

**ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS EN MATERIALES DE RELLENOS
DE VENAS EN LA SERRANÍA DE SAN LUCAS (PLANCHAS 55, 64, 85 Y
96): INVENTARIO PRELIMINAR DE SUS EVENTOS
PALEOHIDROTERMALES**

JOHN JAIRO SERRANO DOMINGUEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2006

**ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS EN MATERIALES DE RELLENOS DE
VENAS EN LA SERRANÍA DE SAN LUCAS (PLANCHAS 55, 64, 85 Y 96):
INVENTARIO PRELIMINAR DE SUS EVENTOS PALEOHIDROTERMALES**

JOHN JAIRO SERRANO DOMINGUEZ

**Proyecto de Grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Geólogo**

Director:

Ph. D. LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-QUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2006

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi Madre Blanca quien ha sido la responsable de la consecución de este logro, por su gran tesón y valentía, y por el amor, apoyo y comprensión que siempre me ha brindado a lo largo de mi vida. Mi gratitud es para ella.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar gracias a DIOS porque para El es toda gloria, honor y honra.

Al profesor Luis Carlos Mantilla Figueroa Director de esta Tesis por su gran apoyo y su idónea orientación profesional.

Al grupo de profesionales y estudiantes que forman parte de este gran proyecto de investigación UIS-INGEOMINAS, por su aporte para la realización de este trabajo.

A la geóloga Deysi Saavedra Pimiento por compartir sus conocimientos conmigo y su asesoría durante el aprendizaje de esta técnica.

A la Escuela de Geología y la sede de la UIS Guatiguará por el préstamo de sus instalaciones y equipos.

A Tania por su invaluable apoyo y compañía, y a mi familia por su gran amor y respaldo.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO	4
1.2.1. Plancha 55	5
1.2.2. Plancha 64	5
1.2.3. Plancha 85	6
1.2.4. Plancha 96	6
1.3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE TRABAJO	7
1.4. METODOLOGÍA	7
2. ANTECEDENTES	12
2.1. ESTRATIGRAFÍA	12
2.1.1. PRECÁMBRICO	15
2.1.1.1. Neis de San Lucas (NPsl)	15
2.1.2. PALEOZOICO	15
2.1.2.1. Unidad Metamórfica del Rosario (Pzr)	15
2.1.2.1.1. Esquistos de Armenia (Pzea).	15
2.1.2.2. Formación La Virgen (Pzv)	16
2.1.3. JURÁSICO	16
2.1.4.1. Formación Morrocoyal (J1m)	16

2.1.4.2. Unidad Volcanoclástica de Noreán (J1-2n)	16
2.1.4.3. Granitoides de San Lucas (Jgsl)	17
2.2. ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN DE PRIMER ORDEN	18
2.2.1. Plancha 55	19
2.2.2. Plancha 64	21
2.2.2.1. Falla de Palestina	22
2.2.2.2. Falla de Mejía	22
2.2.3. Planchas 85 y 96	23
3. RESULTADOS	25
3.1. LOCALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS	25
3.2. GENERALIDADES MINERALÓGICAS Y PETROGRÁFICAS DE LAS MUESTRAS	28
3.3. ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS	34
3.3.1. Estudio petrográfico de inclusiones fluidas	40
3.3.2. Estudio microtermométrico de inclusiones fluidas	49
3.3.3. Datos físico-químicos de inclusiones fluidas	52
3.4. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	57
4. CONCLUSIONES	59
5. RECOMENDACIONES	61
6. BIBLIOGRAFÍA	62

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Datos microtermométricos por muestra

ANEXO 2. Datos de isócoras por muestra

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Propiedades fisicoquímicas de los patrones que se utilizaron para la calibración del equipo microtermométrico	10
TABLA 2. Unidades litoestratigráficas en el área de estudio	14
TABLA 3. Localización de las muestras seleccionadas para el estudio	25
TABLA 4. Información general de las muestras	31
TABLA 5. Datos Petrográficos de las Inclusiones	48
TABLA 6. Datos microtermométricos de las distintas familias de inclusiones fluidas estudiadas	53
TABLA 7. Datos Fisicoquímicos Plancha 55	55
TABLA 8. Datos Fisicoquímicos Plancha 64	55
TABLA 9. Datos Fisicoquímicos Plancha 85	56
TABLA 10. Datos Fisicoquímicos Plancha 96	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Localización de las planchas objeto de estudio del proyecto	4
FIGURA 2. Equipo de microtermometría	10
FIGURA 3. Estructura transpresiva de la Serranía de San Lucas asociada a la Falla Palestina	18
FIGURA 4. Modelamiento del sistema de fallamientos transcurrentes (transpresión) asociados a la zona de daño de la Falla Bucaramanga – Santa Marta	20
FIGURA 5. Modelo regional de los diferentes sistemas deformativos presentes en la plancha 55	21
FIGURA 6. Esquema estructural de la plancha 64.	23
FIGURA 7A. Modelo idealizado de una estructura en flor positiva de componente dextral	24
FIGURA 7B. Esquema estructural de la geometría de la flor positiva del sistema las Brisas.	24
FIGURA 8. Localización de las muestras en el esquema geológico de la plancha 55	26
FIGURA 9. Localización de las muestras en el esquema geológico de la plancha 64	27
FIGURA 10. Localización de las muestras en el esquema geológico de la plancha 85	27
FIGURA 11. Localización de las muestras en el esquema geológico de la plancha 96	28
FIGURA 12. Sección doblemente pulida de la muestra LM64040001	30

FIGURA 13. Intercrecimiento de galena y calcopirita incluido en pirita con un cristal de oro incluido	32
FIGURA 14. Sección doblemente pulida de la muestra LM640410	33
FIGURA 15. Masa anhedral de esfalerita con diminutas inclusiones de pirita y un cristal de oro	34
FIGURA 16. Representación esquemática mostrando la formación de inclusiones primarias, secundarias y pseudosecundarias durante el crecimiento de un cristal	35
FIGURA 17. Criterio diagnóstico para clasificar inclusiones fluidas	36
FIGURA 18. Esquema de los tipos de inclusiones fluidas según el número de fases presentes a temperatura ambiente	38
FIGURA 19. Diagrama de presión en función de la temperatura del desarrollo de una inclusión fluida salina después de su atrapamiento en un mineral	40
FIGURA 20. Fotografía de Inclusiones fluidas primarias de la muestra LM55014001	41
FIGURA 21. Fotografía de inclusión fluida primaria en la muestra LM64041001	43
FIGURA 22. Fotografía de inclusión fluida de CO ₂ en la muestra LM64041001	44
FIGURA 23. Fotografía de inclusiones fluidas secundarias en la muestra LM64041001	45
FIGURA 24. Fotografía de inclusión fluida primaria (recuadro) en la muestra RD85023001	47

FIGURA 25. Inclusiones primarias y secundarias en la muestra CC96025001	47
FIGURA 26. Resumen de temperaturas eutécticas (Te) estables, metaestables y observadas de varios sistemas acuosos	50
FIGURA 27. Gráfica de intersección de isócoras a gradientes	54

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS EN MATERIALES DE RELLENOS DE VENAS EN LA SERRANÍA DE SAN LUCAS (PLANCHAS 55, 64, 85 Y 96): INVENTARIO PRELIMINAR DE SUS EVENTOS PALEOHIDROTERMALES. *

AUTOR: John Jairo Serrano Domínguez. **

PALABRAS CLAVES: Inclusiones Fluidas, Serranía de San Lucas, Microtermometría, paleofluidos, pulsos hidrotermales.

DESCRIPCIÓN:

Este documento presenta un análisis de los datos obtenidos de las Inclusiones Fluidas de 15 muestras de diferentes materiales que componen los rellenos de algunas de las venas y filones que cortan las unidades litoestratigráficas de las Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) y 96 (Bocas del Rosario), ubicadas en la parte Sur de los departamentos de Bolívar, Magdalena, Cesar y Noroeste de Santander, que corresponden a una porción de la Serranía de San Lucas y sus estribaciones.

Las muestras seleccionadas de las venas y filones en su mayoría están compuestas por un solo mineral (cuarzo, calcita o barita); algunas de ellas presentan remanentes de roca caja, y en otras los sulfuros son abundantes y acompañan a los cuarzos.

Los análisis petrográficos y microtermométricos aplicados a las inclusiones fluidas de estas muestras permitieron identificar diversos fluidos acuoso-salinos producto de eventos paleohidrotermales sucedidos a lo largo de las Cordilleras Central y Oriental, al parecer favorecidos por los eventos deformacionales de las etapas orogénicas Pre-Andina y Andina.

En sectores muy concretos de la Cordillera Central, estos fluidos acuoso-salinos, se mezclan con fluidos carbónicos (no estudiados con detalle en este trabajo). Esta mezcla de fluidos, al parecer es de gran importancia metalogenética, debido a que solo se han encontrado en aquellos materiales de venas con presencia de oro.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, Programa de Geología. Director Luis Carlos Mantilla Figueroa

ABSTRAC

TITLE: STUDY OF FLUID INCLUSIONS IN MATERIALS OF FILLINGS OF VEINS IN THE SERRANIA DE SAN LUCAS (PLANCHAS 55, 64, 85 And 96): PRELIMINARY INVENTORY OF ITS EVENTS PALEO-HYDROTHERMAL.*

AUTHOR: John Jairo Serrano Dominguez. **

KEY WORDS: Fluid Inclusions, Serranía de San Lucas, Microthermometry, paleo-fluids, hydrothermal episodes.

DESCRIPTION:

This document presents an analysis of the collected data of the Fluid Inclusions of 15 samples of different materials that compose the fillings of some of the veins that cut the lithostratigraphic units of "Planchas 55" (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) and 96 (Bocas del Rosario), located in the South part of the departments of Bolívar, Magdalena, Cesar and the Northwest of Santander, that corresponds to a portion of the Mountainous area of Serranía de San Lucas and its spurs.

Selected samples of the veins are mainly composed by a single mineral (quartz, calcite or baryta); some of them display pieces of surrounding rock, and others the sulfides are abundant and accompany quartzes.

The petrographic and microthermometric analyses applied to the fluid inclusions of these samples allowed to identify diverse brines product of hydrothermal episodes happened throughout Cordillera Central and Oriental, apparently favored by the deformational events of the orogenic stages Pre-Andean and Andean. In very concrete sectors of the Cordillera Central, these brines, are mixed with carbonic fluids (not studied with detail in this paper). This mixture of fluids, apparently is of great metallogenetic importance, because they appear just in those materials of veins with gold presence.

* Thesis work.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología, Programa de Geología. Director Luis Carlos Mantilla Figueroa.

1. INTRODUCCIÓN

El documento que aquí se presenta, es el resultado de un estudio realizado en el marco de una tesis de grado modalidad 'Investigación', auspiciada por el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) y la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Estas dos instituciones, en diciembre del año 2004, firmaron un convenio de cooperación científica (acuerdo 004), con el propósito de desarrollar conjuntamente un proyecto de investigación titulado: **CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE 9.600 KM² DE LA SERRANÍA DE SAN LUCAS: PLANCHAS 55 (EL BANCO), 64 (BARRANCO DE LOBA), 85 (SIMITÍ) Y 96 (BOCAS DEL ROSARIO): APORTE AL CONOCIMIENTO DE SU EVOLUCIÓN GEOLÓGICA.** Gracias a este acuerdo, varios estudiantes de la Escuela de Geología de la UIS, hemos tenido la oportunidad de vincularnos al proyecto, participando en calidad de auxiliares de investigación. Esto nos ha permitido familiarizarnos con el nuevo conocimiento geológico generado entorno a La Serranía de San Lucas, y a su vez, identificar y asumir el reto de participar en la resolución de algunos nuevos problemas geológicos surgidos.

Uno de estos problemas geológicos que surgió luego del estudio cartográfico de la Serranía de San Lucas, consistió en identificar los distintos pulsos hidrotermales que debieron tener lugar en aquellos puntos o zonas con desarrollo de venas hidrotermales, y a su vez, con el conjunto de toda esa información, poder establecer si existieron pulsos hidrotermales de carácter regional (y poder establecer, en lo posible, la causa de su relación temporal y espacial), o por el contrario, si estos solo respondían a escapes de fluidos concretos en áreas muy restringidas. Motivado por la formulación de esta problemática geológica, se decidió abordar este estudio, en el marco de mi trabajo de tesis de grado.

Teniendo como meta la solución del problema anteriormente formulado, se planteó la metodología de trabajo (con énfasis en el estudio de Inclusiones Fluidas en materiales de relleno de venas y filones hidrotermales) y se organizaron las actividades que este estudio implicaba, mediante un cronograma que determinó un tiempo de duración para el desarrollo de las actividades contempladas, en aproximadamente 10 meses.

Los resultados obtenidos en este estudio, evidentemente no pueden, ni pretenden llegar a presentarse como datos definitivos; ni en términos de la caracterización fisicoquímica de los pulsos hidrotermales identificados, ni en términos de la interpretación como modelo que relacione elementos de causa-efecto; debido al carácter regional del estudio y el número de muestras analizadas con relación al área objeto de estudio. No obstante, por el análisis de la información geológica existente, este trabajo parece ser pionero para el área. Su finalidad es contribuir al conocimiento de la evolución geológica de la Serranía de San Lucas, a partir de la identificación y la documentación de los distintos eventos paleohidrotermales que han afectado a esta bella y rica región de nuestra geografía Colombiana.

La estructura de este documento es la siguiente: en primera instancia se hace una presentación de los antecedentes geológicos de la Serranía, haciendo énfasis en la descripción de las unidades litoestratigráficas y estructuras deformativas de primer orden, definidas durante las campañas de campo desarrolladas por geólogos de la UIS y del INGEOMINAS; posteriormente, se describen los resultados obtenidos, tanto de carácter petrográfico, como microtermométrico de Inclusiones Fluidas, y finalmente se presenta la interpretación de los mismos.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar los paleofluidos asociados a filones hidrotermales a partir de análisis microtermométricos de inclusiones fluidas en el sector de las PLANCHAS 55 (EL BANCO), 64 (BARRANCO DE LOBA), 85 (SIMITÍ) Y 96 (BOCAS DEL ROSARIO), Serranía de San Lucas.

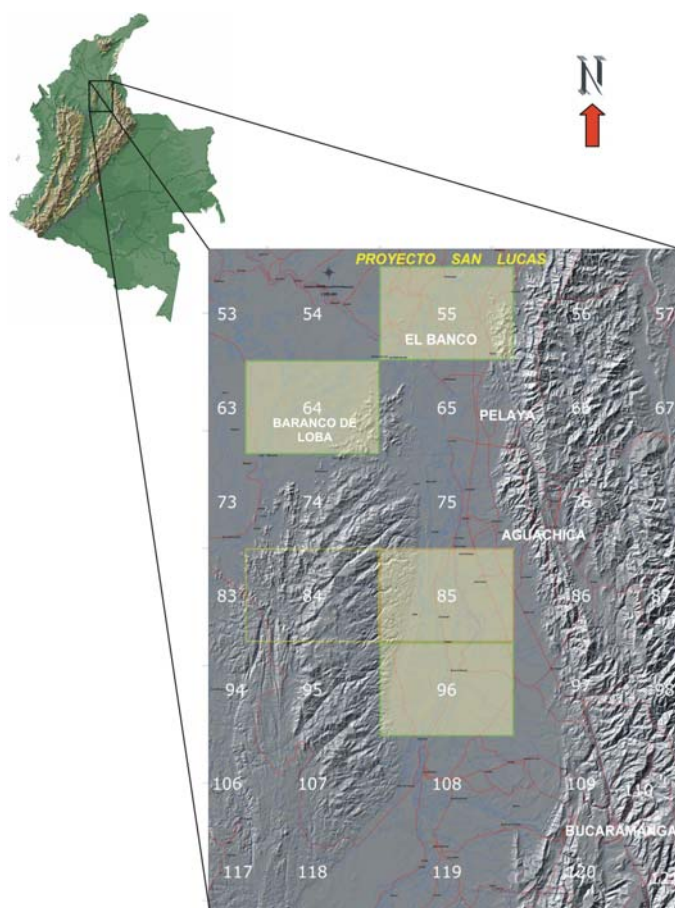
Objetivos específicos

- Realizar la recopilación y el análisis de la información geológica existente sobre las planchas 55, 64, 85 y 96 (Mapas geológicos levantados en convenio INGEOMINAS-UIS), con el propósito de identificar aquellos sectores con presencia de venas y/o filones hidrotermales.
- Describir macroscópicamente las características de las venas y filones, y su material encajante.
- Realizar un estudio petrográfico de IF presentes en los distintos materiales de relleno de venas hidrotermales (por ejemplo: calcita, cuarzo, esfalerita, etc.).
- Definir las características físico-químicas de los distintos paleofluidos representados en las distintas familias de IF identificadas petrográficamente.
- Identificar sobre la base de los nuevos datos de Inclusiones Fluidas, el carácter regional o local de los distintos pulsos hidrotermales identificados e intentar establecer relaciones causa-efecto.

1.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo hace parte del Sur de los departamentos de Bolívar, Magdalena, Cesar y Noroeste de Santander, y corresponde a una porción de la Serranía de San Lucas y sus estribaciones (FIGURA 1). El área de estudio comprende específicamente las planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) Y 96 (Bocas del Rosario).

FIGURA 1. Localización de las planchas objeto de estudio del proyecto.



1.2.1. Plancha 55 se localiza en las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental (Serranía de los Motilones-Perijá), el extremo norte del Valle Medio del Magdalena y el sur del Valle del Cesar, entre las coordenadas del IGAC:

$$\begin{array}{ll} X_1= 1.480.000 & X_2= 1.520.000 \\ Y_1= 1.000.000 & Y_2= 1.060.000 \end{array}$$

Entre las poblaciones más importantes de la zona se destacan el municipio de El Banco, Pailitas, Curumaní, Chimichagua, San Martín de Loba, Barranco de Loba, Chimí los corregimientos de Las Vegas, Aguaestrada, Barranco de Chilloa, Menchiquejo, Algarrobal, Sempegua, Guaimaral, San Sebastián, Zapatosa, Sabanagrande, Belén y las Inspecciones de Policía de Hatillo de Loba, Chimí y Juana Sánchez, entre otras.

1.2.2. Plancha 64 se localiza en el extremo más septentrional de la cordillera Central de Colombia, al Noroeste de la Serranía de San Lucas, en los departamentos de Bolívar y Sucre, entre las coordenadas del IGAC:

$$\begin{array}{ll} X_1= 1440.000 & X_2= 1.480.000 \\ Y_1= 940.000 & Y_2= 1.000.000 \end{array}$$

Entre las poblaciones más importantes de la zona figuran los municipios de Barranco de Loba y Pinillos y entre las cabeceras destacan los corregimientos de El Sudán, Colorados, Río Nuevo, Rufina Nuevo, Rufina Viejo, La Unión, Los Patos, Santa Rosa, Armenia, Mantequera, Santa Mónica, Playa Alta, Guacamayo, Tres Cruces y las Inspecciones de Policía de San Antonio, Los Cerritos, La Pacha y Pueblito Mejía, entre otras.

1.2.3. Plancha 85 se localiza en el borde oriental del extremo más septentrional de la cordillera Central de Colombia al este de la Serranía de San Lucas, en los departamentos de Santander, Bolívar y Cesar, entre las coordenadas del IGAC:

$$\begin{aligned} X_1 &= 1.360.000 & X_2 &= 1.400.000 \\ Y_1 &= 1.000.000 & Y_2 &= 1.060.000 \end{aligned}$$

Entre las poblaciones más importantes de la zona se destacan Simití, Santa Rosa, Las Brisas, Cerro Burgos, Bodega central, Loma de Corredor, Puerto Mosquito, Puerto Patiño, Barranca de Lebrija, Cuatro Bocas, El Limón, Puerto Oculto, y Buenos aires entre otras.

1.2.4. Plancha 96 se localiza en el borde oriental del extremo más septentrional de la cordillera Central de Colombia, al este de la Serranía de San Lucas, en los departamentos de Santander, Bolívar y Cesar, entre las coordenadas del IGAC:

$$\begin{aligned} X_1 &= 1360.000 & X_2 &= 1.320.000 \\ Y_1 &= 1.000.000 & Y_2 &= 1.060.000 \end{aligned}$$

Entre las poblaciones más importantes de la zona destacan los poblados de Monterrey, San Blas, Pozo Azul, Santo Domingo, Aguas Blancas, Canaletal, Carmen de Cucu, San Rafael, Papayal, Los Chorros y Bocas del Rosario, entre otras.

1.3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE TRABAJO

Los accidentes geográficos más representativos de la zona son la Serranías de San Lucas y Perijá y los valles de los ríos Cauca, Magdalena y Cesar.

Es una zona de relieve relativamente bajo donde las mayores alturas no superan los 1000 msnm en las zonas montañosas. Los valles de los ríos, que no alcanzan los 100 msnm a lo largo de su curso, son acompañados por ciénagas y humedales ricos en fauna y flora lo que la hace una zona con un alto potencial ecoturístico.

El clima de esta región es calido y húmedo con temperaturas que oscilan entre los 32° y 40° C, y una precipitación media anual del orden de 1500 a 2500 mm de distribución bimodal, en donde los meses de mayor precipitación son Abril- Mayo y Octubre-Noviembre (IDEAM,2001).

Desde el punto de vista socio-económico esta región ha sido afectada por la acción de grupos armados al margen de la ley, los cuales han impedido el normal desarrollo de las actividades económicas características de esta zona como son la ganadería, la agricultura, la minería a menor escala y la pesca.

Tomado del informe de la plancha 64, convenio UIS-INGEOMINAS 2005.

1.4. METODOLOGÍA

Previa revisión y análisis de la información geológica existente sobre las planchas 55, 64, 85 y 96, se identificaron las muestras de filones, venas y demás manifestaciones hidrotermales reportadas en libretas de campo, catálogos de muestras, archivos fotográficos e informes o memorias preliminares de estas planchas, las cuales fueron elaboradas por los geólogos de la UIS y el INGEOMINAS que participaron en las campañas de campo a esas zonas (durante el año 2005).

Una vez identificadas las muestras en los distintos archivos antes mencionados, se visitó en varias oportunidades la litoteca (de carácter aún temporal) del INGEOMINAS (sede Bucaramanga), para seleccionar aquellas muestras con mejores materiales para ser estudiados mediante petrográfica y microtermometría en Inclusiones Fluidas (cristales de cuarzo, barita, calcita y esfalerita, en venas y filones hidrotermales, básicamente).

Una vez seleccionadas las muestras de interés, fueron llevadas al laboratorio de preparación de muestras de la Escuela de Geología de la UIS, para realizar sus respectivos cortes, en aras de elaborar secciones doblemente pulidas, tal como se requiere para análisis petrográficos y microtermométricos en IF. Por la importancia que tienen estos procesos de laboratorio como elementos que garantizan la obtención confiable de nuevos datos, a continuación se hace una descripción un poco más pormenorizada de estos.

Preparación de secciones doblemente pulidas

Las etapas de este proceso son las siguientes:

CORTE: este se realiza buscando la mejor superficie y exposición de los minerales de interés. El corte se debe hacer utilizando algún tipo de refrigerante o agua para evitar el aumento de temperatura de la muestra durante el procedimiento.

DESGASTE: se hizo sobre platos giratorios y vidrio usando en estricto orden abrasivos 320, 400, 600 y 1000 hasta obtener una superficie totalmente plana y pareja. Es importante que cada vez que se cambie el abrasivo la superficie se encuentre uniforme. El abrasivo 320 se debe utilizar por pocos minutos y su finalidad es quitar las marcas producidas durante el corte.

PULIDO: se realizó sobre un paño puesto sobre un disco giratorio y utilizando alumina de 0,5 y 0,03 μm durante 5 minutos cada una.

MONTAJE: una vez ya pulida se dejó secar durante varias horas y se procedió a pegar el vidrio, preferiblemente biselado, sobre la superficie de la muestra utilizando un adhesivo instantáneo transparente (Pegadit), con el fin de que pudiera ser retirado con acetona para proceder al estudio microtermométrico.

El anterior procedimiento se repitió sobre la cara paralela de la muestra hasta la fase de pulido.

Los espesores de las muestras pueden llegar hasta 100 μm , dependiendo del tipo de mineral y durante su elaboración no se deben someter a temperaturas superiores a los 80°C, debido a que por encima de esta temperatura puede llegar a ocurrir la decrepitación de las IF (Inclusiones Fluidas) con Th (Temperaturas de homogeneización) más bajas.

Estudio petrográfico de Inclusiones Fluidas

Para realizar el estudio mineralógico-petrográfico tanto de algunos materiales de rellenos de venas, como de IF presentes en estos, se utilizaron microscopios trioculares de luz transmitida (Nikon Alphaphot.YS2-T), disponibles en el laboratorio de investigación del grupo MINPETGEO, en la sede de la UIS en Guatiguará (Piedecuesta).

El proceso de identificación y descripción de las inclusiones fluidas se basó en la técnica propuesta por (Roedder, 1984; Goldstein, 2003) en la cual las IF se clasifican según el tiempo de formación de la inclusión en el mineral hospedador.

Microtermometría de inclusiones fluidas

En la microtermometría se determinaron las temperaturas de los cambios de fases de las inclusiones fluidas durante el enfriamiento y el calentamiento. Estas mediciones se realizaron en una platina de enfriamiento – calentamiento (rango de temperaturas entre -198°C y $+700^{\circ}\text{C}$), tipo THMS 600 marca LINKAM (FIGURA 2), ubicada en el laboratorio de microtermometría del Grupo de Investigaciones en Geología de la UIS, sede Guatiguará .

FIGURA 2. Equipo de microtermometría.



Todo el sistema del equipo se calibró con patrones de inclusiones fluidas sintéticas suministradas por SYN FLINC, Inc., y se utilizaron algunos líquidos orgánicos con propiedades fisicoquímicas definidas, observables en la TABLA 1.

TABLA 1. Propiedades fisicoquímicas de los patrones que se utilizaron para la calibración del equipo microtermométrico. Te = Temperatura eutéctica; Th = Temperatura de homogenización.

COMPOSICIÓN DEL PATRÓN	Te ($^{\circ}\text{C}$)	Th ($^{\circ}\text{C}$)
75% mole H_2O + 25% mole CO_2	-56,6	-
H_2O + NaCl composición eutéctica (23.2 % en peso de NaCl).	-21,2	-

H ₂ O + KCl composición eutéctica (19.6 % en peso de KCl).	-10,7	-
Tolueno	-95	
Clorobenceno	-45.6	
H ₂ O	0,0	374,1

Fuente. Syn flinc, Inc.

Los datos obtenidos en la microtermometría fueron procesados con la ayuda de los programas del profesor Ronald J. Bakker (publicados en los años 1997 y 2003).

Finalmente, se integraron todos los datos obtenidos, en aras de favorecer una interpretación general de los mismos y la generación del correspondiente modelo geológico entorno al tema de los paleofluidos. Terminada esta fase, se elaboró y editó el documento definitivo de este trabajo de grado 'modalidad investigación'.

2. ANTECEDENTES

2.1. ESTRATIGRAFÍA

Las unidades litoestratigráficas identificadas en el área de estudio, temporalmente abarcan un registro que van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario, aunque se han identificado importantes hiatos estratigráficos, tanto el Paleozoico como en el Mesozoico (ver informes preliminares planchas 55, 64, 85 y 96, elaborados en el marco del convenio INGEOMINAS-UIS).

Las unidades litoestratigráficas identificadas, están representadas por formaciones de rocas sedimentarias, volcanoclásticas, ígneas y metamórficas. Dos dominios diferentes pueden ser separados dentro del área de estudio. Por un lado, el dominio de la Cordillera Oriental (sus estribaciones más occidentales), y por otro lado, el dominio de la Cordillera Central. Desde el punto de vista de las unidades metamórficas, en las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental se identifican las formaciones Neis de Bucaramanga (NPb) (de edad Precámbrica) y la Formación la Virgen (Pzv) (de edad Paleozoica).

Por otro lado, en los dominios de la Cordillera Central, las rocas metamórficas se agrupan en las siguientes formaciones: Neis de San Lucas (NPsl, de edad Precámbrica) y la Unidad Metamórfica del Rosario (Pzr) (posiblemente de edad Paleozoica), dividida en dos subunidades denominadas Esquistos de Armenia (Pzea) y Filitas de Tapoa (Pzft).

Un registro de rocas sedimentarias de edad Triásico, de carácter continental y posiblemente con ligeros aportes de material volcano-sedimentario, se presenta los dominios de la Cordillera Central, denominada Formación Sudan (T3s). Por otro lado, en este mismo dominio se reconoce una secuencia sedimentaria de carácter marino, denominada Formación Morrocoyal (J1m) (de edad Jurásico Inferior). Un registro sedimentario, volcano-sedimentario, con niveles de material

volcánico efusivo, denominado Formación Noreán (J1-2n) (de edad Jurásico Inferior a Medio), se presenta tanto en el Dominio Cordillera Oriental, como en el dominio de la Cordillera Central. Finalmente dentro del registro jurásico, y en dominios de la Cordillera Central, se reconoce la Formación Conglomerática del Arenal (J3a).

Un conjunto de rocas de variedades graníticas ha sido reconocido en el dominio de la Cordillera Central, y ha sido denominado como 'Unidad Granitoides de San Lucas' (Jgsl) (de edad posiblemente Jurásico).

Un registro de rocas sedimentarias de edad Cretácico, se reconoce en ambos dominios del área de estudio. Por un lado se presentan la Formación Rionegro (K1rn) y el Grupo Cogollo (K1c), hacia las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, y por otro lado, las unidades Rosablanca-Paja (K1r K1p), TABLAzo-Simití (K2ts) y La Formación la Luna (K2l), hacia las estribaciones orientales de la Cordillera Central (TABLA 2).

Otras unidades más recientes de edad Terciario, han sido reconocidas en áreas que denominamos dominio Cordillera Central, tales como: el Enjambre de Diques de Mejía (Ndm); la unidad Real - Mesa (N1m-N1-2r) y la Unidad Extrusiva de Las Brisas (N1lb). Por otro lado, en dominios de la Cordillera Oriental, se reconoce la Formación Zambrano- Sedimentitas de Arjona (N2Q1z-sa).

Dada la relación que tienen con el presente trabajo, a continuación solo se describen aquellas formaciones o unidades donde se presentan las venas o las manifestaciones hidrotermales que se han seleccionado para el estudio de Inclusiones Fluidas.

Una información más detallada sobre las unidades antes mencionadas, se puede consultar en los informes de las planchas 55, 64, 85 y 96, convenio UIS-INGEOMINAS, 2005.

TABLA 2. Unidades litoestratigráficas en el área de estudio.

UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO				
EDAD	DOMINIO CORDILLERA CENTRAL	PLANCHA	DOMINIO CORDILLERA ORIENTAL	PLANCHA
Terciario	Enjambre de Diques de Mejia (Ndm)	64	Formación Zambrano-Sedimentitas de Arjona (N2Q1z-sa)	55
	Unidad Real-Mesa (Nim-Ni-2r)	85-96		
	Unidad Extrusiva de las Brisas (N1lb)	85		
Cretácico	Unidad Rosablanca-Paja (KirKip)	85-96	Formación Rionegro (k1rn)	55
	Unidad TABLAzo-Simití (K2ts)		Grupo Cogollo (K1c)	
	Formación La Luna (K2l)			
Jurásico	Formación Morrocoyal (J1m)	64	Formación Noreán (J1-2n)	55
	Formación Noreán (J1-2n)	64-85-96		
	Granitoides de San Lucas (Jgsl)	55 -64	Granitoides de San Lucas (Extremo SurOccidental) (Jgsl)	
	Formación Conglomeratica de Arenal (J3a)	96		
Triásico	Formación Sudan (T3s)	64		
Paleozoico	Unidad Metamórfica del Rosario (Pzr)	64	Formación la Virgen (Pzv)	55
	Esquistos de Armenia (Pzea)			
	Filitas de Tapoa (Pzft)			
Precámbrico	Neis de San Lucas (Npsl)	55 y 64	Neis de Bucaramanga (NPb)	55

2.1.1. PRECAMBRICO

2.1.1.1. Neis de San Lucas (NPsI)

Unidad aflorante tanto en la plancha 55 como en la 64 constituida por neises cuarzofeldespáticos, anfibólicos, biotíticos de facies anfibolita-granulita, cuarcítico-magnetíticos y cuarcíticos.

En la plancha 55 ocupan el extremo suroccidental formando una franja irregular de lomas de bajo relieve intruidas por cuerpos granodioríticos y numerosas venas de cuarzo.

En la plancha 64 los neises abarcan la región Occidental, con mayor presencia al norte y al sur de la Falla Mejía allí son cortados por cuerpos ígneos graníticos y diques de composición dacítica y traquítica, y afloran a manera de franjas estrechas, o cerros aislados en medio de planicies dominadas por ciénagas y drenajes.

2.1.2. PALEOZOICO

2.1.2.1. Unidad Metamórfica del Rosario (Pzr)

Presente en la plancha 64 y compuesta en su base de esquistos andalucíticos (variedad Quiastolita), cuarcítico-anfibolíticos, cuarcítico-biotíticos y feldespático cuarzosos con biotita, y hacia el techo por filitas de composición política.

2.1.2.1.1. Esquistos de Armenia (Pzea).

Al noroeste de la Serranía de San Lucas y a manera de cerros aislados en medio de ciénagas afloran los esquistos de Armenia, llamados así por su cercanía a esta población.

En estos pequeños cerros dentro de los que se destacan La Caimanera y El Rosario se observan esquistos pelíticos con andalucita de variedad quiastolita y esquistos cuarcíticos con textura lepidogranoblastica de grano fino a medio

respectivamente, estos últimos con bandas de cuarzo de 1 a 1.2 m de espesor paralelos a su foliación.

2.1.2.2. Formación La Virgen (Pzv)

Formación constituida desde su base por una intercalación de capas gruesas y medianas de metarenitas y metalodolitas planoparalelas de color gris verdoso (frescas) y carmelita (alteradas) algo deformadas e intercaladas con metaconglomerados hacia el techo. Esta unidad aflora en la plancha 55 en forma de franja de dirección N-NW como cerros alargados de pendientes altas y moderadas. Esta formación esta intruida por diques dacíticos a riodacíticos, cuerpos granodioríticos y gran cantidad de venas de cuarzo en varias direcciones. El contacto inferior con el Neis de Bucaramanga (NPb) es fallado, de igual manera que el superior con la Formación Noreán (J1-2n).

2.1.3. JURÁSICO

2.1.3.1. Formación Morrocoyal (J1m)

Reconocida en la plancha 64 en la parte alta de la Loma de Los Ángeles y la mina Santa Cruz, esta compuesta de base a tope por una sucesión de limolitas y arcillolitas gris oscuras, bien laminadas, y seguidas en la parte media por capas muy delgadas de calizas con impresiones de amonitas, bivalvos, trigonias y restos vegetales carbonizados (tallos), diferenciándose la sección de la mina Santa Cruz por la presencia de intrusiones de composición ácida (cuerpos riolíticos) de los cuales se creen que provocaron una removilización o escape de fluidos hidrotermales responsables de piritización y silificación en las arcillolitas.

Esta formación descansa concordantemente sobre las rocas de la formación El Sudán.

2.1.3.2. Unidad Volcanoclástica de Noreán (J1-2n)

Unidad presente en cada una de las planchas de este estudio caracterizada por formar relieves montañosos abruptos y escarpados separados por valles en V.

Esta formada básicamente por tobas y aglomerados cristalino-líticos, de color gris verdoso a rosado en capas planas a ligeramente onduladas, de composición dacítica a riolítica, con fenocristales y cristales de plagioclasa, cuarzo y fragmentos angulares de tobas, con estructuras de flujo. Se intercalan capas de lavas dacíticas las cuales también se observan en forma de diques en algunos sectores. En la plancha 55 predomina en la parte oriental, mientras que en la plancha 64 esta unidad ocupa el área montañosa occidental y descansa en forma discordante sobre el Neis de San Lucas.

Su dominio sobre la plancha 85 corresponde al flanco oriental de la Serranía de San Lucas y sobre ella se dispone en contacto discordante la unidad Rosablanca. La plancha 96 muestra la Unidad Volcanoclástica de Noreán ocupando el área montañosa occidental infrayaciendo discordantemente las areniscas conglomeráticas Cretácicas de la Unidad Conglomerática de Arenal.

2.1.3.3. Granitoides de San Lucas (Jgsl)

Unidad ígnea intrusiva compuesta por granodioritas de grano fino a grueso, de color gris claro a verdoso, con cuarzo, plagioclasa, anfíbol y piroxenos, las cuales varían a cuarzomonzonita, monzogranito, sienogranito y monzonita.

Presenta mineralización con sulfuros, principalmente piritita y calcopiritita.

Se encuentra en la parte sureste de la plancha 64 abarcando poblaciones como La Pacha, Pueblito Mejía y San Antonio alcanzando una mayor exposición en superficie al norte de la Falla Mejía.

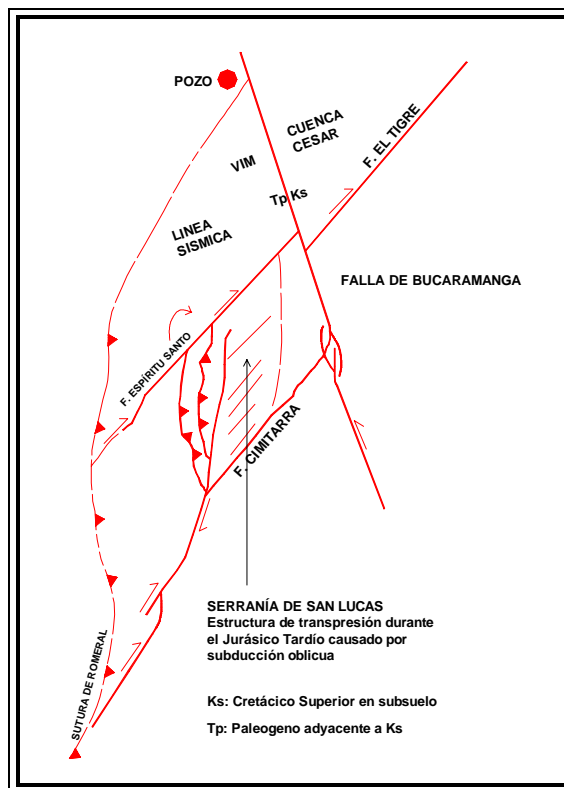
En la plancha 55 aflora al noreste y oeste intruyendo rocas del Neis de San Lucas, de la Formación La Virgen y de la Formación Noreán, formando cerros redondeados producto de la meteorización esferoidal.

2.2. ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN DE PRIMER ORDEN

Con el propósito de poder establecer una primera aproximación entorno a la posible relación entre los pulsos paleohidrotermales que se identifiquen mediante el estudio de IF y los eventos deformativos que han afectado el área de estudio, se presenta de manera resumida el modelo estructural documentado en las memorias preliminares de las planchas 55, 64, 85 y 96, elaboradas en el marco del Convenio INGEOMINAS-UIS (2005).

La Serranía de San Lucas representa un relieve emergido del basamento de la Cordillera Central, durante la terminación transpresiva del sistema de falla Palestina, ocurrida en su fase principal durante el Jurásico Tardío (Barrero, 2001).

FIGURA 3. Estructura transpresiva de la Serranía de San Lucas asociada a la Falla Palestina. Modificado de Barrero (2001). Tomado del informe de la plancha 55 convenio UIS-INGEOMINAS (2005).



La Serranía de San Lucas en el proceso actual representa un bloque aislado desprendido cinemáticamente del sistema principal de Palestina (Osorio *et al.*, 2004), que se desplaza en dirección NEE controlado en sus límites por fallas transcurrentes mayores, como son al norte la falla Espíritu Santo y al Sur por la falla Cimitarra de carácter dextral principalmente (FIGURA 3). En este proceso la velocidad diferencial entre estas fallas mayores genera al interior del bloque, deformaciones asociadas a rotaciones de bloques menores en un claro sistema de cizalla simple.

De esta manera, sobresalen estructuras dextrales que al interior particionan el sistema deformativo controlando específicamente zonas de influencia más pequeñas. En este proceso es posible entonces encontrar zonas donde los campos de esfuerzo local cambian desde transurrencia a transpresión o transtensión, induciendo características deformativas particulares.

2.2.1. Plancha 55

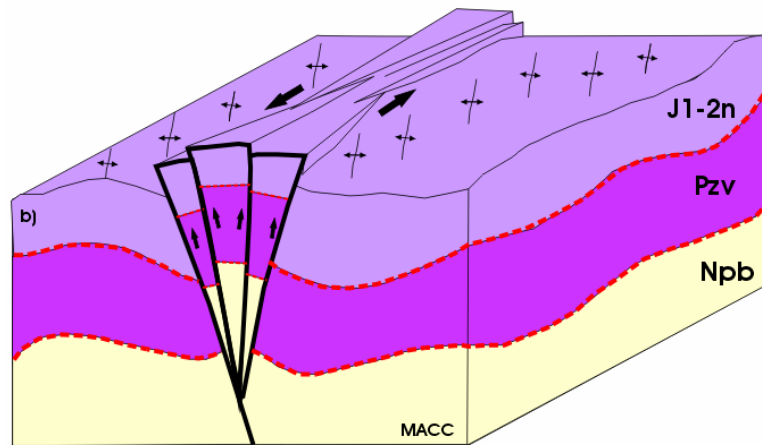
Para esta región se evidencian dos eventos de deformación asociados a sistemas de fallas mayores como son Bucaramanga-Santa Marta y Espíritu Santo, las cuales controlan las fases deformativas observadas en campo. La primera fase deformativa está relacionada a la actividad de la falla de Bucaramanga-Santamarta, que de manera asimétrica distribuye sus diferentes fases deformativas desde alto grado (tipo milonitas) al W cerca de la falla principal (Zona de daño), hasta sistemas de cizalla cataclástica que pasan a fracturas y pliegues menores en rocas más al occidente.

Este sistema deformativo afecta rocas del Neis de Bucaramanga y la formación la Virgen en la zona de daño de la falla principal y de forma gradual afecta los niveles de la Formación Noreán, determinando una zona de influencia de aproximadamente 5 km de ancho.

En la zona de daño la característica principal son las altas fases deformativas que presentan las rocas involucradas, así el neis de Bucaramanga aparece como

lomos de presión (FIGURA 4) que por erosión diferencial se exponen en superficie formando una topografía de cerros bajos en una zona deprimida.

FIGURA 4. Modelamiento del sistema de fallamientos transcurrentes (transpresión) asociados a la zona de daño de la Falla Bucaramanga – Santa Marta.

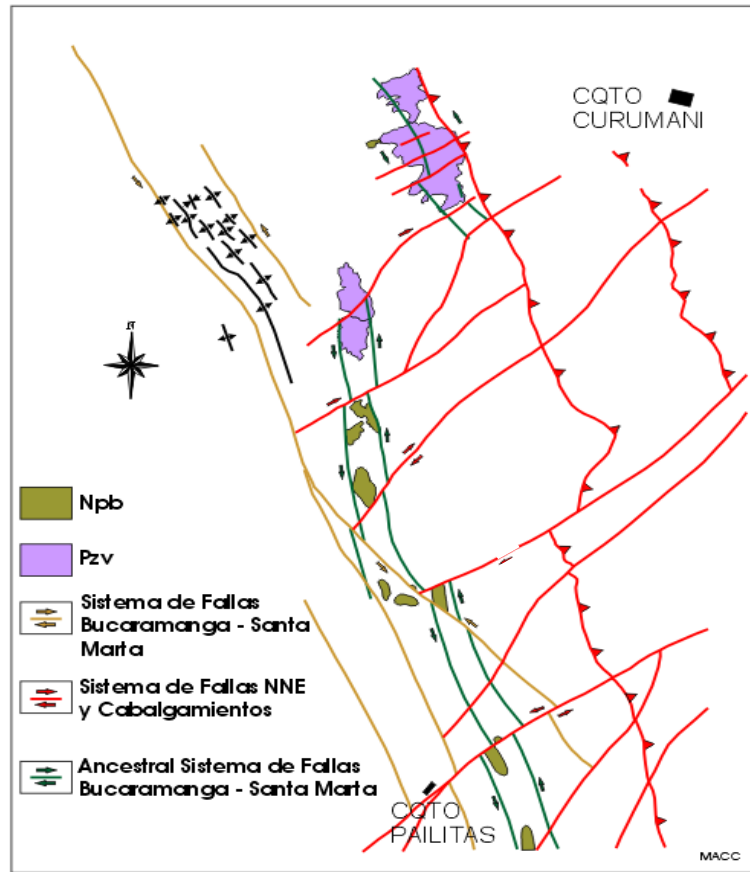


Tomado del informe de la plancha 55 convenio UIS-INGEOMINAS (2005).

Sobrepuesto estructuralmente al sistema deformativo de la Falla Bucaramanga – Santamarta, se encuentra un sistema de falla de dirección NE que corresponde a la terminación en relevo a la izquierda de la falla distal de Espíritu Santo, el cual corresponde a un claro proceso penetrativo de bloques en dirección NEE (FIGURA 5).

La característica principal de este sistema es que es de forma esencialmente distal a manera de rampas, desplazando las fases deformativas predecesoras, y en las zonas cercanas a las fallas principales, generan una intensa deformación cataclástica orientada en la dirección de su propagación. De allí, que sea posible encontrar foliaciones en la formación la Virgen orientadas en dirección NE, opuestas a la foliación antigua de dirección NNW.

FIGURA 5. Modelo regional de los diferentes sistemas deformativos presentes en la plancha 55.



Tomado del informe de la plancha 55 convenio UIS-INGEOMINAS (2005).

2.2.2. Plancha 64

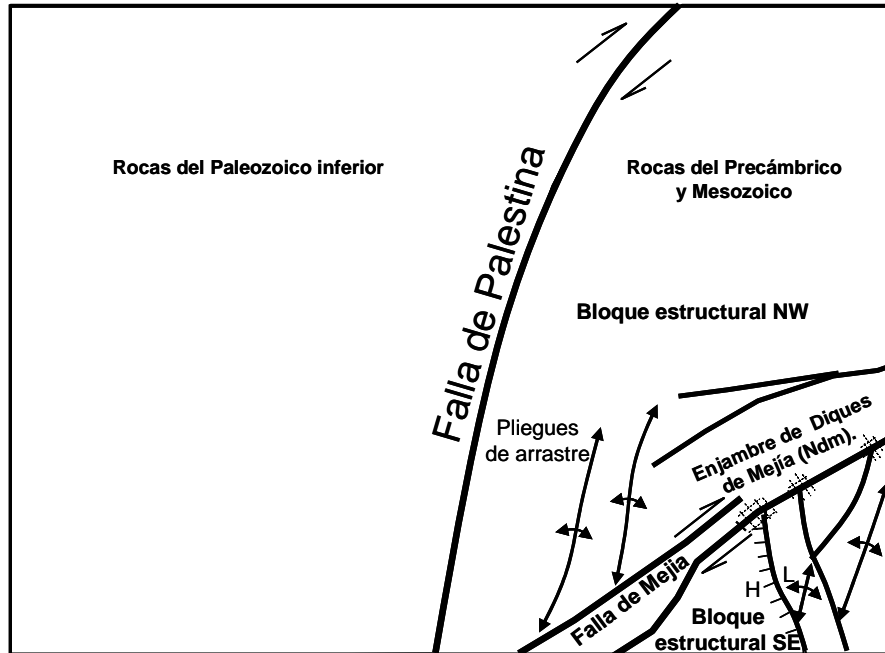
El área cubierta por la plancha 64, corresponde a la extensión más noroccidental de la Serranía de San Lucas. En esta área es posible reconocer diferentes tipos de estructuras tales como pliegues y fallas, relacionadas a procesos de deformación ocurridos en diferentes periodos de tiempo geológico. El principal rasgo estructural presente en la zona, corresponde a la Falla de Palestina, cubierta en su totalidad por la sedimentación cuaternaria en la zona. Otros rasgos estructurales de extensión menos regional corresponden a fallas de rumbo NE – SW y fallas conjugadas NW – SE, localizadas en zonas donde es notoria la presencia de enjambres de diques de composición variable y de la unidad de Granitoides de San Lucas (FIGURA 6).

2.2.2.1. Falla de Palestina: Esta falla atraviesa a la plancha 64 de Sur a Norte. No tiene expresión morfológica en el área, pero gracias a mapas aeromagnéticos, es posible identificar su trazo bajo la zona de ciénagas al occidente del Corregimiento del Cerrito. El rumbo general de esta falla es norte sur en el área del Corregimiento Colorado, a NNE en la región del Corregimiento de Cerrito. En superficie, esta estructura coloca en contacto rocas de la Formación Neis de San Lucas al oriente, con rocas de la Formación Filitas de Tapoa al occidente. La dirección de alargamiento de los cerros (Ej. Tapoa y Guayabal), es coincidente con el rumbo general del trazo magnético de la Falla de Palestina en profundidad. En este trabajo, se interpreta que la Falla de Palestina es una falla inversa, que gradualmente gana componente de rumbo dextrolateral en la región del Corregimiento de Cerrito, por su gradual giro hacia el NE. Según Feininger *et al.*, (1970), esta falla ha modificado y reactivado la tectónica de la Serranía de San Lucas durante el Terciario.

2.2.2.2. Falla de Mejía: Esta falla se encuentra en la parte suroriental de la plancha 64, con una longitud superior a los 20 Km. La Falla de Mejía, tiene una dirección N50°-60°E y atraviesa rocas del Noreán, poniéndolas en contacto con rocas de los Granitoides de San Lucas y del Neis de San Lucas. Según lo observado en las fotografías aéreas e imágenes de satélite, a esta falla se asocian geoformas como ganchos de falla, corrientes desplazadas, contrapendientes, etc., indicando que ésta es normal, con fuerte componente de rumbo dextro-lateral, basculando el bloque estructural NW hacia el SE. Esta falla al igual que las demás de este sistema, se enmascaran tanto al Norte como al Este por los espesos depósitos de sedimentos aluviales de los ríos Magdalena y Cauca.

En resumen, todo el bloque, es el resultado del movimiento dextral conjugado entre las fallas de Mejía y La Azulita que plegaron y fracturaron la región, permitiendo el emplazamiento de rocas de los Granitoides de San Lucas.

FIGURA 6. Esquema estructural de la plancha 64. Nótese el desplazamiento dextralateral de la Falla de Mejía y la localización de los Enjambres de Diques de Mejía (Ndm) en las zonas de finalización de fallas conjugadas.



Tomado del informe de la plancha 64 convenio UIS-INGEOMINAS (2005).

2.2.3. Plancha 85 y 96

Dada la estrecha relación geográfica de las planchas 85 y 96 en la margen oriental de la Serranía de San Lucas y su sistema deformativo se describen unidas regionalmente.

A nivel regional el sistema deformativo está representado por una estructura transpresiva dextral de dirección NE tipo flor positiva (FIGURA 7A), la cual cruza la región límite entre estas planchas. Esta estructura geoméricamente es asimétrica con la estructura principal ubicada al W del sistema, denominada F. Las Brisas de carácter dextral. Hacia el E el sistema evoluciona a estructuras sinuosas de carácter dextral que forman rotaciones horarias típicas de cizalla simple en un ancho aproximado de 20 km.

Las principales fallas de este sistema han sido definidas como Las Brisas, Simití y San Blas (FIGURA 7B).

3. RESULTADOS

3.1. LOCALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

Un total de 18 muestras fueron seleccionadas para ser estudiadas mediante microtermometría en IF (Ver TABLA 3). Las coordenadas señaladas en la TABLA 3, se establecieron según la proyección Gauss con origen N: 1.000.000 y E: 1.000.000, ubicado en Santafé de Bogotá D.C. La localización geológica de estas muestras, se indican en los esquemas geológicos de las FIGURAS 8, 9, 10 y 11, elaborados con base en la cartográfica-geológica a escala 1:100.000, generadas en el marco del convenio INGEOMINAS-UIS (2005).

TABLA 3. Localización de las muestras seleccionadas para el estudio.

Muestra	Unidad Estratigráfica/ Dominio	Plancha	Coordenadas X y Y	Localización Geográfica
LM55014001 CPM55001008	Formación la Virgen (Pzv) / DCO	55 II D	Norte (X): 1 508 233 Este (Y): 1 048 091	Cerro El Champan
LM55016001	Formación la Virgen (Pzv) / DCO	55 II D	Norte: 1 508 408 Este: 1 048 033	Poblado El Champan
JC55062044	Neis de San Lucas (Npsl) / DCC	55 III C	Norte: 1 487 221 Este: 1 002 781	Lomas de Palenquillo
JC 55272001	Formación la Virgen (Pzv) / DCO	55 IV B	Norte: 1 498 580 Este: 1 048 200	Sabanas de Barnil
LM64019003	Formación Morrocoyal (J1m) / DCC	64 IV B	Norte: 1 454 822 Este: 986 775	Túnel Chico Pérez
LM64032001	Formación Morrocoyal (J1m) / DCC	64 IV B	Norte: 1 455 008 Este: 986 545	Túnel Los Fuentes
LM64035003	Granitoide de San Lucas (Jgsl) / DCC	64 II D	Norte: 1 463 689 Este: 999 836	Mina Las Marías
LM64040001	Neis de San Lucas (Npsl) / DCC	64 II D	Norte: 1 445 406 Este: 995 988	Mina Poporopo (FIGURA 8)
LM64041001	Neis de San Lucas (Npsl) / DCC	64 IV D	Norte: 1 448 924 Este: 997 912	Mina Cabañas
LM64059002	Esquistos de Armenia (Pzea) / DCC	64 I B	Norte: 1 470 025 Este: 966 003	Cerro El Rosario (FIGURA 9A)

EL644060	Unidad Volcanoclástica de Noreán (J1-2n) / DCC	64 I B	Norte: 1 443 356 Este: 986 630	Mina Caldero
HC64045001	Neis de San Lucas (Npsl) / DCC	64 IV D	Norte: 1 440 270 Este: 994 942	Lomas al costado Occidental de la Quebrada Orejero.
HC64061001	Esquistos de Armenia (Pzea) / DCC	64 I B	Norte: 1 472 136 Este: 965 349	Cerro La Caimanera
RD85023001	Unidad Volcanoclástica de Noreán (J1-2n) / DCC	85	Norte: 1 372 812 Este: 1 004 758	Entre las poblaciones de Simiti-Santarosa
JP85013001	Unidad Volcanoclástica de Noreán (J1-2n) / DCC	85 I C	Norte: 1 380 007 Este: 1 013 054	Al Noreste del Municipio Santa Rosa del Sur
DP96049002	Unidad Volcanoclástica de Noreán (J1-2n) / DCC	96 I A	Norte: 1 354 130 Este: 1 001 462	Mina de barita
CC96025001	Unidad Volcanoclástica de Noreán (J1-2n) / DCC	96 I A	Norte: 1 355 675 Este: 1 002 475	Municipio de Simiti margen derecha de la Quebrada San Blas.

FIGURA 8. Localización de las muestras en el esquema geológico de la plancha 55.

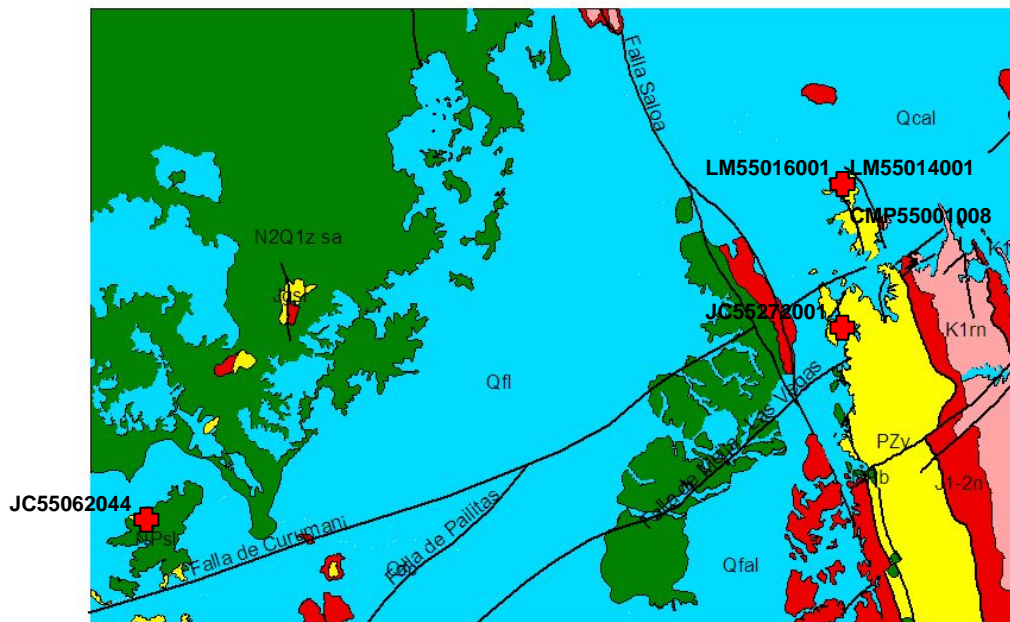


FIGURA 9. Localización de las muestras en el esquema geológico de la plancha 64.

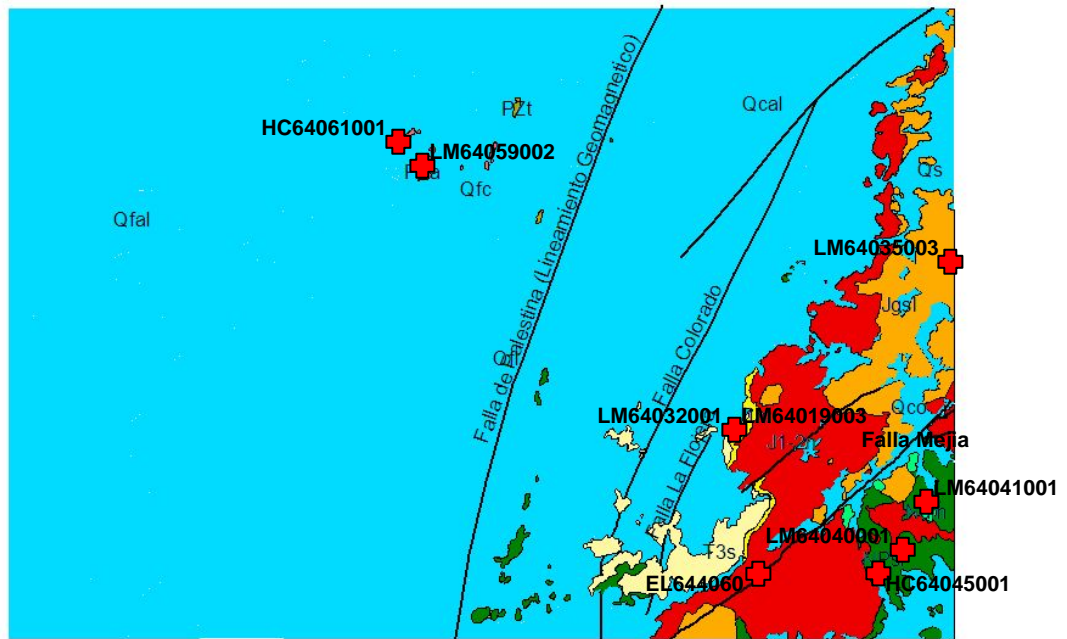


FIGURA 10. Localización de las muestras en el esquema geológico de la plancha 85.

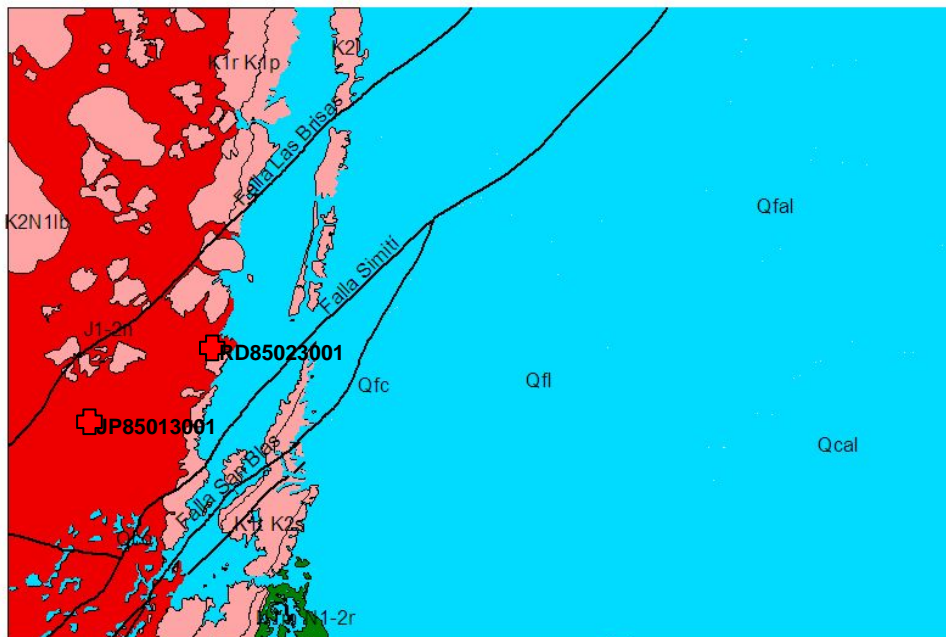
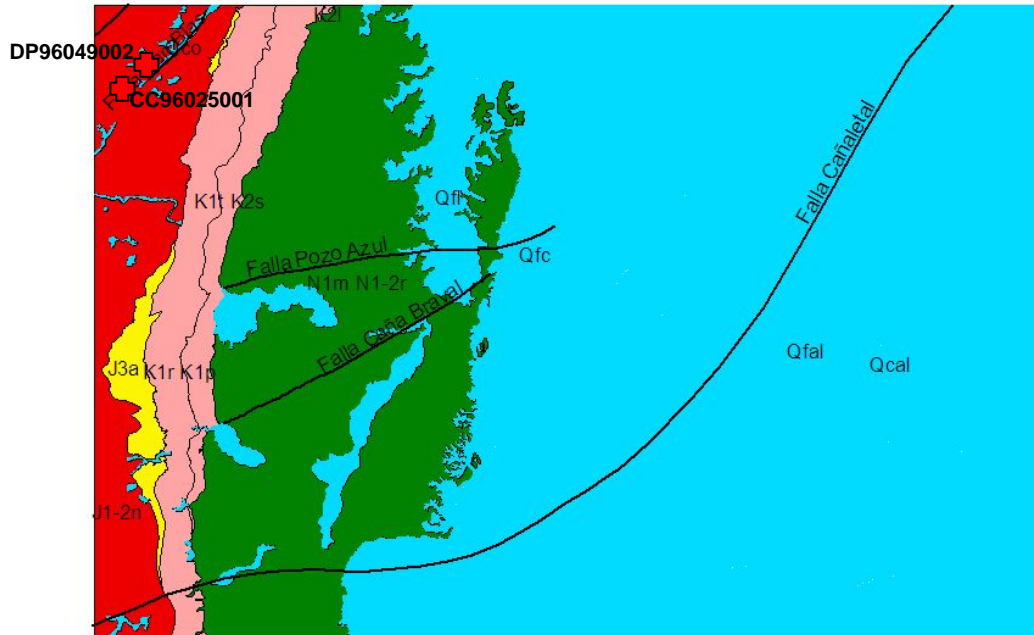


FIGURA 11. Localización de las muestras en el esquema geológico de la plancha 96.



3.2. GENERALIDADES MINERALÓGICAS Y PETROGRÁFICAS DE LAS MUESTRAS

Tal como se indicó en el apartado anterior, del dominio Cordillera Central fueron seleccionadas 13 muestras (5 emplazadas en la Unidad Volcanoclástica de Noreán, 3 en el Neis de San Lucas, 2 en la Formación Morrocoyal, 2 en los Esquistos de Armenia y 1 en el Granitoide de San Lucas), mientras que del dominio de la Cordillera Oriental, se estudiaron cuatro muestras (4 emplazadas en la Formación La Virgen y 1 en el Neis de San Lucas).

Entre las muestras de venas del Dominio Cordillera Central, encajadas en la Formación Neis de San Lucas, se encuentran venas de dos tipos: a) de cuarzo y; b) de cuarzo-sulfuros (\pm Oro). Las venas encajadas en rocas de la Unidad metamórfica del Rosario, son básicamente de cuarzo. Las de Morrocoyal cuarzo-

sulfuros y las de Noreán: a) unas de cuarzo y b) de barita; y por ultimo las venas encajadas en el Granitoide de San Lucas son de tipo cuarzo-sulfuros.

Para el Dominio de la Cordillera Oriental algunas de las venas encajadas en la Formación La Virgen son de dos tipos a) de calcita y b) de barita; mientras que las venas encajadas en el Neis de San Lucas son de cuarzo.

Las muestras estudiadas provienen de venas y filones, por lo cual son en su mayoría monominerales ya sea de cuarzo, calcita o barita; algunas de ellas presentan remanentes de roca caja, y en otras los sulfuros son abundantes y acompañan a los cuarzos.

A continuación se presentan una petrografía general de los minerales que contienen las inclusiones estudiadas, realizada en láminas doblemente pulidas observadas bajo el microscopio de luz transmitida.

El cuarzo se presenta en forma de cristales incoloros de relieves bajos, con formas euhedrales y subhedrales de extinción ondulante ligeramente fracturados, con estructuras en forma de peine y con algunas inclusiones de sulfuros, algunas de estas venas de cuarzo-sulfuros presentan orificios hexagonales producto de la oxidación de pirita.

Las calcitas se observan como cristales incoloros, de exfoliación romboédrica, de relieve alto, de formas euhedrales a subhedrales, algunas veces fracturada.

Las baritas de las venas seleccionadas son incoloras (en lámina delgada), con relieve medianamente alto, con exfoliación en dos direcciones, extinción paralela y ligeramente alteradas.

Las esfaleritas acarameladas se presentan como cristales traslucidos de color amarillo, de relieve alto, formando masas exfoliables.

Algunas de las muestras de filones ricos en sulfuros son analizadas a continuación mediante la petrografía de opacos realizada sobre láminas doblemente pulidas.

Muestra LM64040001

En esta muestra hay presencia de sulfuros de hierro, plomo, cobre y zinc, y oro localizados al lado inferior derecho de la sección (FIGURA 12. Ese lado corresponde a el borde de la vena con la roca caja).

FIGURA 12. Sección doblemente pulida de la muestra LM64040001.



Sulfuros:

- Pirita: se encuentra como cristales individuales amarillo pálido no pleocroicos e isotropos, euhedrales a subhedrales de tamaño de grano entre 495 y 1980 μm asociados a la matriz, también formando agregados granulares en contacto con esfalerita. Estos agregados contienen inclusiones de cristales de galena y calcopirita.
- Esfalerita: esta como cristales subhedrales y masas intersticiales grises no pleocroicas entre los agregados de pirita y la matriz, en contacto neto con un cristal subhedral de oro de habito prismático.
- Galena: cristales subhedrales a anhedrales gris claro a blanco con pits de clivaje intercrecidos con calcopirita e incluidos en los agregados de pirita de tamaño de grano entre 72 y 576 μm

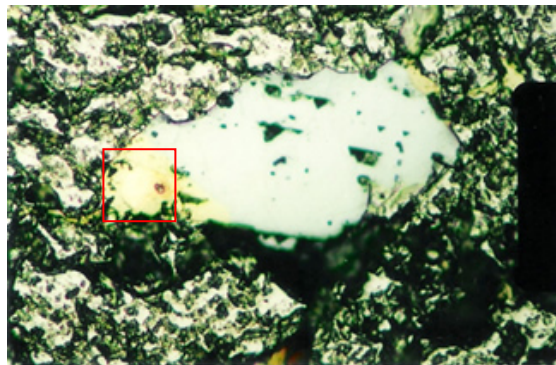
TABLA 4. Información general de las muestras

TABLA 4. Información General sobre las muestras seleccionadas para estudios de IF						
Plancha	Muestra	Tipo	Mineral	Dirección		Roca Encajante / Dominio
				azimuth	Grados	
55	LM55014001	Vena	Calcita	256	58	Formación la Virgen/ CO
	LM55016001	Vena	Calcita			Formación la Virgen/CO
	CPM55001008	Vena	Calcita			Formación la Virgen / CO
	JC55062044	Vena	Cuarzo			Neis de San Lucas / CC
	JC 55272001	Vena	Barita			Formación la Virgen / CO
64	LM64019003*	Filón	Cuarzo y Pirita	130	60	Formación Morrocoyal / CC
	LM64032001*	Filón	Cuarzo, Pirita y Esfalerita			Formación Morrocoyal / CC
	LM64035003	Filón	Cuarzo y Pirita meteorizada			Granitoide de San Lucas / CC
	LM64040001	Vena	Cuarzo, Pirita y Esfalerita	50	72	Neis de San Lucas / CC
	LM64041001	Filón	Cuarzo, pirita, calcopirita, galena y esfalerita	165	40	Neis de San Lucas / CC
	LM64059002	Vena	Cuarzo			Esquistos de Armenia / CC
	EL644060*	Vena	Cuarzo			Unidad Volcanoclástica de Noreán / CC
	HC64045001	Vena	Cuarzo			Neis de San Lucas / CC
	HC64061001	Vena	Cuarzo y Moscovita			Esquistos de Armenia / CC
85	RD85023001	Vena	Cuarzo			Unidad Volcanoclástica de Noreán / CC
	JP85013001	Vena	Cuarzo			Unidad Volcanoclástica de Noreán / CC
96	DP96049002	Vena	Barita	34	64	Unidad Volcanoclástica de Noreán / CC
	CC96025001	Vena	Barita			Unidad Volcanoclástica de Noreán / CC

* Muestra con inclusiones inferiores a 2 µm.

- Calcopirita: cristales amarillos débilmente pleuroicos, subhedrales intercrecidos con galena e incluidos en pirita. Uno de estos cristales tiene incluido un cristal de oro redondeado.
- Oro: diminutos Cristales amarillo-dorados subhedrales de las siguientes maneras, un cristal ocurre incluido en calcopirita (FIGURA 13) de tamaño de grano $28.5 \times 85.5 \mu\text{m}$ con bordes redondeados, y otro cristal alargado de tamaño de grano $9.5 \times 28.5 \mu\text{m}$ con bordes irregulares ocurre en contacto neto con la esfalerita.

FIGURA 13. Intercrecimiento de galena y calcopirita incluido en pirita con un cristal de oro incluido (recuadro). Tomada con objetivo 10 X y lente 5 X.



Muestra LM64041001

Esta sección consiste en una asociación mineralógica entre sulfuros de hierro, plomo, zinc, cobre y óxidos y oro distribuidos por toda la sección, dentro de una matriz cuarzosa (FIGURA 14).

FIGURA 14. Sección doblemente pulida de la muestra LM640410.

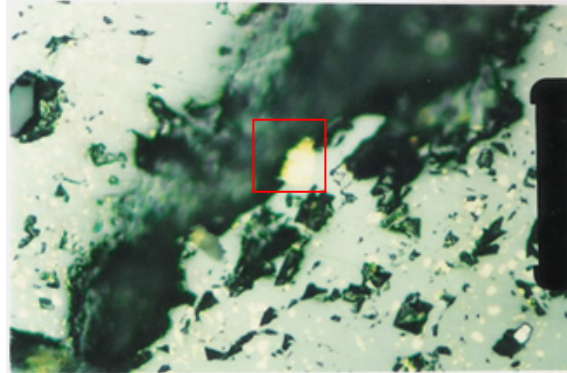


Sulfuros:

- Pirita: se encuentra como cristales individuales amarillo pálido no pleocroicos e isotropos, euhedrales a subhedrales de tamaño de grano entre 495 y 1980 μm muy fracturados asociados a la matriz, también formando agregados granulares asociados intersticialmente a esfalerita galena y calcopirita. También presenta inclusiones de galena y calcopirita.
- Esfalerita: una masa anhedral asociada intersticialmente a los agregados de pirita en contacto con galena y calcopirita. La esfalerita presenta un color gris claro y presenta diminutas inclusiones de pirita y oro (FIGURA 15).
- Calcopirita: cristales subhedrales a anhedrales amarillos asociados con pirita, esfalerita y galena, también se presenta como masas intersticiales entre la esfalerita y la pirita, presenta una leve alteración del centro hacia los bordes a covelina e ilmenita (oxido).
- Covelina: manchas azul variable pleucroica y fuertemente anisotroica alterando del centro hacia los bordes a la calcopirita asociada a ilmenita.
- Ilmenita: manchas rojizas pardas pleucroicas alterando a la calcopirita del centro hacia los bordes.
- Galena: cristales subhedrales gris palido a blanco con pits de clivaje en contacto neto con la pirita y asociada a esfalerita y calcopirita, algunos presentan inclusiones de calcopirita.

- Oro: diminutos cristales subhedrales a anhedrales amarillo dorado a amarillo naranja (por sus propiedades ópticas podría corresponder a electrum) de tamaño de grano entre 9.5 y 19 μm incluidos en la esfalerita.

FIGURA 15. Masa anhedral de esfalerita con diminutas inclusiones de pirita y un cristal de oro (recuadro).



3.3. ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS

El propósito de este estudio es el de identificar los distintos tipos de paleofluidos que han quedado atrapados a manera de IF en los materiales de rellenos de venas, en aras de poder establecer una primera aproximación sobre la historia paleohidrotermal de la Serranía de San Lucas.

Con el propósito de facilitar una mejor comprensión de los datos microtermométricos obtenidos y el significado de los mismos, se presenta a continuación un resumen sobre los conceptos básicos que involucra un estudio de IF.

Consideraciones previas

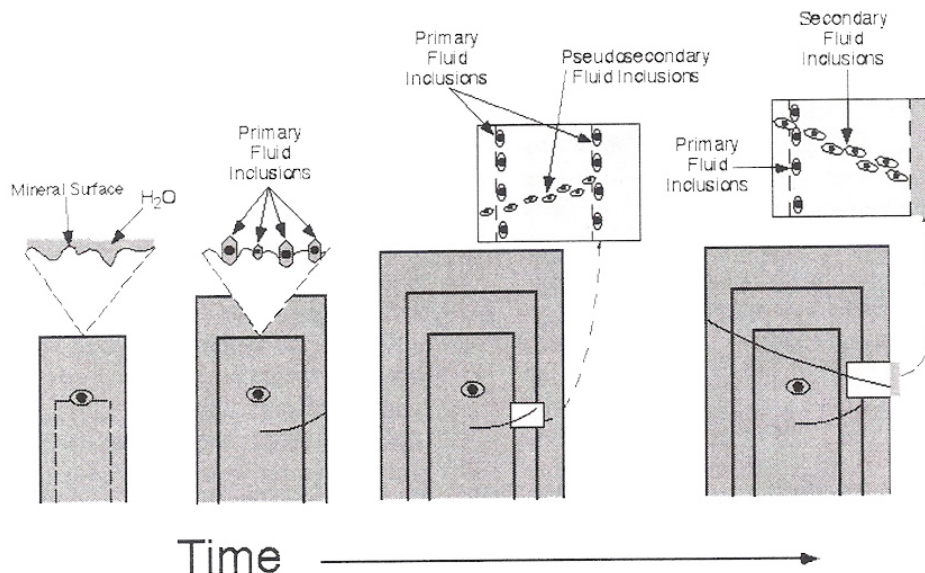
Las inclusiones fluidas son pequeños remanentes de fluidos atrapados en los minerales durante su cristalización o como producto de la cicatrización de fracturas posteriores a su formación (FIGURA 16). Sus tamaños normalmente son menores a 1mm (oscilan entre 1 y 10 μm), e inversamente proporcionales a su cantidad, a mayor cantidad menor tamaño.

El fluido atrapado puede ser líquido, vapor o un sólido, la composición de las inclusiones incluye agua pura, salmueras de salinidad variable, gases, silicatos entre otros.

Hay muchas maneras de clasificar las inclusiones fluidas entre ellas una la basada en el tiempo de formación de la inclusión en el mineral hospedador (Roedder, 1984; Goldstein, 2003).

Según esta clasificación se pueden distinguir inclusiones **primarias, pseudo secundarias y secundarias** (FIGURA 16).

FIGURA 16. Representación esquemática mostrando la formación de inclusiones primarias, secundarias y pseudo secundarias durante el crecimiento de un cristal.

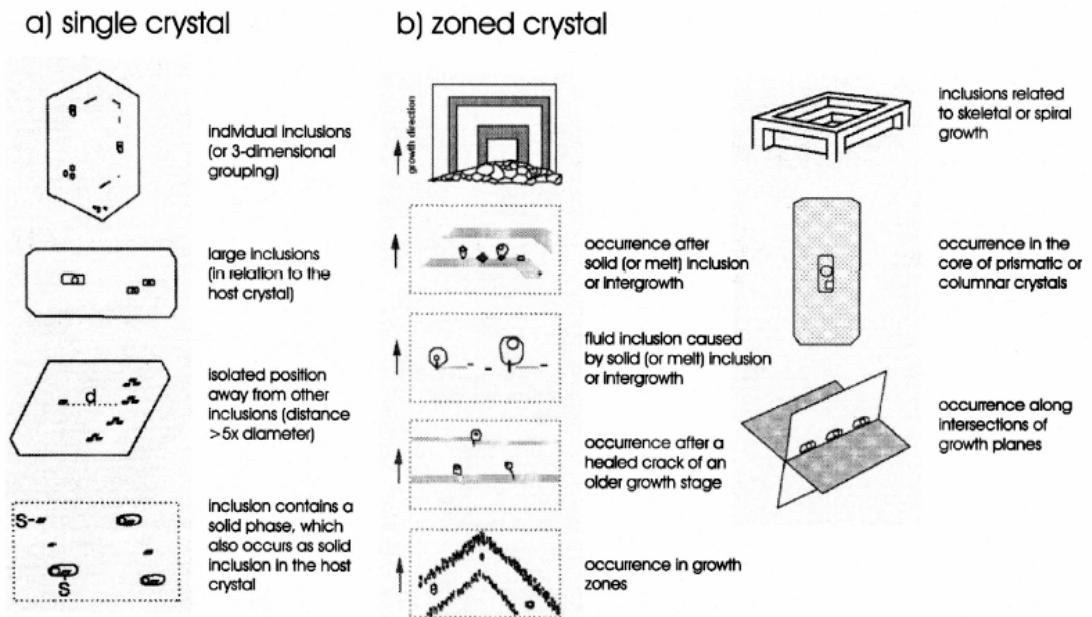


Tomado de Samson, Anderson y Marshall, 2003.

Las **primarias** son aquellas que se formaron durante el crecimiento del cristal y son producto del mismo (FIGURA 17).

Existen ciertos criterios que ayudan a identificarlas, entre ellos están la forma y orientación de la inclusión, inclusiones elongadas en dirección del crecimiento del cristal con bases planas y puntas, inclusiones alineadas o agrupadas en zonas de crecimiento de los cristales, inclusiones grandes con relación al tamaño del cristal, entre otras.

FIGURA 17. (a) Criterio diagnóstico para clasificar inclusiones fluidas como primarias. (b) Diferentes ocurrencias de inclusiones fluidas primarias relacionadas con zonas de crecimiento.



Tomado de Van de Kerkhof y Hein, 2001.

Por otra parte, las **inclusiones secundarias** son atrapadas con posterioridad a la formación del cristal, como producto de la cicatrización de fracturas que cortan todas las zonas de crecimiento del cristal. Estas inclusiones, a diferencia de las anteriores, se distinguen por su gran abundancia.

Las inclusiones pseudosecundarias, tienen una formación parecida a las secundarias diferenciadas en que las pseudo-secundarias son seguidas de un crecimiento adicional del cristal.

Según Nash y Theodore (1971), las IF se pueden clasificar según fases observables a temperatura ambiente en: IF Tipo I, II, III, IV y V (FIGURA 18).

Las **IF tipo I**, son inclusiones líquidas con una pequeña burbuja de vapor, sin minerales hijos, formadas a partir de fluido subsaturado en sales (<26 % en peso de NaCl eq.) rica en H₂O (líquido). Estas inclusiones por lo general homogenizan a líquido durante el calentamiento.

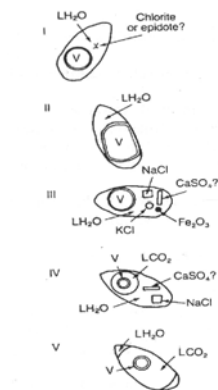
Las **IF tipo II**, son inclusiones líquidas con una gran burbuja de vapor, sin minerales hijos. Los fluidos asociados a estas inclusiones son ricos en volátiles. Este tipo de IF por lo general homogenizan a vapor.

Las **IF tipo III**, son inclusiones polifásicas (líquido+vapor+sólidos), contienen uno o más minerales hijos y están relacionadas con fluidos saturados en más de un >26% peso NaCl eq. Estas inclusiones contienen fases sólidas a temperatura ambiente, tales como halita o silvita. Existen dos subtipos: uno *subsaturado*, el cual al ser calentado sufre la desaparición primero de la sal y luego de la burbuja y; otro de tipo *saturado*, el cual al calentarse desaparece primero la burbuja y luego la sal.

Las **IF tipo IV**, se caracterizan por presentar dos fases líquidas y minerales hijos. Estas inclusiones por lo general son ricas en CO₂, frecuentemente presentan dos fases líquidas: una rica en H₂O, otra rica en CO₂ líquido, CO₂ gaseoso y una o más fases sólidas.

Las **IF tipo V**, son inclusiones de CO₂ líquido y vapor, y sin minerales hijos. Contienen agua líquida, CO₂ líquido y una burbuja pequeña de vapor. Corresponden a un fluido subsaturado en sales y rico en CO₂.

FIGURA 18. Esquema de los tipos de inclusiones fluidas según el número de fases presentes a temperatura ambiente L = Líquido. V = Vapor.



Tomado de Nash y Theodore, 1971.

La determinación de las temperaturas de los cambios de fases de las inclusiones fluidas durante el enfriamiento y el calentamiento es a lo que se le llama microtermometría.

Mediante los estudios microtermométricos, las inclusiones nos revelan datos claves de temperatura, presión, densidad y composición de los fluidos que dieron origen a estas rocas o las atravesaron.

La temperatura se obtiene a partir del encogimiento diferencial entre el cristal y la inclusión fluida durante el enfriamiento de la misma desde su temperatura de atrapamiento hasta su temperatura de observación (FIGURA 19). Esta diferenciación hace que aparezca una burbuja en el fluido a temperatura ambiente, lo único que se debe hacer es calentar la inclusión hasta que la burbuja desaparezca (temperatura de homogenización Th).

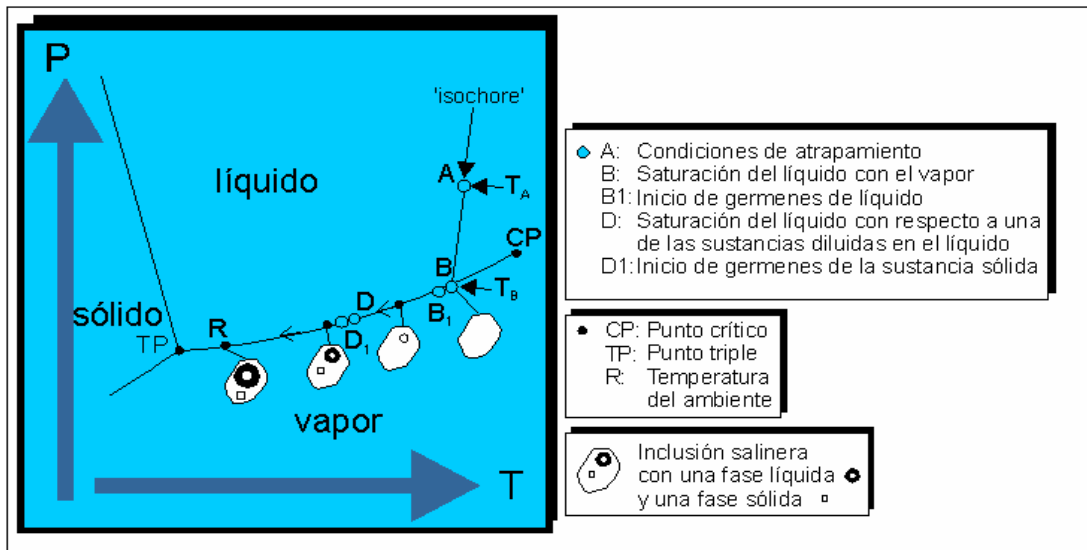
Los datos obtenidos pueden revelar información de la presión del ambiente en el momento del atrapamiento. Estos se calculan a partir de datos experimentales con fluidos similares, y aunque algunos solamente provean un rango de presión aun así esta información es muy valiosa. Las presiones varían desde cerca de la atmosférica hasta varios kilobares.

Las densidades son importantes para entender la circulación de los fluidos en la corteza terrestre y las inclusiones fluidas proveen el único dato directo que tenemos de estos fluidos.

Para hallar la composición hay métodos no destructivos usados para calcular cualitativa y cuantitativamente los componentes de una inclusión fluida a partir de la caracterización de su comportamiento a bajas y altas temperaturas.

La composición mas abundante corresponde a un líquido de baja viscosidad que contiene una burbuja de vapor de volumen usualmente menor al líquido cuando se ve a temperatura ambiente, el líquido normalmente es agua con menos del 10 wt % en solutos, aunque varían entre 50 y 0 wt %. Los solutos consisten en cantidades mayores de Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, y otros componentes en menor cantidad. Varios iones individuales pueden ser predominantes aunque los mas abundantes son el Na y Cl. El CO₂ como líquido o gas no es raro y puede ser abundante y el CH₄ esta presente en muchas inclusiones.

FIGURA 19. Diagrama de presión en función de la temperatura del desarrollo de una inclusión fluida salina después de su atrapamiento en un mineral.



Tomado de Internet, <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/profluid/ptext/10001intro>.

3.3.1. Estudio petrográfico de inclusiones fluidas.

Los resultados de los datos petrográficas que aquí se presentan son el producto del análisis de 15 de las muestras de los diferentes materiales que componen los rellenos de las venas y filones de las planchas 55, 64, 85 y 96 del IGAC y cuya petrografía de inclusiones se fundamenta en criterios genéticos, morfológicos y números de fases presentes en las IF a temperatura ambiente. El resultado de este análisis fue la identificación de varias familias de inclusiones para cada plancha las cuales se explican detalladamente a continuación.

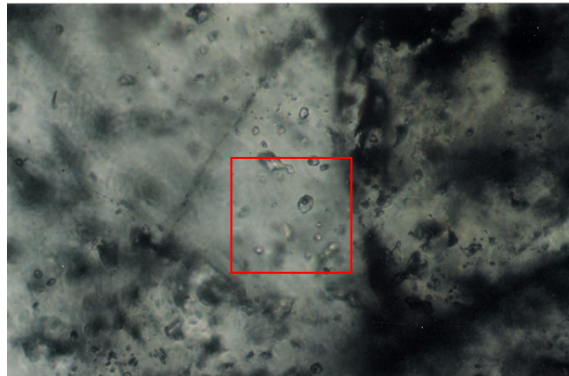
El estudio petrográfico de inclusiones fluidas en la plancha 55, tal como se menciono anteriormente, corresponden a venas que cortan la Formación La Virgen (Pzv) del Dominio de la Cordillera Oriental y el Neis de San Lucas del dominio de la Cordillera Central. Estas corresponden básicamente a 5 muestras

de venas monominerales de calcita, cuarzo y barita (TABLA 4), en las cuales se encontraron inclusiones fluidas bifásicas **tipo I** (inclusiones líquidas con una pequeña burbuja de vapor, sin minerales hijos, formadas a partir de fluido subsaturado en sales, según la clasificación de Nash y Theodore (1971)) de poco tamaño pero en gran abundancia; de estas inclusiones se logró identificar 3 familias de primarias y 3 secundarias asociadas directamente a la clase de mineral (TABLA 5).

Las inclusiones primarias identificadas corresponden a:

1) Las inclusiones primarias distribuidas al azar en el **cuarzo** que forma las venas encajadas en el Neis de San Lucas, estas inclusiones poseen formas subredondeadas y poco tamaño aunque constante $8\ \mu\text{m}$ aproximadamente, y una relación líquido/vapor algo consistente entre 2/1 y 5/1 con muy poco movimiento de la burbuja de vapor.

FIGURA 20. Fotografía de Inclusiones fluidas primarias (recuadro) de la muestra LM55014001.



Tomada con aumento de 40 X.

2) Aquellas inclusiones distribuidas al azar o aisladas en la **calcita** que forma las venas encajadas en la Formación La Virgen, éstas presentan formas irregulares y tamaños diversos que van de 7.2 a $24\ \mu\text{m}$, con radios L/V consistentes entre 6/1 y 9/1 con una burbuja de vapor de buena movilidad (FIGURA 20).

3) Las inclusiones primarias distribuidas al azar en la **barita** de las venas encajadas en la Formación La Virgen, de formas subredondeadas e irregulares de

tamaños constantes 10 μm aproximadamente con relaciones L/V algo consistentes entre 3/1 y 6/1 y movimiento nulo de su fase de vapor.

Las dos familias de inclusiones secundarias se reconocen por las siguientes características:

1) Inclusiones secundarias que se presentan a manera de estelas relleno de fracturas en la **calcita**, que presentan morfologías irregulares con tamaños variados que no superan las 16,8 μm y una relación L/V consistente entre 5/1 y 7/1 con una alta movilidad de su fase de vapor.

2) Las inclusiones secundarias que cortan la barita hasta sus bordes de formas subredondeadas y tamaños variados menores a 12 μm , con relaciones L/V algo consistentes entre 2/1 y 5/1 con movimiento nulo de su fase de vapor.

3) Las inclusiones secundarias que cortan los cuarzos hasta sus bordes con formas subredondeadas de tamaños inferiores a 9.6 μm , con relaciones líquido/vapor consistentes entre 2/1 y 5/1 con algo de movimiento de sus burbujas de vapor.

Para la **plancha 64** se estudiaron solo 6 de las 9 muestras de venas y filones seleccionadas pues las 3 restantes no presentaron inclusiones de tamaños adecuados para su una correcta descripción (TABLA 4).

Las venas estudiadas son principalmente de cuarzo, y cuarzo-sulfuros que cortan rocas de las unidades Neis de San Lucas (NPsl), Esquistos de Armenia (Pzea) y Granitoide de San Lucas (Jgsl), que hacen parte del Dominio de la Cordillera Central (TABLA 4), estas venas en su totalidad presentan inclusiones fluidas bifásicas **tipo I**, y algunas evidencian la presencia de inclusiones **tipo III** y **V**. En estas muestras se identificaron 6 familias de inclusiones primarias y 3 familias de inclusiones secundarias todas del **tipo I** las cuales son descritas a continuación (TABLA 5).

Se reconocieron las siguientes familias de inclusiones primarias:

Las que intruyen la formación Neis de San Lucas:

1) Las que se alinean a lo largo de zonas de crecimiento o son de gran tamaño con relación a los cristales de cuarzo que las contienen, que tienen formas subredondeadas y tamaños constantes entre 7.4 y 12 μm con relaciones líquido/vapor algo consistentes entre 3/1 y 7/1 y movimiento nulo de su fase de vapor, estas fueron identificadas en las muestras de los filones LM64040001 y LM64041001 (FIGURA 21).

FIGURA 21. Fotografía de inclusión fluida primaria (recuadro) en la muestra LM64041001.



Tomada con aumento de 40 X.

2) Las inclusiones que se distribuyen al azar en la **esfalerita** de la muestra LM64041001 que tienen formas subredondeadas y tamaños entre 12 y 24 μm con una relación líquido/vapor consistente entre 6/1 y 8/1 con un movimiento nulo de su fase de vapor.

3) Las inclusiones de formas irregulares distribuidas al azar en los cuarzos de la muestra HC64045001 con tamaños que varían entre 16.8 y 28.8 μm , con una relación líquido/vapor algo consistente entre 5/1 y 10/1 con cierta movilidad de su burbuja de vapor.

Las que intruyen la Unidad Esquistos de Armenia.

4) Las inclusiones de formas irregulares que se encuentran distribuidas al azar confinadas por límites de crecimiento en la muestra HC64061001, con tamaños que varían entre 12 y 24 μm , y relación líquido/vapor algo consistente entre 7/1 y 11/1 con una buena movilidad de sus burbujas de vapor.

5) Las inclusiones que se distribuyen al azar en los cuarzos de la muestra LM64059002 provenientes de la vena de cuarzo que intruye los esquistos de Armenia, estas presentan formas subredondeadas y tamaños entre 12 y 24 μm con una relación L/V consistente de 3/1 con movimiento nulo de su fase de vapor.

Las que intruyen el Granitoide de San Lucas.

6) Las inclusiones distribuidas al azar en los cuarzos de la muestra LM64035003, caracterizadas por sus formas y tamaños variados estos últimos variando entre 12 y 36 μm , con una relación líquido / vapor algo consistente entre 3/1 y 7/1 con movimiento nulo de su fase de vapor.

Cabe anotar que durante la observación de la muestra LM64041001 también se identificaron un par de inclusiones de **tipo V** es decir con presencia de CO_2 , las cuales presentaban rastros de necking down en los cuarzos (FIGURA 22).

FIGURA 22. Fotografía de inclusión fluida de CO_2 (recuadro) en la muestra LM64041001.



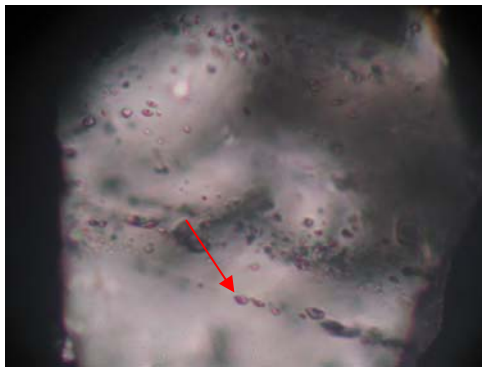
Tomada con aumento de 40 X.

En cuanto a las 4 familias de inclusiones secundarias estas se identifican de acuerdo a las siguientes características:

En el Neis de San Lucas.

1) Las que se presentan rellenando fracturas atravesando las zonas de crecimiento de los cristales de cuarzo en las muestras LM64040001 y LM64041001, de formas regulares subredondeadas de tamaños variados no mayores a $9.6 \mu\text{m}$ y relaciones líquido/vapor consistentes entre 2/1 y 5/1 y movimiento nulo de la fase de vapor (FIGURA 23).

FIGURA 23. Fotografía de inclusiones fluidas secundarias (flecha) en la muestra LM64041001.



Tomada con aumento de 40 X.

2) Las que cicatrizan fracturas en los cuarzos de la muestra HC64045001 con tamaños no mayores a $24 \mu\text{m}$ y relaciones L/V entre 5/1 y 8/1 con movimiento de su fase de vapor.

En los Esquistos de Armenia.

3) Las que se distribuyen a manera de caminos rellenando fracturas que atraviesan los cristales de cuarzo de las muestras HC64061001 y LM64059002 que presentan formas irregulares y con tamaños $< 24 \mu\text{m}$ con una relación

líquido/vapor algo consistente entre 5/1 y 11/1 con una buena movilidad de su burbuja de vapor.

En el Granitoide de San Lucas.

4) Las que forman caminos que cruzan los cuarzos de la muestra LM64035003 y que presentan formas variadas con tamaños menores a 16 μm y relaciones líquido/ vapor consistentes entre 4/1 y 6/1 sin movimiento de su fase de vapor.

Es importante mencionar que en la muestra LM64035003 se identificó una inclusión fluida secundaria **tipo III**, es decir, que presentó un cristal cúbico de halita dentro de la fase líquida.

De la **plancha 85** se tomaron 2 muestras de venas de cuarzo que cortan la Unidad Volcanoclástica de Noreán (J1-2n) (TABLA 4) a las cuales se les realizó el análisis petrográfico de inclusiones fluidas, encontrando que las inclusiones fluidas aquí presentes también corresponden a inclusiones **tipo I** al igual que en las planchas 55 y 64, y que las características petrográficas de las inclusiones encontradas en ambas muestras son similares; de esta forma, para esta plancha se identifican 2 familias de inclusiones una de primarias y otra secundarias. Las primarias (FIGURA 24) se encuentran a manera de corazones nubosos tomando la forma de los bordes cristalinos, con tamaños que varían entre 7.2 y 24 μm y que presentan una relación líquido/vapor altamente variable entre 4/1 y 10/1 con una buena movilidad de su burbuja de vapor; y las secundarias se encuentran cicatrizando microfracturas que atraviesan los cristales, con tamaños menores a 19.2 μm y una relación líquido/vapor de 6/1 en promedio, con una movilidad nula de su burbuja de vapor.

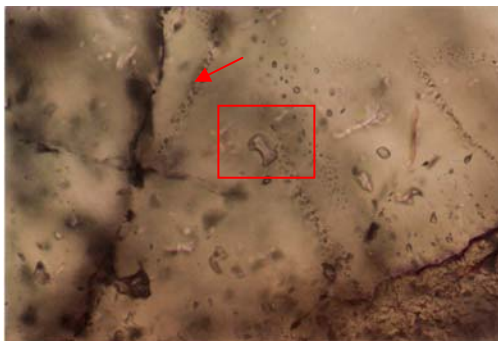
FIGURA 24. Fotografía de inclusión fluida primaria (recuadro) en la muestra RD85023001.



Tomada con aumento de 40 X.

En la **plancha 96** el estudio petrográfico de inclusiones (FIGURA 25) se efectuó en dos muestras de venas compuestas por barita que al igual que las muestras de la 85 intruyen la Unidad Volcanoclástica de Noreán (J1-2n), las inclusiones que se hallaron en estas muestras son bifásicas **tipo I** con una gran variedad de tamaños, las cuales se agrupan en 2 familias una de primarias y otra de secundarias, con las siguientes características: las primarias se presentan al azar con tamaños variados que van de 7.2 a 36 μm , y muestran una relación líquido/vapor consistente de 8/1 a 10/1 con una baja movilidad de la burbuja de vapor; y las secundarias presentes a manera de estelas que atraviesan los cristales, con tamaños menores a 19.2 μm , y una relación líquido/vapor en promedio de 9/1, con una movilidad buena en su fase de vapor.

FIGURA 25. Inclusiones primarias (recuadro) y secundarias (flecha) en la muestra CC96025001.



Tomada con aumento de 40 X.

TABLA 5. Datos Petrográficos de las Inclusiones.

DOMINIO	UNIDAD	TIPO DE VENA	MUESTRA	MINERAL	FASES	TIPO GENETICO	TAMAÑO μm	RELACIÓN LV	MOVIMIENTO BURBUJA			
Cordillera Oriental	Formación La Virgen	calcita	LM55014001	calcita	Líquido + vapor	primarias	7.2 - 14.4	5/1 - 10/1	Alto			
			LM55016001	calcita	Líquido + vapor	secundarias	<16.8	6/1 - 9/1	Alto			
			CPM55001008	calcita	Líquido + vapor	primarias	14.4 - 24	5/1 - 11/1	Alto			
		secundarias				<12	7/1	Alto				
		barita	JC55272001	barita	Líquido + vapor	primarias	9.6 - 12	3/1 - 6/1	Nulo			
						secundarias	<12	2/1 - 5/1	Nulo			
Cordillera Central	Neis de San Lucas	cuarzo	JC55062044	cuarzo	Líquido + vapor	primarias	4.8 - 9.6	3/1 - 5/1	Bajo			
						secundarias	<9.6	2/1 - 5/1	Bajo			
		cuarzo sulfuro	LM64040001	cuarzo	Líquido + vapor	primarias	7.2 - 12	3/1 - 7/1	Nulo			
						secundarias	<9.6	2/1 - 5/1	Nulo			
			LM64041001	cuarzo	Líquido + vapor	primarias	7.2 - 14.4	3/1 - 7/1	Nulo			
						secundarias	<7.2	2/1 - 5/1	Nulo			
		esfalerita	Líquido + vapor	primarias	12 - 24	6/1 - 8/1	Nulo					
				secundarias	<24	5/1 - 8/1	Alto					
		cuarzo	HC64045001	cuarzo	Líquido + vapor	primarias	16.8 - 28.8	5/1 - 10/1	Nulo			
						secundarias	<24	5/1 - 8/1	Alto			
		Esquistos de Armenia	cuarzo	LM64059002	cuarzo	Líquido + vapor	primarias	12 - 24	3/1	Nulo		
							secundarias	<24	5/1 - 9/1	Medio		
	HC64061001		cuarzo	Líquido + vapor	primarias	12 - 24	7/1 - 11/1	Medio				
					secundarias	<24	7/1 - 11/1	Alto				
	Granitoide de San Lucas	cuarzo sulfuro	LM64035003	cuarzo	Líquido + vapor	primarias	12 - 36	3/1 - 7/1	Nulo			
						secundarias	<16	4/1 - 6/1	Nulo			
	Unidad Volcanoclástica de Noreán	cuarzo	JP85013001	cuarzo	Líquido + vapor	primarias	7.2 - 19.2	3/1 - 6/1	Medio			
						RD85023001	cuarzo	Líquido + vapor	primarias	14.4 - 24	5/1 - 10/1	Bajo
									secundarias	<19.2	6/1	Nulo
		barita	CC96025001	barita	Líquido + vapor	primarias	19.2 - 24	8/1 - 13/1	Nulo			
						secundarias	<19.2	8/1 - 14/1	Nulo			
			DP96049002	barita	Líquido + vapor	primarias	19.2 - 24					
		primarias				7.6 - 36	8/1 - 10/1	Medio				
		secundarias	<14.4	9/1 - 10/1	Medio							

3.3.2. Estudio microtermométricos de inclusiones fluidas

El análisis microtermométrico se realizó en forma independiente en cada una de las 15 muestras antes mencionadas (ANEXO 1), tomando los datos de temperatura de los cambios de fases de las inclusiones fluidas, durante su enfriamiento y posterior calentamiento. Las temperaturas tomadas se denominan:

Te = temperatura eutéctica o comienzo de fusión

Tffhh = temperatura de la fusión final de la hidrohálita

Tffi = temperatura de fusión final del hielo

Th = temperatura de homogenización total del fluido

Estas temperaturas permitieron identificar un sistema composicional preliminar pero dominante para cada una de las muestras, además de su densidad y temperatura de atrapamiento (Th).

Los datos microtermométricos obtenidos muestran una tendencia general hacia dos sistemas composicionales NaCl-H₂O y NaCl-CaCl₂-H₂O determinados a partir de sus rangos de Te estables, metaestables y observados para estos sistemas acuosos (FIGURA 26); por otro lado estos fluidos presentan variaciones en sus temperaturas de fusión final del hielo y temperatura de homogenización, las cuales se hacen evidentes en la siguiente descripción, en la cual se presentan los datos de acuerdo a su dominio y a la unidad litoestratigráfica que cortan (TABLA 6).

En el dominio de la Cordillera Oriental en la Formación La Virgen de edad paleozoica se identifican dos fluidos de tipo primario y otro secundario, los primarios difieren en composición, uno de ellos de NaCl-H₂O presenta temperaturas de fusión del hielo (Tffi) entre -6.5 y -0.5 °C, con sus rangos de temperaturas de homogenización (Th) de 124 a 198 °C, y el otro de NaCl-CaCl₂-H₂O presenta temperaturas de fusión de la hidrohálita (Tffhh) entre -34.8 y -22.8

°C, temperaturas Tffi entre -14.7 y -2.5 °C y temperaturas Th entre 103.7 y 211.7 °C.

El fluido de tipo secundario que atraviesa las venas que cortan esta formación es de composición NaCl-CaCl₂-H₂O el cual presenta Tffhh de -55.4 a -26.8 °C, Tffi de -4.3 a -2.1 °C y Th de 90 a 170 °C.

FIGURA 26. Resumen de temperaturas eutécticas (Te) estables, metaestables y observadas de varios sistemas acuosos.

SYSTEM	First Melting - T _e T °C -----> lower
NaCl-H ₂ O	stable -21.2 metastable -28 observed (-21.1 to -21.2) (-28 to -35)
NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	stable -52 metastable -70 observed (-47 to -53) (-70 to -85) -90
NaCl-MgCl ₂ -H ₂ O	stable -35 metastable (-37 to -55) observed (-33 to -40) (-45 to -50) (-70 to -80)
NaCl-KCl-H ₂ O	stable -22.9 metastable -28 observed (-23.0 to -23.4)
NaCl-CaCl ₂ -MgCl ₂ -H ₂ O	stable -57 metastable observed

Tomado de Goldstein y Reynolds, 1994.

El Dominio de la Cordillera Central está representado por las venas que cortan las siguientes Unidades:

Al norte de la Serranía de San Lucas las venas de cuarzo que cortan el Neis de San Lucas de edad precámbrico muestran un fluido primario de composición NaCl-H₂O determinado por la repetición de los datos de Te en rangos de -22.5 a -20 °C, estos fluidos presentan temperaturas de fusión final del hielo (Tffi) que varían entre -4.5 y -2.5 °C y temperaturas de homogenización (Th) en rangos de 124 a 198.4 °C.

En las venas que cortan el Neis de San Lucas en la Serranía de San Lucas, encontraron tres fluidos de tipo primario, dos de ellos con composición NaCl-

CaCl₂-H₂O que se diferencian por sus rangos de temperaturas de fusión del hielo y de homogenización el primero de ellos el que se presenta en las esfaleritas muestra rangos restringidos de Tffi entre -14.2 y -12 °C y Th entre 83 y 93.4 °C y el segundo en algunos cuarzos con rangos mas amplios de Tffi de -19.4 a -3.6 °C y Th mas altas entre 191.4 y 217 °C.

El tercer fluido primario de composición NaCl-H₂O presente en algunos cuarzos posee temperaturas de fusión del hielo entre -2.7 y -1.3 °C y temperaturas de homogenización entre 140 y 193 °C.

En cuanto a los fluidos de tipo secundario estos atraviesan los cuarzos y están representados por el sistema composicional NaCl-CaCl₂-H₂O con Tffi de -8.1 °C, y Th de 182.8 °C.

En las inclusiones de las muestras de venas que cortan a los Esquistos de Armenia del paleozoico, se identificaron 4 fluidos dos de tipo primario y otros dos de tipo secundario. Los de tipo primario son de dos composiciones diferentes, el primero de ellos de composición NaCl-H₂O presenta temperaturas de fusión del hielo de -2.3 °C y altas temperaturas de homogenización 370 °C, el segundo fluido primario de composición NaCl-CaCl₂-H₂O por su parte presenta Tffhh de -49.2 a -17.4 °C, Tffi de -15.8 a -5.4 °C y Th entre 204.8 y 261.2 °C. Los dos fluidos de tipo secundario al igual que los primarios de dos diferentes composiciones, uno de ellos de NaCl-H₂O con Tffi de -4.3 a -1.2 °C y Th de 119 a 243 °C, y el otro de NaCl-CaCl₂-H₂O con Tffhh de -25.1°C, Tffi de -3.8 °C y Th de 173.1°C.

En las venas que intruyen el Granitoide de San Lucas de edad jurasica se identificaron tres tipos de fluidos dos primarios y uno secundario (TABLA 6). Los primarios, uno de NaCl-H₂O con Tffi de -3.4 a -1.2 °C y Th de 119.4 a 142.7 °C, el otro de NaCl-CaCl₂-H₂O con Tffhh de -34.5 a -34 °C, Tffi de -4.1 a -4 °C y Th 105 a 112 °C.

El fluido secundario es de composición NaCl-CaCl₂-H₂O y presenta T_{ffhh} de -31.3 °C, T_{ffi} -10.5 °C y T_h 128.8 °C.

Por ultimo las 4 venas de cuarzo y barita que cortan la Unidad Volcanoclástica de Noreán de edad jurasica presentan como composición dominante fluidos de NaCl-CaCl₂-H₂O para sus inclusiones, aunque también se identificó un fluido de composición NaCl-H₂O (TABLA 6).

De estos fluidos identificados 4 son de tipo primario los de composición NaCl-CaCl₂-H₂O que se diferencian por tener diferentes rangos de temperaturas de homogenización entre 99.5 y 167 °C, entre 118.3 y 194.9 °C y entre 175.1 y 200 °C. Las inclusiones primarias de composición NaCl-H₂O tienen temperaturas T_{ffi} entre -9.2 y -4.5 °C y T_h de 198 a 208 °C.

Por ultimo los fluidos que componen las inclusiones secundarias son todos de NaCl-CaCl₂-H₂O y difieren también en sus rangos de temperaturas de homogenización de 86.6 a 166.6 °C, de 135.5 a 155.9 °C y 194.2 °C.

3.3.3. Datos físico-químicos de inclusiones fluidas

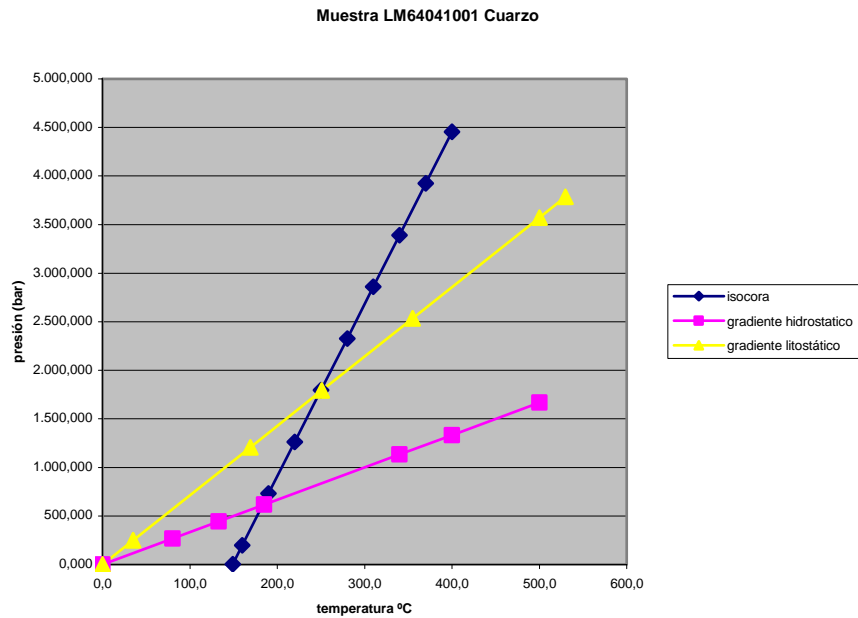
Los datos microtermométricos obtenidos de las 15 muestras estudiadas fueron posteriormente procesados mediante el uso de los programas AqSo 2 a 3, BULK e ISOC del profesor Ronald J. Bakker del Institute of Geological Sciences, de la Universidad de Leoben, Austria (2003). Programas que permitieron determinar las propiedades de las soluciones acuosas, la densidad y el volumen de los componentes de las inclusiones fluidas a elaborar las isocoras de un sistema fluido.

La obtención final de los datos fisicoquímicos termina con la elaboración de un gráfico que muestra la intersección de una isocora con gradientes litostáticos e hidrostáticos (ANEXO 2) como se muestra en el siguiente ejemplo (FIGURA 27).

TABLA 6. Datos microtermométricos de las distintas familias de inclusiones fluidas estudiadas.

DOMINIO	UNIDAD	MINERAL	MUESTRA	SISTEMA	TIPO GENETICO	T e (°C)	Tffhh (°C)	Tffi (°C)	Th (°C)
Cordillera Oriental	Formación La Virgen	calcita	LM55014001	NaCl -H ₂ O	primarias	-28.1 a -26.8		-6.2 a -4.5	151.4 a 159.9
		calcita	LM55016001	NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	secundarias	-70.1 a 45.9	-55.4 a -26.8	-4.3 a -2.1	90 a 170
		calcita	CPM55001008	NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	primarias	-58.7 a -33.5	-34.8 a -22.8	-14.7 a -2.5	103.7 a 211.7
		barita	JC55272001	NaCl -H ₂ O	primarias	-27.5 a -21		-6.5 a -4.5	124 a 198
Cordillera Central	Neis de San Lucas	cuarzo	JC55062044	NaCl -H ₂ O	primarias	-22.5 a -20		-4.5 a -2.5	124 a 198.4
	Neis de San Lucas	cuarzo	LM64040001	NaCl -H ₂ O	primarias	-23 a -20.4		-2.7 a -2.1	190 a 193
		cuarzo	LM64041001	NaCl -H ₂ O	primarias	-22 a -21.2		-2.4 a -1.3	140 a 149
		esfalerita		NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	primarias	-63 a -56	-39.9 a -35.8	-14.2 a -12	83 a 93.4
		cuarzo	HC64045001	NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	primarias	-57.7 a -55.4	-49.7 a -31.3	-19.4 a -3.6	191.4 a 217
	Esquistos de Armenia	cuarzo	LM64059002	NaCl -H ₂ O	primarias	-23		-2.3	~370
				secundarias	-29.5 a -21		-4.3 a -1.2	119 a 243	
		cuarzo	HC64061001	NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	primarias	-64.9 a -50.3	-49.2 a -17.4	-15.8 a -5.4	204.8 a 261.2
				secundarias	-63.7	-25.1	-3.8	173.1	
	Granitoide de San Lucas	cuarzo	LM64035003	NaCl -H ₂ O	primarias	-20.7 a -20.5		-3.4 a -1.2	119.4 a 142.7
				NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	secundarias	-49.3 a -47.5	-34.5 a -34	-4.1 a -4	105 a 112
	Unidad Volcanoclástica de Noreán	cuarzo	JP85013001	NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	primarias	-66.9 a -53.7	-34.7 a -21.4	-2.9 a -2.5	118.3 a 194.9
				NaCl -H ₂ O	primarias	-33.9 a -25.1	-19.8 a -12.5	-9.2 a -4.5	198.9 a 208
		barita	RD85023001	NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	secundarias	-48.3	-29.5	-5.2	194.2
				NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	primarias	-53 a -42.5	-30.5 a -25.1	-13.6 a -2.4	175.1 a 200
		barita	CC96025001	NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	secundarias	-52.7 a -37	-28.9 a -20.5	-12.1 a -8.4	86.6 a 166.6
				NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	primarias	-56.5 a -48	-42 a -32	-13.2 a -3.8	99.5 a 167
		barita	DP96049002	NaCl - CaCl ₂ -H ₂ O	secundarias	-51.8 a -47	-37 a -31	-11.5 a -11.1	135.5 a 155.9

FIGURA 27. Gráfica de intersección de isócoras a gradientes.



En la FIGURA 27 se observa la isócora proyectada del sistema NaCl-H₂O de la muestra LM64041001 en color azul oscuro, junto con la línea de gradiente hidrostático en fucsia a la línea de gradiente litostático en amarillo. El punto de intersección de la línea de gradiente hidrostático con la línea de la isocora corresponde al punto de temperatura a presión mínima corregida de atrapamiento, para este caso en particular, 185 °C y 616.51 bares. Mientras que el punto de intersección del gradiente litostático con la isocora corresponde a la temperatura a presión máxima corregida de atrapamiento, para este caso 251 °C a 1792.8 bares.

En las siguientes TABLAS se resume los datos fisicoquímicos obtenidos en cada Plancha para cada una de las muestras, las cuales contienen datos de salinidad, densidad, presiones mínimas, presiones mínimas a máximas corregidas (TABLAS 7, 8, 9 a 10).

TABLA 7. Datos Físicoquímicos Plancha 55

Datos Físicoquímicos Plancha 55										
Muestra	Tipo	Salinidad (%W NaCl)	Densidad g/cc	Sistema químico	Tmin (°C)	Pmin (bar)	Tmin correg (°C)	Pmin correg (bar)	Tmax correg (°C)	Pmax correg (bar)
LM55014001	primarias	9.5162	0.977850	NaCl -H ₂ O	151.8	5	187	623.71	240	2714
LM55016001	secundarias	0.2745	0.952557	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	170.5	6.68	208	693.16	285	2035.4
CPM5500108	primarias	4.0908	0.940820	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	159.3	5.52	190	633.17	255	1821.1
JC55062044	primarias	5.818	0.961751	NaCl -H ₂ O	143	4.64	173	576.52	230	1642.8
JC 55272001	primarias	7.254	0.982661	NaCl -H ₂ O	124	4.534	148	493.21	190	1357.1

TABLA 8. Datos Físicoquímicos Plancha 64

Datos Físicoquímicos Plancha 64										
Muestra	Tipo	Salinidad (%W NaCl)	Densidad g/cc	Sistema químico	Tmin (°C)	Pmin (bar)	Tmin correg (°C)	Pmin correg (bar)	Tmax correg (°C)	Pmax correg (bar)
LM64035003	secundarias	1.371	1.016801	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	112	4.796	133	443.22	169	1207.1
LM64040001	primarias	4.133	0.942081	NaCl -H ₂ O	156	5.314	195	649.83	261	1864.2
LM64041001	primarias	2.3241	0.936548	NaCl -H ₂ O	149	4.867	185	616.51	251	1792.8
LM64041001*	primarias	2.1508	1.113046	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	93.4	5.432	109.5	364.91	133.5	953.57
LM64059002	secundarias	2.5724	0.893196	NaCl -H ₂ O	195	11.27	248	826.46	355	2535.2
HC64045001	primarias	2.8785	0.943112	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	217	18.36	273	909.7	384	2742.4
HC64061001	primarias	3.4406	0.903001	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	261.2	43.72	340	1133	530	3785

*Dato de esfalerita

TABLA 9. Datos Físicoquímicos Plancha 85

Datos Físicoquímicos Plancha 85										
Muestra	Tipo	Salinidad (%W NaCl)	Densidad g/cc	Sistema químico	Tmin (°C)	Pmin (bar)	Tmin correg (°C)	Pmin correg (bar)	Tmax correg (°C)	Pmax correg (bar)
RD85023001	primarias	7.1657	0.915465	NaCl-H ₂ O	151.8	15.077	260	866.4	380	2714.1
JP85013001	primarias	0.8620	0.92374	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	170.5	11.2	244	813.1	336	2394.6

TABLA 10. Datos Físicoquímicos Plancha 96

Datos Físicoquímicos Plancha 96										
Muestra	Tipo	Salinidad (%W NaCl)	Densidad g/cc	Sistema químico	Tmin (°C)	Pmin (bar)	Tmin correg (°C)	Pmin correg (bar)	Tmax correg (°C)	Pmax correg (bar)
DP96049002	primarias	1.519	0.988645	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	137	4.52	166	553.19	212	1514.2
DP96049002	secundarias	3.642	1.048890	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	155.9	11.2	244	813.1	336	2394.6
CC96025001	secundarias	3.79967	1.060619	NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O	86.6	5.67	99	329.21	124	885.21

3.4. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Del análisis de los datos obtenidos se pueden diferenciar varios eventos paleohidrotermales de carácter regional, considerando que varios de ellos tienen un quimismo y unas propiedades físicas muy similares.

En este trabajo, no se discute la procedencia del disolvente (agua), ni la procedencia de los solutos identificados en las distintas familias de IF (sales). La falta de datos de geoquímica isotópica y de composición química elemental detallada de los solutos (por ejemplo, mediante análisis tipo *crush-leaching*), impide sugerir estos aspectos. Por esta razón, este trabajo es de carácter preliminar, en el sentido que solo pretende contribuir en la elaboración de un inventario de los distintos eventos paleohidrotermales que han afectado a la Serranía de San Lucas.

Los fluidos más profundos y más calientes reconocidos (con base en las muestras estudiadas) en el Dominio de la Cordillera Central, se confinan a una banda con hidrofracturamiento, dispuesta de manera paralela a la esquistosidad regional de la Formación 'Esquistos de Armenia' de edad posiblemente Paleozoica. Esta banda, parece estar relacionada con eventos de escape de paleofluidos en ambientes mesotermiales de la corteza (dominios dúctil-frágil), posiblemente en condiciones de presión supralitostática. Estos paleofluidos, son de tipo acuosalinos y presentan temperaturas mínimas de atrapamiento, entorno a 370°C. Pulsos paleohidrotermales posteriores, con temperaturas inferiores a los 220°C, igualmente han sido reconocidos en esta banda. Estos paleofluidos, son claramente posteriores a la etapa del máximo pico de temperatura alcanzado por estas rocas (facies anfibolíticas), lo que implica que están relacionados con eventos de deformación y de escape de fluidos ocurridos durante la etapa de exhumación de esta unidad (profundidades menores a los 15 Km. de profundidad).

Los eventos paleohidrotermales identificados en las otras unidades del dominio litotectónico de la C. Central (Neis de San Lucas, Formación Noreán y el Granitoide de San Lucas) son de tipo acuso salinos, con temperaturas inferiores a los 220°C, hasta alcanzar eventos de temperaturas entorno a los 80°C. Estos eventos, claramente reflejan condiciones epitermales y se relacionan con eventos deformacionales asociados a escape de fluidos en regímenes frágiles de la corteza. Esto mismo sucede en la Cordillera Oriental (Formación La Virgen).

Los pulsos epitermales anteriormente mencionados (condiciones frágiles de la corteza y presiones máximas de atrapamiento entorno a 8 Kms), parecen estar relacionados con eventos deformacionales de las etapas orogénicas Pre-Andina y Andina (Eventos deformativos Terciarios). Considerando las propiedades fisico-químicas de estos paleofluidos, se infiere que estos afectaron tanto a las unidades del dominio de la Cordillera Central como Oriental. En sectores muy concretos de la Cordillera Central, estos fluidos acuoso-salinos, se mezclan con fluidos carbónicos (no estudiados con detalle en este trabajo). Esta mezcla de fluidos, al parecer es de gran importancia metalogénica, debido a que solo se han encontrado en aquellos materiales de venas con presencia de oro (Formación Morrocoyal, Formación Neis de San Lucas). La procedencia de los fluidos carbónicos, no se ha establecido, pero muy posiblemente guarde relación con fluidos residuales de la cristalización de fundidos ácidos generadores de diques riódacíticos, presentes fundamentalmente en las áreas afectadas por fallas de primer de orden, tales como la Falla de Pueblito Mejía.

Por otro lado, estos pulsos acuoso-salinos epitermales, parecen ser responsables de la formación de venas de barita, como es el caso de las venas próximas a la Falla San Blas.

Las fallas aproximadamente N35E, parecen ser facilitadores de la red de fracturas que sirvieron de canales para el escape de estos fluidos acuoso-salinos de ambientes frágiles.

4. CONCLUSIONES

- El estudio petrográfico de inclusiones fluidas en los materiales de relleno de venas y filones en la Serranía de San Lucas, permitió diferenciar dos tipos genéticos de inclusiones, primarias y secundarias. La mayoría de éstas inclusiones son bifásicas compuestas por un líquido y una burbuja de vapor, y su formación ha tenido lugar durante la historia de exhumación de las unidades estudiadas (post-pico térmico y post-pico bórico).
- El estudio microtermométrico permitió determinar que la composición de la mayoría de las inclusiones primarias y secundarias corresponden a soluciones acuosas salinas de $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ y $\text{NaCl} - \text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$.
- Los datos petrográficos y microtermométricos de la mayoría de las inclusiones mostraron que provienen de una fase homogénea y que no han sido alteradas después de su atrapamiento, lo que las hace elegibles para realizar este estudio de evolución termal.
De las muestras de inclusiones analizadas la única que no cumplen la condición anterior es la LM64041001 que presenta un fenómeno de mezcla, tal vez efervescencia, que resulta en la precipitación de oro en estos filones (de enorme importancia metalogenética), y que dada su complejidad (lo que implicaba un mayor tiempo para su análisis) no ha sido estudiado en sus detalles en este trabajo.
- Los eventos paleohidrotermales identificados en el área de estudio en su mayoría corresponden a fluidos que reflejan condiciones epitermales, los cuales afectaron las formaciones de ambos dominios, al parecer aprovechando los eventos deformativos producidos por las Orogenias Pre-Andina y Andina.

- En el dominio de la Cordillera Central en los Esquistos de Armenia (Pzea) se identificó un evento paleohidrotermal caracterizado por fluidos calientes y profundos que se presume son de origen mesotermal y que aprovecharon la etapa de exhumación de estas rocas para escapar.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio más profundo, que permita el análisis de un mayor número de muestras, para llegar a conocer la extensión de cada pulso hidrotermal.

Se recomienda la utilización de un método cuantitativo (*geoquímica isotópica, crush-leaching, microraman, entre otras técnicas*) para la determinación de los componentes químicos de las inclusiones con el fin de conocer la concentración de los solventes mayores, los solutos mayores y menores, etc, y llegar a conocer el origen de los fluidos.

6. BIBLIOGRAFÍA

BAKKER, R.J. (1997): CLATHRATES: computer programs to calculate fluid inclusion V-X properties using clathrate melting temperatures. Computers & Geosciences, vol. 23, no. 1, 1-18.

BAKKER, R.J. (2003): Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. Chemical Geology, vol. 194, 3-23.

BODNAR R.J., VITYK M.O. (1994): Interpretation of microtermometric data for H₂O – NaCl fluid inclusions. Fluid inclusions in minerals: Methods and Applications. Virginia Polytechnic Institute and State University.

GOLDSTEIN, R y REYNOLDS, J. (1994): Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals, Semp short course 31. PM Society for sedimentary geology.

HOLLISTER, L.S., y CRAWFORD, M.L. (1981). Fluid inclusions: Applications to Petrology, vol. 6. Mineralogical Association of Canadá, Short Course Handbook.

NASH, J. T y THEODORE, T. Ore fluids in the porphyry copper deposits at cooper Canyon. Nevada. Econ. Geology No.66. (1971).

ROEDDER, E. (1984): Fluid inclusions, reviews in mineralogy. Vol.12. Mineralogical Society of America.

SAMSON, I., ANDERSON, A. & MARSHALL, D. (2003): Fluid Inclusions Análisis and Interpretation. Mineralogical Association of Canada, Short Course Series Volume 32.

SAAVEDRA P., Deysi. Génesis de las manifestaciones de barita-calcita y barita-fluorita en los municipios Sucre y Bolívar (departamento de Santander), 2005. Trabajo de grado. (Geólogo) Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas.

UIS - INGEOMINAS (2005): Memoria Geológica preliminar Plancha 55 'El Banco' Sur de los Departamentos de Bolívar, Magdalena y Cesar. Convenio no 004.

UIS - INGEOMINAS (2005): Memoria Geológica preliminar Plancha 64 "Barranco de Loba" Sur del Departamento de Bolívar. Convenio no 004.

UIS - INGEOMINAS (2005): Memoria Geológica preliminar Plancha 85 "Simití" Sur de los Departamentos de Bolívar y Cesar. Convenio no 004.

UIS - INGEOMINAS (2005): Memoria Geológica preliminar Plancha 96 "BOCAS DEL ROSARIO" Sur de los Departamentos de Bolívar y Cesar y Noroeste del Departamento de Santander. Convenio no 004.

VAN DEN KERKHOFF, A. & HEIN, U.F. (2001): Fluid inclusion petrography. *Lithos* 55, 27-47.

WILKINSON, J.J. (2001): Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos* 55, 229-272.

Disponible en Internet: <<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/profluid/ptext/fases001.htm>>

