección del manto entre 1, 3 hasta 10 metros de longitud formando un compósito de 3 a 5 kilos.



Tabla 6. Resultado Del Análisis De Oro.

Muestreo en mantos / vetas (canal)	Código de muestra	Au g/t
Manto Santa Rosa	SMU-M1-01	5.36
Manto Santa Rosa	SMU-M2-01	0.48
Manto Santa Rosa	SMU-M2-02	0.48
Manto Santa Rosa	SMU-M4-01	0.48
Manto Santa Rosa	SMU-M3-01	19.49
Manto Santa Rosa	SMU-M3-02	11.87
Manto Santa Rosa	SMU-M2 -03	8.55
Manto Santa Rosa	SMU-M4 -02	0.97
	SMU-M2 -04	321.14
	SMU-M2 -05	36.17
	SMU-M3-021	1.23
Sector Huasa Ccotacuna	SMU-M13 -01	2.00
Sector Huasa Ccotacuna	SMU-M13 -02	0.24
	RC -1	0.38
Sector Huasa Ccotacuna	Bx-1	0.19
Sector Huasa Ccotacuna	Bx-2	0.24
	Bx-3	0.21
	SMU-M8-01	0.73
Manto Huancasaya	SMU-M5-01	0.36
Manto Huancasaya	SMU-M7-01	1.48
Manto Huancasaya	SMU-M6-01	0.73
	SMU-M6-02	0.73
Manto Huancasaya	SMU-M9-01	7.88
	SMU-M10-01	0.36
Sector Huasa Ccotacuna	SMU-M14-01	0.36
	SMU-M11-01	0.6
Sector Huasa Ccotacuna	CZ -01	0.6
	SMU-CZ1	1.43
	SMU-DIQUE CZ	0.36
Sector Huasa Ccotacuna	SMU-M12 -01	10.85
	SMU-M20 -01	0.43
	SMU-FCT-01	0.68
	SMU-M21-01	10
	SMU-M11 -02	0.29
Sector Huasa Ccotacuna	SMU-M13 -03	0.98
Sector Huasa Ccotacuna	SMU-M15 -01	0.73
Sector Huasa Ccotacuna	SMU-M16 -01	0.26
	SMU-M17 -01	1.23
	SMU-M18 -01	0.24
	SMU-M19 -01	0.36
Sector Llacta Pata	SMU-MLLCQ -01	66.8
Sector Llacta Pata	SMU-MLLCQ-03	42.6
Sector Llacta Pata	SMU-MLLP -02	2.93
Sector Llacta Pata	SMU-MLLP -03	0.48
Sector Llacta Pata	SMU-MLLP -04	2.79
Sector Llacta Pata	SMU-MLLP -05BX	18.08
Sector Llacta Pata	SMU-MLLP-06	27.95
Sector Llacta Pata	SMU - MLLCQ-02	1.87
Sector Llacta Pata	SMU-MLLP-01	44.69
	SMU-SS-CQ-010	4.76
	SMU-SS-CQ-011	0.12
	SMU-SR-CQ-012	0.73

FUENTE: Geomin ingenieros EIRL (2012).

Muestras obtenidas en la zona de trabajo. Los resultados de leyes corresponden al

Laboratorio de Espectrometría Universidad Nacional de Ingeniería- LIMA.



CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de investigación se ha aplicado la metodología de tipo descriptivo, interpretativo y analítico, en el que se ha desarrollado las siguientes etapas:

3.1.1. Recopilación y revisión de la información

En esta etapa se realizó la revisión y selección de material bibliográfico existente sobre la zona de estudio, los cuales constan de investigaciones geológicas regionales y locales, además de artículos de investigación relacionadas al estudio de inclusiones fluidas en yacimientos de tipo oro orogénico.

3.1.2. Primer trabajo de gabinete

Se elaboró el plano topográfico y se delimito el área de investigación, además se sistematizo la información concerniente al cuadrángulo 33-y según información del INGEMMET, el cual enmarca el área de estudio. Con información de la empresa GEOMIN INGENIEROS EIRLtda se elaboró el mapa geoquímico de oro, en el cual se ha determinado puntos estratégicos de muestreo para el estudio de inclusiones fluidas, con el software Arc Gis 10.2.

3.1.3. Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en un reconocimiento geológico y ubicación de puntos estratégicos de los puntos implantados en la etapa de gabinete, seguido de la toma de muestras de roca considerando los parámetros requeridos para el estudio microtermometrico. En esta etapa se tomaron 13 muestras para el estudio mineragráfico

y petrográfico, tomando criterios como: cambios mineralógicos, contenido de cuarzo y ley de oro.

El muestreo es determinante para el estudio de microtermometría en inclusiones fluidas, por ello, de las 13 muestras de roca extraídas se seleccionaron 6 muestras para el estudio de microtermometría. Los parámetros considerados en estas muestras fueron: que la muestra este ubicada en fractura fresca, que contengan minerales translucidos relacionados a la mineralización de oro. Para esto se utilizó el mapa geoquímico, estructuras mineralizadas y de litología.



Figura 18. Muestreo en estructura mineralizada para estudio microtermométrico.

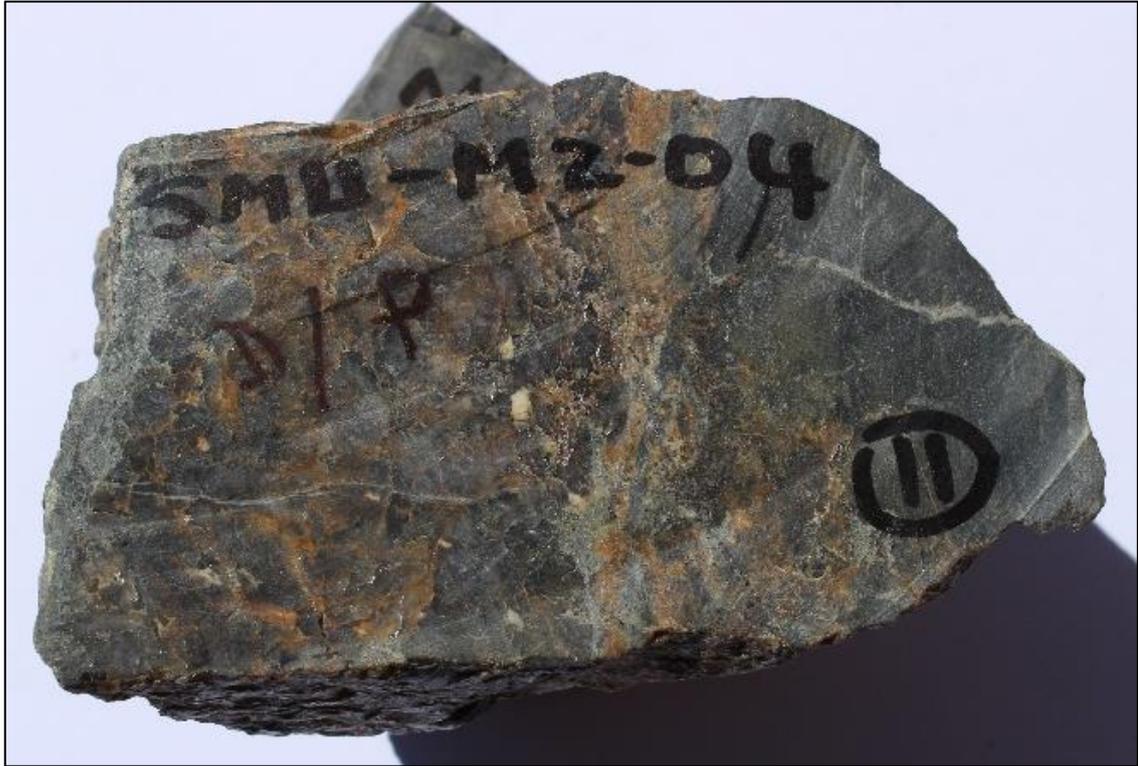


Figura 19. Muestra codifico para el estudio de inclusiones fluidas.

3.1.4. Etapa de laboratorio

La etapa de laboratorio se realizó en cuatro sub etapas, las cuales son descritas en los siguientes párrafos.

A. Preparación de muestras

Primeramente, se realizó el corte, marcado y recodificado de muestras, el cual se hizo en el laboratorio de Petrotomía de la Escuela profesional de Ingeniería Geológica (EPIG) en la Universidad Nacional del Altiplano. Las muestras cortadas fueron enviadas al laboratorio de Petrotomía del INGEMMET, para que se elabore lo siguiente:

- 13 secciones pulidas para el estudio de mineragrafía, el cual consiste en briquetas de 2.5cm de diámetro y 1 cm de espesor, para la observación de minerales metálicos opacos.

- 13 secciones delgadas para el estudio de petrografía, el cual fue hecho en minerales translucidos de 30 micras de grosor, tanto en roca caja y estructura mineralizada.
- 7 secciones doblemente pulidas en tres tipos de cuarzo, para el estudio de microtermometría, que tienen 100 micras de espesor.

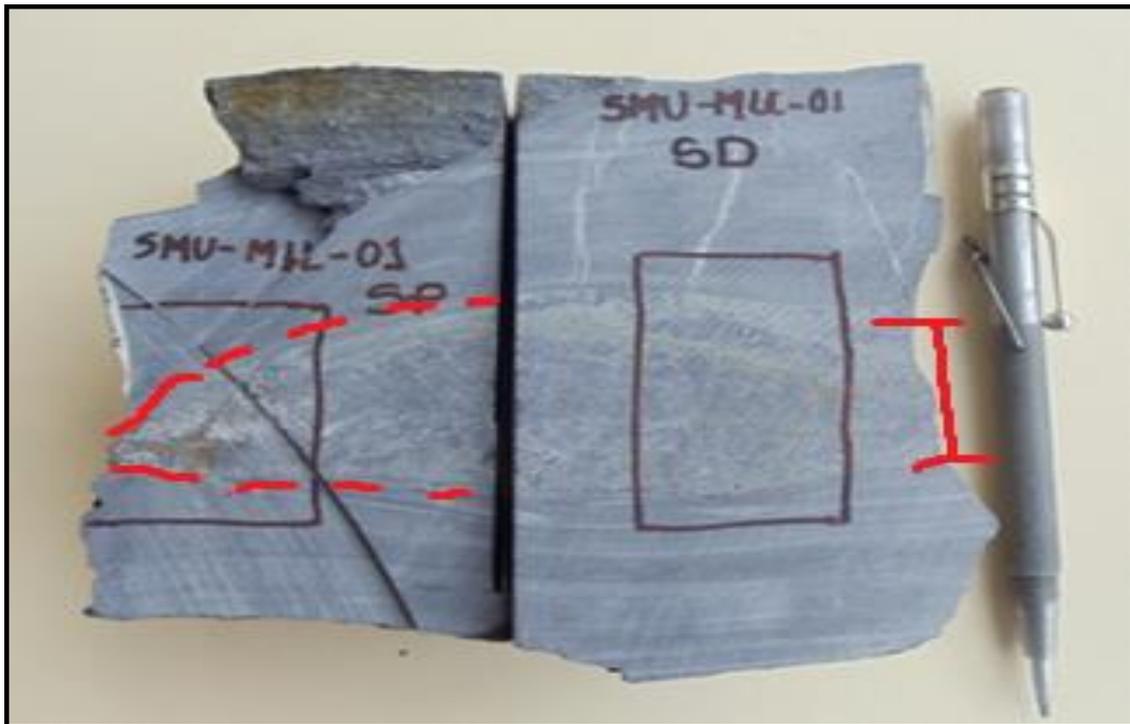


Figura 20. Muestra de una estructura Budding en cuarzo ahumado, emplazado en una filita.

Se observa también corte, marcado y recodificado, para envío al laboratorio de INGEMMET.



Figura 21. Muestras de roca con su respectiva sección delgada y pulida.

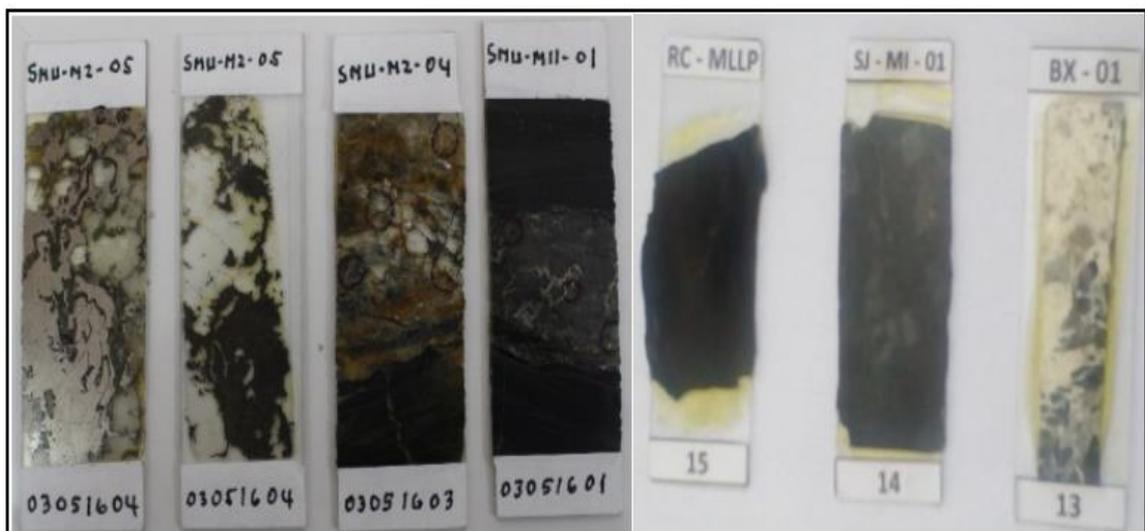


Figura 22. Secciones doblemente pulidas para estudios de microtermometría.

B. Estudio de petrografía

El estudio petrográfico se realizó con el microscopio óptico LEICA DM 2700 P del laboratorio de microscopia de la EPIG en la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Con este estudio se determinó los diferentes tipos de litológicos presentes en la mina San Miguel de Untuca. Se tomó una sección doblemente pulidas de la roca caja para determinar la relación de temperatura y presión con las estructuras mineralizadas.

C. Estudio de mineragrafía

Con este estudio se determinó la presencia de variedades de minerales opacos que ocurren en las estructuras mineralizadas y roca encajonante.



Figura 23. Estudio mineragráfico con el microscopio Leica y toma de micrografías en el software LAS EZ.

FUENTE: Laboratorio de microscopia de la EPIG.

D. Estudio de microtermometría en inclusiones fluidas

Esta etapa se efectuó con el equipo de inclusiones fluidas “LINKAM” que tiene un límite máximo de 600°C para temperaturas de homogenización y -200°C para temperaturas de obtención del punto eutéctico en las inclusiones fluidas, el cual pertenece al laboratorio de Yacimientos Minerales de la EPIG, UNA PUNO. Para el reconocimiento detallado del equipo ver figura 23. A continuación se detalla ítems sobre el manejo del equipo de inclusiones fluidas:

Manejo y encendido del equipo de inclusiones fluidas

Como primer paso se procede al reconocimiento de los componentes del equipo LINKAM. El mismo que es detallado a continuación:



Figura 24. Componentes del equipo de inclusiones fluidas LINKAM.

1: Estación THMGS600 stage, **2:** Termo LNP95, **3:** Consola del sistema de control T95-LinKPad, y **4:** Platina adaptador THMGS600 (para calentamiento de las IF).

Para poner en marcha el equipo es necesario adaptar componentes como:

- Microscopio óptico LEICADM 2700P
- ECP, sistema de refrigeración de equipo, contiene agua destilada.
- Una computadora LG core i7.

- Smart UPS, unidad de almacenamiento de energía para cortes intempestivos.
- Cámara IMAGING, para toma de micrografías de IF (centrado).



Figura 25. Instalación del equipo LINKAN.

Una vez realizada toda la instalación procedemos al encendido para el correcto funcionamiento del equipo, el cual se hace de la siguiente manera:

- 1) Se llena de nitrógeno líquido el termo “LNP95” y procedemos a conectarlo a la platina “THMSG600”.
- 2) Se realiza el encendido de la computadora en la que se proyectara la imagen de la inclusión fluida para una mejor visualización.
- 3) Se enciende y configura el Smart –UPS, con el objetivo de prevenir cortes de energía eléctrica que afecten el funcionamiento del equipo LINKAM.

- 4) Se enciende el microscopio LEICA que se encuentra acoplado a la platina de calentamiento LINKAN.
- 5) Encendido del “ECP”.
- 6) Encendido de la estación “THMGS600 stage “

De esta manera queda todo preparado para iniciar con el análisis de las inclusiones fluidas.



Figura 26. Equipo en funcionamiento.

Proceso para toma de datos microtermométricos

A continuación, detallamos los pasos que se realizan para la toma de datos microtermométricos:

- 1) Toma de fotografía de la sección doblemente pulida, seguida de su impresión de esta fotografía, con el objetivo de cartografiar la sección doblemente pulida.



- 2) Descripción petrominerográfica de la sección doblemente pulida. Esta acción se hace para caracterizar la paragénesis de la estructura mineralizada.
- 3) Una vez realizada la caracterización de la paragénesis se realiza el reconocimiento de diversas asociaciones de inclusiones fluidas presentes, los cuales denominamos campo 1, campo 2, etc., cada campo determinado fue marcado en la sección doblemente pulida. Considerar las áreas marcadas al momento se expuestas en la acetona.
- 4) Separación de la lámina de roca del porta muestras de vidrio de la SDP, usando una cocina eléctrica (Ver Figura 27).
- 5) Luego se procedió a remojar la lámina de roca con la resina en “acetona”, esto se hace para separar la resina de la sección de roca (usar cutter) el cual se hace con sumo cuidado para no quebrar la muestra.
- 6) La lamina de roca ya sin resina es quebrada por los campos marcados; el tamaño del campo determinado no debe sobre pasar los 5mm² para que pueda ser colocado en el porta muestra de la platina del equipo de inclusiones fluidas.
- 7) Luego de colocar la muestra, se sigue con la toma de datos, primero se elige un campo representativo para un análisis exploratorio de temperatura.
- 8) Este análisis exploratorio es para determinar los límites de temperatura (enfriamiento y calentamiento de inclusión), esto se realiza con el objetivo de generar una base o referencia para controlar las temperaturas a las que se expondrán cada inclusión en los campos marcados. Además, estos datos son usados para programar las rampas el sistema de control LinkPad (consola) del equipo de LINKAM.



- 9) Seguidamente se procedió a identificar una inclusión fluida para ser analizada; en el cual se toma sus características morfológicas, tamaño, clasificación genética y toma de datos (temperatura de eutéctico, temperatura de fusión y homogenización), ver tabla 2. Previo al trabajo de caracterización de las inclusiones fluidas se tiene que considerar el tipo de yacimiento para la determinación temperaturas de fusión, eutéctico y homogenización.
- 10) Primeramente, se determina el punto eutéctico, seguido de la temperatura de fusión, estos dos datos se hacen enfriando la platina. La temperatura de homogenización se obtiene al calentar la platina.
- 11) Luego de obtener la temperatura de homogenización se debe esperar que el equipo LINKAM vuelva a alcanzar la temperatura ambiente y seguidamente proceder a la ubicación de otra inclusión fluida.

Los procedimientos de 1 al 7 se realiza por cada muestra de sección doblemente pulida; los pasos 9, 10 y 11 se repite por cada inclusión hasta culminar el objetivo proyectado.

Acontinuacion presentamos en la Figura 27 una imagen que muestra un resumen de las etapas desarrolladas en labortarorio:



Tabla 7. Formato para toma de datos del análisis de inclusión fluida.

Código de SDP.	Campo	N° de IF	Clasificación	Mineral	Tipo	Diámetro (μ)	% De Relleno			T° F H2O	T° h	T° Eutectico
							L	V	S			

Cabe señalar que el formato presentado es considerado solo para yacimientos que tengan el mismo comportamiento; la elaboración del formato se ha basado acorde a los resultados del análisis exploratorio de cada sección.

3.1.5. Gabinete

- Interpretación de resultados del estudio de petrografía y mineragrafía.
- Los datos obtenidos en el análisis microtermometrico son sistematizados en una base de datos Excel en el cual se contempla la información de la tabla 7.
- Elaboración de planos y secciones geológicas en donde se contempla la temperatura, presión y profundidad, con el uso de los softwares Arc Gis 10.2 y Autocad 2013.
- Redacción de la tesis

3.2 INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES

3.2.1. Equipos, instrumentos y materiales utilizados en campo

- GPS Garmin Serie 64s.
- Picota de geólogo Estwing.
- Combo de 1.5 Kg.
- Brújula Brunton de rumbo.



- Lupa de 20X.
- Rayador.
- Lápiz magnético.
- Protactor.
- Base topográfica a escala 1/5 000.
- Lápices de colores.
- Lápices HB-2H.
- Plumones tinta indeleble.
- Etiquetas de muestreo
- Cámara fotográfica de marca SONY.
- Camioneta 4x4 Toyota Hilux 2010.

3.2.2. Materiales, equipos y aditivos utilizados en laboratorio

- Equipo de inclusiones fluidas “LINKAM”
- Cámara “QIMAGING – QICAM”.
- Computadora marca LG INTEL CORE i7.
- Nitrógeno líquido.
- Agua destilada.
- Pinza metálica.
- Cocina eléctrica.



- Acetona (C₃H₆O).
- Recipiente de vidrio.
- Plumones de colores tinta indeleble.
- Cintas de embalaje.
- Hoja transparente.

3.2.3. Materiales y equipos utilizados en gabinete

- Laptop corei5. TOSHIBA.
- Impresora HP plotter.
- Útiles de escritorio.
- Software (Arc Gis 10.2, Autocad 2013, Excel 2016, Word 2016, Visio 2016).



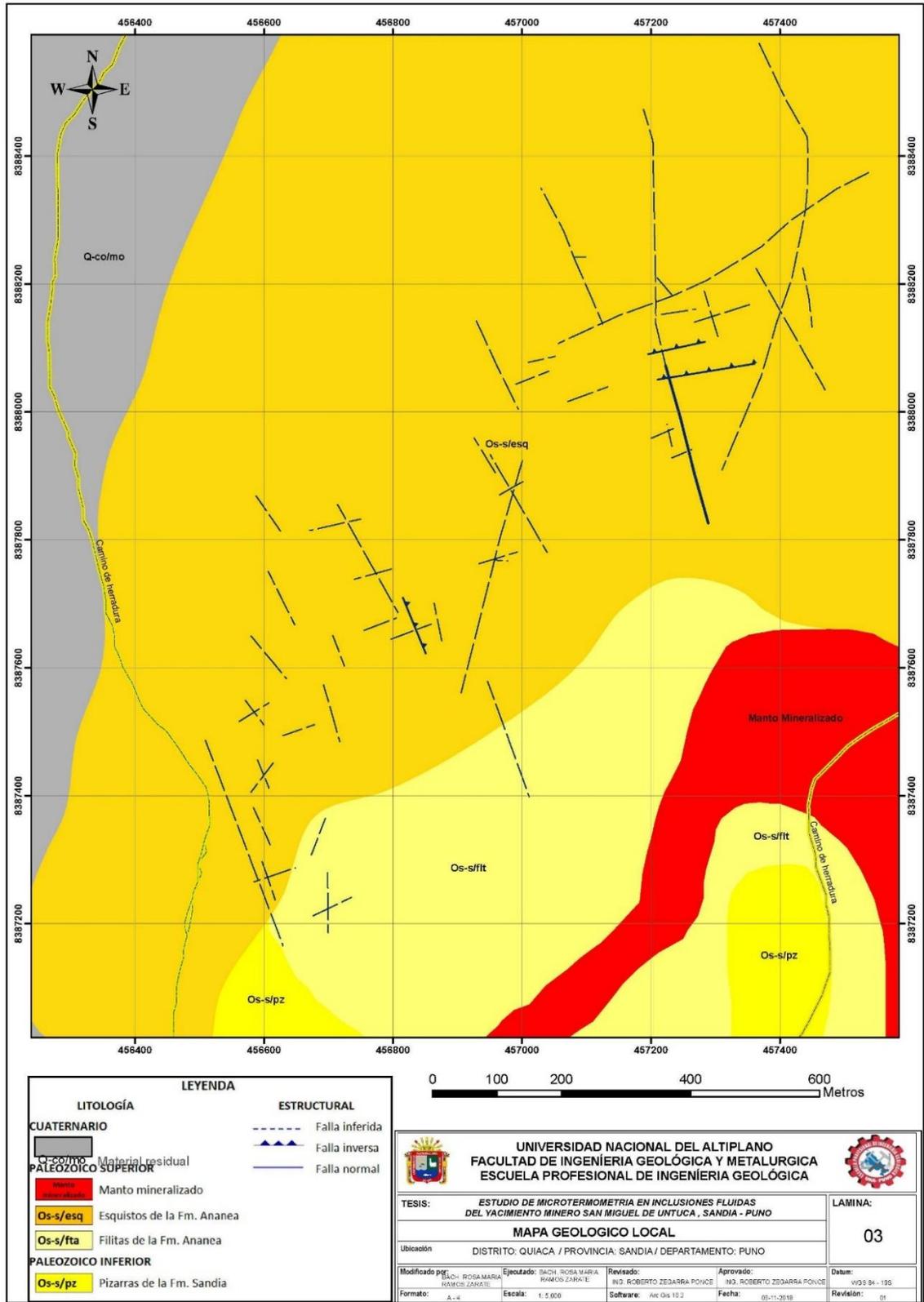
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO LOCAL

La unidad estratigráfica que enmarca el área de estudio, está constituida por la Formación Sandia, cuya litología corresponde a una secuencia de cuarcita intercaladas con pizarras negras, a la que la subrayase la formación Ananea a través de un sobrecorrimiento.

Las pizarras en la zona de estudio presentan coloración negra y en algunos casos se encuentran silicificadas; estas rocas muestran vetillas milimétricas de cuarzo ahumado, paralelo y perpendicular a sus planos de estratificación, los paquetes de estratos tienen una orientación de N100°E, a su vez se encuentran intercalados con niveles de cuarcitas y filitas bituminosas. Las filitas son intersectadas por fallas rellenadas por cuarzo; también se observa cuerpos de cuarzo metamórfico formando budding, con una potencia de hasta 1m, lo cual es observado al noroeste del cerro Azoguinipata. Los esquistos se intercalan con filitas bituminosas, mientras que al suroeste de la zona de estudio se tiene mantos mineralizados intercalados con filitas. En cuanto a la geología estructural se observan ambientes de deformación dúctil y frágil-dúctil, lo cual se manifiesta por la presencia de plegamientos, fallas inversas y brecha tectónicas. Se reconocieron también depósitos cuaternarios aluviales y de origen glaciar; los de origen glaciar que se encuentran distribuidos al noroeste del área de estudio, los cuales están constituidos por depósitos morrénicos conformado por clastos polimigíticos en una matriz limo-arcillosa-arenosa, son típicos en los flancos del cerro Azoguinipata.



4.1.1. Estudio Petrográfico

Se ha identificado pizarras con alteración clorítica, filitas, esquisto con matriz de micas como muscovita y granoblastos de biotita, cuarzo y minerales opacos, además se ha reconocido esquisto en transición a gneis con pórfidoblastos de cuarzo, biotita, feldespatos y minerales opacos, mostrando una clara recristalización de minerales manifestando una evolución metamórfica.

4.1.1.1. Pizarras

Muestra **SMU-FCT-01**, muestra tomada cerca de la falla Cotacunca, presenta una trama foliada – pizarrosidad, con cristales lepidoblasticos conformados por muscovita, minerales opacos y cuarzo, también se observa la presencia de alteración debido a cloritas, todas ellas con una orientación definida por la foliacion.

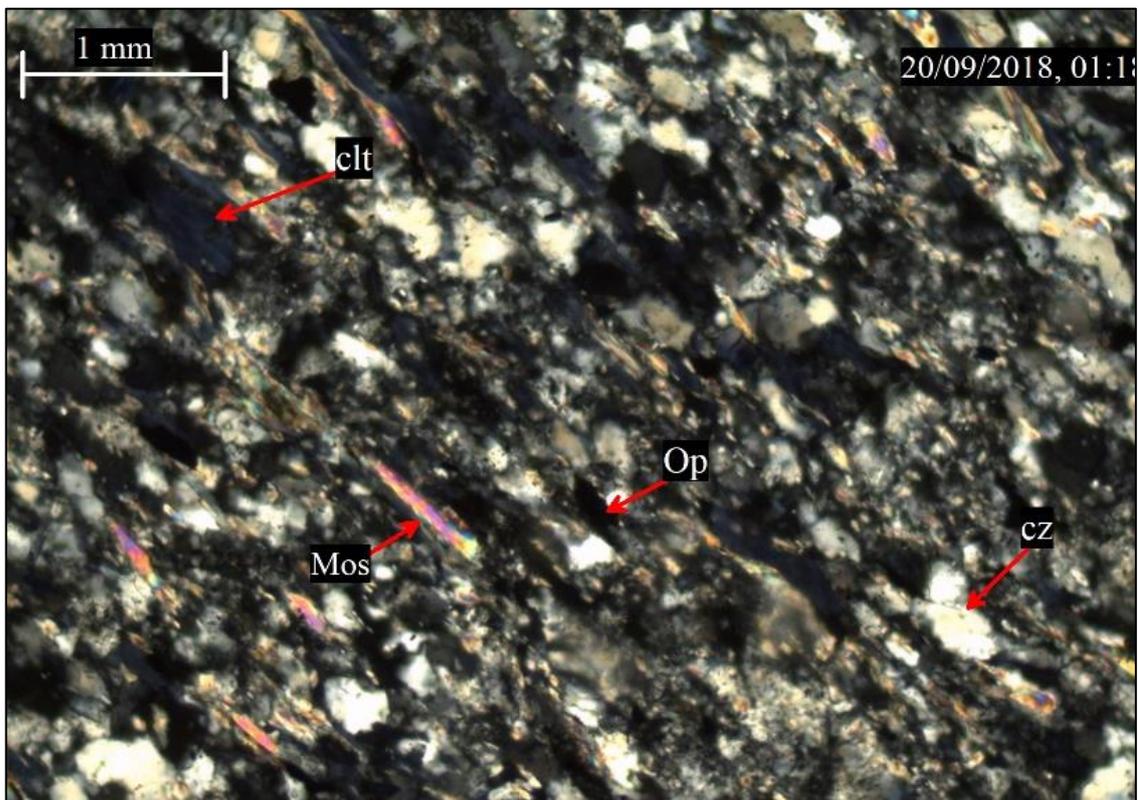


Figura 28. Fotomicrografía de la muestra SMU-FCT-01. Pizarra con textura foliada y presencia de minerales opacos. NX, objetiva 10X.

Muestra **SMU-M2-04**, extraída en un dique en interior mina, que corta pizarras y filitas de grano fino. Bajo microscopio presentan minerales de grano fino y aspecto laminar, de color gris oscuro, cortado por vetillas milimétricas de cuarzo de origen metamórfico, también presentan biotitas y minerales opacos. Los moimerales cuarzo presentan conforman porfidoblastos asociados con clorita y filosilicatos (biotita y micas). Se nota claramente dos fases de deformación, el primero es el metamorfismo de la roca protolito y el segundo es la deformación en la que emplazan las vetillas descritas.

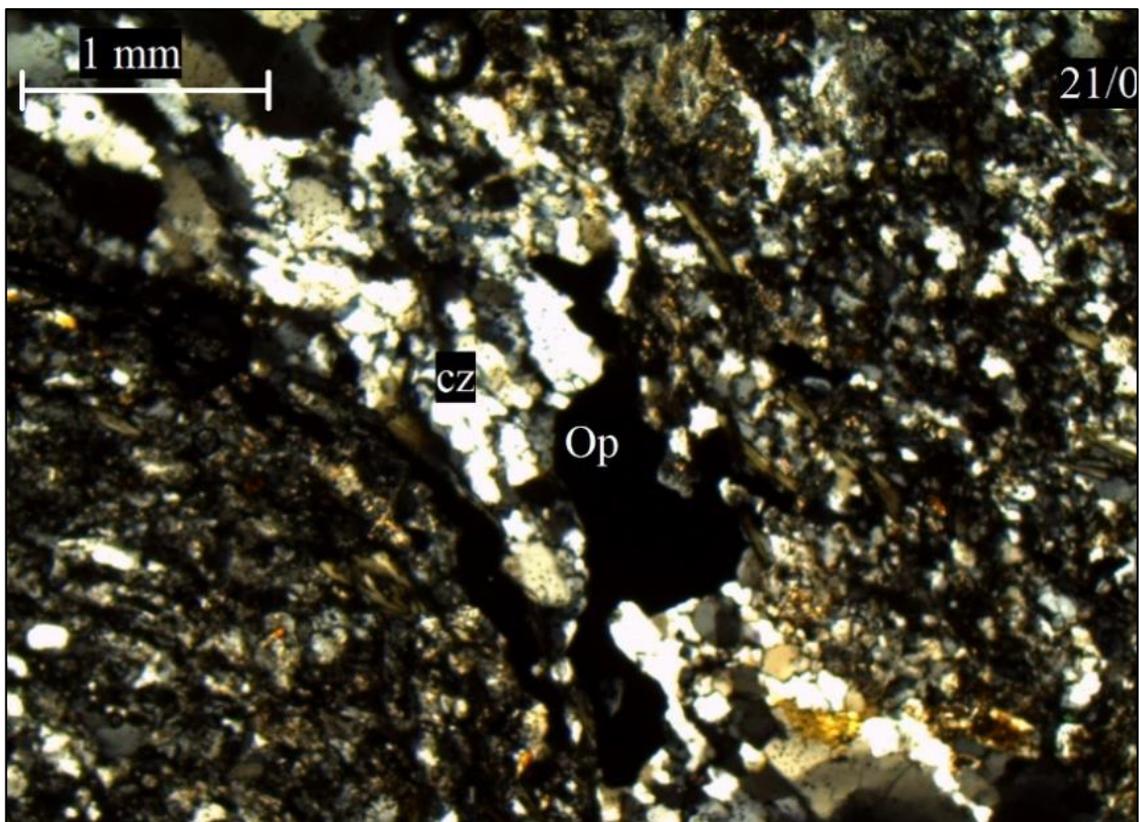


Figura 29. Fotomicrografía de la muestra SMU-M2-04. Vetillas milimétricas de cuarzo, biótica y minerales opacos que corta a la pizarra. Imagen tomada en NX, objetiva 4x.

4.1.1.2. Filitas

RC-MLLP/CONSTANTINO, en muestra de mano se observa una roca masiva de grano fino. Bajo microscopio, es disectada por vetillas de cuarzo, biotita y minerales opacos. Se considera las venillas como una segunda fase de deformación; y las fracturas

en las que emplaza biotita como una tercera fase de deformación. Los filosilicatos están constituidos por granos finos de musovita y cuarzo a manera de porfidoblastos. Se observa también recristalización de minerales opacos a partir de minerales ferromagnesianos.

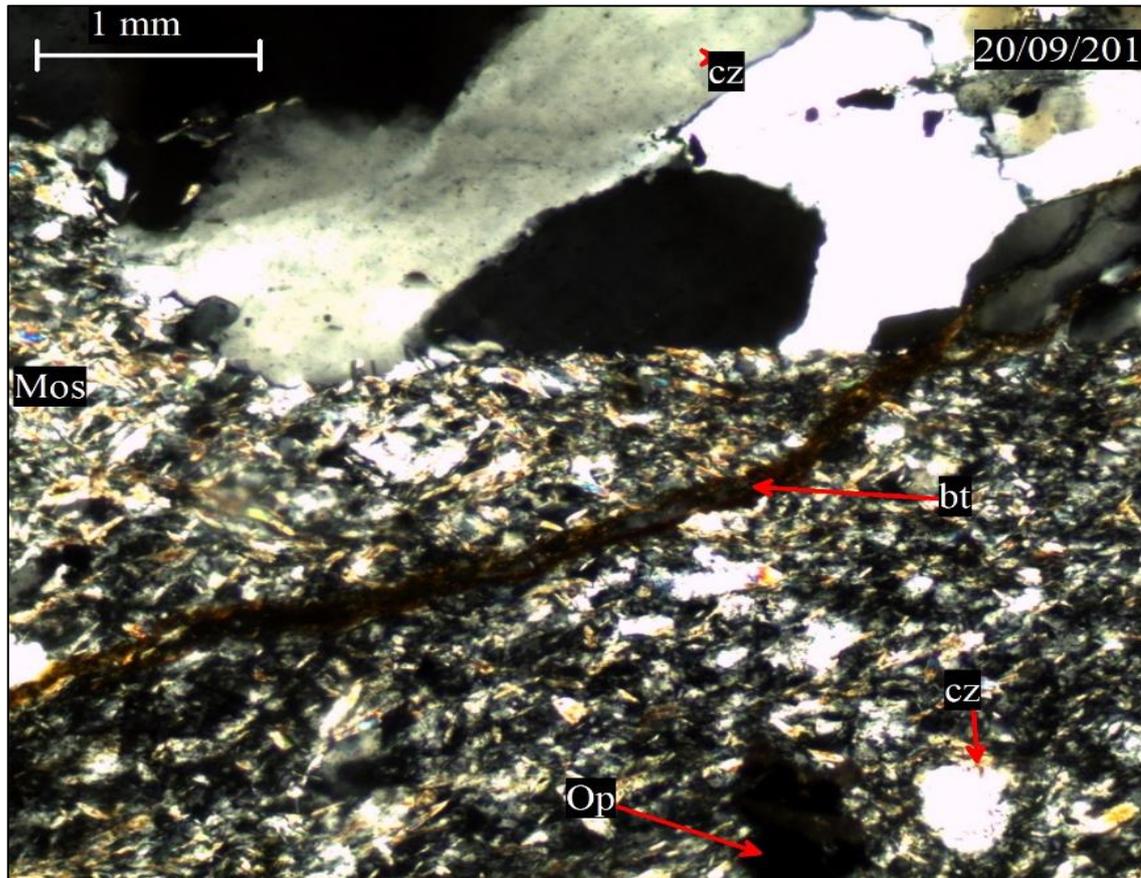


Figura 30. Fotomicrografía de la muestra RC-MLLP/CONSTANTINO. Filita de grano fino con porfidoblastos de cuarzo, cortado por vetillas de cuarzo y fracturas rellenas de biotita.

SMU- M2 - 05, muestra tomada en roca caja de una estructura de cuarzo ahumado mineralizado. Se observa filosilicatos masivos alineados, de color oscuro, de trama foliada esquistosa, constituido por granos menores a 1mm, presenta textura lepidogranoblastica en cual el cuarzo presenta extinción ondulante, y los filosilicatos (muscovita) presenta relieve bajo con colores de interferencia amarillo y rosado.

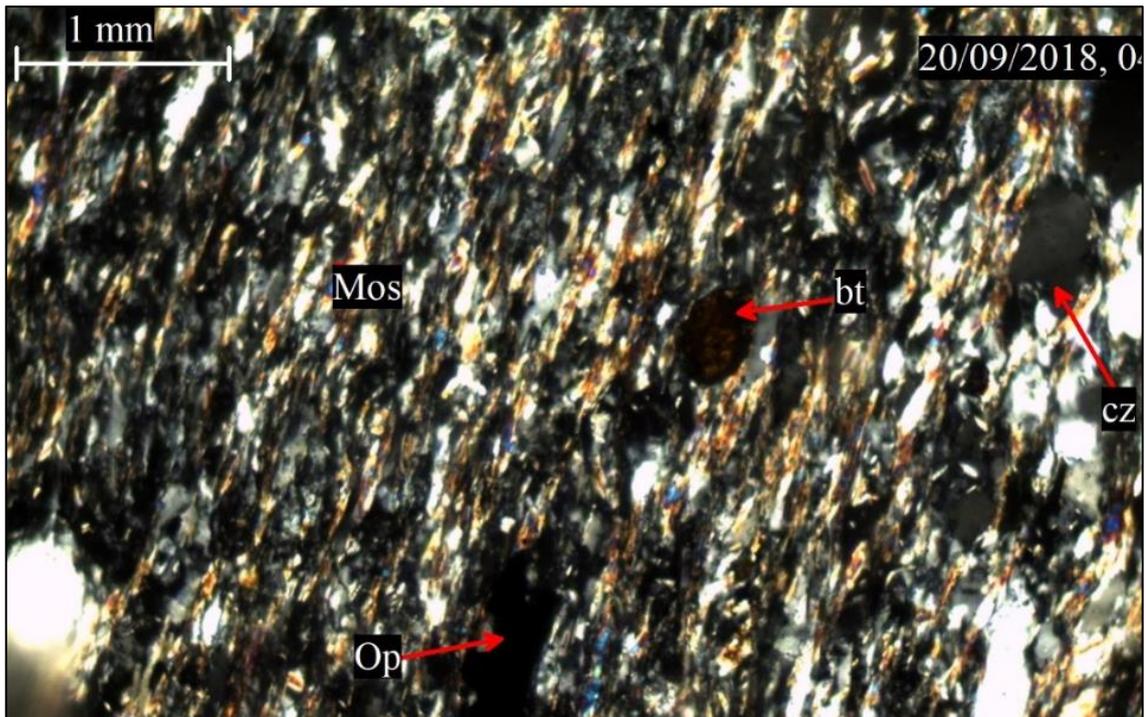


Figura 31. Fotomicrografía de la muestra CAJA – M2 – 05. Filita constituida por filosilicatos (muscovita), porfidoblastos de cuarzo, biotita y minerales opacos distribuidos aleatoriamente.

SMU-MLL-01, esta muestra fue extraída para el estudio del contacto roca caja y manto de cuarzo ahumado. La roca caja según análisis microscópico presenta trama foliada, con textura lepidoblastica y porfidoblastos de cuarzo definidos por la orientación de la foliación además de cloritas. El contacto entre la estructura mineralizada y la roca caja está bien definido y muestra muscovitas paralelas a las estructuras mineralizada. La estructura de cuarzo presenta biotitas y minerales opacos.

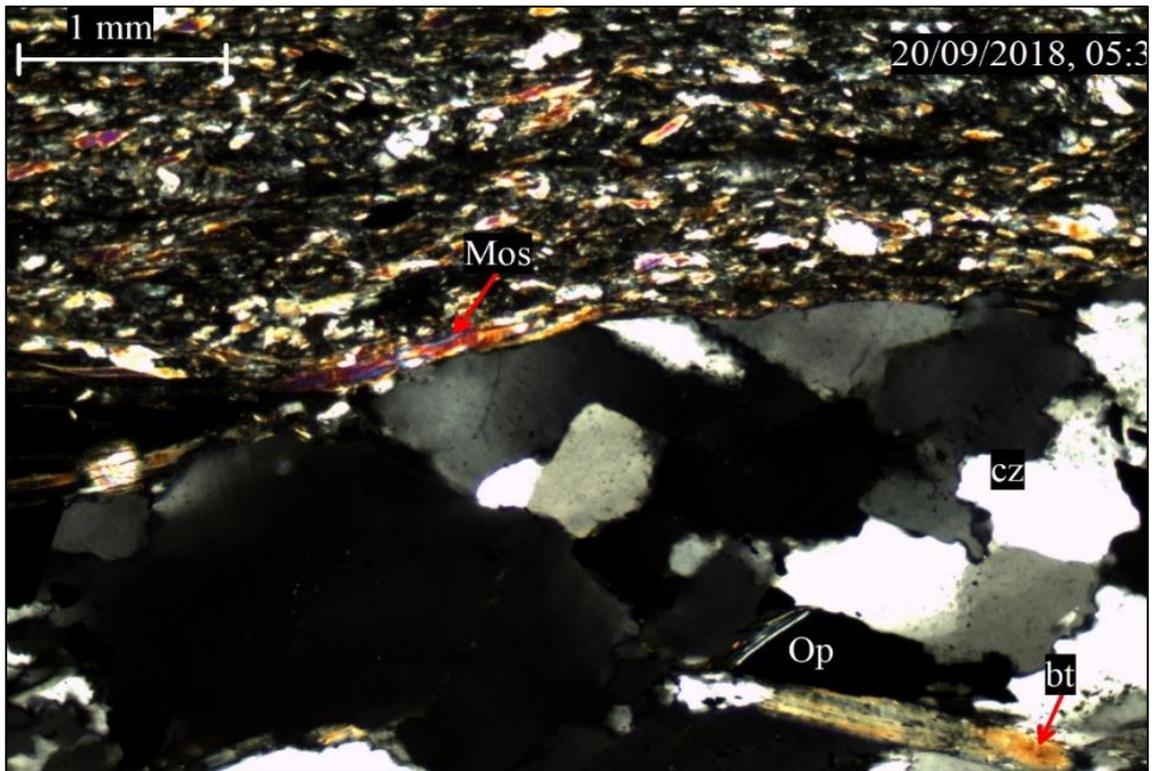


Figura 32. Fotomicrografía de la muestra SMU-MLL-01. Filita de grano lepidoblastico con porfidoblastos de cuarzo, feldespatos, minerales opacos y biotita.

RC – 01, la muestra se obtuvo en la roca caja de una brecha tectónica. Se describe como filita que presenta grietas tensionales ocasionadas por recristalización de feldespatos y cuarzo metamórfico. Los feldespatos muestran maclas polisintéticas que presentan terminación en cuña y que atraviesan en forma perpendicular a la foliación. El contacto entre la roca caja y la venilla de feldespatos es difuso por el que se interpreta que hubo recristalización de feldespatos a partir de minerales filosicatados ocasionados por esfuerzos cizallantes.

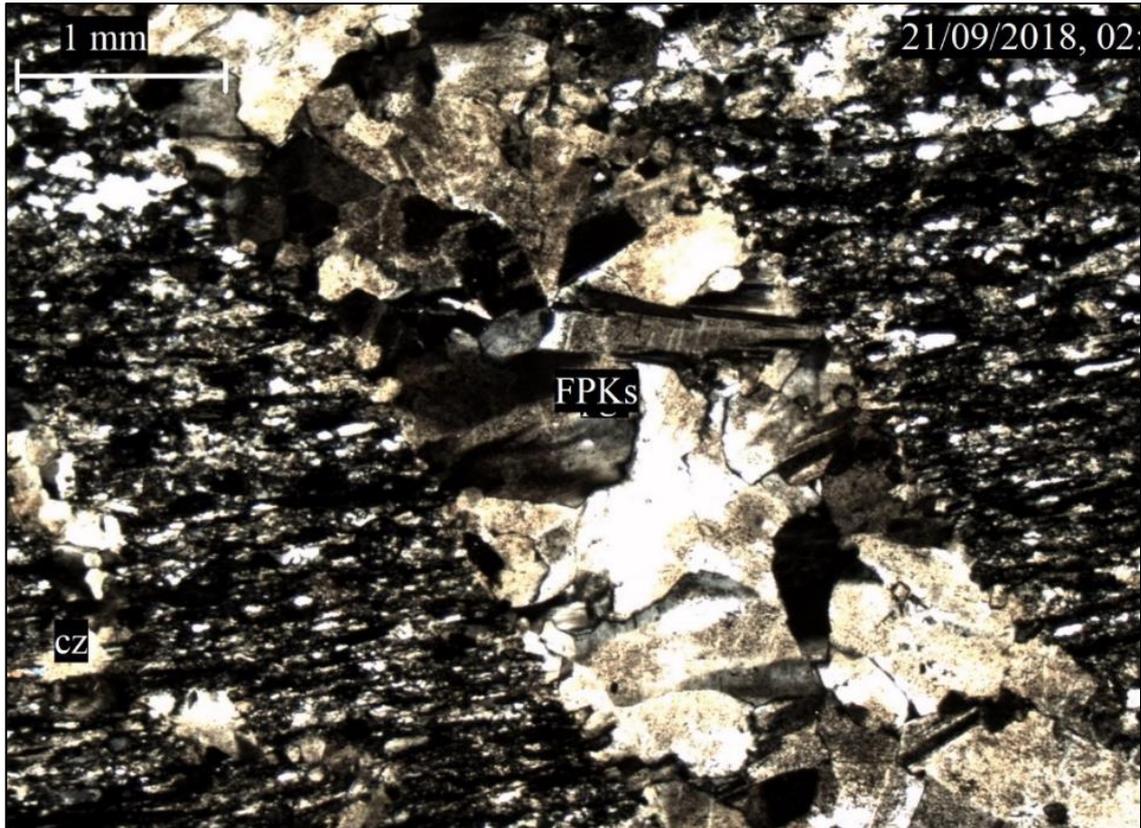


Figura 33. Fotomicrografía de la muestra RC – 01. Grietas constituidas por cuarzo y feldespato que atraviesan de manera perpendicular a la orientación de la filita.

4.1.1.3. Esquistos

SMU – M9 – 01, muestra tomada en superficie y presenta textura lepidoblastica y algunos porfidoblastos mayores a 1mm de cuarzo, muscovitas y biotitas; tiene una tonalidad amarillenta debido a la presencia de óxidos de hierro. Los porfidoblasto de cuarzo son producto de recristalización de minerales preexistentes en el protolito (filita). Se observa los minerales opacos producto recristalización a partir de minerales ferromagnesianos.

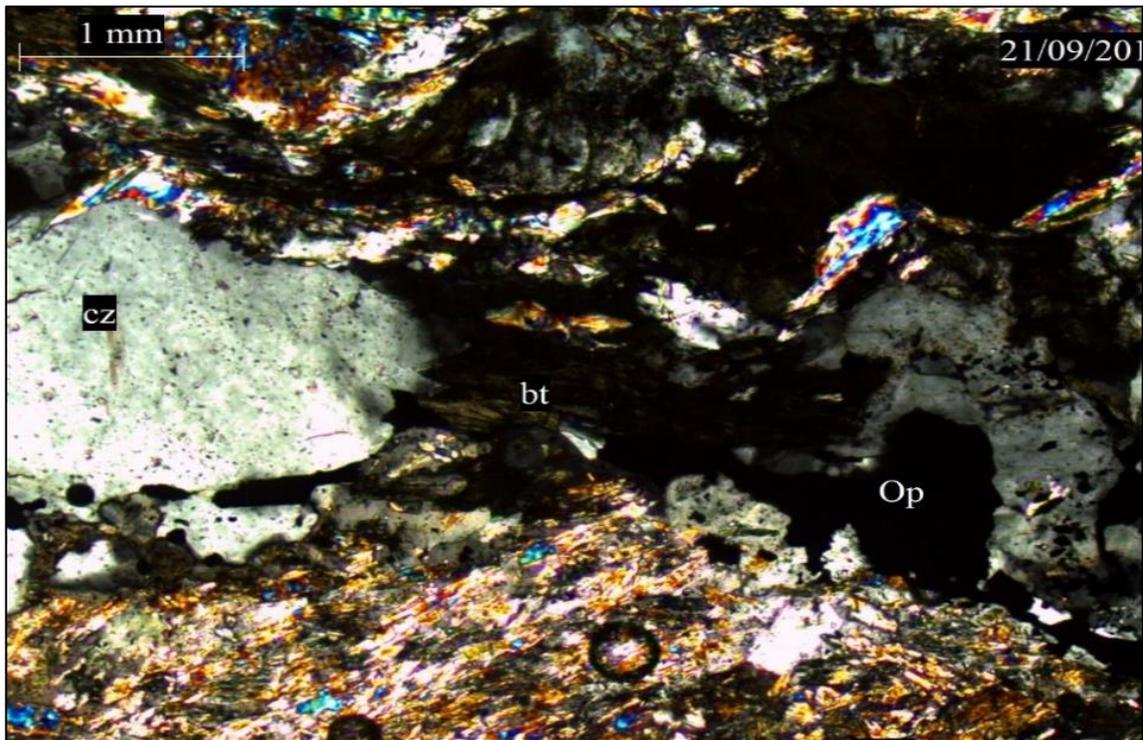


Figura 34. Fotomicrografía de la muestra SMU – M9 – 02. Esquisto de textura lepidoblastica y porfidoblastos de cuarzo, biotita y minerales opacos.

CZ – SC, la muestra fue obtenida en un budings que corta una metagrawacka, con la intención de reconocer minerales opacos producto de la removilizacion de minerales por tectonismo. Bajo microscopio se observa bandas en los planos de foliación de textura mixta lepidogranoblastica en minerales de biotita, cuarzo y porfidoblastos de minerales opacos a partir de recristalización. Se observa tres fases de deformación; metamorfismo, crenulacion y rotación del minerales (porfidoclasto) inducida por el cizallamiento.

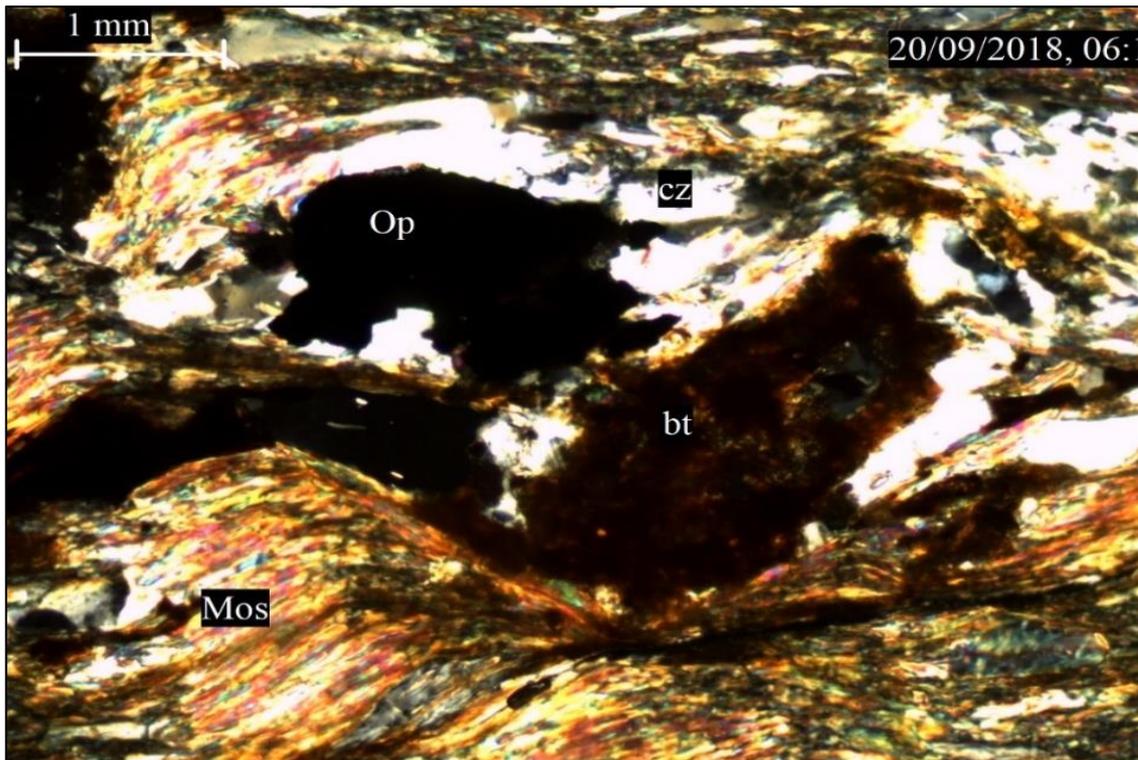


Figura 35. Fotomicrografía de la muestra CZ – SC. Deformación rotacional inducida por cizallaamiento.

4.1.1.4. Cuarzitas

QZ– 01, roca metamórfica de textura porfidoblastica, presenta cristales de cuarzo desarrollado y cuarzoes de textura milonitica, indicando una brecha de origen metamórfico. También se observa una leve alteración de biotita a clorita y fracturas en cristales indicando posteriores esfuerzos al metamorfismo.

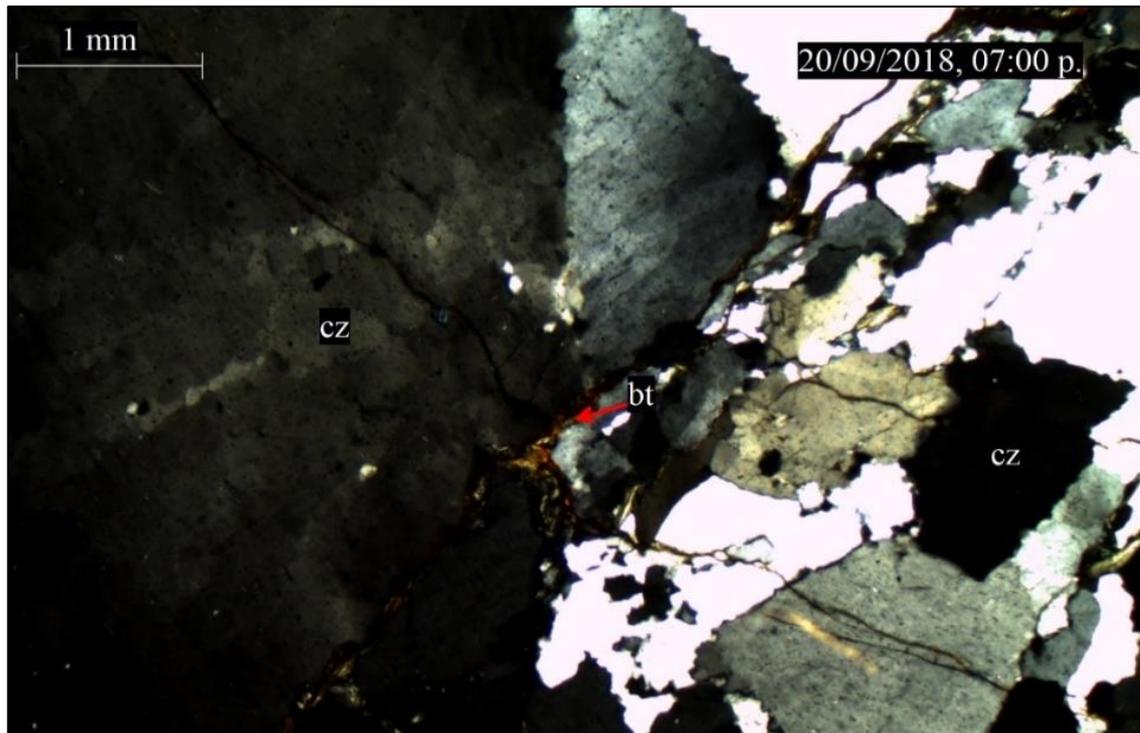


Figura 36. Fotomicrografía de la muestra QZ- 01. Desarrollo de cuarzo en brecha de origen metamórfico. NX, Objetiva 5x.

4.1.1.5. Estructuras de cuarzo

Budings

CZ – SC, bajo microscopio se observa cierta salificación. Es de trama no foliada de grano grueso, presenta cristales desarrollados de cuarzo metamórfico, plagioclasas y biotitas; la presencia de plagioclasa evidencia un fluido salino de origen hidrotermal de baja a mediana temperatura.

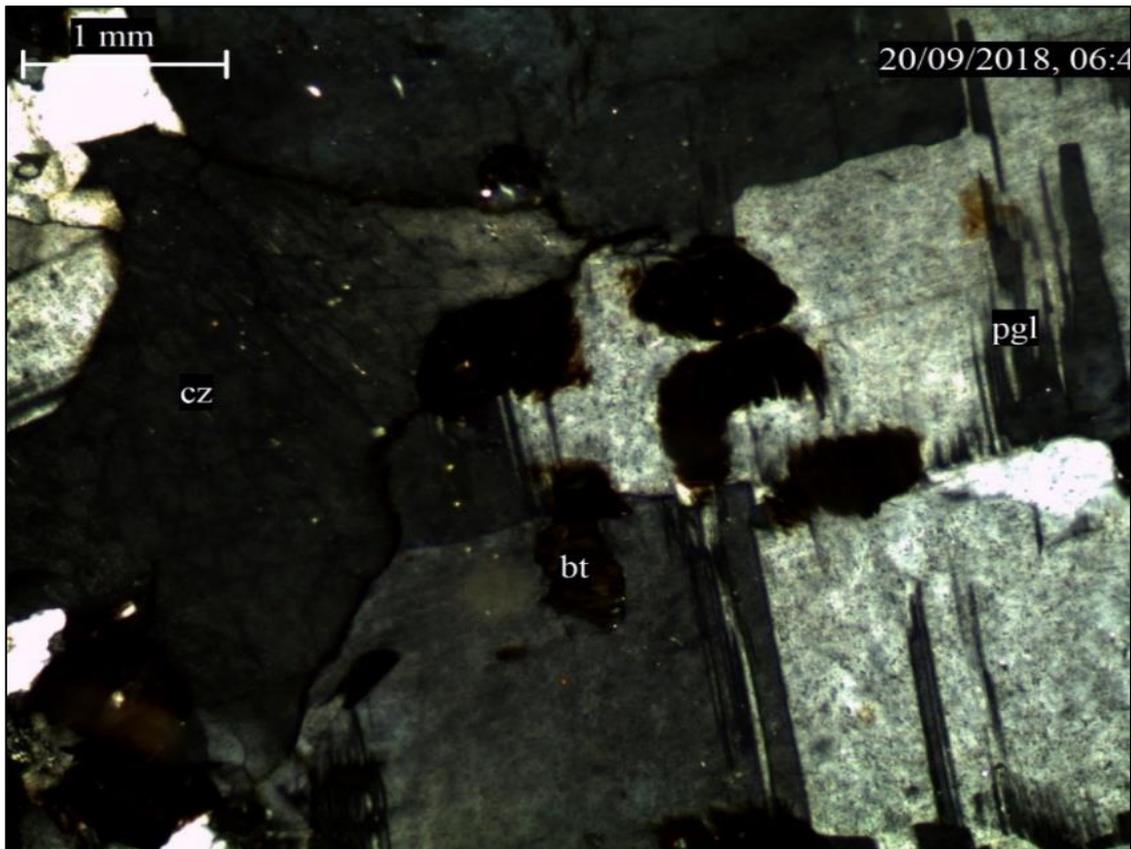


Figura 37. Fotomicrografía de la muestra CZ-SC. Cristales desarrollados de cuarzo, plagioclasas y biotita, desarrollados en un ambiente metamórfico. NX.

Porfidoblasto de cuarzo lechoso

B – 9, muestra tomada en un porfidoclasto de una estructura de cuarzo lecho. Se observa cristales cuarzo metamórfico bien desarrollados de textura granoporfidoblastica, el cual está asociado a minerales opacos y biotita; mostrando un leve fracturamiento en los porfidoblastos de cuarzo.

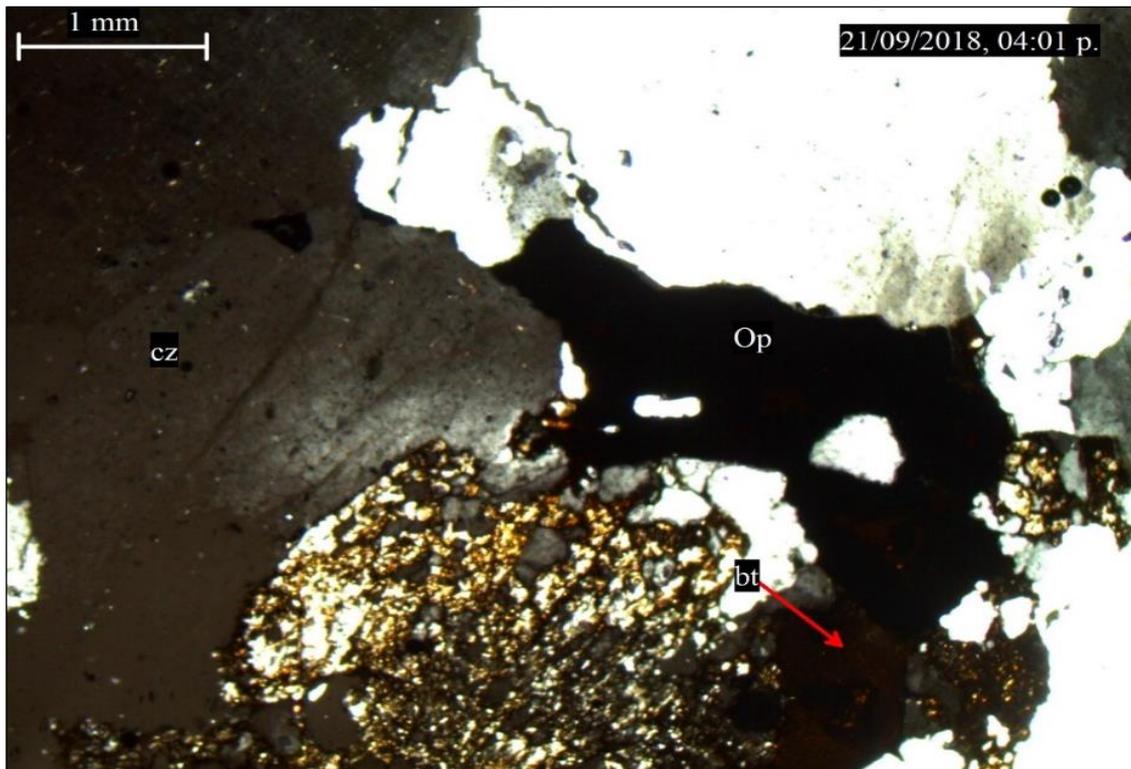


Figura 38. Fotomicrografía de la muestra B-9. Cuarzo metamórfico asociado a minerales opacos y biotita, NX, objetiva 4X.

Manto de cuarzo ahumado

SMU – M2 – 05, Muestra en el que predomina pirrotita como mineral opaco asociado a porfidoblastos de cuarzo de origen metamórfico y algunos minerales de biotita cristalizada elongados en forma radial; los cristales de cuarzo se encuentran fracturados presentando inclusiones.

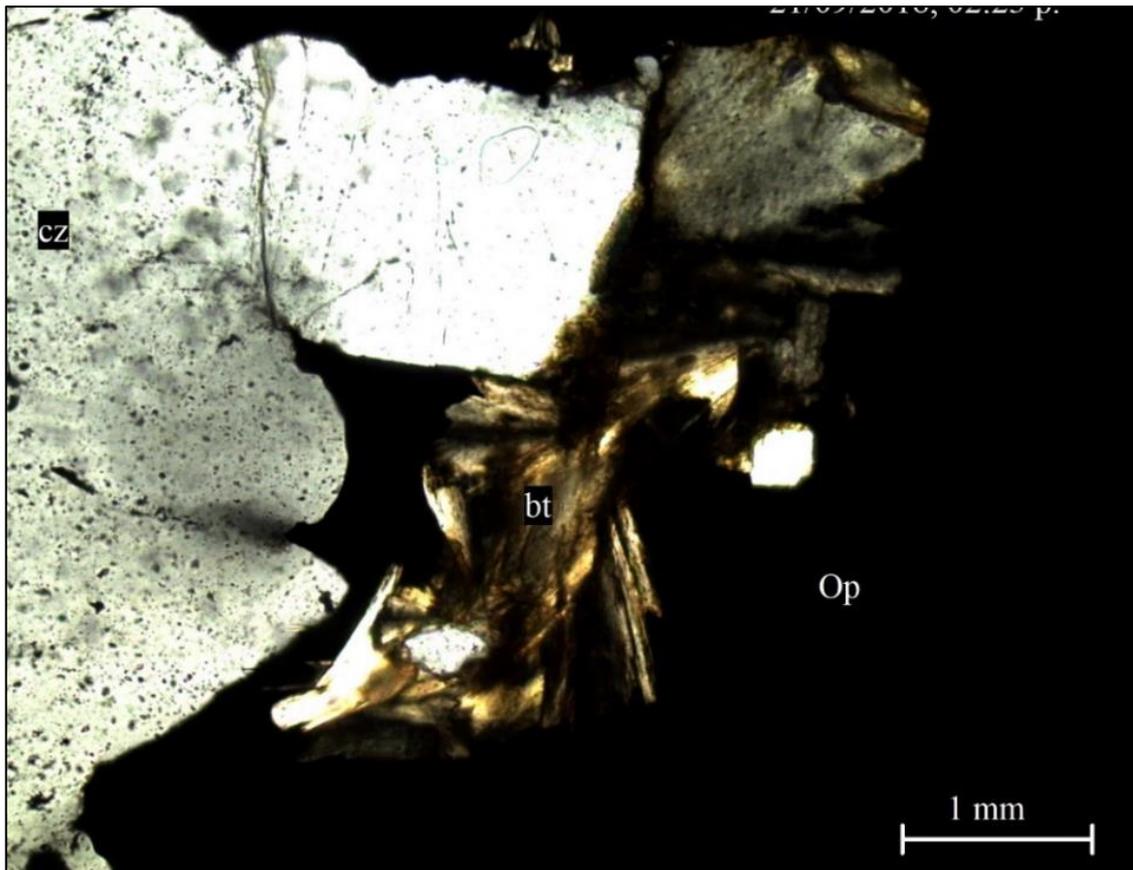


Figura 39. fotomicrografía de la muestra SMU – M2 – 05. Minerales opacos asociado a cuarzo metamórfico.

4.1.2. Estudio Mineragráfico

Según el estudio mineragráfico, la abundancia de minerales se da por pirrotita de textura celular, calcopirita, goethita, arsenopirita, galena y melnicovita además de oro libre. Dado por tres fases, el primero por reemplazamiento epigenético de sulfuros, seguido de una segunda fase que se manifiesta en las microfracturas de los sulfuros y continua con una alteración de sulfuros a óxidos. La ocurrencia de oro se relaciona a la segunda fase dado por la asociación mineralógica de pirrotita, pirita, goethita y cuarzo ahumado. Mencionadas características reunidas nos indica la ocurrencia de reacciones químicas (metasomatismo) como parte del proceso de precipitación de los minerales, en el momento de circulación de aguas calientes a través de la roca huésped. Confirmando entonces un metamorfismo hidrotermal.

A continuación, se detalla el estudio de cada muestra:

SMU – M2 – 04, Compuesta por cuarzo ahumado con reemplazo pseudomorfo de pirrotita (po) y melnicovia (mlta) de textura coloforme (indica formaciones en espacios abiertos por deposición coloidal además de interfaces agua - roca), la pirrotita se presenta en forma anhedral con na textura celular, según a estas características que reúne se puede decir que ha sufrido un metasomatismo por reemplazamiento epigenético.

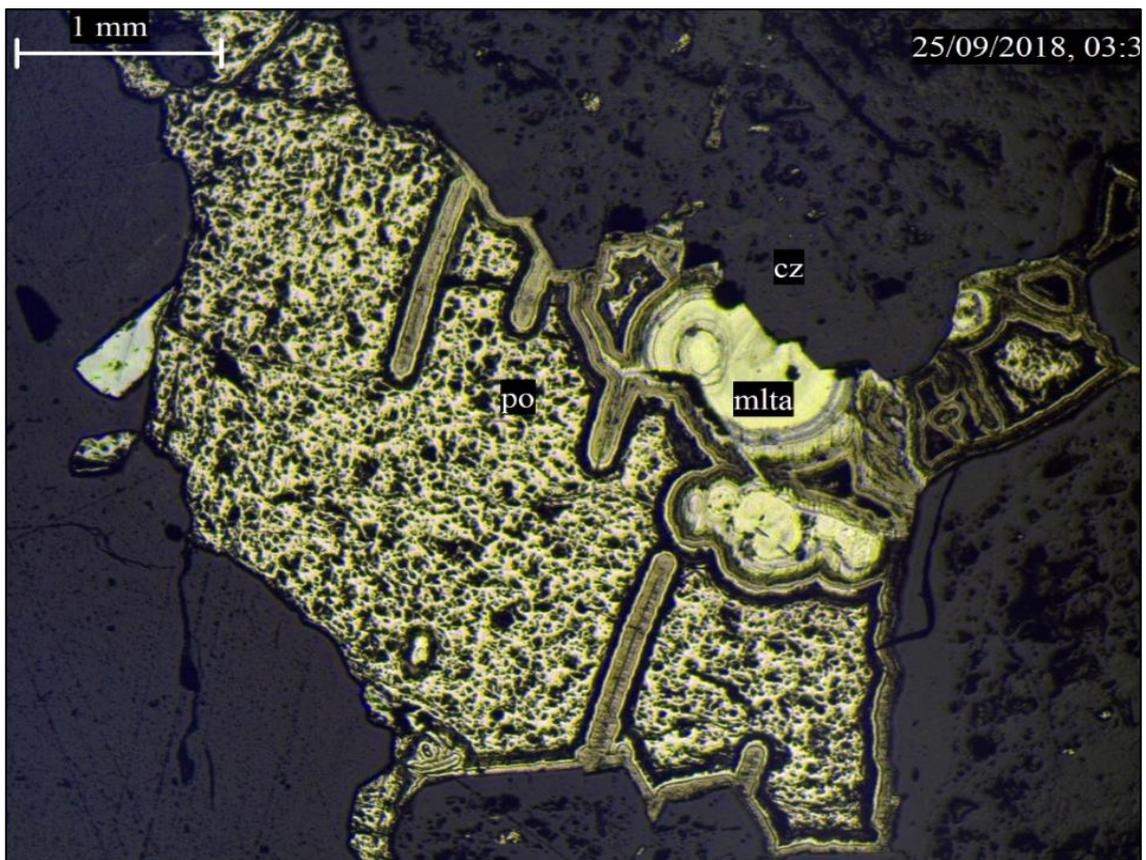


Figura 40. Fotomicrografía mineragráfica 1 de la muestra SMU – M2 – 04. Reemplazamiento de pirrotita (po) de textura celular y melnicovita (mlta) de textura coloidal – brotroidal, en fracturas de cuarzo y roca caja. NX, objetiva 10X.

La roca consta de una pizarra silicificada en la que se muestra la ocurrencia del oro, está asociada a la goethita, cuarzo ahumado, pirrotita y melnicovita, presentes como relleno de cavidades y/o fracturas y rellenos de los planos de exfoliación de la roca

huésped. Según el análisis ICP-EOS realizado por GEOMIN INGENIEROS EIRL, tiene valores de 0.48 a 2.93 g/t.

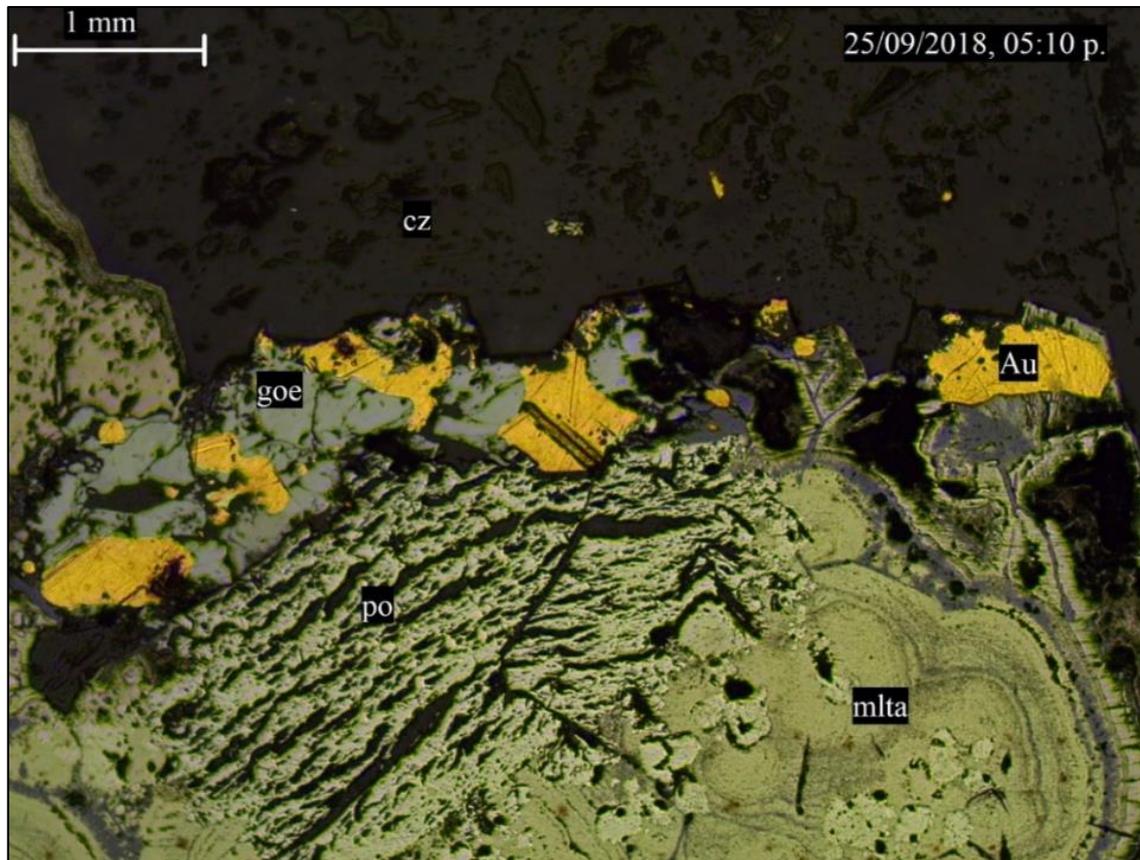


Figura 41. Fotomicrografía mineralográfica 2 de la muestra SMU – M2 – 04. Cristales de oro (Au) asociado a goethita (goe), pirrotita (po), cuarzo (cz) ahumado melnicovita (mlta). NX, objetiva 10X.

RC – 01, Muestra en el que la roca encajonante es atravesada por vetillas de además de una distribución de calcopirita asociado a goethita en el que se describe reemplazamiento del cuarzo por calcopirita (amarillo intenso) asociado a goethita (gris claro), el reemplazamiento está dado por una secuencia de posicional de cristales de cuarzo a calcopirita y de este a goethita, el cual se manifiesta por halos de alteración llegando a goethita.

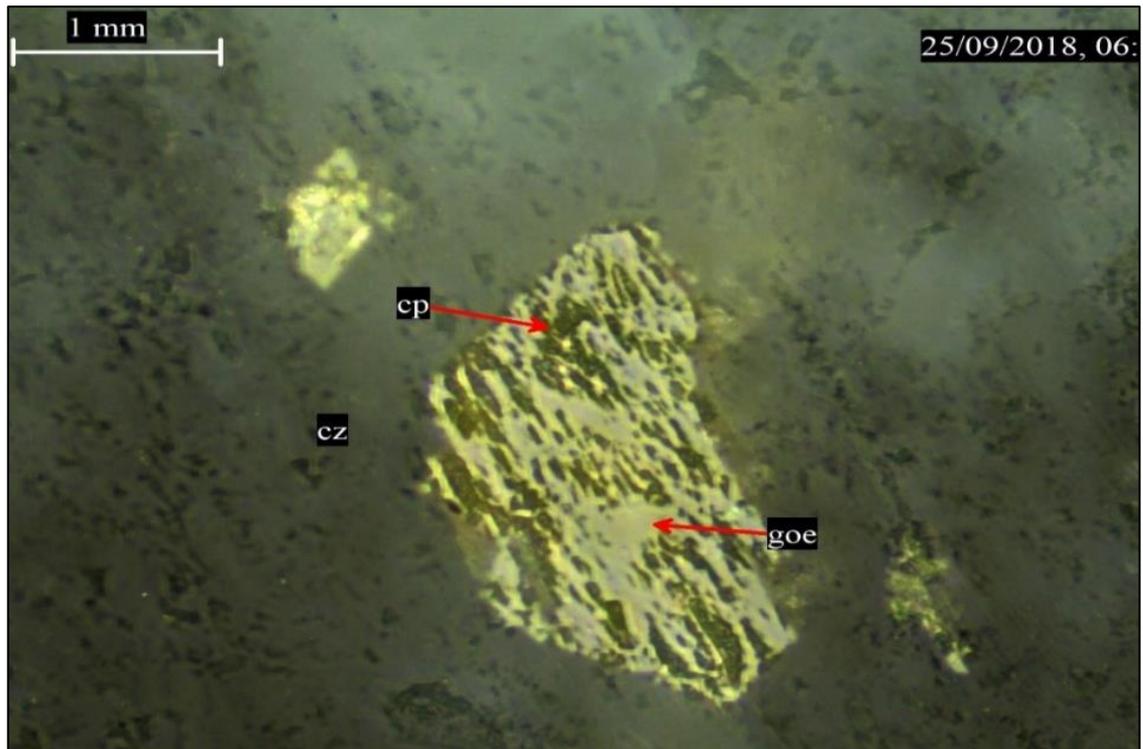


Figura 42. Fotomicrografía minerográfica de la muestra RC – 01. Secuencia de posicional del cuarzo (cz) por calcopirita (cpy), seguido de una alteración de calcopirita a goethita (goe). NX, objetiva 10X.

B-9, Se tiene la pirrotita en forma anhedral y cuarzo irregular, los que se presentan sé cómo masas irregulares desarrolladas a partir de un relleno de fractura en la roca caja. Posible precipitación a partir de un fluido hidrotermal ocurrido en espacios de fracturamiento del macizo rocoso.

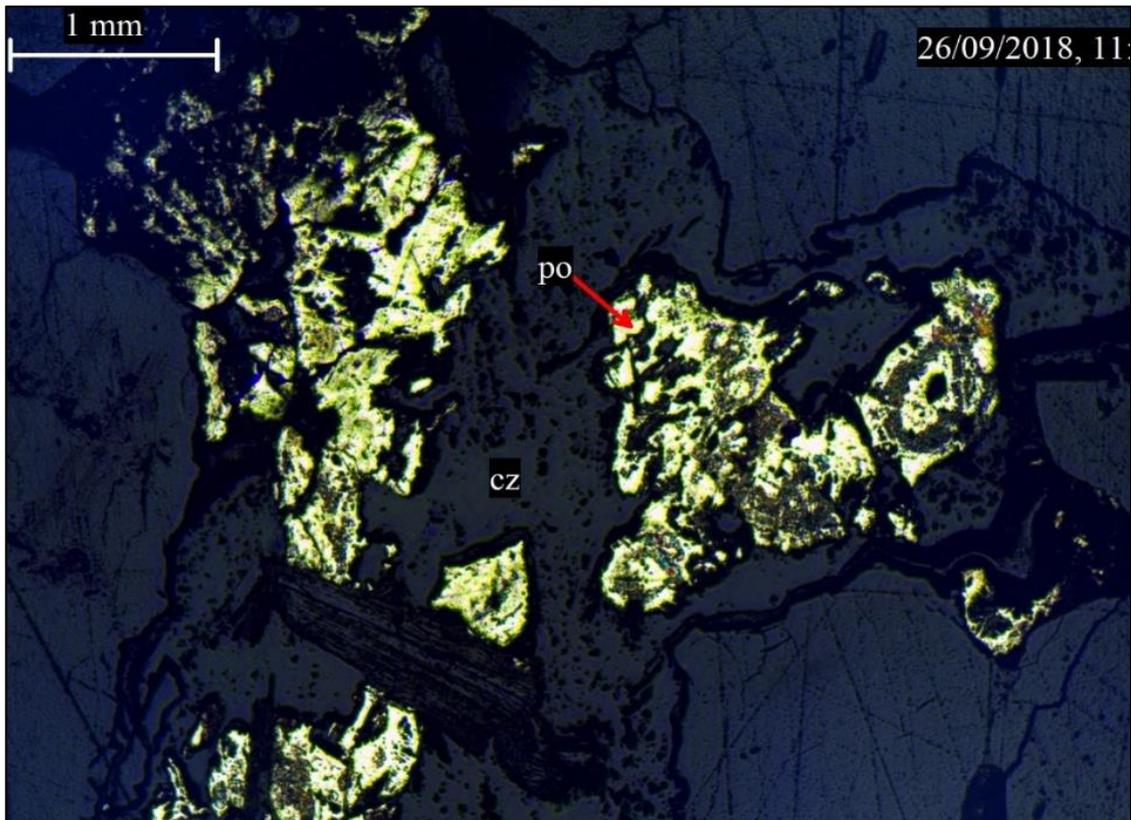


Figura 43. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra B-9. Desarrollo de relleno de fractura por cristales amorfos de pirrotita (po) y cuarzo (cz). NX, objetiva 10X.

B-52, Roca encajonante con distribución de cristal de pirrotita dado por reemplazamiento como segunda fase y posterior a ello una segunda fase manifestado por la presencia de fracturas en dos direcciones y una posterior alteración del cristal de pirrotita a goethita. La pirrotita expresa un reemplazamiento incompleto ya que no se muestra como un cristal completamente desarrollado.

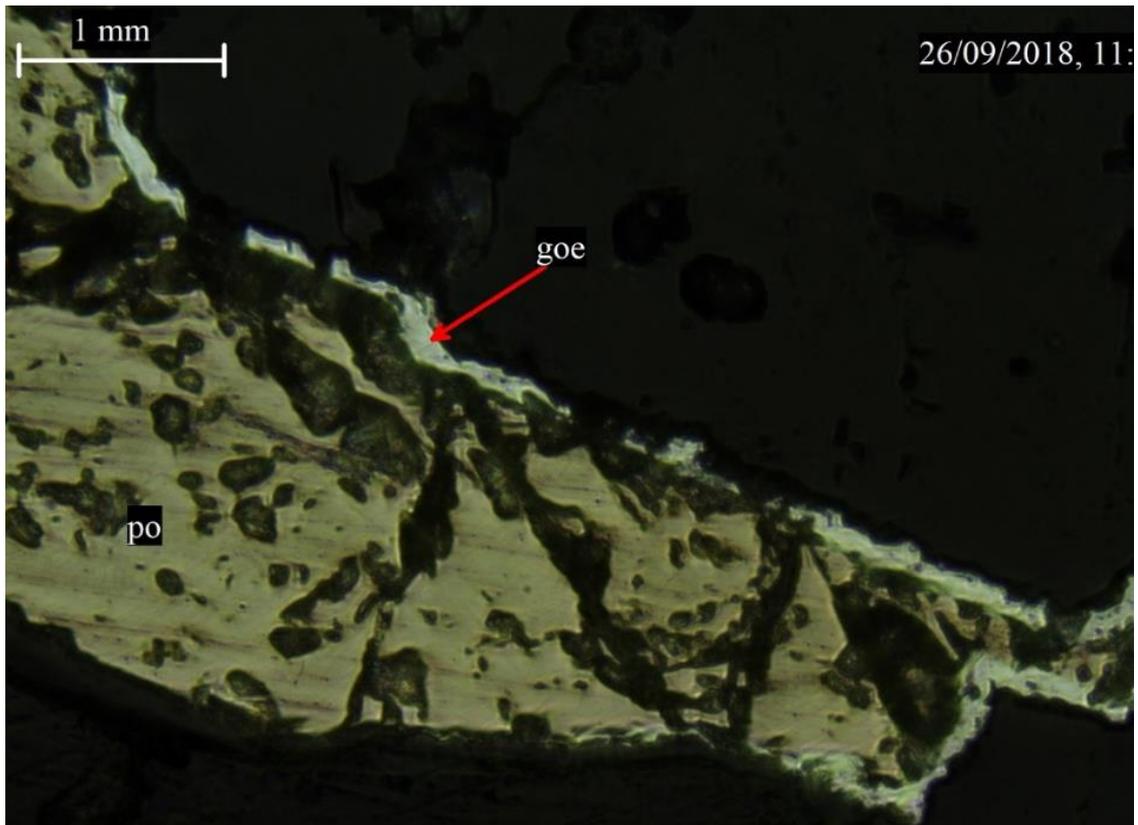


Figura 44. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra B-52. Cristal de pirrotita (po) con fracturas en dos direcciones y alterándose a goethita (goe). NX, objetiva 40X.

CAJA - M2 – 05, La muestra consta de una pizarra en el que se manifiesta vetillas de cuarzo, se observa el desarrollo de pirrotita y galena en mencionadas vetillas de cuarzo y en toda la muestra encajonante. La galena se observa de color gris claro y la pirrotita de gris verde oscuro, ambas están relleno de cavidades por lo que presentan paredes irregulares en contacto con la roca encajonante.

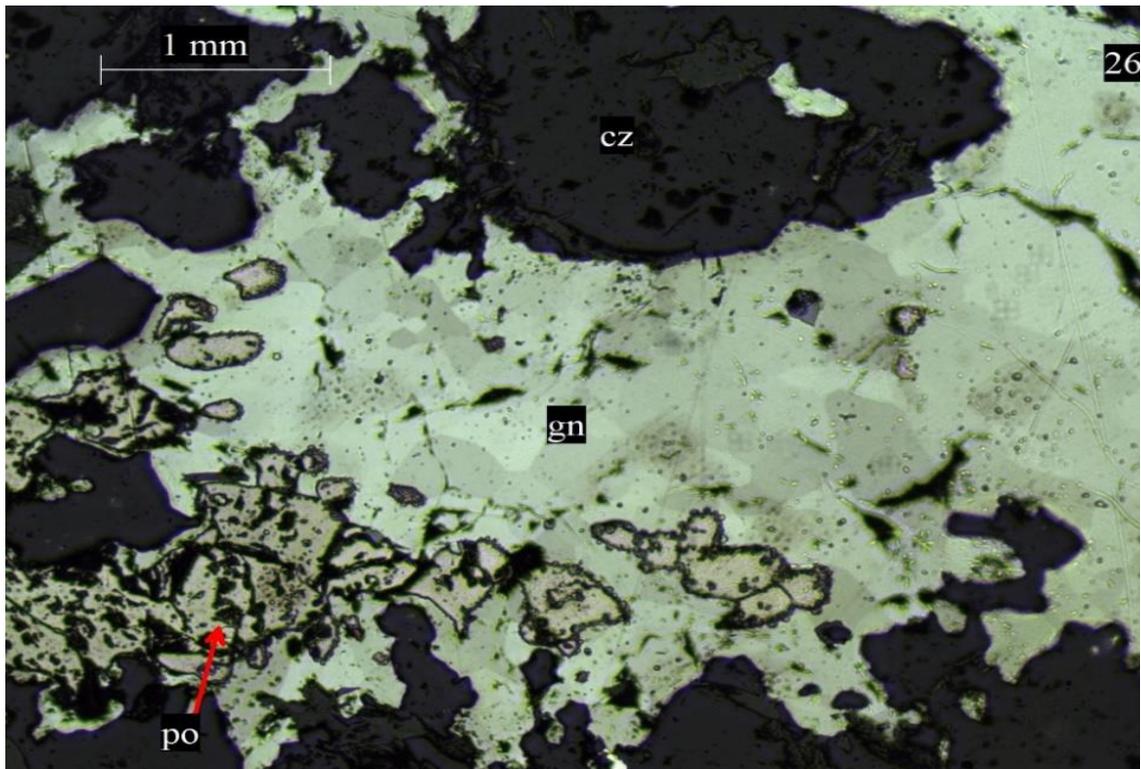


Figura 45. Fotomicrografía minerográfica de la muestra CAJA - M2 – 05. Galena (gn) y pirrotita (po) como distribuidos en la roca encajonante y vetillas de cuarzo (cz). NX, objetiva 10X.

SMU – FCT – 01, La muestra presenta a la pirrotita rodeando los bordes de cuarzo y una distribución aleatoria de cristales de galena en toda la muestra. Expresando textura de metacristales de pirrotita y cuarzo desarrollados en relación a planos de exfoliación de la roca, la galena se presenta como megacristales respecto a la pirrotita y cuarzo, indicando su crecimiento independientemente de la roca huésped.

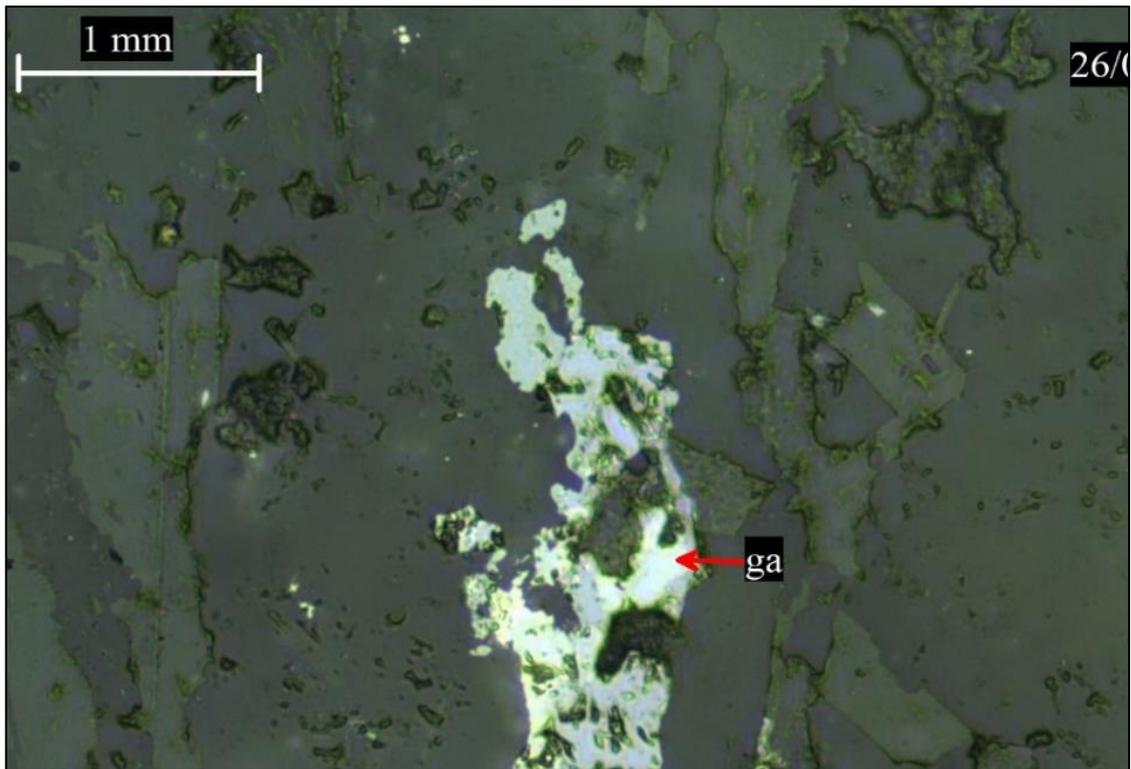


Figura 46. Fotomicrografía minerográfica de la muestra SMU – FCT – 01. Megacristal de galena (gn) con respecto a cristales de cuarzo (cz) rodeados de pirrotita (po). NX, objetiva 50X.

B – 16, cristales de cuarzo con vetillas de textura coloforme constituidos por pirrotita y galena, con una orientación que indica la fluidez del sistema hidrotermal. La vetilla formación de espacios abierto por deposición coloidal.

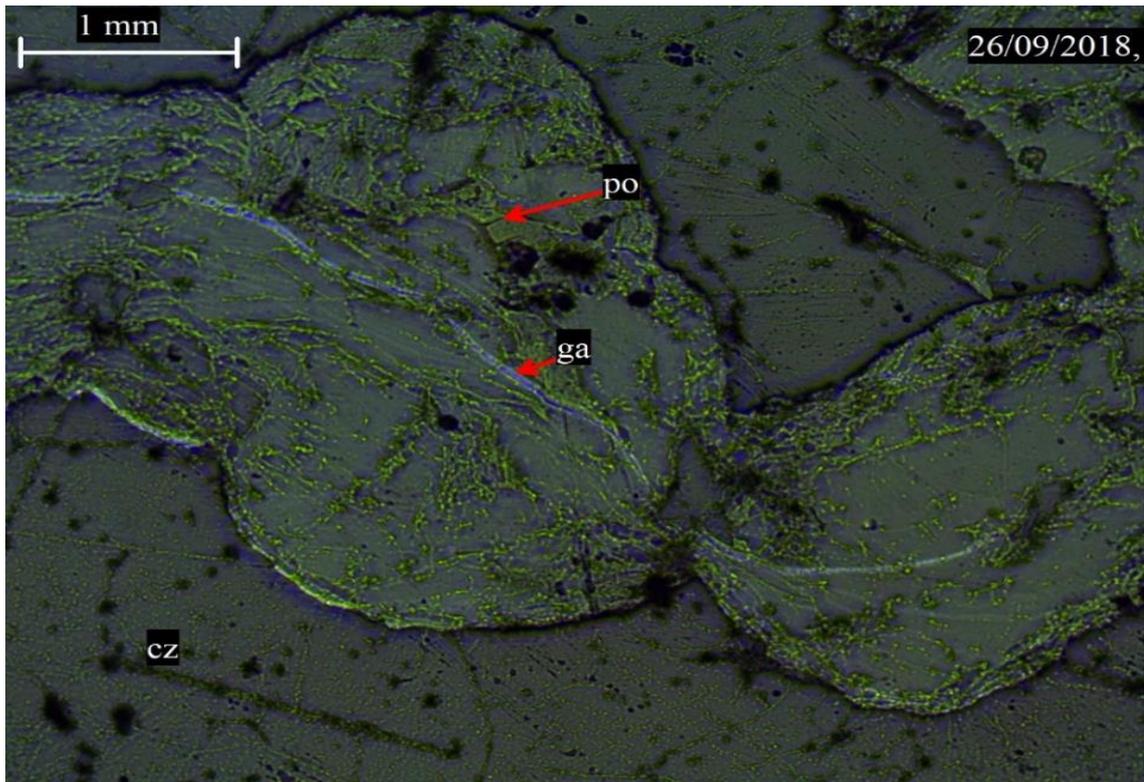


Figura 47. Fotomicrografía mineragráfica de la muestra B-16. Vetilla de textura coloidal constituido por pirrotita (po) y galena (gn), emplazado en cuarzo (cz).

BX – 01: La muestra de roca consta de una brecha, los minerales opacos que lo componen es pirrotita, asociado con arsenopirita y calcopirita, todos estos de textura celular, emplazados en cuarzo. Cabe señalar que en sección delgada se asocia a feldespatos.

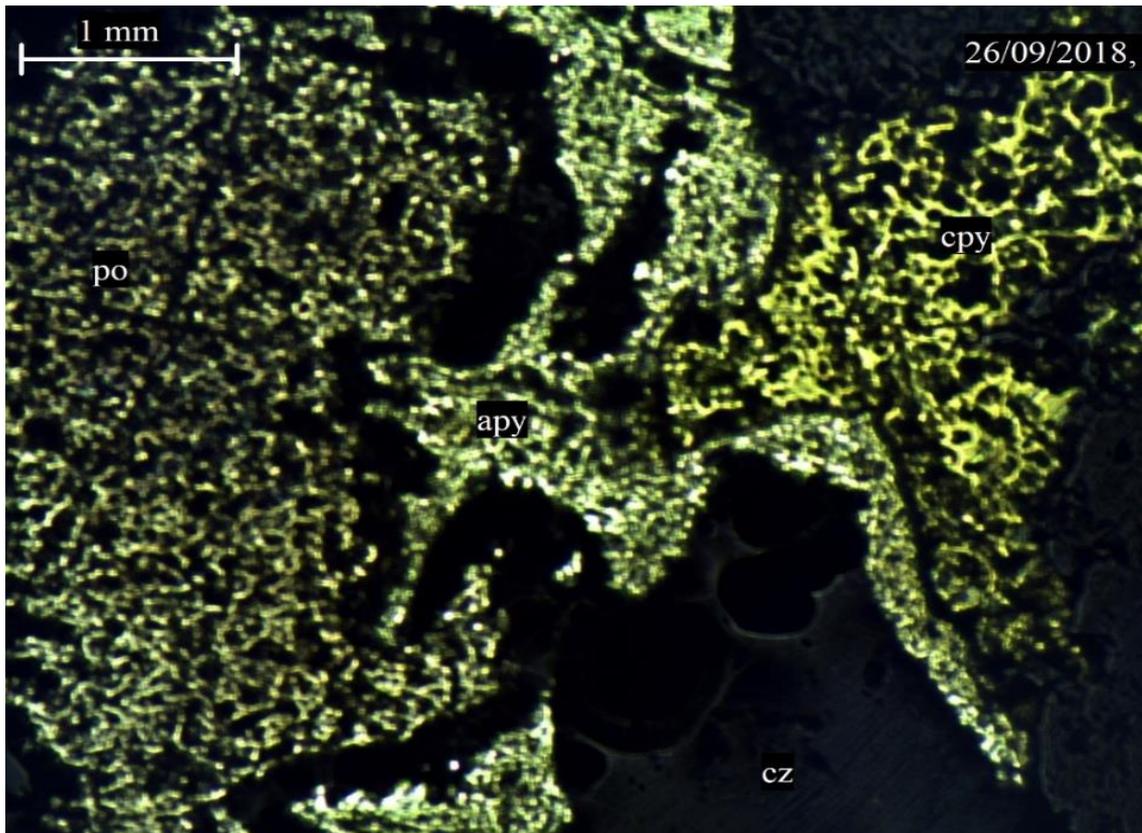


Figura 48. Fotomicrografía minerográfica de la muestra BX-01. Brecha de compuesta por clastos de cuarzo (cz), feldespatos y pizarras, todo ellos asociado a calcopirita (cpy), arsenopirita (apy) y pirrotita (po). NX, objetiva 4X.

SMU – M7 – 01, la muestra constituye cuarzo lechoso y como mineral metálico esta la galena como reemplazamiento de en cavidades de fracturas del cuarzo. La galena (gn) se distribuye de manera dispersa en toda la muestra.

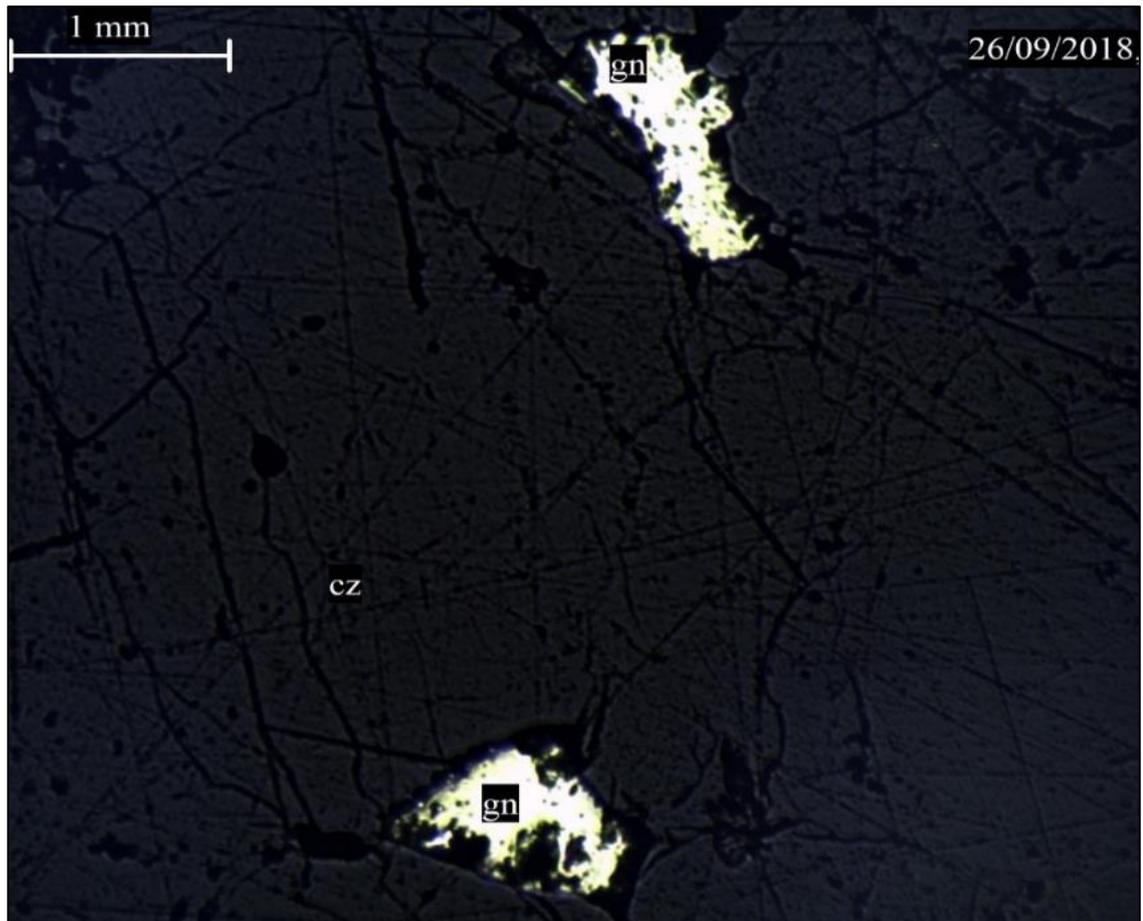


Figura 49. Fotomicrografía minerográfica de la muestra SMU-M7-01. Cristales de galena (gn) por reemplazamiento en apertura de cuarzo (cz). NX, objetiva 4X.

RC – MLL-CONSTANTINO, Ocurrencia de pirrotita asociado a arsenopirita, como relleno de cavidades en cuarzo ahumado, como roca encajonante se tiene a la pizarra. De textura celular como resultado de un emplazamiento epigenético de materia orgánica. La arsenopirita se presenta con alta reflectancia y de color amarillo opaco.

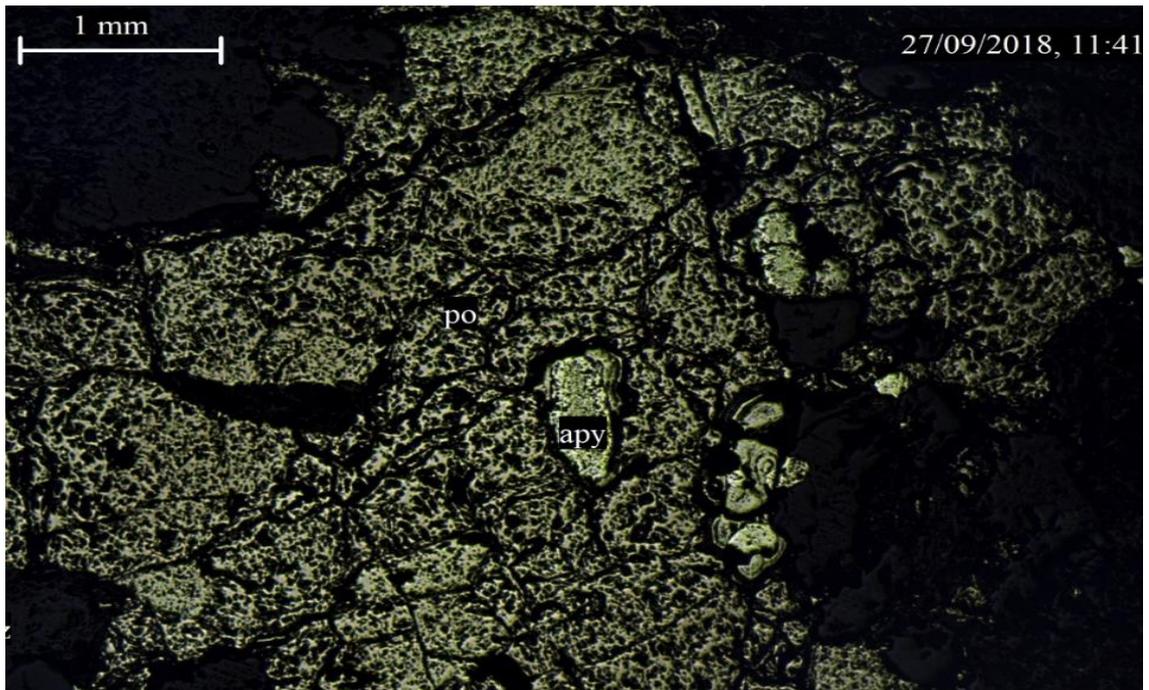


Figura 50. Fotomicrografía minerográfica de la muestra RC-MLL-CONSTANTINO. Pirrotita (po) asociado a arsenopirita (apy). Emplazados en cuarzo ahumado y pizarra. NX, objetiva 4X.

SMU – M9 – 02, Se expone pirrotita asociado a calcopirita y cuarzo. La calcopirita presenta una forma anhedral de color amarillo intenso y la pirrotita es emplazada en los intersticios del plano axial del cuarzo y la roca huésped.

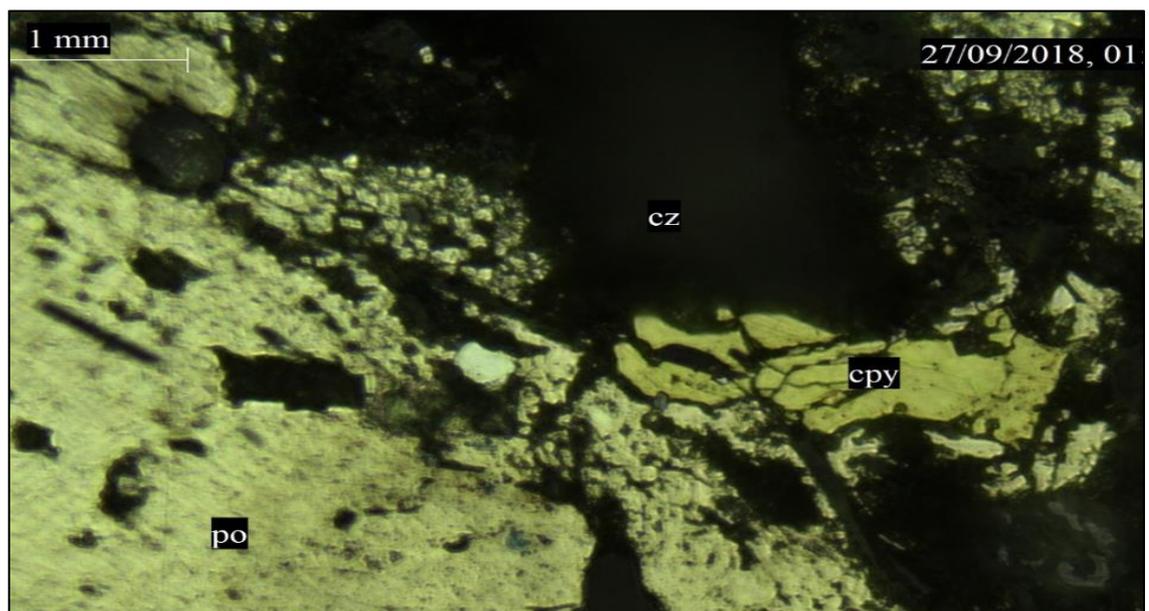


Figura 51. Fotomicrografía minerográfica de la muestra SMU-M9-02. Asociación mineral de pirrotita (po), calcopirita (cpy) y cuarzo (cz).

SMU – M2– 05, Evidencia de pirrotita de textura celular, desarrolladas a partir de un relleno de fracturas el cual corta al cuarzo metamórfico, la calcopirita se manifiesta como asociación de la pirrotita y de la misma forma por reemplazamiento.

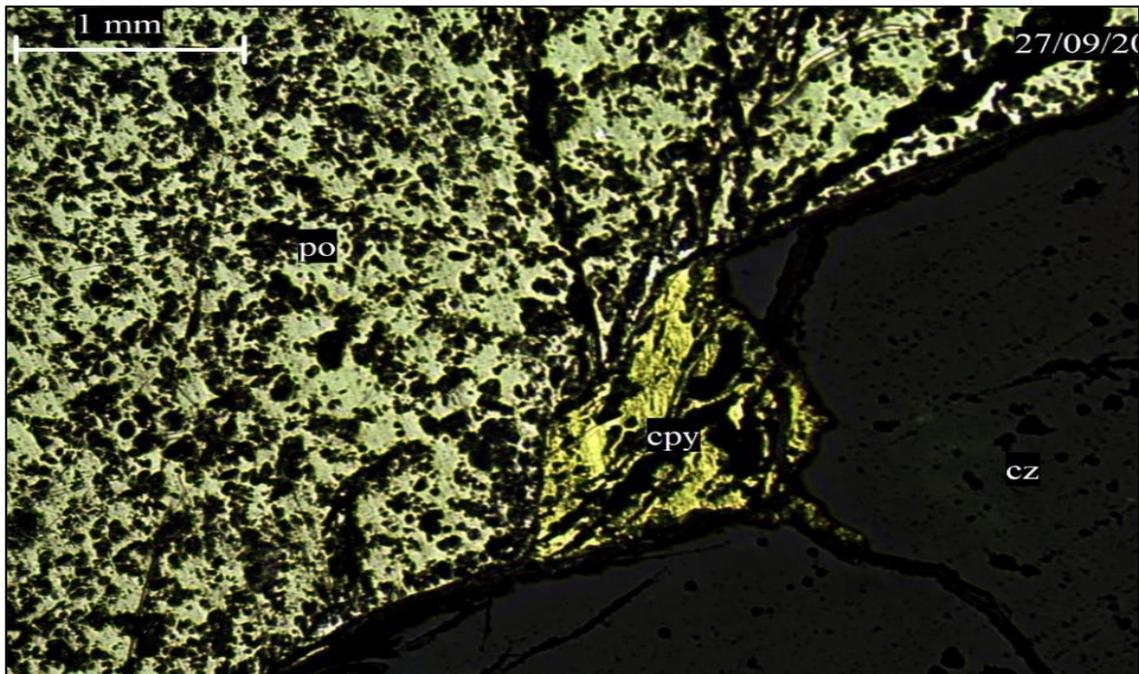


Figura 52. Fotomicrografía minerográfica de la muestra SMU-M2-05. Asociación mineral de pirrotita (po), calcopirita (cpy) y cuarzo (cz).

SMU – MLL – 01, Ocurrencia de calcopirita en fracturas de cuarzo, la imagen muestra el desarrollo de cristales individuales de calcopirita.

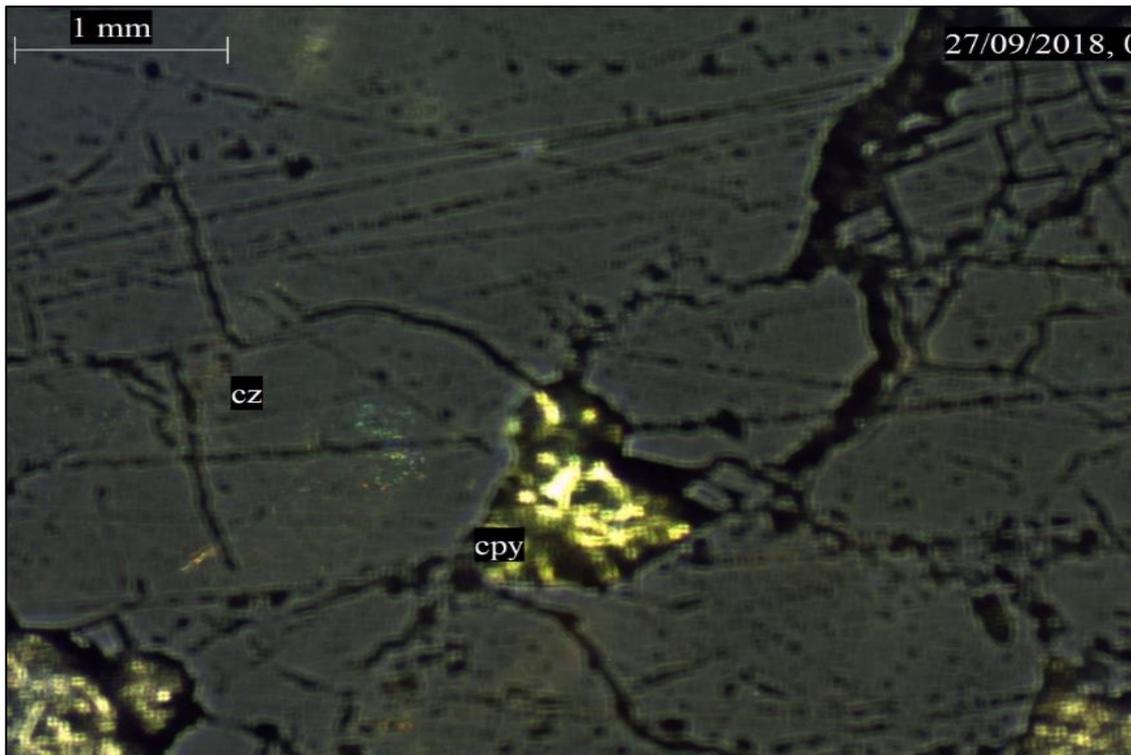


Figura 53. Fotomicrografía minerográfica de la muestra SMU-MLL-01. Reemplazamiento de calcopirita (cpy) en planos de fractura del cuarzo (cz).

4.2. ESTUDIO DE MICROTERMOMETRIA EN INCLUSIONES FLUIDAS

4.2.1. Petrografía en inclusiones fluidas y selección de campos

Como indica la metodología expuesta, se realizó un estudio petrográfico de inclusiones fluidas en el que identifiqué los minerales relacionados a la mineralización y además de realizarse los estudios petrográficos y minerográficos, los mismos que establecen una paragénesis y asociaciones minerales.

De esta manera se determinó tres variedades de cuarzo, cuarzo metamórfico ahumado, cuarzo lechoso en vetillas, y cuarzo en brecha, de las cuales se ha elegido estudiar las inclusiones fluidas en el cuarzo ahumado con el objetivo de determinar las condiciones en las que se dio la asociación de los minerales con el oro, pero también se analizó inclusiones en el cuarzo de brecha y en el cuarzo en vetillas. Se ha considerado seis muestras para el estudio de microtermometría.

Para la elección de campos se consideró las reglas de Roedder (1979) y en base a lo expuesto líneas arriba, se identificó dos campos (grupos de inclusiones) en la muestra SMU – MLL-01, dos campos en la muestra SMU –M2-05, tres campos en la muestra SMU-M7-02, cuatro campos de análisis en la muestra SMU-M2-04, dos campos en la muestra BX-01 y por ultimo dos campos en la muestra RC-MLL-P.

4.2.2. Caracterización de las inclusiones fluidas

Una vez seleccionadas los campos, se pasó a la etapa de microtermometría para el enfriamiento y calentamiento de las inclusiones, donde se midió 1) temperatura eutéctica, 2) temperatura de fusión del hielo (T_f), 3) temperatura de homogenización (T_h).

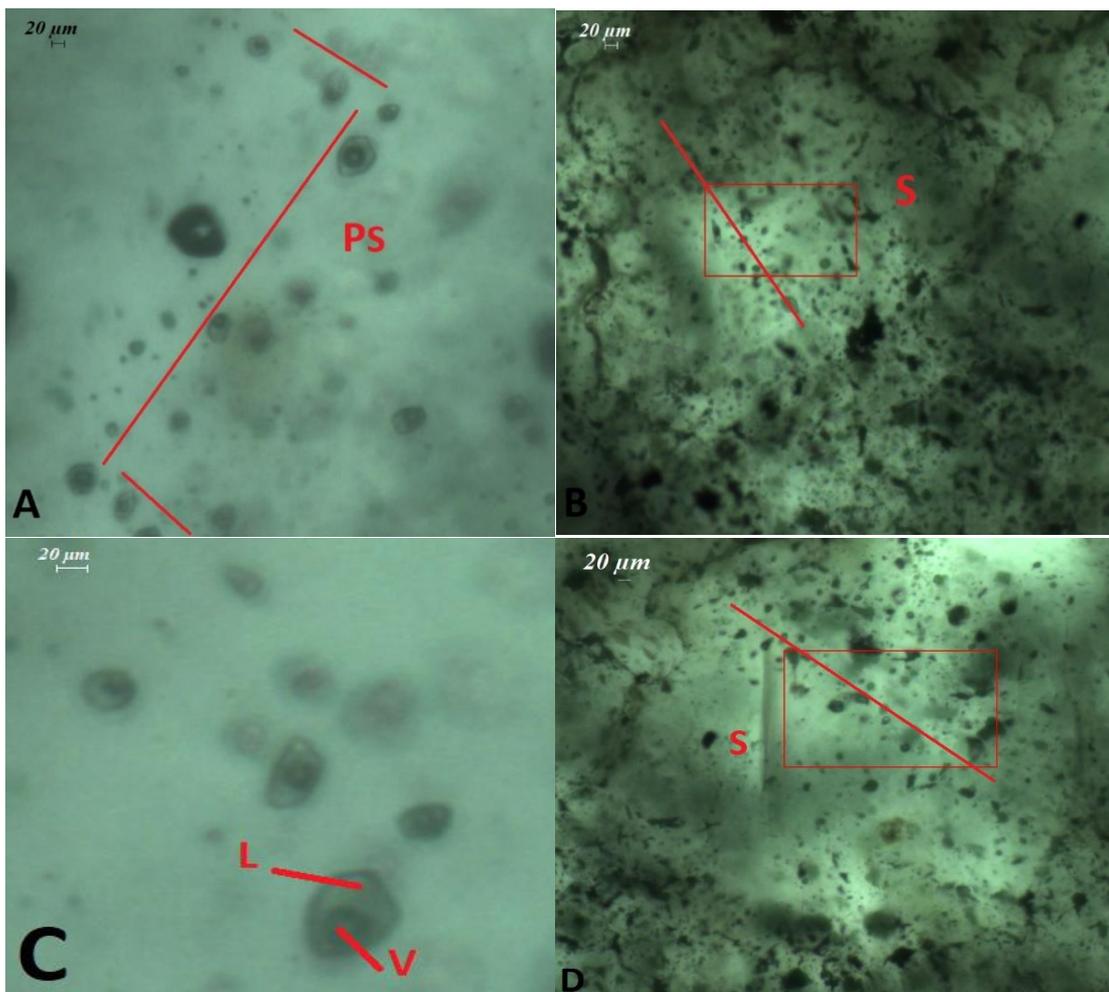


Figura 54. Muestra SMU-MLL-01.

A) Familia de inclusiones de tipo pseudosecundarias, indicando posible temperatura del fluido del cual precipitó el cuarzo hospedante, inclusiones de dos fases, L y V. B) se muestra una familia de inclusiones bifásicas que cortan el cristal de cuarzo metamórfico, manifestando un segundo evento. C) Inclusión bifásica de origen secundario, presenta un comportamiento apropiado frente al análisis microtermométrico. D) La única familia muestra la orientación del fluido con respecto al cristal huésped, en el que se observa inclusiones de forma irregulares y ovoides.

Código de muestras: B) Campo 2- Inclusión 9. C) Campo 1- Inclusión 3. D) Campo 2, inclusión 8.

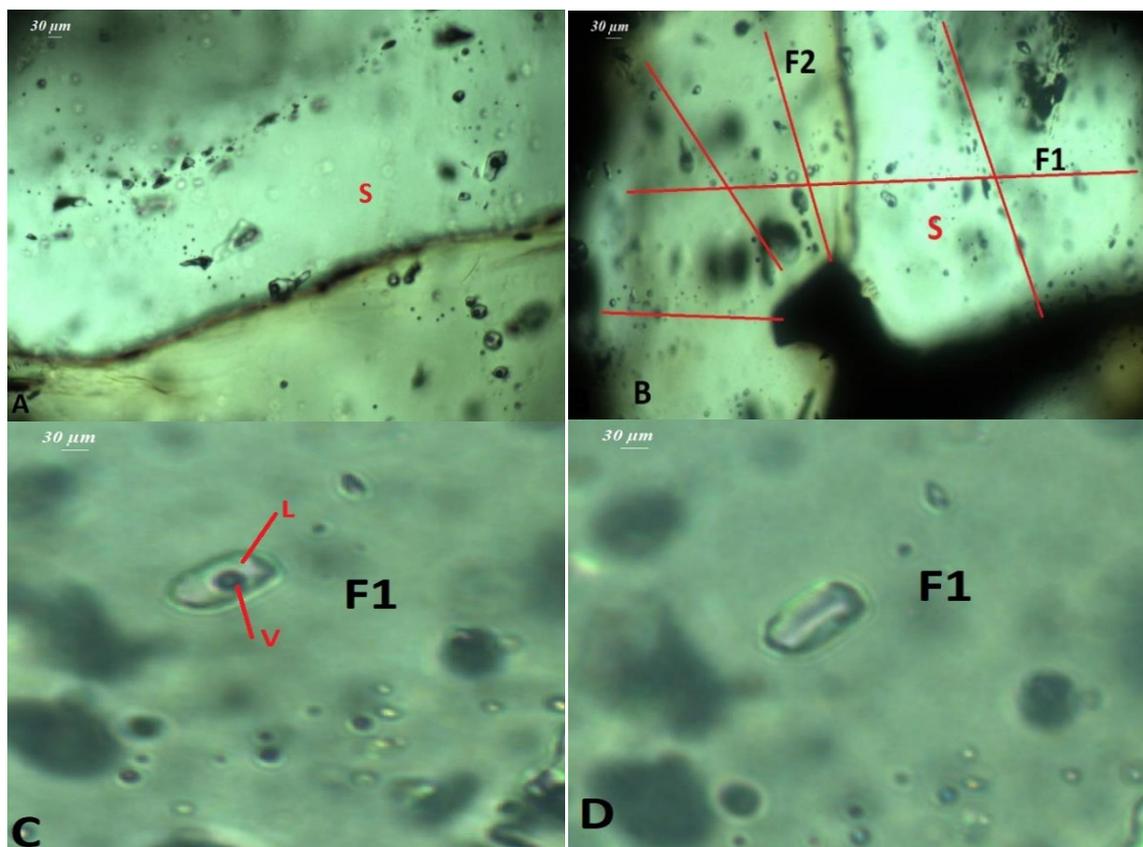


Figura 55. Muestra SMU-M2-05.

A) Inclusiones bifásicas con dos fases hidrotermales, presenta dos generaciones posteriores a la formación del cuarzo. B) se tiene dos familias de inclusiones, en direcciones contrarias en los que cortan los cristales de cuarzo expresando dos fases

posteriores a la formación del cristal de cuarzo, inclusiones de tipo secundario y bifásica (líquido y vapor). C) inclusión bifásica de forma tabular, sometida a bajas temperaturas y altas temperaturas, se observa el comportamiento cuando es sometido al incremento de temperatura con el objetivo de determinar la temperatura de homogenización, el mismo que se dio a los 370° así como se observa en la figura D, la forma tabular nos da la orientación a la que se dirige los fluidos de la familia 1 (F1).

Código de muestras: A) Campo 1- Inclusión 7. B) Campo 4- Inclusión 5 y 6. C) Campo 1- Inclusión 3. D) Campo 1, inclusión 3.

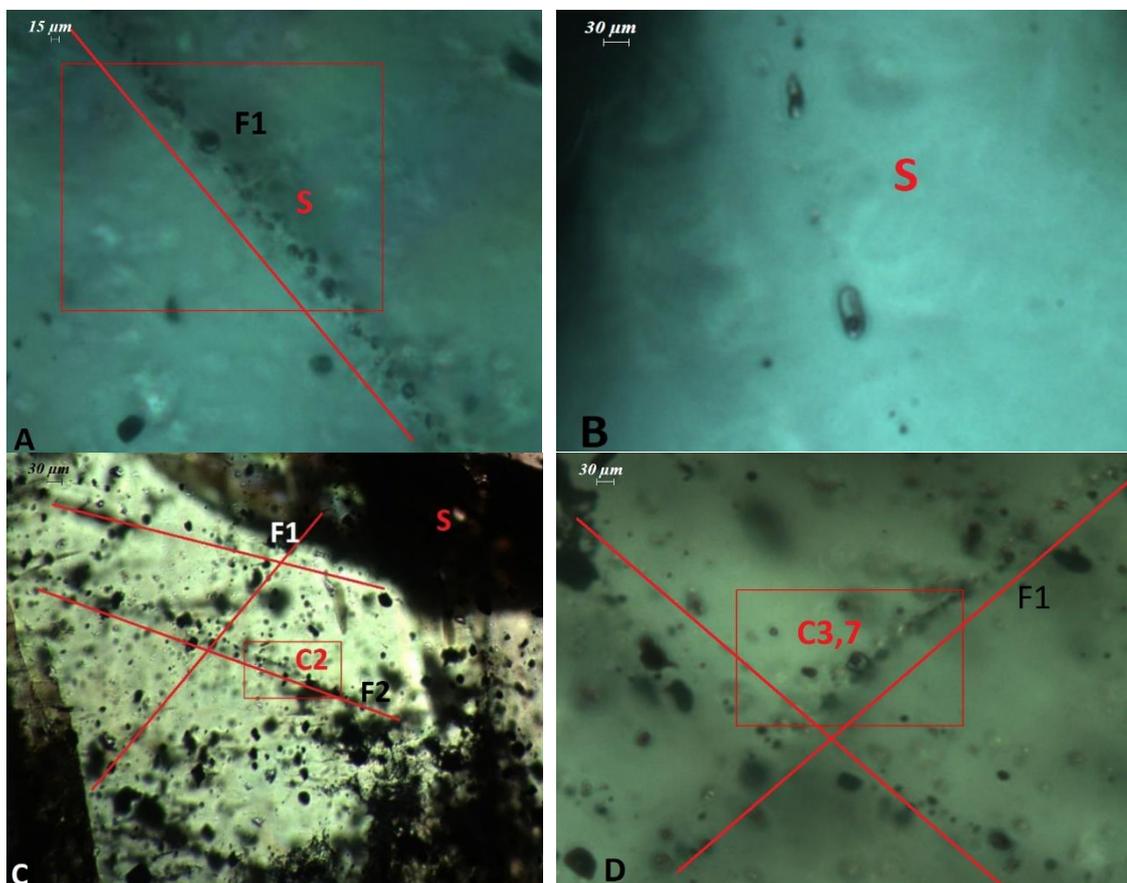


Figura 56. Muestra SMU-M7-02.

A) Inclusiones fluidas bifásicas, correspondiente a una familia de inclusiones secundarias, evidencia clara dirección de fluido. B) inclusión fluida de geomorfología tabular , de fase líquido – vapor, muestra una fija orientación en la que se desplazó los

fluidos cortando el cristal huesped, según a la temperatura de homogenización es de 500° del que se comprende la alta temperatura de fluidos a la que fue sometida el cuarzo metamórfico, C) Evidencia dos familias de inclusiones F1 y F2 , ambos de tipo secundario, según a los resultados de las inclusiones analizadas en el campo 2 (C2) se tiene 480° pertenecientes a la temperatura de la familia dos (F2). D) familia de inclusiones F1, se analizó las inclusiones del campo 3 (C3) que tiran temperaturas desde 437° a 550° , inclusiones bifásicas de forma ovoide.

Código de muestras: A) Campo 1- Inclusión 13 y 14. B) Campo 1- Inclusión 16. C) Campo 2. D) Campo 3, inclusión 7.

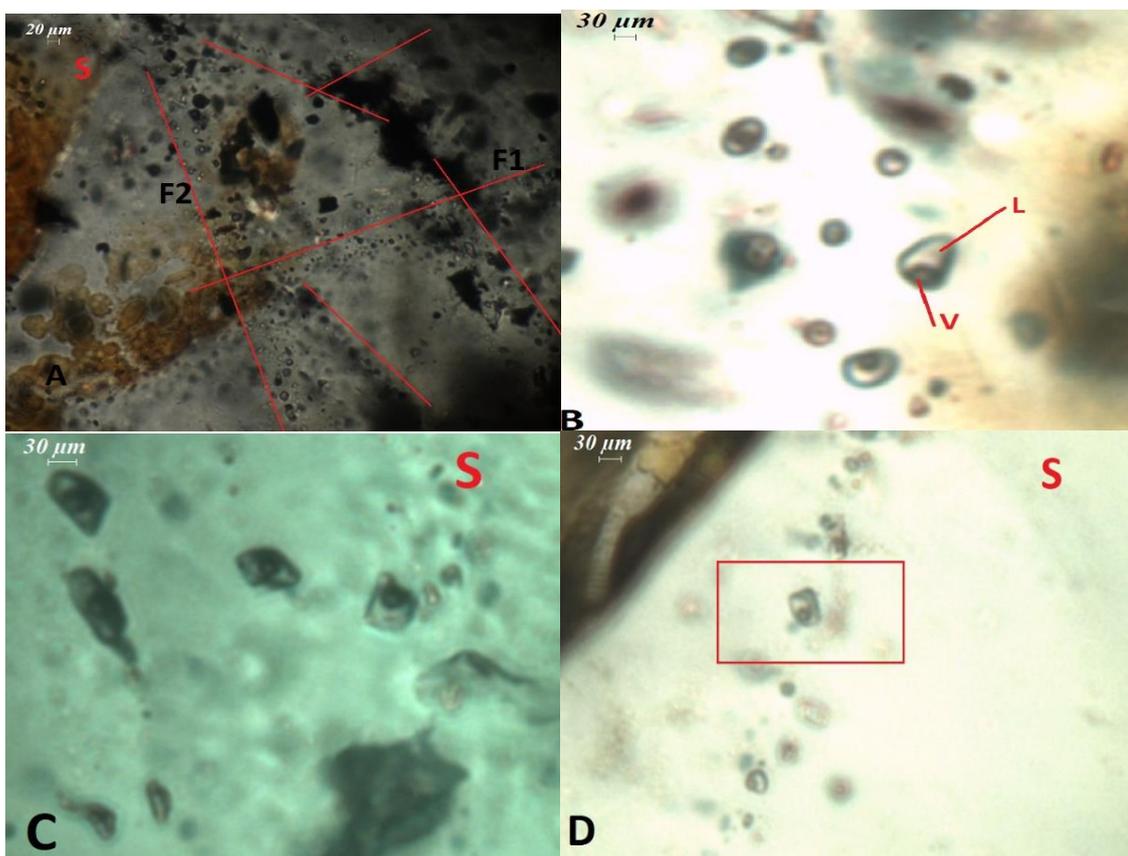


Figura 57. Muestra SMU-M2-04.

A) Una vez más se evidencia dos eventos dados por F1 y F2, ambos cortando en perpendicular, la muestra en general presenta inclusiones bifásicas, de tipo secundario, es

decir, posterior a la cristalización del mineral huésped. B) Inclusiones fluidas de la familia F1 al igual que las inclusiones de la figura D, presentan formas ovoides, ocurridos en cuarzo ahumado. Con temperaturas variables de 250° a 300° . C) Inclusiones de formas irregulares, asociados a la familia F2, su temperatura de homogenización es variable de 274° a 300° , la forma irregular nos indica una superficie de exfoliación.

Código de muestras: A) Campo 2. B) Campo 2- Inclusión8. C) Campo 2- Inclusión 1. D) Campo 3, inclusión 7.



Figura 58. Muestra BX-01.

A) muestra de cuarzo en el que se observa una familia de inclusiones bifásicas, de origen secundario, muestra obtenida de cuarzo en brecha. B) inclusión fluida de fase L y V, presenta una forma ovoide, de tipo secundario, presentan temperaturas variables desde 265° a 315° .

Código de muestras: A) Campo 1 - Inclusión1. B) Campo 2- Inclusión 2.

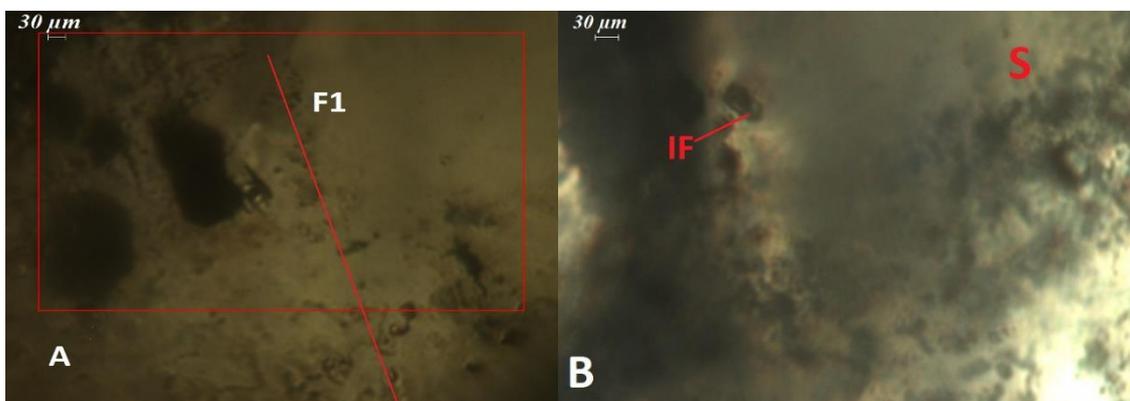


Figura 59. Muestra RC-MLL-P.



A) Y B) Inclusiones bifásicas de morfología regular, presenta una asociación de inclusiones pequeñas formando una familia F1 de origen secundario. Cabe señalar que de estas muestras de inclusiones no han tenido reacciones frente a la exposición de temperaturas. Motivo por el cual no se ha determinado datos microtermométricos.

Código de muestras: A) Campo 1 – Inclusión2. B) Campo 1- Inclusión 3.

A continuación, presentamos la base de datos de las seis muestras de los cuales se obtuvo 15 campos y 144 inclusiones, generados a partir de la microtermometría y caracterización. Las celdas vacías significan que no obtuvo resultados respecto dicha información.

Tabla 8. Base de datos microtermométricos

Código de SDP.	Campo	N° de IF	Clasificación Morfológica	Mineral	Tipo	Diámetro (μ)	% de Relleno			T°f H2O	T° h	T° e
							L	V	S			
SMU-MLL-01	1	1	BIF-IR	cz	Ps	4	70	30		-14	350	-50
SMU-MLL-01	1	2	BIF-OV	cz	Ps	4	80	20		-30	280	
SMU-MLL-01	1	3	BIF-OV	cz	S	4	70	30		-18	370	
SMU-MLL-01	1	4	BIF-IR	cz	S	3	85	15				crepito
SMU-MLL-01	1	5	BIF-IR	cz	S	4	80	20		-22		
SMU-MLL-01	1	6	BIF-IR	cz	S	3	80	20		-11		
SMU-MLL-01	1	7	BIF-IR	cz	S	3	80	20				
SMU-MLL-01	1	8	BIF-OV	cz	S	2	70	3		-14	300	
SMU-MLL-01	1	9	TRIF-TAB	cz	S	8	60	15	25	-9	>550?	-42
SMU-MLL-01	2	1	BIF-IR	cz	S	5	80	20		-11	385	
SMU-MLL-01	2	2	BIF-IR	cz	S	3	80	20			344	
SMU-MLL-01	2	3	BIF-OV	cz	S	3	80	20		-12		
SMU-MLL-01	2	4	BIF-OVO	cz	S	2	80	20		-27	>450	
SMU-MLL-01	2	5	BIF-OV	cz	S	2	85	15		-12	390	
SMU-MLL-01	2	6	BIF-OV	cz	S	3	80	20				
SMU-MLL-01	2	7	BIF-OV	cz	S	3	80	20		-11		
SMU-MLL-01	2	8	BIF-OV	cz	S	2	70	30		-11	300	
SMU-MLL-01	2	9	BIF-OV	cz	S	2	70	30		-14	300	-30
SMU-MLL-01	2	10	BIF-IR	cz	S	3	80	20		-11	390	-48
SMU-M2-05	1	1	BIF-OV	cz-met	S	5	80	20		16	330	
SMU-M2-05	1	2	BIF-IR	cz-met	S	4	80	20		26	308	-72
SMU-M2-05	1	3	BIF-OV	cz-met	S	3	80	20		-40	295	-44
SMU-M2-05	1	4	BIF-OV	cz-met	PS	4	80	20			295	
SMU-M2-05	1	5	BIF-OV	cz-met	Ps	3	80	20			295	
SMU-M2-05	1	6	BIF-OV	cz-met	Ps	3	80	20			295	
SMU-M2-05	1	7	BIF-OV	cz-met	Ps	2	90	10			300	
SMU-M2-05	1	8	BIF-OV	cz-met	Ps	3	90	10			299	
SMU-M2-05	1	9	BIF-OV	cz-met	Ps	2	90	10			305	
SMU-M2-05	1	10	BIF-OV	cz-met	Ps	4	80	20			315	
SMU-M2-05	1	11	BIF-OV	cz-met	Ps	2	80	20			310	
SMU-M2-05	1	12	BIF-R	cz-met	Ps	3	80	20		2	285	
SMU-M2-05	1	13	BIF-R	cz-met	Ps	4	90	10		2	299	
SMU-M2-05	1	14	BIF-IR	cz-met	Ps	2	80	20		3	310	
SMU-M2-05	1	15	BIF-OV	cz-met	Ps	3	80	20			310	
SMU-M2-05	1	16	BIF-IR	cz-met	Ps	6	80	20		-8	300	
SMU-M2-05	1	17	BIF-IR	cz-met	Ps	6	80	20		10	300	
SMU-M2-05	1	18	BIF-IR	cz-met	Ps	6	80	20		10	300	
SMU-M2-05	1	19	BIF-IR	cz-met	Ps	6	80	20			300	
SMU-M2-05	1	20	BIF-R	cz-met	S	5	40	60		-8	330	-70
SMU-M2-05	1	21	BIF-OV	cz-met	S	2	30	70			330	
SMU-M2-05	1	22	BIF-OV	cz-met	S	3	30	70		3	280	-60
SMU-M2-05	2	1	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20		-6	250	-28
SMU-M2-05	2	2	BIF-IR	cz-met	S	4	90	10		-7	375	-66
SMU-M7-02	1	1	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20		-4	318	-24
SMU-M7-02	1	2	BIF-OV	cz-met	S	2	90	10		-9	365	-53
SMU-M7-02	1	3	BIF-R	cz-met	S	2	80	20			410	
SMU-M7-02	1	4	BIF-IR	cz-met	S	2	80	20		-17	400	
SMU-M7-02	1	5	BIF-OV	cz-met	S	3	80	20			500	
SMU-M7-02	1	6	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20			500	
SMU-M7-02	1	7	BIF-OV	cz-met	S	2	90	10		-4.5	500	-39
SMU-M7-02	1	8	BIF-OV	cz-met	S	3	70	30				



SMU-M7-02	1	9	BIF-OV	cz-met	S	2	70	30			
SMU-M7-02	1	10	BIF-OV	cz-met	S	2	70	30		480	
SMU-M7-02	1	11	BIF-OV	cz-met	S	2	70	30			
SMU-M7-02	1	12	BIF-OV	cz-met	S	2	70	30	0.6	500	
SMU-M7-02	1	13	BIF-OV	cz-met	S	2	70	30			
SMU-M7-02	1	14	BIF-OV	cz-met	S	1.5	80	20	0.4	450	-78
SMU-M7-02	1	15	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20	0.4	460	
SMU-M7-02	1	16	BIF-TAB	cz-met	S	3	85	15			
SMU-M7-02	1	17	BIF-TAB	cz-met	S	2	80	20		500	
SMU-M7-02	2	1	BIF-IR	cz-met	S	3	90	10	-6		
SMU-M7-02	2	2	BIF-OV	cz-met	S	2	90	10			
SMU-M7-02	2	3	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20			
SMU-M7-02	2	4	BIF-IR	cz-met	S	2.5	80	20			
SMU-M7-02	2	5	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20			
SMU-M7-02	2	6	BIF-OV	cz-met	S	3	70	30			
SMU-M7-02	2	7	BIF-R	cz-met	S	2	70	30			-24
SMU-M7-02	2	8	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20			
SMU-M7-02	2	9	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20			
SMU-M7-02	2	10	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20			-55
SMU-M7-02	2	11	BIF-OV	cz-met	S	2	90	10	0.8		-55
SMU-M7-02	2	12	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20			
SMU-M7-02	2	13	BIF-OV	cz-met	S	1	90	10		480	
SMU-M7-02	2	14	BIF-OV	cz-met	S	1	90	10		480	
SMU-M7-02	2	15	BIF-OV	cz-met	S	1	85	15		480	
SMU-M7-02	3	1	BIF-TAB	cz-met	S	3	80	20	2.5	550	-54
SMU-M7-02	3	2	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20	2.5	550	
SMU-M7-02	3	3	BIF-OV	cz-met	S	2	70	30			
SMU-M7-02	3	4	BIF-OV	cz-met	S	1	70	30			
SMU-M7-02	3	5	BIF-R	cz-met	S	2	60	40			-33
SMU-M7-02	3	6	BIF-OV	cz-met	S	1.5	80	20			-75
SMU-M7-02	3	7	BIF-R	cz-met	S	2	80	20		437	
SMU-M7-02	3	8	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20			
SMU-M7-02	3	9	BIF-OV	cz-met	S	3	60	40		488	
SMU-M7-02	3	10	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20		513	
SMU-M7-02	3	11	BIF-OV	cz-met	S	1	90	10		450	
SMU-M2-04	1	1	BIF-OV	cz-met	S	2	90	10	-18	340	-75
SMU-M2-04	1	2	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20		420	
SMU-M2-04	1	3	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20		415	
SMU-M2-04	1	4	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20	-13	340	
SMU-M2-04	1	5	BIF-OV	cz-met	S	3	80	20		400	
SMU-M2-04	1	6	BIF-OV	cz-met	S	1	98	2		450	-20
SMU-M2-04	1	7	BIF-OV	cz-met	S	1	90	10		500	
SMU-M2-04	1	8	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20		520	
SMU-M2-04	1	9	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20		500	
SMU-M2-04	1	10	BIF-TAB	cz-met	S	3	70	30		512	-70
SMU-M2-04	2	1	BIF-R	cz-met	S	4	80	20		274	-77
SMU-M2-04	2	2	BIF-IR	cz-met	S	3	80	20		285	-78
SMU-M2-04	2	3	BIF-R	cz-met	S	3	80	20	-26	280	-80
SMU-M2-04	2	4	BIF-R	cz-met	S	3	80	20		280	
SMU-M2-04	2	5	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20	18	285	-38
SMU-M2-04	2	6	BIF-TAB	cz-met	S	3	80	20	1.1	270	-23
SMU-M2-04	2	7	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20	7.5	288	-38
SMU-M2-04	2	8	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20	4	260	
SMU-M2-04	2	9	BIF-OV	cz-met	S	3	90	10	-6	250	-83
SMU-M2-04	2	10	BIF-OV	cz-met	S	2	90	10	-2	250	
SMU-M2-04	2	11	BIF-OV	cz-met	S	1	90	10	-2	250	-84
SMU-M2-04	2	12	BIF-OV	cz-met	S	1	70	30			
SMU-M2-04	2	13	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20			
SMU-M2-04	2	14	BIF-OV	cz-met	S	1	90	10			
SMU-M2-04	3	1	BIF-OV	cz-met	S	1	90	10		250	
SMU-M2-04	3	2	BIF-OV	cz-met	S	1	80	20		290	
SMU-M2-04	3	3	BIF-OV	cz-met	S	2	85	15		300	
SMU-M2-04	3	4	BIF-OV	cz-met	S	2.5	80	20		263	
SMU-M2-04	3	5	BIF-TAB	cz-met	S	3	80	20	-16	280	
SMU-M2-04	3	6	BIF-TAB	cz-met	S	3	80	20	-12	280	
SMU-M2-04	3	7	BIF-R	cz-met	S	2	90	10	-4.2	275	
SMU-M2-04	3	8	BIF-OV	cz-met	S	1	80	10	-24	280	
SMU-M2-04	3	9	BIF-OV	cz-met	S	2	70	30	-21	310	
SMU-M2-04	3	10	BIF-OV	cz-met	S	3	80	20	1	450	
SMU-M2-04	3	11	BIF-OV	cz-met	S	2	80	20		290	
SMU-M2-04	4	1	BIF-OV	cz-met	S	1	90	10			
SMU-M2-04	4	2	BIF-OV	cz-met	S	3	80	20			
SMU-M2-04	4	3	BIF-IR	cz-met	S	3	80	20			
SMU-M2-04	4	4	BIF-OV	cz-met	S	1.5	70	30	-35	437	
SMU-M2-04	4	5	BIF-R	cz-met	S	1.5	80	20	-52		
SMU-M2-04	4	6	BIF-OV	cz-met	S	2	70	30	1.2	420	
SMU-M2-04	4	7	BIF-R	cz-met	S	1.5	80	20			
BX-01	1	1	BIF-IR	cz-brc	S	2	70	30			
BX-01	1	2	BIF-OV	cz-brc	S	1	90	10	-20	265	-64
BX-01	1	3	BIF-OV	cz-brc	S	1	80	20	-20	265	-68
BX-01	2	1	BIF-OV	cz-brc	S	1.5	80	20	-4	310	-40
BX-01	2	2	BIF-OV	cz-brc	S	1.5	80	20	-4	315	
BX-01	2	3	BIF-TAB	cz-brc	S	3	80	20			
BX-01	2	4	BIF-IR	cz-brc	S	2	90	10	-2		-49
BX-01	2	5	BIF-OV	cz-brc	S	1	60	40			-49
BX-01	2	6	BIF-OV	cz-brc	S	1	60	40			
BX-01	2	7	BIF-IR	cz-brc	S	4	80	20			
RC-01	1	1	BIF-OV	cz-vtll	S	3	90	10			
RC-01	1	2	BIF-OV	cz-vtll	S	2	80	20			
RC-01	1	3	BIF-R	cz-vtll	S	2	70	30			
RC-01	1	4	BIF-R	cz-vtll	S	2	90	10			
RC-01	2	1	BIF-OV	cz-vtll	S	4	90	10			

Total de inclusiones = 143

Donde: T^e= temperatura del punto eutéctico, T^f = temperatura de fusión y T^h= temperatura de homogenización, cz-vtll= cuarzo en vetillas, cz- brc= cuarzo de brecha, cz- met= cuarzo metamórfico, R=regular, IR=irregular, TAB= tabular, OV=ovoido, BIF= bifásica, S= secundario y Ps= pseudosecundaria.



4.2.3. Tipos de inclusiones fluidas identificadas

La clasificación se dio a temperatura ambiente bajo el microscopio, primeramente, se tienen una clasificación según su tipo de contenido, en las seis muestras se cuenta con inclusiones ricas en líquido (L+V), el cual se clasifica de tipo bifásica. Según la clasificación de Nash (1976), las muestras son de tipo L de moderada salinidad, con dos fases: una líquida (agua) y otra gaseosa (vapor de agua). La fase líquida ocupa desde 70% como mínimo y como promedio un 80% y la fase vapor ocupa un 30% a 20% del total de la inclusión.

Según su genética son inclusiones secundarias, acepto en la muestra SMU-MLL-01 y SMU-M2-05 que evidencian inclusiones pseudo secundarias además de secundarias; las morfologías de estos son ovoides de tamaños variables que van desde 2 μ m a 30 μ m.

4.2.4. Composición de los fluidos

La complejidad y dificultad para definir una conclusión acertada sobre su composición nos llevó a analizar de manera individual cada muestra.

SMU-MLL-01: La composición del fluido hidrotermal en las inclusiones secundarias y pseudo secundarias en esta muestra, está dominada por un sistema H₂O-NaCl, el contenido de sal en las inclusiones pseudo secundarias varían desde 17.92 % Wt NaCl hasta un máximo de 29.19 % Wt NaCl, en las inclusiones secundarias se alojan los porcentajes menores que varían desde 13.99 % Wt NaCl hasta un máximo de 17.92 % Wt. Concluyendo que las pseudo secundarias contienen más contenido de sal que las secundarias. Respecto a la densidad se tiene 0.84 g/cm³ a 0.96 g/cm³ en las de tipo pseudo secundarias y en las secundarias varía desde de 0.72 g/cm³ a 1.02 g/cm³.



Considerando la temperatura del punto eutéctico tenemos un sistema salino de $H_2O-KCl-NaCl$ en las inclusiones pseudo secundarias mientras que en las secundarias tenemos un sistema salino $H_2O-MgCl_2$ y $H_2O-CaCl_2$.

SMU-M2-05: En los análisis microtermométricos se determinó temperaturas eutécticas desde $-26^{\circ}C$ hasta $-72^{\circ}C$ y además de temperaturas de fusión ($T^{\circ}f$) positivas, motivos por lo que nos llevó a clasificarlo como un fluido de sistema H_2O-CO_2 . Cabe mencionar que a temperatura ambiente no se observó el CO_2 pero en el proceso de análisis microtermométrico se observó componentes inmiscibles de CO_2 (ver figura 58).

Cada fluido hidrotermal presenta cierto porcentaje de sales; en función a la temperatura de clatratos y al principio de Potter (1977) entonces se tiene concentraciones de 9.21 %Wt NaCl a 36.75%Wt NaCl en las inclusiones secundarias y en las pseudo secundarias varías desde 0.01 % Wt NaCl a 12.8% Wt NaCl. No se determinó sistemas salinos debido a los altos puntos eutécticos (característico un sistema H_2O-CO_2).

La densidad en las inclusiones secundarias varía desde 0.79 g/cm^3 a 0.94 g/cm^3 , mientras que en las inclusiones pseudo secundarias tenemos variaciones de 0.94 g/cm^3 a 0.97 g/cm^3 .

El contenido de CO_2 varía desde 6.79 % CO_2 (Wt. En peso) a 38.71 % CO_2 (Wt. En peso) en las de tipo secundaria, a comparación de las inclusiones pseudo secundarias que va desde 6.79 % CO_2 (Wt. En peso) a 13.16 % CO_2 (Wt. En peso) que tienen valores inferiores.

Con un porcentaje de relleno de 70% a 90% de fase líquida y de 30% a 10% de la fase vapor.

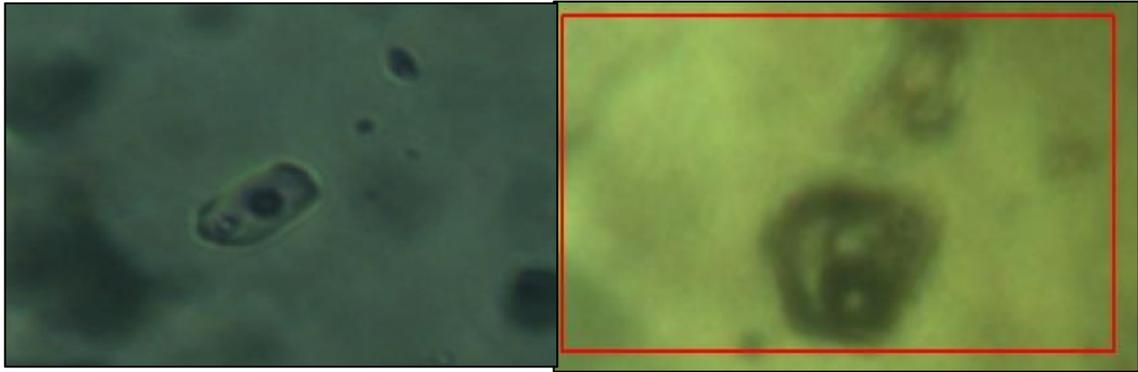


Figura 60. Evidencia de CO₂ a temperaturas de -60°C.

Código de muestra: Campo 1-inclusion 2 y 3.

SMU-M7-02: Presenta temperaturas eutécticas desde -24°C hasta -78°C, se clasificado como un fluido de sistema H₂O-CO₂. Cabe mencionar que a temperatura ambiente no se observó el CO₂ pero en el proceso de análisis microtermométricos se observó componentes inmiscibles de CO₂.

En función a la temperatura de clatratos y al principio de Potter (1977) tenemos concentraciones variables desde 6.43 % Wt NaCl a 20.43% Wt NaCl.

El contenido de CO₂ varía desde 6.79 %CO₂ (Wt. En peso) a 24.64 %CO₂ (Wt. En peso), de un fluido de 0.88 g/cm³ a 0.97 g/cm³ de densidad, y con un porcentaje de relleno de 60% a 90% de fase líquida y de 40% a 10% de la fase vapor.

SMU-M2-04: Con temperaturas eutécticas desde -24°C hasta -78°C, se clasificado como un fluido de sistema H₂O-CO₂. Al igual que los anteriores a temperatura ambiente no se observó el CO₂ pero en el proceso de análisis microtermométrico se observó componentes inmiscibles de CO₂.

En función a la temperatura de clatratos y al principio de Potter (1977), tenemos concentraciones variables desde 3.37 % Wt NaCl a 25.35% Wt NaCl.

El contenido de CO_2 varía desde 6.79 % CO_2 (Wt. En peso) a 19.11 % CO_2 (Wt. En peso), de un fluido de 0.87 g/cm^3 a 0.97 g/cm^3 de densidad.

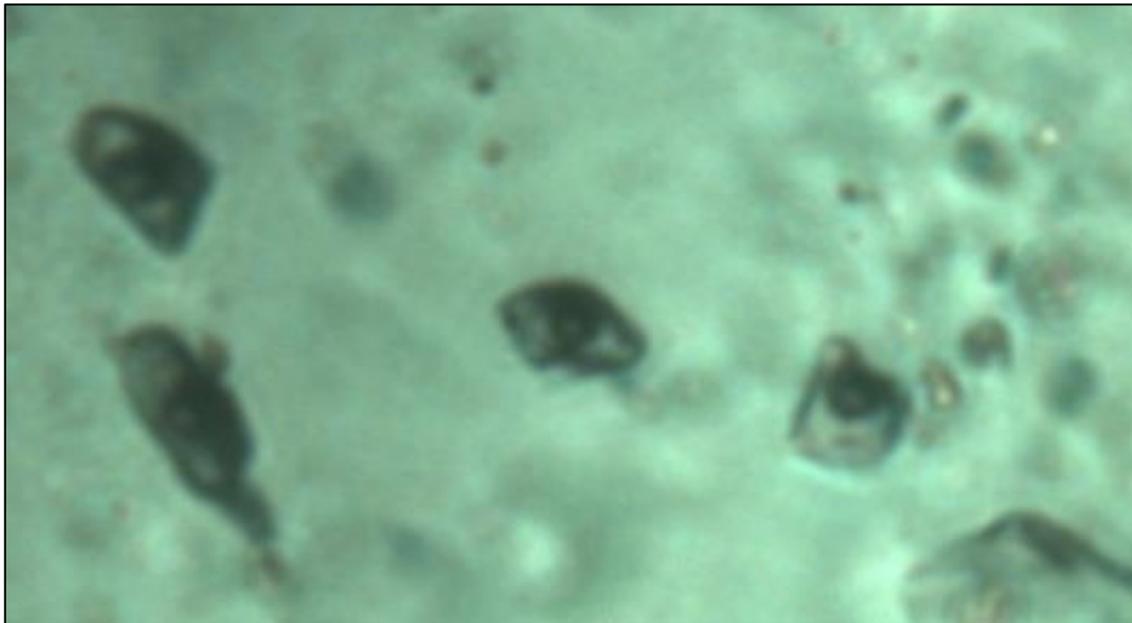


Figura 61. Inclusiones fluidas con componentes inmiscibles de CO_2 en temperaturas menor a $+1^\circ$.

Código de muestra: Campo 2 – inclusión 1,2 y 3

BX-01: La composición del fluido hidrotermal en las inclusiones secundarias, está dominada por un sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$, el contenido de sal en el fluido varía desde 3.37% Wt NaCl hasta un máximo de 22.66 % Wt NaCl, respecto a la densidad tenemos una variación que vas desde 0.72 g/cm^3 a 1.08 g/cm^3 .

Las inclusiones estudiadas en la muestra de brecha nos dan como resultado, contenido de sales en función a la temperatura del punto eutéctico, tenemos un sistema salino de $\text{H}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{CO}_3-\text{K}_2\text{CO}_3$ y $\text{H}_2\text{O}-\text{CaCl}_2$.

RC-01: No presenta composición de fluidos debido a la ausencia de datos.
(Ninguna inclusión reacciono frente a las pruebas de microtermometría)



4.2.5. Temperatura de homogenización

Se tomaron seis muestras para el análisis de microtermometría, tomando en total 143 inclusiones puestas a prueba, llegando a una temperatura de homogenización solo 95 inclusiones, varias inclusiones han decrepitado a causa de la presión a la que se expone por encontrarse en un ambiente metamórfico.

SMU-MLL-01: En esta muestra se tomaron 19 inclusiones, de los cuales han llegado a homogenizar 10 inclusiones en un rango de 280°C a 390°C.

SMU-M2-05: Fueron sometidas a la microtermometría 24 inclusiones alcanzando todas a un punto de homogenización, en rangos de 250°C a 330°C, dichas inclusiones son secundarias y pseudo secundarias.

SMU-M7-02: De esta muestra todas las inclusiones son de tipo secundario, se tomaron 43 inclusiones, de las cuales 21 se homogenizaron en un rango de 318°C a 550°C, en el que predominan las altas temperaturas.

SMU-M2-04: De un total de 42 inclusiones sometidas, 34 alcanzaron a una temperatura de homogenización, tienen un rango de 250°C a 500°C.

BX-01: De una población de diez inclusiones secundarias cinco llegaron a una temperatura de homogenización desde 265°C a 315°C.

RC-01: Fueron sometidas cinco inclusiones secundarias, ninguna de ellas tuvo reacción frente a análisis microtermométricos.

4.2.6. Estimación de presión y profundidad

Para el sistema H₂O-NaCl, se usó el isoterma de ebullición de Shepperd (1985) y para el sistema H₂O-CO₂ el isoterma de Colims (19979), no se realizó una corrección por

presión por presentar rangos de temperatura desde 250°C a 550°C considerados como bajas temperaturas en la que el margen de error es mínimo, a partir de ellos se ha obtenido presiones de captura que son especificados a continuación:

Tabla 9: Resultados de presión y profundidad.

MUESTRA	IF	LIMITE	T°h	P (bar)	HH (m)	HL (m)
SMU-MLL-01	Ps	Max	350	160	1631	604
		Min	280	60	612	227
	S	Max	390	220	2243	831
		Min	300	70	714	264
SMU-M2-05	Ps	Max	310	300	3058	1133
		Min	285	300	3058	1133
	S	Max	375	210	2141	793
		Min	250	300	3058	1133
SMU-M7-02	S	Max	550	5.00	51	19
		Min	318	210.00	2141	793
SMU-M2-04	S	Max	520	15.0	153	57
		Min	250	270.0	2752	1019
BX-01	S	Max	315	61	622	230
		Min	265	50	510	189
RC-01	ND	ND	ND	ND	ND	ND

El contenido de CO₂ y el contenido de NaCl además de considerar el tipo metamorfismo, petrografía y minerografía serán herramientas para sustentar las variaciones de presión y profundidad presentadas en la tabla anterior.

4.3 INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

4.3.1. Micro termometría y Geoquímica

4.3.2. Cuadro comparativo de resultados

En la siguiente tabla resume resultados microtermométricos, petrográficos y minerográficos de seis muestras, en el que se expone los rangos máximos y mínimos de cada propiedad determinada de los fluidos.



Muestra que en las inclusiones pseudosecundarias las temperaturas son menores (280°C a 350°C) en relación a las inclusiones secundarias (250°C a 550°C), diferenciando claramente la temperatura del cristal y la temperatura de un segundo fluido hidrotermal al que se le atribuye la mineralización por las evidencias de cristalización por reemplazamiento que se menciona en el estudio mineragráfico.

En la tabla también se muestra que la temperatura máxima es de 550° pero a la más mínima presión y por ende profundidad, respecto a las otras muestras; evidenciando que cerca de la superficie los fluidos fueron bastante calientes, quizá generado por cizallamiento y rose intenso entre planos foliación, esto inducido por fuerzas compresionales, descartando la intervención de la presión litostática e hidrostática en el fluido que trajo la mineralización.

Los fluidos más densos se evidencian en el sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$, mientras que los menos densos están en el sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ con contenido mínimo de NaCl , interpretando de ello que a más contenido de sales más densidad. La variación oscila entre 0.01-36.75 % Wt NaCl eq en ambos sistemas.

Respecto al contenido de CO_2 oscila en 6.79 a 38.71 % CO_2 (Wt en peso); sometidos a presiones de captura en un rango de 5 a 300bares posiblemente, la posible profundidad en condiciones hidrostáticas le correspondería 51-3 058m y en condiciones litostáticas de 19m a 1 133m.

Las densidades mínimas son de 0.72 g/cm^3 relacionas al sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ con contenido de NaCl y las densidades máximas son de 1.08 g/cm^3 en el sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$.

Tabla 10. Resumen de resultados petrográficos, mineralógicos y microtermométricos.

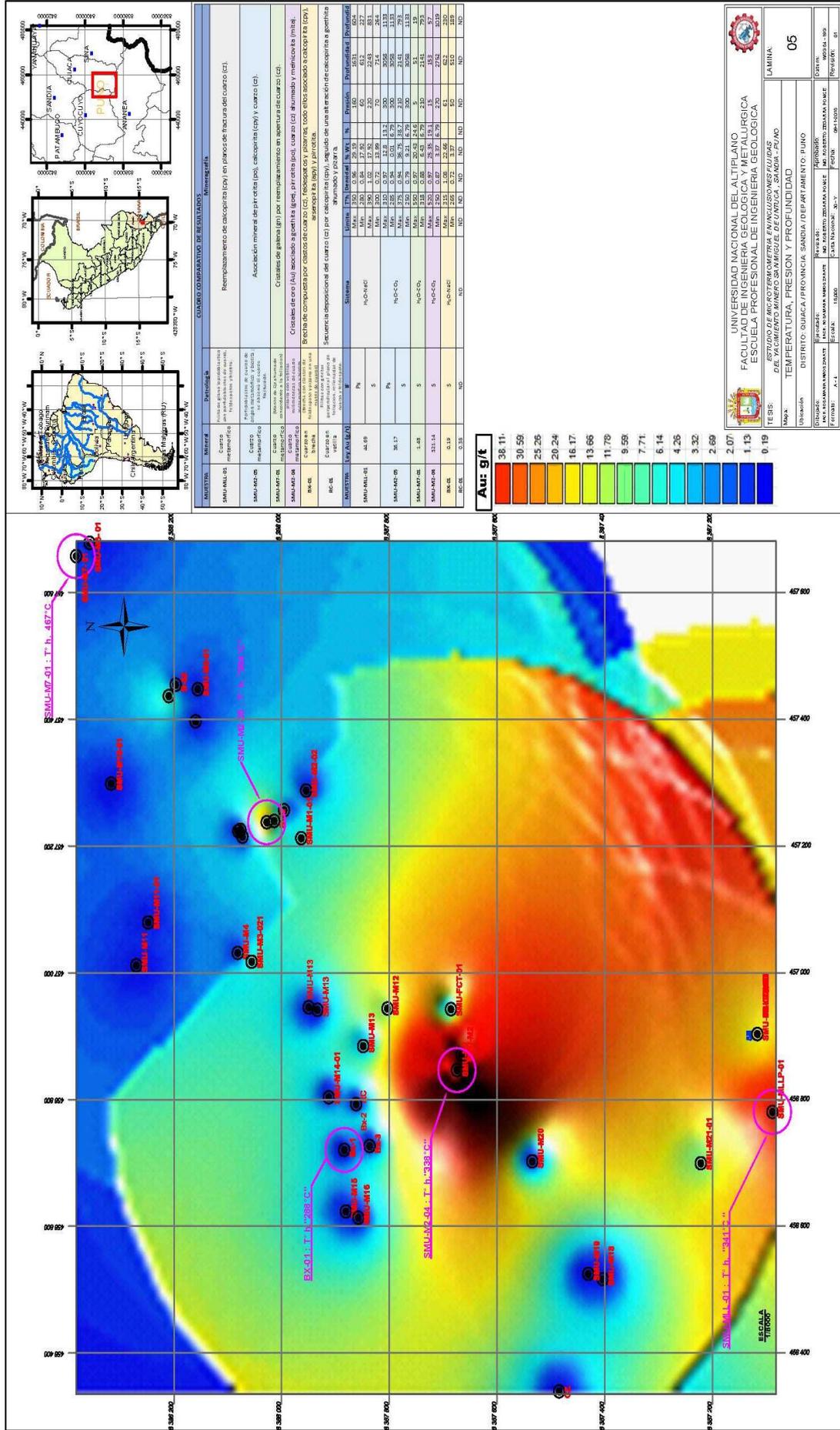
CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS														
MUESTRA	Mineral	Petrología	Minerografía	Ley Au (g/t)	IF	Sistema	Límite	T ^h	Densidad total (g/cm ³)	% WI NaCl eq.	% CO ₂ (Wt en peso)	Presión (bar)	Profundidad (Hh)	Profundidad (m)
SMU-MLLP-01	Cuarzo metamórfico	Filita de grano lepidoblastico con porfiroblastos de cuarzo, feldespatos y biotita.	Reemplazamiento de calcopirita (cpy) en planos de fractura del cuarzo (cz).	44.69	Ps	H ₂ O-NaCl	Max	350	0.96	29.19		160	1631	604
							Min	280	0.84	17.92		60	612	227
							Max	390	1.02	17.92		220	2243	831
							Min	300	0.72	13.99		70	714	264
SMU-M2-05	Cuarzo metamórfico	Porfiroblastos de cuarzo de origen metamórfico y biotita ; se observa el cuarzo fracturado.	Asociación mineral de pirrotita (po), calcopirita (cpy) y cuarzo (cz).	36.17	Ps	H ₂ O-CO ₂	Max	310	0.97	12.8	13.16	300	3058	1133
							Min	285	0.94	0.01	6.79	300	3058	1133
							Max	375	0.94	36.75		210	2141	793
							Min	250	0.79	9.21	6.79	300	3058	1133
SMU-M7-01	Cuarzo metamórfico	(Manto de Qz ahumado concordante a la foliacion)	Cristales de galena (gn) por reemplazamiento en apertura de cuarzo (cz).	1.48	S	H ₂ O-CO ₂	Max	550	0.97	20.43	24.64	5	51	19
							Min	318	0.88	6.43	6.79	210	2141	793
SMU-M2-04	Cuarzo metamórfico	pizarra con vetillas milimétricas de cuarzo metamórfico y biotita.	Cristales de oro (Au) asociado a goethita (goe), pirrotita (po), cuarzo (cz) ahumado y melnicovita (mlta).	321.14	S	H ₂ O-CO ₂	Max	520	0.97	25.35	19.11	15	153	57
							Min	250	0.87	3.37	6.79	270	2752	1019
BX-01	Cuarzo en brecha	(Brecha con clastos de feldespato y pizarra en una matriz de cuarzo)	Brecha de compuesta por clastos de cuarzo (cz), feldespatos y pizarras, todo ellos asociado a calcopirita (cpy), arsenopirita (apy) y pirrotita.	0.19	S	H ₂ O-NaCl	Max	315	1.08	22.66		61	622	230
							Min	265	0.72	3.37	50	510	189	
RC-01	Cuarzo en vetilla	Filitas con grietas perpendicular al plano de foliacion, rellenadas de cuarzo y feldespato.	Secuencia deposicional del cuarzo (cz) por calcopirita (cpy), seguido de una alteración de calcopirita a goethita ahumado y pizarra.	0.38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND



4.3.3. Microtermometría y geoquímica

Así como se observa en el mapa de tendencias geoquímicas en relación a la microtermometría (Lamina 5), las concentraciones más altas de oro se asocian a las más altas temperaturas, descendiendo de manera paulatina hacia los extremos con menor temperatura y menor ley de oro, se observa que la tendencia se observa en dirección norte-sur.

La muestra SMU-M2-04 cuenta con 520°C a 250°C tomados en inclusiones secundarias, y con leyes de 321.14 g/t con tendencia de disminución al sur mostrando en la muestra SMU-MLL-01 leyes 44.69 a temperaturas de 390°C a 300°C, hacia el noroeste la tendencia de disminución es aún mucho menor en la muestra SMU-M2-05 a temperaturas 375°C a 250°C con leyes de 36.17 g/t, para el oeste se tiene la muestra BX-01 que muestra leyes mínimas de 0.19 g/t a temperaturas de 315°C a 265°C. Asociando una vez más que a más alta temperatura mayor concentración de AU.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA
TESIS: **DE VALORACION MINEROGRAFICA DE UNO DE LOS YACIMIENTOS DE ORO EN LA ZONA DE SAN JUAN DE LOS RIOS**

UNIVERSIDAD: **UNAP**
DISTRITO: **QUACCA** / PROVINCIA: **SAN JUAN DE LOS RIOS**
Mesa: **TEMPERATURA, PRESION Y PROFUNDIDAD**

FECHA DE ENTREGA: **05**

INTEGRANTES:
MARCOS RAMIRO MORALES
MARCOS RAMIRO MORALES
MARCOS RAMIRO MORALES

PROFESOR: **A. L.** / ESCUELA: **10000** / PÁGINA: **05** / TOTAL: **05**

4.3.4. Clasificación del yacimiento según temperaturas versus salinidad

Según Willkinson (2001) presenta una modificación de clasificación de yacimientos basados en función a la temperatura de homogenización versus contenido de salinidad, bajo estas condiciones sean planteado 54 datos, los cuales se encuentran en un rango de 250°C a 550°C de temperatura de homogenización versus 0.01%Wt NaCl a 36.75%Wt NaCl, conforme a ello, el yacimiento San Miguel de Untuca muestra una mayor tendencia asociada a yacimientos mesotermales, vetas de oro y yacimientos de tipo greisen, pero conforme a su mineralización se descarta la asociación a yacimientos tipo Greisen.

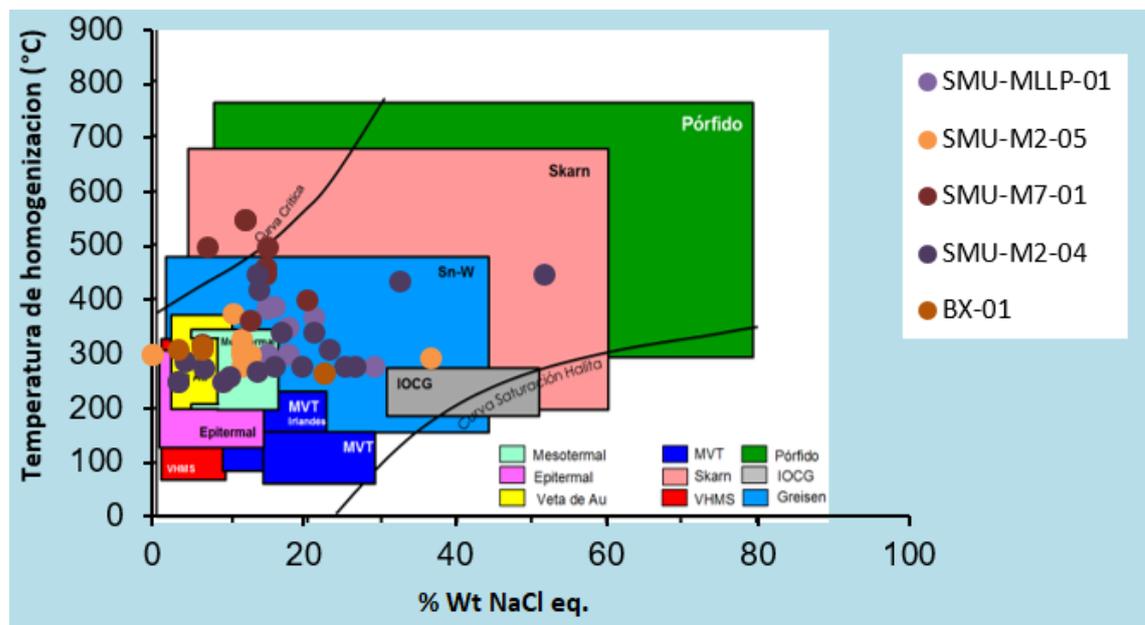


Figura 62. Clasificación de yacimiento en base a principios de Willkinson (2001).

Cabe señalar que en la tabla de Willkinson no existe una clasificación para yacimientos tipo orogénicos, conforme a lo investigado el estudio de inclusiones fluidas en este tipo de yacimientos es escaso, debido a su complejidad, Bodnar (2014) hace mención de yacimientos orogénicos en el que indica rangos de 150°C a 350°C con salinidades de 0 a 10 % . %Wt NaCl, Coa (2018) estudió el yacimiento de tipo orogénico



Ollachea, en el que indica temperaturas de 285°C a 400°C con salinidades bajas que varían de 1% a 12%.

4.3.5. Relación de temperatura, presión y profundidad en el yacimiento San Miguel de Untuca

Para poder relacionar de manera más representativa la temperatura presión y profundidad se realizó dos secciones geológicas, el primero A – A' con dirección SW-NE, intersectando dos muestras, la segunda sección B-B' con dirección SE-NW también intersecta dos muestras.

Sección A - A':

Se observa las pizarras hacia el suroeste al que sobreyace las filitas, en este contacto se tomó la muestras SMU-MLL-01 correspondiente a una filita, cuya muestra fue tomado a una altura de 4 890m.s.n.m.; según a los resultados obtenidos las temperaturas de captura de las inclusiones fueron a un máximo de 390°C, el cual estuvo sometido a una presión 220 bares y a 831 m de profundidad en condiciones litostaticas, dado que la muestra fue tomada en superficie y según la sección mostrada, entonces se deduce que producto de la falla inversa , las filitas fueron descendiendo más a profundidad ya que actúa como bloque que baja, además cabe considerar la erosión.

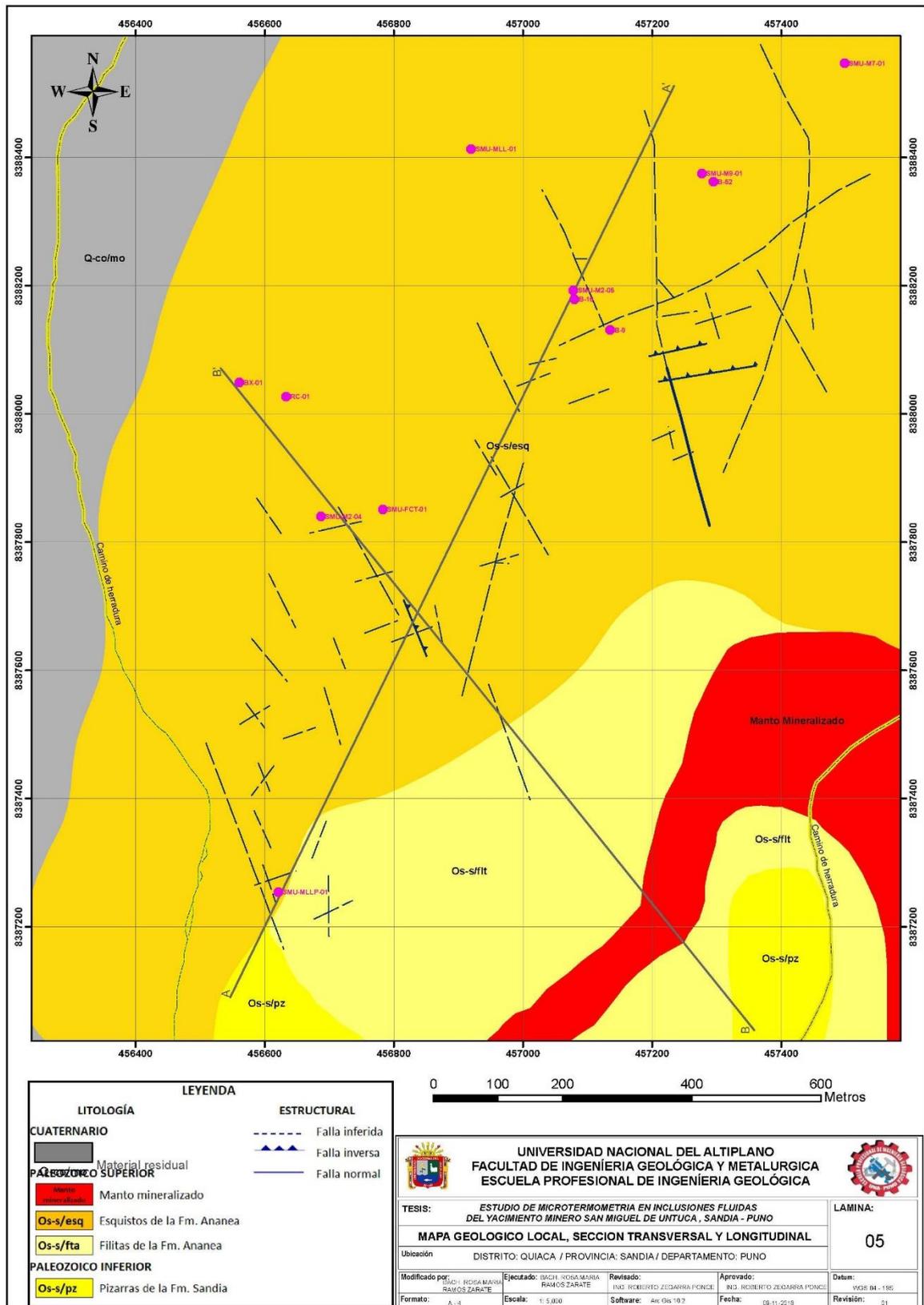
Hacia el noreste se tiene la muestra SMU-M2-05, tomado en un esquisto y a una altura de 4 970m.s.n.m., el punto de captura en las inclusiones secundarias es a 375°C al que le correspondería una presión de 210 bares y una profundidad de 790m de profundidad en condiciones litostaticas, el bloque que hospeda esta muestra actúa como bloque que sube respecto a la falla inversa que se observa.

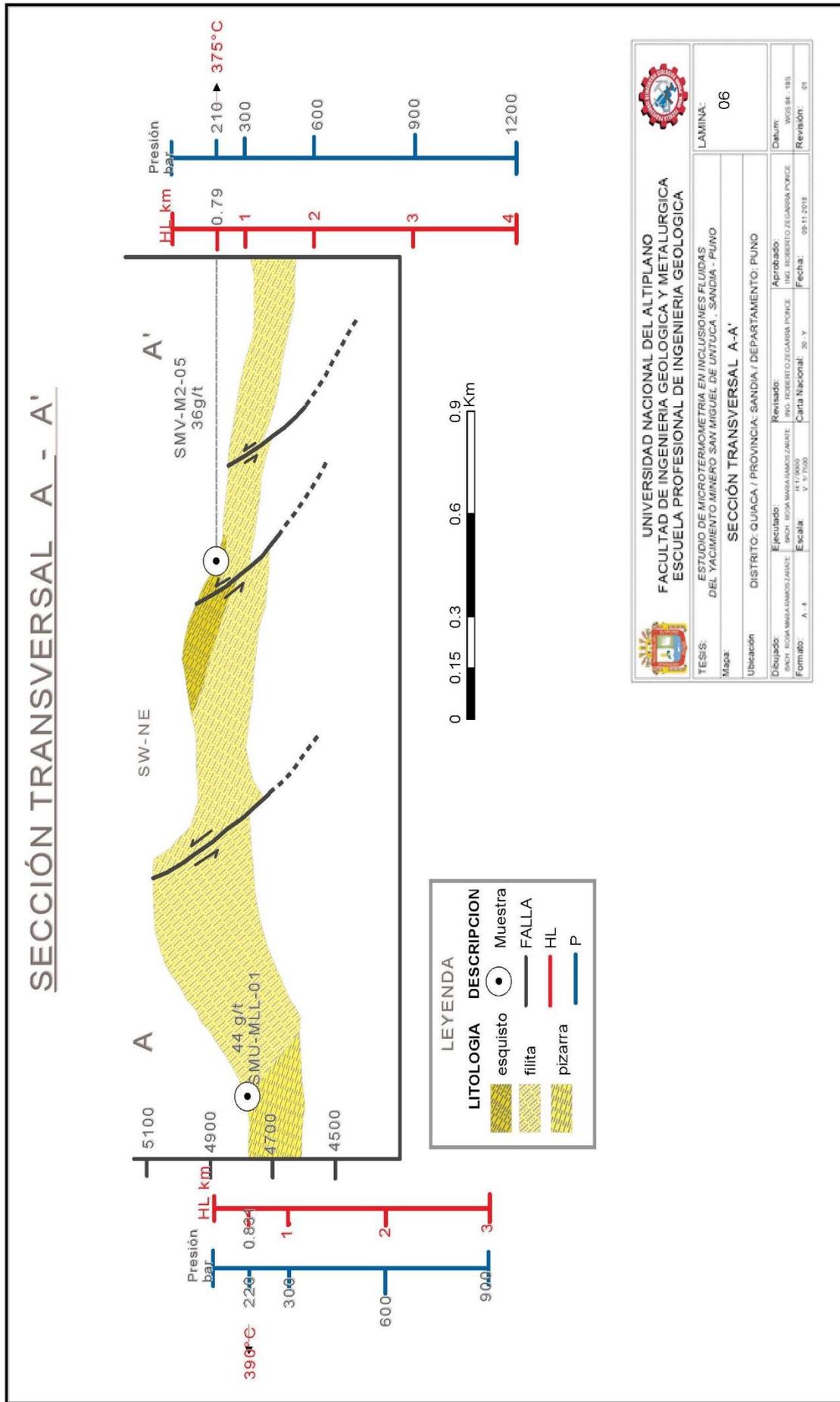


Sección B - B':

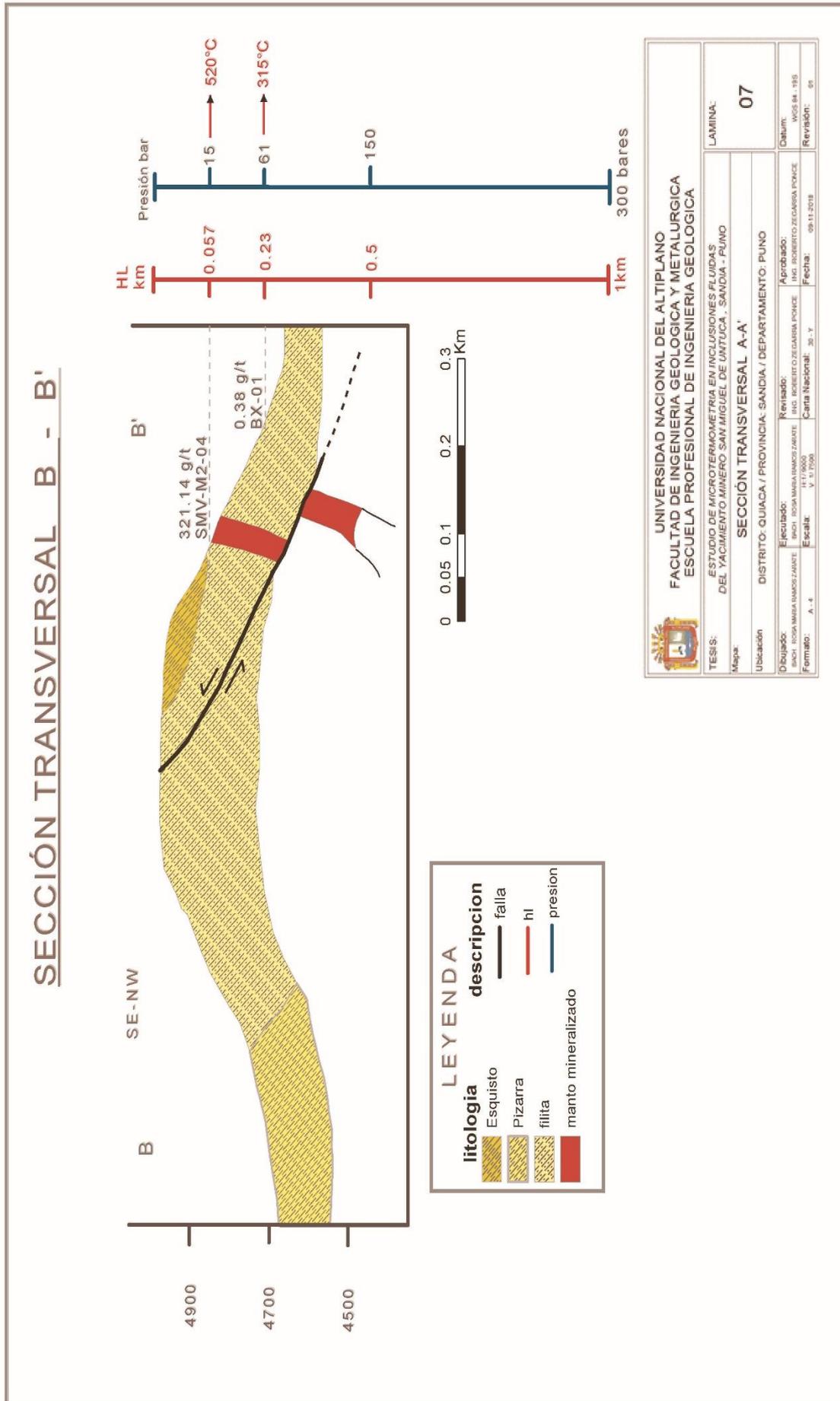
La sección intersecta la muestra SMU-M2-04, tomado en una filita a una altura de 4990m.s.n.m., a fluido hidrotermal estuvo sometido a una presión de 15 bares y 57 m de profundidad en condiciones litostaticas, en estas condiciones la captura de la inclusión fue a 520°C, cabe mencionar que el punto de captura de una inclusión representa la temperatura en el que cristalizó los minerales a partir del fluido hidrotermal.

La muestra BX-01 consta de una brecha constituida de clastos sub angulosos de cuarzo, feldespatos, y pizarras, muestra las leyes más bajas de oro, debido a que esta muestra no muestra presencia de CO₂, pero si alto contenido de NaCl, tomada a una altura de 4930m.s.n.m., las inclusiones determinadas fueron de tipo secundaria, indicando que hubo fluidos posteriores al brechamiento, mencionados fluidos estuvieron bajo 61 bares de presión y a 230m de profundidad en condiciones litostaticas y a una temperatura de 315°C.





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	
TESIS: ESTUDIO DE MICROTERRACIOMETRIA EN INCLUSIONES FLUIDAS DEL YACIMIENTO MINERO SAN MIGUEL DE UNTUCA, SANDIA - PUÑO	
Mapa:	
Ubicación: DISTRITO: QUIJACA / PROVINCIA: SANDIA / DEPARTAMENTO: PUÑO	
Dibujado: ING. ROSA MARÍA RAMOS ZABALE Revisado: ING. ROBERTO SEGARRA PORCE	
Formado: A - 1 Escala: 1:10000 Carta Nacional: 39 - Y	
Fecha: 09-11-2018	
Datum: WGS 84 - 1985	
Revisión: 01	
LAMINA: 06	





V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Conforme estudio petrográfico se identificó: pizarras con cristales lepidoblásticos conformados de cuarzo, muscovita, minerales opacos y presencia de alteración (cloritas). Además de filita masiva de grano fino, cortadas por vetillas de cuarzo, con porfidoblastos de cuarzo y minerales opacos, con fracturas en las que emplaza biotita; y esquistos de textura bandeado en los planos de foliación, muestra una morfología lepidoblástica en la matriz el cual está constituida de filosilicatos y morfología porfidoblastica evidenciado por biotitas, cuarzo y minerales opacos. Se tiene deformación rotacional inducida por el cizallamiento el cual genero la foliación bandeada, producto de este proceso se generó los porfidoblastos antes mencionados. Todo ello generado en un ambiente estructural dúctil y frágil, el cual se evidencia en pliegues y fallas inversas además de cizallamiento. Respecto a la minerografía se ha determinado sulfuros como pirrotita, arsenopirita, calcopirita, melnicovita y galena, además se determinó goethita y oro; estos ocurridos por reemplazamiento en fracturas y planos de foliación de las pizarras, filitas y esquistos.

SEGUNDA: En el estudio de microtermometría se determinó dos fluidos, en los cuales se considera como primer fluido a las inclusiones pseudosecundarias y como segundo fluido a las inclusiones secundarias. El primer fluido tuvo como temperatura de captura un rango de 280°C a 350°C, el cual estuvo sometido entre 60 y 300 bares de presión, al que le corresponde 227m a 1133m de profundidad en condiciones litostaticas. Estas temperaturas y presiones corresponden al primer evento metamórfico de pizarras y filitas; el segundo fluido fue sometido a temperaturas de 250°C a 550°C, los cuales corresponden a presiones de 5 a 300 bares, en profundidades de 19m a 1133m en condiciones litostaticas. Según al estudio minerográfico y petrográfico se le atribuye a este segundo evento un



metamorfismo más intenso y con ello la formación de sulfuros como la pirrotita, calcopirita y arsenopirita, además de goethita y oro. El contenido de los fluidos está dado en dos sistemas: sistema acuoso ricos en sales ($H_2O-NaCl$) y sistema acuoso ricos en CO_2 (H_2O-CO_2); a este último sistema se relacionan las leyes más altas de oro. En el sistema H_2O-CO_2 ; se determinó densidades de 0.79 a 0.97 g/cm^3 , con una salinidad de 0.01 a 36.75% Wt NaCl eq y 6.79 a 38.71% CO_2 (Wt en peso); sin embargo en el sistema $H_2O-NaCl$ se determinó densidades de 0.72 a 1.08 g/cm^3 , con una salinidad de 3.37 a 29.19 % Wt NaCl eq

TERCERA: Como conclusión final, la mineralización está relacionada a ambos sistemas, pero con mayor intensidad al sistema H_2O-CO_2 , teniendo como explicación la relación que a mayor contenido de CO_2 menos presión y menos temperatura, esto para evitar la volatilización de este gas, lo cual también explica el contenido de cuarzo lechoso y cuarzo ahumado. La posible secuencia de evolución del yacimiento está dada como un primer evento por un metamorfismo de bajo grado originando la formación de pizarras bituminosas, como segundo evento en el que se tiene un segundo metamorfismo más intenso dando lugar a la formación de cuarcitas y esquistos, en el que interviene deformaciones dúctiles y frágiles, originando fluidos con contenido de CO_2 y de baja densidad que circularon por fracturas y planos de foliación, a partir de dicho fluido precipitaron sulfuros (pirrotita, calcopirita, arsenopirita, melnicovita), goethita y oro.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Considerar la orientación al momento de un muestreo para estudio de microtermometría, para determinar dirección de fluidos.

SEGUNDA: Realizar un mapeo geológico detallado, y modelamiento litológico y económico.

TERCERA: Realizar estudios de microtermometría en inclusiones fluidas en la Formación Ananea y en la Formación San José para una mejor correlación a nivel regional.

CUARTA: Estudiar y determinar el contenido de volátiles, mediante el estudio de Microespectrometría Raman.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, G. (2007). *Las inclusiones fluidas como guías de exploración en depósitos de minerales*. Ejemplo: El pórfido de cobre de Lara Ayacuchu – Perú.
- Acosta, J. (2006). *Características metalogénicas de los yacimientos asociados a los arcos magmáticos mesozoicos del sur del Perú*. Latitudes 16°-14°. Informe interno. INGEMMET.
- Alfons, M., Van Den K. y Graciela, S. (2012). Fluid inclusions–Petrography and genetic interpretation of fluid inclusions. *Application of cathodoluminescence techniques*.
- Curo, W. (2015). *Metodología de selección y diseño para minado por cámaras y pilares en mantos auríferos de la unidad minera Untuca – Cori Puno S.A.C.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Chumbe, V. (2017). *Inclusiones fluidas en sistemas epitermales y pórfidos*. XVIII Congreso Peruano de Geología.
- Castroviejo, R. (1998). *Fundamentos de petrografía*. p16.
- Camprubi, A. (2010). *Criterios para la exploración minera mediante microtermometría de inclusiones fluidas*.
- Collins, L. (1979). *Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity*. Economic Geology, p74, 1435-1444.
- Chavez, A., Salas, G., Cuadros, J. y Gutierrez, E. (1996). *Geología de los Cuadrángulos de Putina y la Rinconada*. INGEMMET: Seria A: Carta Geológica Nacional (boletín 66), Fimart S.A.
- Dorado, C. (1989). *Petrografía Básica*. p108.



- Groves, J., Goldfarb, M., Gebre-Mariam, G. y Hagemann, R. (1997). *Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit.*
- Geomin Ingenieros EIRL. (2012). *Estimación de reserva de la zona mineralizada y estudio geológico en la concesión San Miguel de Untuca.*
- Gonzales, R., Zegarra, R. y Calcina, M. (2014). *Caracterización y Análisis Microscopico de Muestras Mineralizadas de San Miguel de Untuca, Sandia – Puno.* XVII Congreso Peruano de Geología.
- Gonzales, R., Zegarra, R., Calcina, M. y Carnero, E. (2012). *Caracterización estructural de deformación en los mantos auríferos de San Miguel, Untuca, Sandia Puno.*
- INGEMET. (2010). *Microscopia Óptica de Minerales.* Boletín N°1 Serie J. Tópicos de Geología.
- Bodnar, R. y Vityk. M. (1994). *Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions.*
- Wilkinson, J. (2000). *Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, p 229-279.*
- Lazo, J. y Coa, M. (2018). *Caracterización mineralógica y microtermometría de inclusiones de fluidos del yacimiento de Ollachea – Puno.*
- Lupa, C. (1999). *Aspectos geomecánicos aplicados en la explotación del yacimiento aurífero de san miguel de Untuca* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Crawford, M. (1990). *Fluid inclusions in metamorphic rocks – low and medium grade.*



- Mayta, E. (2016). *Diseño de malla de perforación aplicando un modelo temático en galerías de la unidad minera Untuca – Cori Puno S.A.C.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Noa, F. (2016). *Determinación de fragmentación del mineral en voladura de tajeos aplicando la teoría conminucion de la Unidad Minera Untuca – Cori Puno SAC.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Nash, T. (1976). *Fluid inclusion petrology – data from porphyry copper deposits and applications to exploration.* U.S.G.S. Professional Paper 907 D, p16.
- Picot, P. (1982). Johan. Atlas of ore minerals. p9.
- Pooter. W. (1977). *Pressre correction for fluid inclusions homogenization temperatures based on the volumetric properties of tha system NaCl –H2O.* U.S. Geological Survey Journ. Res. 5, p 603-607.
- Roedder, E. (1992). *Optical microscopy identification of the phases in fluid inclusions in minerals.*
- Reynolds, J. y Beane, E. (1985). *Evolution of hydrothermal fluid characteriustics at the Santa Rita, New Mexico, porphyry copper deposit.* Economic Geology.
- Roedder, E. (1984). *Fluid inclusions.* Mineralogical Society of America.
- Bodnar, J. (2014). *Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits.*
- Soncco, F. (2016). *Diseño de un nuevo sistema de ventilación para la dilución de gases nocivos en la unidad minera Untuca, Sandia – Puno* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.



Shepperd, T., Rankin, H. y Alderton, M. (1985). *A practical guide to fluid inclusions studies*, Blackie, Glasgow, p235.

Shepherd, J., Rankin, H. y Alderton, M. (1985). *A practical guide to fluid inclusion studies*. Blackie, London. p239.

Touret, R. (2001). *Fluids in metamorphic rocks*. Lithos 55, p1–25.

Yparraguirre, A. (2014). *Inclusiones Fluidas aplicadas en la exploración minera*

Velásquez, D. (2016). *Evaluación del yacimiento aurífero Comuni - Santa Rosa (Rinconada) Corporación Minera Ananea S.A.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

Velasco, F. (2004). *Introducción al estudio de las inclusiones fluidas*.

WEBGRAFIA

http://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/servicios_productos_pm?fbclid=IwAR16UvyNC SndA8xGUQk3ES1NYymIXV4kMc6hz-DkJh15jwFK8S9GnxjX38Y

www.repositorio.unap.pe



ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de base de datos

TABLA DE RESULTADOS MICROTERMOMETRICOS

Codigo de SDP.	Campo	N° de IF	Clasificación Morfológica	Mineral	Tipo	Diametro (μ)	% De Relleno			T° H ₂ O	T° e	% Wt NaCl eq.	Sistema Salino	Densidad total g/cm ³	%CO ₂ (wt. En peso)	%amol CO ₂	Presión (bar)	Profundidad HH	Profundidad HL
							L	V	S										
SMU-MLL-01	1	1	BIF-IR	Cuarzo	Ps.	4	70	30	-14	350	-50	17.92	H ₂ O-KCl-CaCl ₂	0.84		160	1631	604	
SMU-MLL-01	1	2	BIF-OVOIDE	Cuarzo	Ps.	4	80	20	-30	280		29.19		0.96		60	612	227	
SMU-MLL-01	1	3	BIF-OVOIDE	Cuarzo	S	4	70	30	-18	370		21.20		0.84		190	1937	717	
SMU-MLL-01	1	4	BIF-IR	Cuarzo	S	3	85	15			crepito			1.02					
SMU-MLL-01	1	5	BIF-IR	Cuarzo	S	4	80	20	-22			24.04		0.96					
SMU-MLL-01	1	6	BIF-IR	Cuarzo	S	3	80	20	-11			15.04		0.96					
SMU-MLL-01	1	7	BIF-IR	Cuarzo	S	3	80	20						0.96					
SMU-MLL-01	1	8	BIF-OVOIDE	Cuarzo	S	2	70	30	-14	300		17.92		0.84		70	714	264	
SMU-MLL-01	1	9	TRIF-TAB	Cuarzo	S	8	60	15	-9		-42	12.88	H ₂ O-CaCl ₂	0.72					
SMU-MLL-01	2	1	BIF-IR	Cuarzo	S	5	80	20	-11	385		15.04		0.96		210	2141	793	
SMU-MLL-01	2	2	BIF-IR	Cuarzo	S	3	80	20		344				0.96		165	1682	623	
SMU-MLL-01	2	3	BIF-OVOIDE	Cuarzo	S	3	80	20	-12			16.04		0.96					
SMU-MLL-01	2	4	BIF-OVOIDE	Cuarzo	S	2	80	20	-27			27.27		0.96					
SMU-MLL-01	2	5	BIF-OVOIDE	Cuarzo	S	2	85	15	-12	390		16.04		0.96		230	2345	868	
SMU-MLL-01	2	6	BIF-OVOIDE	Cuarzo	S	3	80	20						0.96					
SMU-MLL-01	2	7	BIF-OVOIDE	Cuarzo	S	3	80	20	-11			15.04		0.96					
SMU-MLL-01	2	8	BIF-OVOIDE	Cuarzo	S	2	70	30	-11	300		15.04		0.84		69	703	261	
SMU-MLL-01	2	9	BIF-OVOIDE	Cuarzo	S	2	70	30	-14	300	-30	17.92	H ₂ O-MgCl ₂	0.84		70	714	264	
SMU-MLL-01	2	10	BIF-IR	Cuarzo	S	3	80	20	-11	390	-48	15.04	H ₂ O-CaCl ₂	0.96		220	2243	831	
SMU-M2-05	1	1	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	5	80	20		330				0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	2	BIF-IR	ez-vll	S	4	80	20		308	-72		ND	0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	3	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	3	80	20	-40	295	-44	36.75	H ₂ O-CaCl ₂	0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	4	BIF-OVOIDE	ez-vll	Ps.	4	80	20		295				0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	5	BIF-OVOIDE	ez-vll	Ps.	3	80	20		295				0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	6	BIF-OVOIDE	ez-vll	Ps.	3	80	20		295				0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	7	BIF-OVOIDE	ez-vll	Ps.	2	90	10		300				0.97	6.79	3.8	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	8	BIF-OVOIDE	ez-vll	Ps.	3	90	10		299				0.97	6.79	3.8	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	9	BIF-OVOIDE	ez-vll	Ps.	2	90	10		305				0.97	6.79	3.8	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	10	BIF-OVOIDE	ez-vll	Ps.	4	80	20		315				0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	11	BIF-OVOIDE	ez-vll	Ps.	2	80	20		310				0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	12	BIF-R	ez-vll	Ps.	3	80	20	2	285		12.80		0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	13	BIF-R	ez-vll	Ps.	4	90	10	2	299		12.80		0.97	6.79	3.8	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	14	BIF-IR	ez-vll	Ps.	2	80	20	3	310		11.80		0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	15	BIF-OVOIDE	ez-vll	Ps.	3	80	20		310				0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	16	BIF-IR	ez-vll	Ps.	6	80	20	-8	300	-70	11.71	ND	0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	17	BIF-IR	ez-vll	Ps.	6	80	20	10	300		0.01		0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	18	BIF-IR	ez-vll	Ps.	6	80	20	10	300		0.01		0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	19	BIF-IR	ez-vll	Ps.	6	80	20		300				0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	1	20	BIF-R	ez-vll	S	5	40	60	-8	330	-70	11.71	ND	0.82	34.44	19.5	320	3262	1208
SMU-M2-05	1	21	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	2	30	70		330				0.79	38.71	21.9	330	3364	1246
SMU-M2-05	1	22	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	3	30	70	3	280	-60	11.80	ND	0.79	38.71	21.9	500	5097	1888
SMU-M2-05	2	1	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	2	80	20	-6	250	-28	9.21	H ₂ O-NaCl-KCl	0.94	13.16	7.4	300	3058	1133
SMU-M2-05	2	2	BIF-IR	ez-vll	S	4	90	10	-7	375	-66	10.49	ND	0.97	6.79	3.8	210	2141	793
SMU-M7-02	1	1	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	2	80	20	-4	318	-24	6.43	H ₂ O-NaCl-KCl	0.94	13.16	7.4	21000	2141	793
SMU-M7-02	1	2	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	2	90	10	-9	365	-53	12.88	H ₂ O-MgCl ₂ -CaCl ₂	0.97	6.79	3.8	22000	2243	831
SMU-M7-02	1	3	BIF-R	ez-vll	S	2	80	20		410				0.94	13.16	7.4	11000	1121	415
SMU-M7-02	1	4	BIF-IR	ez-vll	S	2	80	20	-17	400		20.43		0.94	13.16	7.4	11000	1121	415
SMU-M7-02	1	5	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	3	80	20		500				0.94	13.16	7.4	10000	102	38
SMU-M7-02	1	6	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	2	80	20		500				0.94	13.16	7.4	10000	102	38
SMU-M7-02	1	7	BIF-OVOIDE	ez-vll	S	2	90	10	-4.5	500	-39	7.15	H ₂ O-Na ₂ CO ₃ -K ₂ CO ₃	0.97	6.79	3.8	5000	51	19

