

**ESTUDIO ESTRUCTURAL Y PETROGRÁFICO DE INCLUSIONES
FLUIDAS Y SU RELACIÓN CON EL FLUJO DE FLUIDOS, EN LA
SECUENCIA SEDIMENTARIA DEL CRETACICO Y Terciario
AFLORENTE EN EL SECTOR DE LA VÍA RECETOR-AGUAZUL
(DPTO. DE CASANARE).**

**HELBERG CALDERÓN PEÑUELA
RICARDO ADOLFO FRANCO BLANCO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2004**

**ESTUDIO ESTRUCTURAL Y PETROGRÁFICO DE INCLUSIONES
FLUIDAS Y SU RELACIÓN CON EL FLUJO DE FLUIDOS, EN LA
SECUENCIA SEDIMENTARIA DEL CRETACICO Y TERCIARIO
AFLORENTE EN EL SECTOR DE LA VÍA RECETOR-AGUAZUL
(DPTO. DE CASANARE).**

**HELBERG CALDERÓN PEÑUELA
RICARDO ADOLFO FRANCO BLANCO**

Trabajo de Grado para optar al título de Geólogo

DIRECTORES

Ph. D. Luis Carlos Mantilla Figueroa
Director UIS

Ph. D. Alba Gladys Mesa Ramírez
Codirectora ICP

M. Sc. Jorge Luis Rubiano Ortiz
Codirector ICP

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2004**

DEDICATORIA

*En memoria a mí Nonito Vicente
quien me acompañó durante
toda la vida y quien es el principal
gestor de la persona que soy.*

*A mí Nonita Cándida que con su cariño me ha
acompañado toda su vida y espero
que lo siga haciendo.*

*A mí Tía Henny quien ha sido un
gran apoyo durante mi etapa como
estudiante y persona.*

*A mí novia Diana Carolina por su
Amor y paciencia y quien me ha
acompañado muy cariñosamente
durante esta etapa de mi vida.*

*A mí hermano Oscar Reynel, mis primos Joly Andrea y
Feízzar y demás familiares que de alguna
manera me han acompañado.*

Helberg

DEDICATORIA

*A mis padres Analides y Luis Antonio
quienes son las personas que me
han apoyado durante toda la vida
y a quienes les debo todo lo que soy
y tengo. Muchas gracias.*

*A mis hermanos Luis Carlos y
José Ignacio quienes han sido
acompañantes en esta lucha.*

*A mi novia Smith quien me ha hecho
feliz, ha sido fuente de inspiración
y me ha hecho creer en el amor.*

*A mi tía Neris quien ha sido
apoyo durante mi carrera.*

*A mi tío Gabriel, quien ha
confiado en mí y de quien he
aprendido mucho en la vida.*

*A mis sobrinos Luis Alejandro y David
quienes son una razón poderosa para vivir.*

*A toda mi familia quien es la principal
base para ser lo que soy.*

Ricardo

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros mas sinceros agradecimientos a:

Luis Carlos Mantilla Figueroa, por su constante guía, apoyo y ayuda durante toda nuestra carrera en la Universidad y durante este proyecto.

Alba Gladis Mesa y Jorge Luis Rubiano, por habernos guiado a lo largo de este proyecto.

David e Isaid, debido a que fueron personas con las se pudo contar en todo momento y que ofrecieron su apoyo incondicional en cualquier tipo de situación para la realización de este proyecto.

Miryam Caro, por su apoyo técnico y acompañamiento brindado durante la etapa de campo.

Luis Garrido, por la ayuda brindada en el corte de las muestras para elaborar las secciones delgadas.

Luis Fernando Peña y Luis Fernando Anaya del Laboratorio de procesamiento de muestras geológicas del ICP, por su colaboración en la elaboración de las secciones delgadas

Zarith, Gloria y Berta del Laboratorio de microscopía electrónica, por su ayuda durante las jornadas de análisis de muestras al SEM.

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.1.1	General.....	2
1.1.2	Específicos.....	2
1.2	METODOLOGÍA.....	3
1.2.1	FASE DE CAMPO.....	3
1.2.2	FASE DE LABORATORIO	4
1.3	GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
1.3.1	Localización.....	6
1.3.2	Características generales del territorio	7
2	ANTECEDENTES	12
2.1	MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	14
2.1.1	ESTRATIGRAFIA.....	16
2.1.2	Modelo de evolución tectónica.....	24
3	RESULTADOS	28
3.1	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE FRACTURAS.....	28
3.1.1	Consideraciones previas	28
3.1.2	Estudio de las características geométricas de las fracturas.....	37
3.2	ESTUDIO MINERALOGICO Y TEXTURAL DE VENAS.....	51
3.2.1	Consideraciones previas	51
3.2.2	Consideraciones previas sobre inclusiones fluidas.....	55
3.2.3	Análisis Microtermométrico.....	56
3.2.4	Obtención de los datos microtermométricos	62
3.2.5	Interpretación de los datos microtermométricos	63

3.2.6	Localización de las muestras con presencia de venas	64
3.2.7	Localización de muestras seleccionadas para estudio de IF.....	65
3.2.8	Intrusivo de Pajarito (Klip).....	66
3.2.9	Formación Lutitas de Macanal (Kljm)	79
3.2.10	Formación Une (Kmu).....	93
3.2.11	Formación Guadalupe (Ksg)	103
4	INTERPRETACIÓN GENERAL DE DATOS.....	113
5	CONCLUSIONES.....	121
6	RECOMENDACIONES.....	123
7	BIBLIOGRAFÍA.....	124
ANEXOS	132

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio.	8
Figura 2. Mapa geológico y localización de la travesa y estaciones del área de estudio.	15
Figura 3. Sección estructural del área de estudio.....	16
Figura 4. Columna estratigráfica Generalizada.....	20
Figura 5. Sección esquemática que sugiere la evolución tectónica de la Cordillera Oriental del Mesozoico al Neógeno.....	27
Figura 6. Envolvente de Morh (o curva intrínseca) y los campos en los que se originan cada una de los diferentes tipos de fracturas, así como la magnitud de los esfuerzos necesarios en cada caso.	29
Figura 7. Tipos de fracturas según clasificación de Anderson, 1953.....	30
Figura 8. Geometría de una fractura con forma de moneda y sistema de referencia utilizado.....	32
Figura 9. Geometría de una fractura con forma de cuchilla y sistema de referencia utilizado.....	33
Figura 10. Diaclasas sistemáticas y no sistemáticas.	33
Figura 11. Relaciones entre diaclasas maestras (B) y diaclasas cruzadas (A)...	35
Figura 12. Relación entre diaclasas y pliegues.....	36

Figura 13.	Relación de las diaclasas con las fallas inversas, normales y de desgarre.....	36
Figura 14.	Proyección estereográfica y densidad de contornos de la totalidad de los datos de diaclasas (159).	38
Figura 15.	Mapa estructural donde se muestra la localización de las provincias estructurales y sus deltas.	40
Figura 16.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de diaclasas en la provincia estructural Pajarito – Mirador N60W/70NE, E-W/75S y N60E/80SE.....	41
Figura 17.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de venas en la Provincia estructural Pajarito – Mirador. N60W/75SW, N70W/80NE, N40E/30NW y N60E/50NW.	41
Figura 18.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de estratificación en la provincia estructural Pajarito – Mirador. N30E/60NW y N60E/20NW.	42
Figura 19.	Diagrama comparativo entre diaclasas, venas, estratificación y la Falla de Pajarito para la provincia estructural Pajarito – Mirador.....	43
Figura 20.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de diaclasas de la provincia estructural Chámeza – Mirador. N20W/70SW, N-S/80W, N80E/60SE y E-W/60N.....	44
Figura 21.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de venas tomados en la provincia Chámeza – Mirador. N50E/70NW; N20W/65NE, N10W/85SW y N60W/80SW.....	44
Figura 22.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de estratificación de la provincia estructural Chámeza – Mirador. E-W/50N, N70E/70NW y N10E/75SE.....	45
Figura 23.	Diagrama comparativo entre diaclasas, venas y la Falla de Chámeza en la provincia estructural Recetor – Mirador.	46

Figura 24.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para diaclasas en la provincia estructural Mirador-Guaicáramo. N70W/80SW y N-S/75E.	47
Figura 25.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para la estratificación en la provincia estructural Mirador - Guaicáramo. N70E/50NW, N10W/30SW y N60E/40SE.....	47
Figura 26.	Diagrama comparativo entre diaclasas estratificación y fallas en la provincia estructural Mirador – Guaicáramo.	48
Figura 27.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para diaclasas en la provincia estructural Guaicáramo - Yopal. N40E/80SE y N50W/40NE.....	49
Figura 28.	Diagrama de rosetas y densidad de contornos para la estratificación en la provincia estructural Guaicáramo - Yopal. N80E/20NW, N60E/20NW y N50E/30NW.	49
Figura 29.	Diagrama comparativo entre diaclasas, fallas y estratificación para la provincia estructural Guaicáramo – Yopal.	50
Figura 30.	Ejemplo de vena con relleno masivo..	53
Figura 31.	Vena con relleno fibroso de tipo sintaxial.....	53
Figura 32.	Estructura interna de sistemas mineralizados filonianos en <i>jogs</i> extensionales generados por saltos de fallas.	53
Figura 33.	Vena con crecimiento de tipo antitaxial.....	54
Figura 34.	Tipos de venas según el modo mecánico de su desarrollo.	55
Figura 35.	Mecanismos de captura de las IF primarias.	57
Figura 36.	Tipos de IF, según la composición y proporción de fases presentes, proyectadas en un diagrama triangular solido-liquido-gas.....	59
Figura 37.	Clasificación de las IF según el número de fases observables a temperatura ambiente.....	61

Figura 38.	Diagrama de presión en función de la temperatura del desarrollo de una IF salina después de su atrapamiento en un mineral.....	63
Figura 39.	Localización de las muestras seleccionadas para el estudio de los fluidos.	66
Figura 40.	Foto de una vena de cuarzo y calcita perteneciente al Intrusivo de Pajarito ($\Delta 2$), de 2cm de espesor, con patrón estructural de diaclasa de N45E/30NW.....	67
Figura 41.	Foto de una vena de cuarzo y calcita perteneciente al Intrusivo de Pajarito, de 2cm de espesor, con patrón estructural de diaclasa de N66W/64SW.....	67
Figura 42.	Microfotografía en nicols cruzados de una vena de cuarzo del Intrusivo de Pajarito.....	68
Figura 43.	Imagen al SEM de una vena de calcita en el microscopio electrónico, donde se observan morfologías suaves y bordes minerales en cristales de calcita presentes en la vena.	69
Figura 44.	Imagen al SEM de una vena con cuarzo en el microscopio electrónico, donde se observa las morfologías irregulares en los cristales de cuarzo presentes en la vena.....	69
Figura 45.	Espectro de composición química de una vena de calcita, en el Intrusivo de Pajarito; con alto contenido de calcio y en menor proporción oxígeno y carbono.....	70
Figura 46.	Espectro de composición química de una vena de cuarzo-calcita, en el Intrusivo de Pajarito; con alto contenido de silicio, magnesio, oxígeno y aluminio, y en menor proporción hierro calcio y carbono.	70
Figura 47.	Temperaturas de Homogenización (Th) para el Intrusivo de Pajarito para las IF primarias, donde se observa una concentración de datos entorno a los 165°C, entre los 123°C - 127°C (óvalo naranja) y entorno a los 93,5°C.....	74

Figura 48.	Temperaturas de Homogenización (Th) para el Intrusivo de Pajarito para las IF secundarias, donde los puntos obtenidos estuvieron entre a los 164°C – 130°C (óvalo azul), entre los 128°C - 126°C(óvalo rojo) y entre a los 102°C – 98°C.	76
Figura 49.	Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl.....	78
Figura 50.	Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl + CaCl ₂	79
Figura 51.	Foto de una vena de cuarzo y calcita perteneciente a la Formación Lutitas de Macanal, de 1.5cm de espesor, la cual presenta morfología de lazo sigmoide, y se encuentra orientada con una dirección de N28W/49NE.....	80
Figura 52.	Foto de una vena de cuarzo y calcita perteneciente a la Formación Lutitas de Macanal, de 1cm de espesor, la cual presenta morfología de cola de caballo, y se encuentra orientada con una dirección de N44E/88NW.....	80
Figura 53.	Microfotografía de una vena cuarzo con textura de relleno fibroso, de tipo antitaxial con sutura, en la Formación Lutitas de Macanal.....	81
Figura 54.	Microfotografía de una vena de cuarzo con textura de relleno masivo en la Formación Lutitas de Macanal donde se observa como la vena rompe la roca caja, creando nuevos canales de circulación.....	81
Figura 55.	Imagen al SEM de una vena de calcita donde se observa las diferentes morfologías en las IF presentes y la presencia de halita en la vena y dentro de la inclusión.....	82
Figura 56.	Espectro de composición química de vena de calcita, en la Formación Lutitas de Macanal; con alto contenido de cloro y sodio, y en menor proporción calcio, oxígeno y carbono para la vena de calcita, con algunas trazas de hierro y magnesio.	83
Figura 57.	Microfotografía de una familia de inclusiones fluidas secundarias bifásicas, tipo I y II, presentes en una vena de cuarzo-calcita en la	

	Formación Lutitas de Macanal; con morfologías irregulares, suaves alargadas y elípticas.	85
Figura 58.	Microfotografía de una familia de inclusiones fluidas secundarias bifásicas y trifásicas, tipo I y III, presentes en una vena de cuarzo-calcita en la Formación Lutitas de Macanal; con morfologías irregulares, suaves alargadas y elípticas.	86
Figura 59.	Imagen al SEM de una vena de calcita, donde se observa la presencia de carbonato dentro de la inclusión.....	87
Figura 60.	Espectro de composición química de una vena de calcita en la Formación Lutitas de Macanal, mostrando un alto contenido de calcio, oxígeno y carbono, y pequeñas trazas de hierro y cloro.....	87
Figura 61.	Temperaturas de Homogenización (Th) en IF primarias, para La Formación Lutitas de Macanal, donde los puntos obtenidos estuvieron entre los 332°C – 205°C (óvalo naranja) y entre 312°C – 181°C.	89
Figura 62.	Temperaturas de Homogenización (Th) en IF secundarias, para La Formación Lutitas de Macanal, donde los puntos obtenidos estuvieron entre 213°C – 191°C (óvalo azul), entre 262°C – 107°C (óvalo amarillo) y entre los 28°C – 26°C (óvalo naranja).	91
Figura 63.	Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl + CaCl ₂	93
Figura 64.	Microfotografía de inclusiones fluidas primarias bifásicas, tipo II, con relación Vapor / líquido de 1/5, presentes en granos de cuarzo en la Formación Une, con morfología suave elíptica.	94
Figura 65.	Microfotografía de una familia de inclusiones fluidas secundarias transgranulares, tipo I, con relación Vapor/líquido variable de entre 1/10 y 1/24, bifásicas, presentes en granos de cuarzo en la Formación Une, con morfologías irregulares y suaves alargadas.	96
Figura 66.	Temperaturas de homogenización (Th) para la Formación Une en IF secundarias neoformadas, donde los puntos obtenidos estuvieron	

	entre los 138°C – 120°C (óvalo azul) y entre 137°C – 122°C (óvalo rojo).	98
Figura 67.	Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl.	102
Figura 68.	Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl + CaCl ₂	103
Figura 69.	Microfotografía de inclusiones fluidas primarias bifásicas, tipo II, con relación Vapor/líquido de 1/1.5, presentes en granos de cuarzo en la Formación Guadalupe, con morfología suave elíptica.	104
Figura 70.	Microfotografía de una familia de inclusiones fluidas secundarias transgranulares, tipo I, con relación Vapor / líquido variable de entre 1/10 y 1/24, bifásicas, presentes en granos de cuarzo en la Formación Guadalupe, con morfologías irregulares y suaves alargadas.	106
Figura 71.	Temperaturas de Homogenización (Th) para la Formación Guadalupe, donde los puntos obtenidos estuvieron entre los 133°C – 128°C (óvalo rojo) y entorno a los 110,6°C.	109
Figura 72.	Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl...	112
Figura 73.	Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl + CaCl ₂	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Patrones utilizados para la calibración de a platina de Microtermometría THMS 600. Te = Temperatura eutéctica; Th = Temperatura de homogenización.	6
Tabla 2.	Resumen de las principales direcciones de diaclasas, venas y estratificación en las provincias estructurales.....	51
Tabla 3.	Muestras seleccionadas para el estudio de los fluidos.. ..	65
Tabla 4.	Tipos de Inclusiones Fluidas en venas del Intrusivo de Pajarito.....	72
Tabla 5.	Familias de Inclusiones Fluidas identificadas en venas del Intrusivo de Pajarito.....	75
Tabla 6.	Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl, en el Intrusivo de Pajarito.	77
Tabla 7.	Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ , en el Intrusivo de Pajarito..	78
Tabla 8.	Tipos de inclusiones fluidas en venas de cuarzo y calcita de la Formación Lutitas de Macanal.....	84
Tabla 9.	Familias de Inclusiones Fluidas identificadas en venas de la Formación Lutitas de Macanal.....	90
Tabla 10.	Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ en la Formación Lutitas de Macanal	92

Tabla 11.	Tipos de inclusiones fluidas transgranulares en granos de cuarzo de la Formación Une.....	95
Tabla 12.	Familias de Inclusiones Fluidas identificadas en granos de cuarzo detrítico en la Formación Une.....	99
Tabla 13.	Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl, en la Formación Une..	101
Tabla 14.	Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ , en la Formación Une..	102
Tabla 15.	Tipos de Inclusiones Fluidas en granos de cuarzo de la Formación Guadalupe.	105
Tabla 16.	Familias de Inclusiones Fluidas identificadas en granos de cuarzo en la Formación Guadalupe.....	108
Tabla 17.	Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl, en la Formación Guadalupe.	110
Tabla 18.	Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ , en la Formación Guadalupe.	111
Tabla 19.	Resumen de los principales patrones de fracturamiento..	115
Tabla 20.	Tipos de IF principales estudiadas según unidad litoestratigráfica y sus condiciones fisicoquímicas de atrapamiento.	117

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.	Tabla de deltas.	133
Anexo B.	Catálogo de muestras.....	139
Anexo C.	Estadística descriptiva de los datos estructurales tomados en la zona de trabajo.....	150
Anexo D.	Datos de temperaturas de IF en el Pntrusivo de Pajarito.....	154
Anexo E.	Datos de temperaturas de IF en la Formación Lutitas de Macanal..	155
Anexo F.	Datos de temperaturas de IF en la Formación Une.	156
Anexo G.	Datos de temperaturas de IF en la Formación Guadalupe.	158
Anexo H.	Relaciones de equilibrio de fases.	159

TÍTULO: ESTUDIO ESTRUCTURAL Y PETROGRAFICO DE INCLUSIONES FLUIDAS Y SU RELACIÓN CON EL FLUJO DE FLUIDOS, EN LA SECUENCIA SEDIMENTARIA DEL CRETACICO Y TERCIARIO AFLORANTE EN EL SECTOR DE LA VÍA RECETOR-AGUAZUL (DPTO. DE CASANARE).*

Autores:

HELBERG CALDERÓN PEÑUELA**

RICARDO ADOLFO FRANCO BLANCO**

PALABRAS CLAVE: Paleofluidos, microtermometría de IF, paleohidrotermal.

RESUMEN

La transecta Aguazul–Recetor (Departamento de Casanare) se recorrió para tomar datos estructurales de fracturas, análisis estadístico, recolectar muestras de venas de cuarzo y calcita y areniscas, y petrografía y microtermometría de inclusiones fluidas (IF). En la zona existen rocas ígneas y sedimentarias con edades que van desde el Cretácico (Valanginiano) hasta el cuaternario. Esta es una zona tectónicamente muy activa y compleja. Se determinó un patrón de fracturas antiguo (N50E/70NW) en la Formación Lutitas de Macanal a través del cual circuló una mezcla de paleofluidos de composición $H_2O+NaCl+CaCl_2$ y $CO_2+CH_4+N_2$ cuya profundidad máxima de atrapamiento fue de 7,8 Km. En la Formación Lutitas de Macanal circuló un paleofluido de composición $H_2O+NaCl+CaCl_2$ a través del patrón estructural N70W/80NE y por los patrones N40E/30NW y N46E/50NW circuló un paleofluido de composición $H_2O+NaCl+CaCl_2$, en el Intrusivo de Pajarito y su profundidad máxima de atrapamiento fue de 6,8 Km. En la Formación Lutitas de Macanal se determinó un patrón estructural N60W/80SW por el cual circuló un paleofluido de composición $H_2O+NaCl+CaCl_2$, correlacionable con los pulsos circulantes en microfracturas observadas en la Formación Une y el Grupo Guadalupe, con una profundidad máxima de atrapamiento entre 5,4 Km y 4,3 Km. Finalmente, se identificó un pulso mas reciente y que corresponde a un paleofluido de composición $H_2O+NaCl$, circulante a lo largo de microfracturas de la Formación Une y el Grupo Guadalupe, con una profundidad máxima de atrapamiento de 5,5 Km. Respecto al origen de los paleofluidos se sugiere que se debe a procesos de lixiviación de rocas, así mismo la presencia de NaCl y $CaCl_2$, sugiere que se originan a partir de expulsión de fluidos intersticiales de rocas evaporíticas por carga litostática. Los paleofluidos con componentes gaseosos (CO_2 , CH_4 y N_2) en las rocas de la Formación Lutitas de Macanal se originaron como producto de la liberación de moléculas orgánicas presentes en shales de dicha formación, las cuales sobrepasaron los límites de temperatura de la ventana de generación de hidrocarburos líquidos, indicando que cualquier yacimiento naturalmente fracturado de hidrocarburos fue sometido a un sobrecalentamiento ocasionado por los paleofluidos.

* Trabajo de investigación.

** Facultad de ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Director Luis Carlos Mantilla Figueroa.

Title: ESTUDIO ESTRUCTURAL Y PETROGRAFICO DE INCLUSIONES FLUIDAS Y SU RELACIÓN CON EL FLUJO DE FLUIDOS, EN LA SECUENCIA SEDIMENTARIA DEL CRETACICO Y TERCIARIO AFLORANTE EN EL SECTOR DE LA VÍA RECETOR-AGUAZUL (DPTO. DE CASANARE).*

Authors:

HELBERG CALDERÓN PEÑUELA**

RICARDO ADOLFO FRANCO BLANCO**

Keywords: Paleofluids, Microthermometry of FI.

ABSTRACT

the Aguazul–Recetor section (Casanare department), was the area for taking joints structural data, statistical analyses and sampling of calcite and quartz veins for the laboratory experiences (Petrographic and microthermometric analyses). There are igneous and sedimentary rocks in the area with ages range from Cretaceous (valanginian) to quaternary. The area is complex and tectonically active. In the Lutitas Del Macanal formation, an ancient joint pattern was found, (N50E/70NW) from which a mixture of paleofluids of composition $H_2O+NaCl+CaCl_2$ and $CO_2+CH_4+N_2$ flows, and with an enclosing depth of about 7.8km. In the Lutitas Del Macanal formation a paleofluids of composition $H_2O+NaCl+CaCl_2$ flows across the joint patterns N70W/80NE, and a fluid of composition $H_2O+NaCl+CaCl_2$ flows across the patterns N40E/30NW y N46E/50NW in the Pajarito igneous intrusion with a maximum enclosing depth of about 6,8 km.

A structural pattern of N60W/80SW from which a paleofluid of composition $H_2O+NaCl+CaCl_2$ flows, it was found to be correlative with the pulses that cross the microfractures in the Une formation and Guadalupe group, with a maximum enclosing depth of about 5.4 to 4.3 km. Finally, a recent pulse with a paleofluid of composition $H_2O+NaCl$ was found, which flows across the microfractures of Une formation and Guadalupe Group, with a maximum depth of about 5.5 km. Regarding what was mentioned above, we suggest the origin of the paleofluids as a consequence of a lixiviation process of the rocks, likewise, the presence of NaCl and $CaCl_2$ suggests the source, an expulsion from evaporitic rocks of interstitial fluids, by lithostatic load. The paleofluids with gas compounds in the Lutitas Del Macanal formation (CO_2 , CH_4 y N_2), are products of the releasing of organic molecules that were present in shales of the formation. Which surpass the temperature limits of the oil window, showing that any liquid Hydrocarbon deposit suffered an overheating caused by the paleofluids

* Trabajo de investigación.

** Facultad de ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Director Luis Carlos Mantilla Figueroa.

1 INTRODUCCIÓN

Este documento es el resultado de un proyecto de grado llevado a cabo en la modalidad de investigación, el cual se desarrolló en el marco de un convenio interinstitucional entre la Universidad Industrial de Santander (UIS) y ECOPETROL S.A.-ICP, (Convenio específico 003 de 2003). De igual manera, este trabajo de grado hace parte de un proyecto de mayor envergadura titulado: 'Flujo regional de fluidos y migración de hidrocarburos (Colombia)'. El área de estudio forma parte de la plancha 211 Tauramena, a escala 1:100.000, realizado por Ulloa y Rodríguez (1976) y publicado por el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS), de las planchas topográficas 211-I-B (1998a), 211-I-D (1998b), 211-II-A (1998c), 211-II-C (1998d), 212-I-D (1966) realizadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), según la proyección de Gauss con origen X: 1'000.000 y Y: 1'000.000, ubicado en Santa Fe de Bogotá D.C.

Teniendo en cuenta la importancia de conocer tanto la historia paleohidrogeológica en las cuencas sedimentarias, debida a sus efectos sobre las rocas y el transporte de componentes orgánicos e inorgánicos, como los canales de circulación, este trabajo se enfocó hacia el estudio de fracturas (diaclasas y venas de cuarzo y calcita) en rocas sedimentarias Cretácicas y Terciarias al Norte del Departamento de Casanare en límites con Boyacá, a lo largo de las vías entre los municipios de Recetor y Aguazul que se encuentran separados unos 22 Km aproximadamente (Figura 1), donde se llevó a cabo una recolección de muestras con presencia de venas cristalinas de cuarzo y calcita y a las cuales se les realizó un estudio composicional, de temperatura y presión de los paleofluidos que circularon por este tipo de rocas, a través de sus fracturas atrapados a manera de inclusiones fluidas (IF) en los minerales de relleno de venas.

La zona de trabajo hace parte del Piedemonte Llanero donde afloran las Formaciones Cretácicas: Lutitas de Macanal, Areniscas de Las Juntas, Fόμεque, Une, Chipaque, Guadalupe; y Terciarias: Barco, Los Cuervos, Mirador, Carbonera, León y Guayabo. Entre las características geológicas mas relevantes de la zona se tiene un estilo estructural de tipo compresivo donde las principales estructuras son los Anticlinales de Monterralo y Monserrate, los Sinclinales de Recetor, del Boquerón y de Zapatosa, y fallas, destacándose las de Chámeza, Pajarito, El Mirador y Guaicáramo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

- Llevar a cabo el estudio petrográfico, estructural, de inclusiones fluidas y su relación con la migración de fluidos en la secuencia sedimentaria del Cretácico y Terciario aflorante en el sector de la vía Recetor-Aguazul (Dpto. de Casanare).

1.1.2 Específicos

- Reconocer en campo las distintas unidades geológicas que forman parte del registro sedimentario del Cretácico y Terciario aflorante en la vía Recetor – Aguazul (Dpto. de Casanare).
- Realizar un muestreo sistemático y estudio petrográfico de venas cristalinas de cuarzo y calcita y algunas litologías siliciclásticas en el sector antes descrito con el propósito de identificar texturas relacionadas con la historia paleohidrogeológica de éstas.
- Identificar las distintas familias estructurales de diaclasas y venas de cuarzo y calcita a partir de los datos de campo a partir de parámetros estadísticos.

- Determinar las características fisicoquímicas de los paleofluidos que han circulado por las rocas del Cretácico y Terciario a partir de análisis microtermométricos en inclusiones fluidas del material de relleno de las venas.
- Determinar a la luz de los nuevos datos la relación existente entre deformación y el escape o la migración de paleofluidos.

1.2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo y logro de los objetivos formulados se hizo un trabajo distribuido en las siguientes fases: 1) Fase de Compilación y Selección de la información, 2) Fase de Campo, 3) Fase de Laboratorio, 4) Fase de Análisis e interpretación de la información y 5) Fase de elaboración y entrega del informe final.

Teniendo en cuenta que las fases de campo y laboratorio son las de mayor importancia en la obtención de nuevos datos, éstas se describen con más detalle a continuación.

1.2.1 FASE DE CAMPO

Con la información obtenida durante la primera fase del proyecto (compilación y selección de información y medios disponibles) se realizó un control de campo durante 17 días y cuyo objetivo principal fue la recolección de muestras, en especial aquellas con contenido de venas cristalinas de cuarzo y calcita. En la zona de trabajo se llevó a cabo inicialmente un reconocimiento de una parte de la sección Aguazul-Sogamoso, por ser esta un área, que previamente fue trabajada por Union Texas (1984), para ello fue necesario hacer un seguimiento a través del Río Unete y Río Cusiana, los cuales bordean gran parte de la vía principalmente entre las poblaciones de Recetor y Aguazul, permitiendo una mejor observación de las unidades litológicas aflorantes. Adicionalmente se realizó el reconocimiento de una columna litoestratigráfica levantada en dos secciones en la carretera San

Benito – Recetor, por Roa y Rojas (1992). Durante el trabajo de campo se realizó la toma de datos estructurales, recolección de muestras de la mayoría de unidades presentes, así como un control litológico y estratigráfico utilizando como base la nomenclatura utilizada por Ecopetrol para la zona del Piedemonte Llanero.

La documentación del trabajo de campo se hizo por medio de estaciones y fotografías ilustrativas en los puntos de control, las diferentes estaciones fueron localizadas utilizando un GPS Garmin 12XL, que tiene una exactitud máxima de 3 m y mínima de 15 m, según catálogos del fabricante. En cada estación se tomaron rumbo y buzamiento para los planos de estratificación, fallas, diaclasas y pliegues, así como muestras orientadas con respecto a estos planos, indicando su techo o base. Esta información fue llevada a un formato Excel denominado “Estratistruccural” suministrado por el Geólogo del ICP Jorge Rubiano, garantizando con esto la sistematización de la información y un control del material geológico recolectado (Anexo A).

1.2.2 FASE DE LABORATORIO

Durante esta fase se prepararon las muestras que se seleccionaron para su correspondiente estudio petrográfico y microtermométrico fundamentalmente. Estos estudios se realizaron principalmente utilizando tanto microscopía de luz transmitida y electrónica de barrido (SEM), así como una platina para estudios de IF.

Microscopía de Luz transmitida

Esta técnica nos permitió realizar un análisis mineralógico y textural de las muestras, mayoritariamente de venas de cuarzo y calcita, así como un estudio petrográfico de IF. El equipo usado fue un microscopio de luz transmitida marca Nikon de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Los estudios de microscopía electrónica de barrido se realizaron en el laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), utilizando un microscopio electrónico de barrido LEO-1450 VP, con sonda tipo EDAX DX; con una resolución de 3.5 nm @ 30Kv de aceleración, a condiciones de presión variable o alto vacío con una amplificación de 9x a 900.000x y un rango de vacío de 7.5×10^{-2} torr a 3.008 torr en modo de presión variable.

Las muestras utilizadas para los análisis de SEM fueron “Chips” de aproximadamente 7 mm³, los cuales fueron recubiertos con grafito, usando la técnica de evaporación entre dos electrodos a alta tensión.

Esta técnica fue utilizada para explorar las pequeñas cavidades o espacios de inclusiones fluidas abiertas, en aras de localizar y estudiar los posibles sólidos presentes.

Microtermometría de Inclusiones Fluidas

Una vez realizado el estudio petrográfico de IF para determinar situación exacta de las inclusiones dentro del cristal, material de relleno, tipo de inclusión (familia a la que pertenece), tamaño, fases presentes, morfología de las inclusiones, relación entre el volumen del gas respecto al volumen total de cada inclusión y movilidad de la burbuja, se procedió a realizar el estudio microtermométrico mediante el uso de una platina para calentamiento y enfriamiento.

En este estudio se usó una platina de enfriamiento-calentamiento, tipo THMS 600 marca LINKAM, disponible en el Laboratorio de Microtermometría de la Escuela de Geología de la UIS, Sede Guatiguará. La calibración del equipo se realizó con patrones de inclusiones fluidas sintéticas suministradas por SYNC FLINC, Inc.,

(facilitados por el ICP) y usando algunos líquidos orgánicos con propiedades fisicoquímicas definidas (Tabla 1).

En el equipo de termometría se pueden conseguir rangos de temperatura que van desde -198°C hasta 600°C . El proceso de enfriamiento siempre fue anterior al calentamiento, para evitar la decrepitación de otras inclusiones de menor temperatura de atrapamiento.

Tabla 1. Patrones utilizados para la calibración de a platina de Microtermometría THMS 600. 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	31.3
H_2O + NaCl composición eutéctica (23.2% en peso de NaCl)	-21.2	-
H_2O + KCl composición eutéctica (19.6% en peso de KCl)	-10.7	-
Tolueno	-95	
Clorobenceno	-45.6	
H_2O	0.0	374.1

1.3 GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.3.1 Localización

La carretera Recetor – Aguazul se encuentra geográficamente localizada en el Departamento de Casanare; pasando por la población de Pajarito (Dpto de Boyacá) sobre el Piedemonte de los Llanos Orientales (Colombia), formando parte del costado oriental de la Cordillera Oriental (Figura 1). La transecta cubre un área que abarca la jurisdicción de los municipios de Aguazul, Recetor y Pajarito.

La transecta está comprendida entre las coordenadas planas:

$X_1: 1'140.000$ $Y_1: 1'060.000$

$X_2: 1'170.000$ $Y_2: 1'080.000$

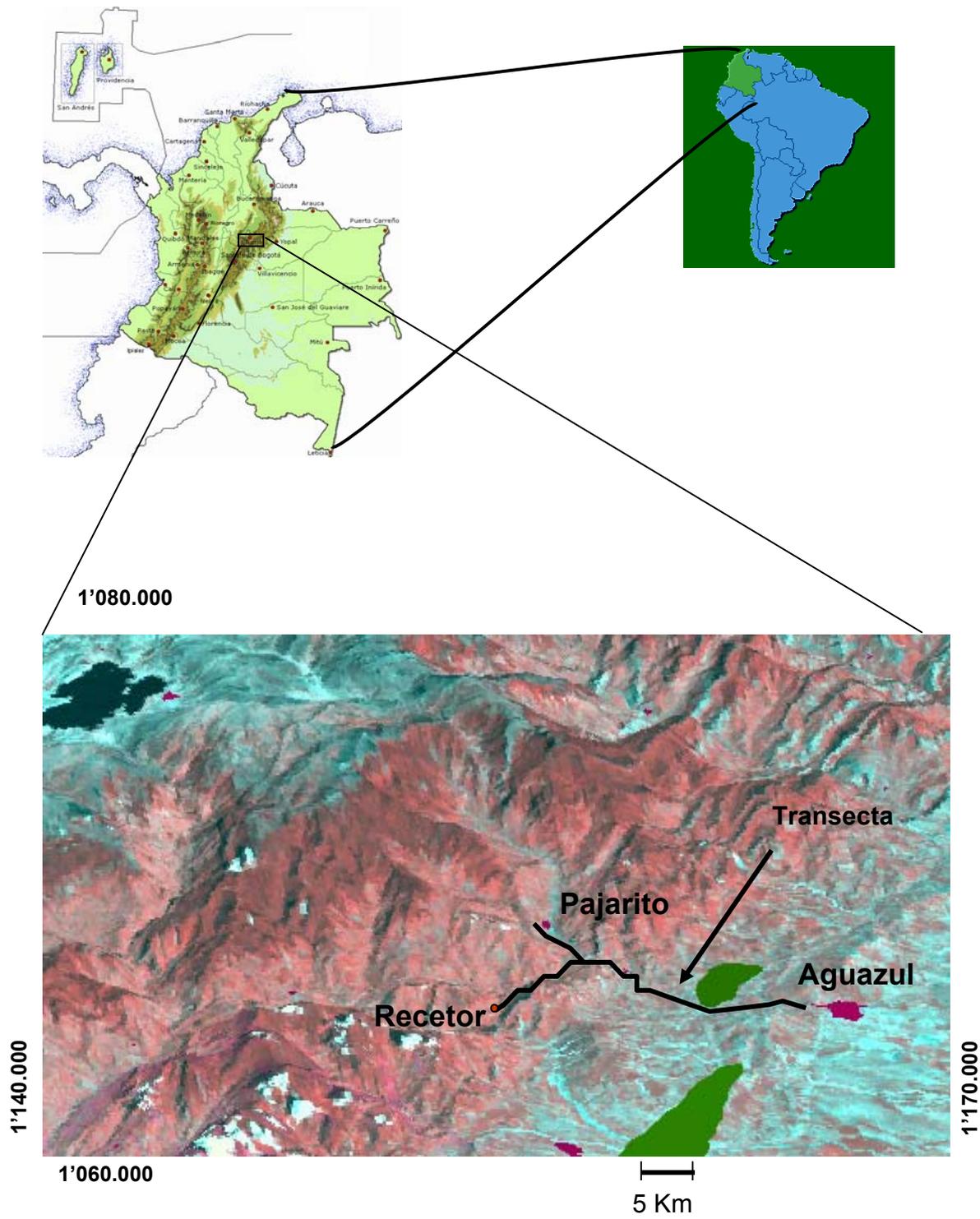
adoptadas del sistema de coordenadas para Colombia (Esferoide Internacional 1904, proyección conforme de Gauss) con origen de coordenadas X: 1'000.000 Y: 1'000.000, del Observatorio Astronómico de Santa Fe de Bogotá.

1.3.2 Características generales del territorio

La zona de la transecta presenta una topografía e hidrología muy variables, la cual se caracteriza por presentar diferencias en las elevaciones que van desde los 300 (Aguazul) m.s.n.m hasta los 1.000 m.s.n.m (Pajarito); que conforman diferentes paisajes, climas y suelos generando recursos ambientales importantes para la región y el país. Se caracteriza por tener suelos de piedemonte que pertenecen al Cretácico, Terciario y Cuaternario y sus factores de formación cambian constantemente a todo lo largo y ancho del territorio.

La cobertura vegetal arbórea se presenta particularmente en los paisajes de los relieves andino y sub-andino, mientras que la vegetación herbácea predomina en los paisajes de llanura. Las zonas construidas (residencial e industrial particularmente) predominan en el paisaje de altiplanicie. Existen áreas con potencial para conservación de ecosistemas estratégicos tales como: los Bosques Naturales en zona de montaña, los cuales poseen diversidad de especies de flora nativa de gran porte y son hábitats de importantes especies faunísticas, los Bosques de Galería que mantienen constante la oferta hídrica en toda la zona, Los Humedales o Esteros de la sabana que son hospedero de gran variedad de aves y reptiles especialmente en época de verano.

Figura 1. Localización del área de estudio.



Clima

El régimen de lluvias en la zona de la transecta se basa en un invierno prolongado que se extiende de Abril a Noviembre, seguido de una relativa estación seca muy corta. En general, la precipitación que recibe esta área oscila entre los 2400 y los 3200 mm/año, con temperaturas medias anuales de 25°C a 26°C, valores que en conjunto corresponden al régimen climático cálido húmedo (Govea y Torres, 1972).

Vías de acceso

Para acceder al área de estudio por la parte Norte se toma la vía Sogamoso-Pajarito-Aguazul; 5 Kms adelante de Pajarito en el caserío San Benito se toma la desviación a la derecha hacia Recetor; también se puede llegar en vía aérea hasta Yopal y se toma la carretera Yopal-Aguazul-San Benito y por último se llega por la vía Bogotá-Villavicencio-Aguazul.

Geomorfología y drenaje

Fisiográficamente la transecta estudiada comprende dos zonas importantes que son:

- 1) Las últimas vertientes de la Cordillera Oriental.
- 2) Los Llanos Orientales propiamente dichos.

La vertiente comprendida en la transecta estudiada presenta variaciones en elevación entre aproximadamente 1.000 metros en el Municipio de Pajarito en la Cordillera Oriental a 300 metros en el Municipio de Aguazul en el llano. El drenaje es de dirección dominante Noroeste-Sureste y esta controlado principalmente por los Ríos Cusiana y Unete. Los ríos en esta vertiente presentan características típicas de juventud a juzgar por la rapidez de sus cursos y lo profundo de sus

cauces. Presentan en algunos casos tales como en el área de Cupiagua y Zapatosa lo que en la región se conoce con el nombre de sabanas las cuales son terrazas aluviales originadas en lagos de carácter local formados por los ríos antes de disectar las colinas que se oponían a su desagüe en el llano (Govea y Torres, 1972).

Dentro de las vertientes mismas es igualmente notorio el rasgo fisiográfico de carácter local conocido con el nombre de Farallones los cuales resultan al actuar la erosión sobre sedimentos masivos a base de clásticos gruesos pertenecientes a la Formación Guayabo (Govea y Torres, 1972).

La transecta en la parte de Aguazul se encuentra en el llano propiamente dicho, es decir, el borde occidental de los llanos orientales, este sector corresponde a un área en estado de vejez en su ciclo geográfico ya que en ella los ríos desarrollan continuos meandros en su lento avance para alcanzar la arteria principal constituida por el Río Meta (Govea y Torres, 1972).

La zona de la transecta posee una gran red hídrica compuesta por ríos, quebradas y caños, utilizada en ciertos tramos como vía de transporte fluvial, especialmente en épocas de invierno. Los ríos Cusiana, Charte y Unete, son las cuencas hidrográficas más importantes ya que sus afluentes riegan el sesenta por ciento del área. El río Cusiana y algunos de sus afluentes drenan el territorio de Aguazul en su margen derecha aguas abajo (Govea y Torres, 1972).

Fisiografía

La zona estudiada se sitúa en la última estribación de la Cordillera Oriental, donde regionalmente se observa el área de los “Farallones de Cupiagua” de aspecto muy típico y formados por erosión diferencial de los sedimentos masivos continentales, principalmente clásticos gruesos de la Formación Guayabo inferior. En parte de la

vía que sigue el curso del Río Unete se puede observar, bajando hacia el llano, el escarpe topográfico formado por la Formación Guayabo Inferior, un valle formado por las arcillas de la Formación León y finalmente un pronunciado filo constituido por areniscas de la Formación Carbonera (Govea y Torres, 1972).

2 ANTECEDENTES

El área de estudio hace parte del Piedemonte de los Llanos Orientales, en el cual se han realizado estudios geológicos de carácter regional, condensado en el mapa geológico a escala 1:100.000 del Ingeominas plancha 211 elaborado por Ulloa y Rodríguez (1976).

Existen pocos estudios que traten específicamente el tema que se aborda en este estudio. Sin embargo, existe alguna información que consideramos importante y valiosa. Esto corresponde a los siguientes trabajos:

Bueno *et al.* (1970) realizaron un informe geológico preliminar sobre el área de Casanare y Arauca en el cual se resume el estado actual de los conocimientos geológicos en el área mencionada y reúne mapas, cortes geológicos y columnas estratigráficas elaboradas hasta esa fecha.

Fabre y Delaloye (1983) realizaron un estudio de las intrusiones básicas cretácicas que cortan las sedimentitas de la parte central de la Cordillera Oriental. En este trabajo se plantea una posible relación entre estos cuerpos básicos y las numerosas mineralizaciones hidrotermales (Pb-Zn-Cu-Fe y Ba) conocidas en las sedimentitas del Cretáceo inferior y medio de esta región.

Robertson Research (1984) realizó un estudio geoquímico en la sección Sogamoso-Aguazul, apoyado en un control estratigráfico y enfocando este a determinar el potencial de hidrocarburos (borde oriental de la Cordillera Oriental de Colombia). UNION TEXAS (1984) llevó a cabo una misión geológica de campo con el propósito de servir de complemento en la interpretación de los trabajos sísmicos y ampliar el conocimiento estructural y estratigráfico del área de Santiago de las

Atalayas (Dpto de Casanare). Este estudio trabajó la sección Sogamoso-Aguazul donde inicialmente se realizó un reconocimiento geológico de dicha sección, con tres secciones localizadas al Norte, al Sur y en la parte media del área de interés; se efectuó un control geológico de las líneas sísmicas en el piedemonte, se hizo un muestreo de las formaciones presentes en el área de estudio y se realizó la revisión de la cartografía geológica de Ecopetrol.

Fabre (1985) elaboró un trabajo sobre Subsistencia, Maduración y Generación de hidrocarburos; para el Cretácico y Terciario en el contexto de la evolución de la Cordillera Oriental de Colombia y los Llanos Orientales.

Hebrard (1985) efectuó un estudio geodinámico del Cretácico para el piedemonte de la Cordillera Oriental, entre los Ríos Casanare y Cusiana.

Roa y Rojas (1992) realizaron un trabajo donde evaluaron la capacidad hidrocarburífera de las formaciones Lutitas de Macanal, Une y Chipaque a partir de muestras de afloramiento en la sección Vado Hondo – Pajarito en Boyacá (borde oriental de la Cordillera Oriental de Colombia). En este estudio se evalúa la porosidad y permeabilidad por medio de petrografía para las unidades arenosas mayores; Pirólisis rock – eval, análisis visual de kerógeno con luz reflejada y transmitida, mediciones de madurez de la materia orgánica; porcentaje Ro de vitrinita y bitúmenes sólidos, TAI, Tmax y difracción de rayos X para composición de arcillas.

Ardila (1993) en un informe técnico anual elaboró un documento para el ministerio de minas y energía sobre el contrato de asociación “Recetor” Cuenca Llanos donde se expone una breve reseña sobre la exploración y la geología histórica del Bloque Recetor; además presenta una información geológica y geofísica adquirida por MAXUS.

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La Cordillera Oriental Colombiana morfoestructuralmente corresponde a un amplio y prominente levantamiento con una dirección general NE-SW, limitado en sus flancos oriental y occidental por fallas inversas que buzan hacia el centro de la cadena montañosa. El estilo tectónico general es un sistema doble de cabalgamientos y plegamientos (Figuras 2 y 3), (Rojas, 2002),

El área se caracteriza por la presencia de fallas de cabalgamiento con vergencia al SE esto debido principalmente a eventos compresivos. Las fallas principales dan indicios de corresponder a estructuras preexistentes en el basamento, y que posiblemente tuvieron control en la sedimentación durante el Cretácico y Terciario. Estas fallas de acuerdo a los modelos evolutivos de la cordillera, fueron posteriormente invertidas durante el levantamiento de la Orogenia Andina (Coletta *et al.*, 1990 en Rojas, 2002).

Los elementos estructurales más importantes del área de estudio en el Piedemonte Central son los siguientes (Figuras 2 y 3): Falla de Chámeza, Falla de Pajarito, Falla El Mirador, Falla de Guaicáramo, y la Falla de Yopal San Miguel (Ariana, 2000, Hossack, 1997 en Rojas, 2002); el Sinclinal de Recetor, Sinclinal de Zapatosa (Ariana, 2000) y el Anticlinal de Silvadero-Monserrate, Anticlinal de Monterraló (Ariana, 2000).

Figura 2. Mapa geológico y localización de la travesa y estaciones del área de estudio. Kljm: Fm Lutitas de Macanal, Klip: Intrusivo de Pajarito, Klj: Fm Arenisca de las Juntas, Kljf: Fm Fómeque, Kmu: Fm Une, Kuch: Fm Chipaque, Ksg: Gp Guadalupe, Tpc: Fm Cuervos, Tem: Fm Mirador, Toc: Fm Carbonera, Tml: Fm León, Tmg: Fm Guayabo, Ngc: Fm Caja, TplCor: Fm Corneta, Q: Cuaternario. Tomado de Ecopetrol, 2000.

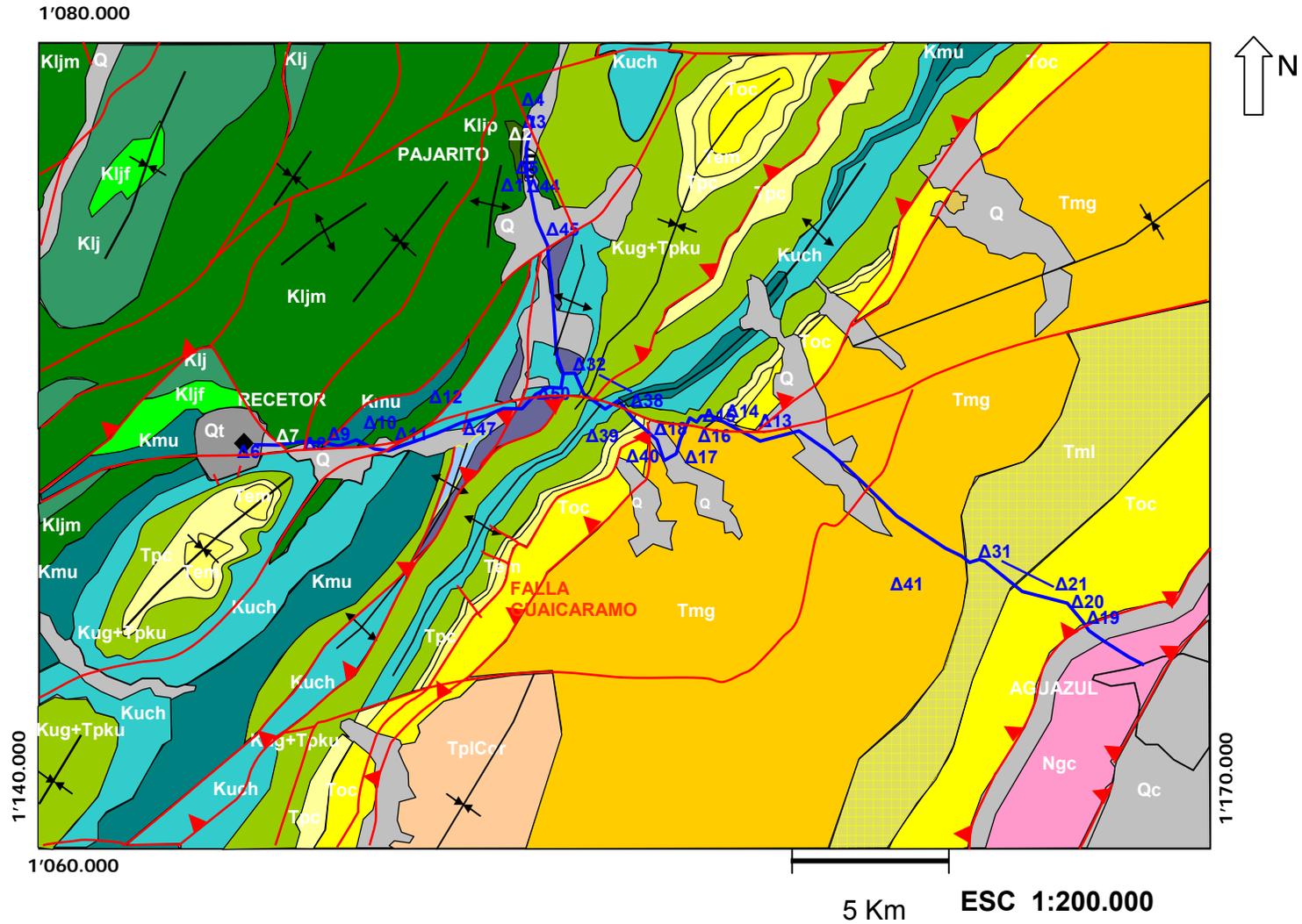
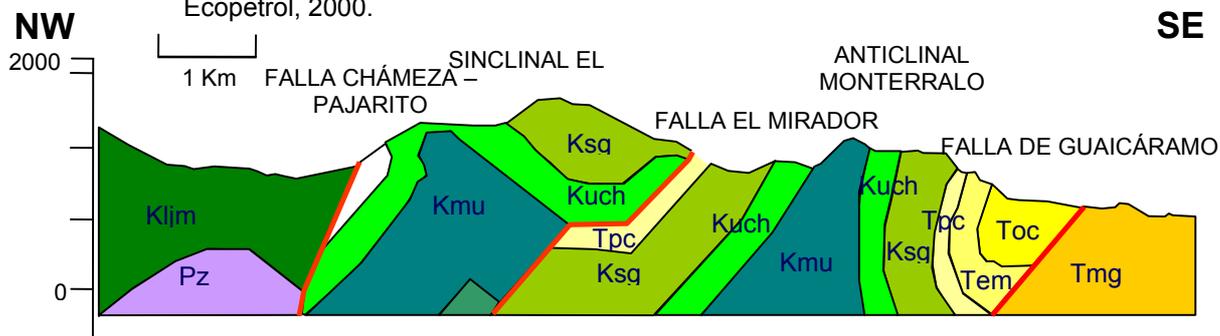


Figura 3. Sección estructural del área de estudio. Convenciones en la figura 2. Tomado de Ecopetrol, 2000.



2.1.1 ESTRATIGRAFIA

La secuencia estratigráfica incluye rocas sedimentarias que registran una historia geológica que va desde el Cretáceo Inferior hasta el cuaternario. La columna estratigráfica generalizada de la Figura 4 está definida con base en afloramientos de superficie y pozos, y se restringe a las unidades productoras de hidrocarburos (Rojas, 2002). Descripciones estratigráficas detalladas para las rocas Cretácicas y Paleógenas aflorantes del Piedemonte se encuentran en Salazar *et al.*, (1997, en Rojas, 2002), para las rocas del Neógeno en el subsuelo en Rojas (2001, en Rojas, 2002). A continuación se hace una breve descripción de las unidades presentes en el área de trabajo:

Grupo Cáqueza (Kic)

Esta unidad fue establecida por Hubach (1957, en Ariana, 1996) para la sección aflorante sobre el trayecto Cáqueza-Guayabetal. En la zona de trabajo está compuesto por las formaciones Lutitas de Macanal y Arenisca de las Juntas.

Formación Lutitas de Macanal (Kljm)

Nombre propuesto por Ulloa y Rodríguez (1976, en Ariana, 1996) para designar el conjunto predominantemente lutítico que aflora en el cañón del Río Batá.

Litológicamente esta constituida por un grueso intervalo de arcillolitas y lodolitas de color gris oscuro a negro, fisiles, y color de alteración rojo ladrillo (Ariana, 2000) y su espesor varia de 800 a 1000 m. (Ariana, 2000). En cuanto a su ambiente de depósito, las lodolitas básicas corresponden a depósitos de plataforma marina (interior o media) mientras que las arenitas superiores registran depósitos en fondos influenciados por la acción del oleaje (anteplaya inferior y superior) (Ariana, 2000). Su edad se ha establecido según Etayo-Serna (1985), como Valanginiano; Ariana (2000), como Barremiano; y Rojas (2002), como Berriasiano-Valanginiano.

Intrusivo de Pajarito (Klip)

Existen evidencias de magmatismo básico durante el Cretácico inferior en la parte central de la Cordillera Oriental (Borde Oriental), representado por apófisis y pequeños diques ígneos básicos en una franja alargada N-S de 1000 m. por 2500 m., al Occidente de la Población de Pajarito, Boyacá según Ulloa y Rodríguez (1976) y que intruyen discordantemente las lutitas y areniscas de la Formación Lutitas de Macanal (Roa y Rojas, 1992). Este tipo de roca corresponde a un Gabro con hornblenda, de textura equigranular, de grano fino a medio, hipidiomórfica granular. Presenta alteración hidrotermal con formación de minerales secundarios como epidota, tremolita, clorita, calcita y sericita (Fabre y Delaloye, 1982). Según Ulloa y Rodríguez (1976) son lamprófiros de variedad espesartita; para Fabre en Roa y Rojas (1992), la roca es un Microgabro con hornblenda y biotita. Fabre y Delaloye (1982), establecieron una edad para el intrusivo según el método K/Ar en Hornblenda de 138.0 ± 10.4 m.a y en roca total de 118.0 ± 6.4 m.a.

Formación Arenisca de Las Juntas (Klj)

Nombre propuesto por Ulloa y Rodríguez (1976, en Ariana, 1996) para designar dos intervalos areníticos separados por uno lutítico, que constituye la parte superior del Grupo Cáqueza. Litológicamente se caracteriza por el predominio de

cuarzo arenitas de grano fino hacia la base y cuarzo arenitas de grano fino a medio hacia el techo, hacia el sur se presentan tres niveles: el inferior y el superior arenoso, y el intermedio arcilloso. Su espesor varia de 400 a 500 m (Ariana, 2000), 670 m (Rojas, 2002). En cuanto a su ambiente de depósito, se tiene que la Formación Arenisca de la Juntas corresponde a un depósito originado por el desarrollo de un delta progradante sobre fondos de depósito más profundos (Ariana, 2000). Su edad se ha establecido según Ariana (2000), como Hauteriviano - Aptiano inferior; y Rojas (2002), como Hauteriviano-Barremiano.

Formación Fomeque (Kljf)

Nombre propuesto por Hubach (1931, en Ariana, 1996) para denominar el conjunto litológico, lutítico que abarca la parte media de la angostura del Río Une y un vasto campo en el triángulo Ubaque-Choachí-Fómeque. Litológicamente esta constituida por arcillolitas con interposiciones de limolitas silíceas, hacia la base calizas clásticas; hacia el techo se presentan interposiciones de cuarzoarenita de grano fino a medio (Ariana, 2000), y su espesor varia de 250 a 350 m. (Ariana, 1996), 300 a 400 m. (Ariana, 2000), 1100 m. (Rojas, 2002). La asociación facial indica un ambiente de depósito no agitado, anóxico, marino, en el cual se acumulaba predominantemente material clástico fino. Las calizas bioclásticas y las capas de arenita indican que este medio era más bien somero. (Ariana, 2000). Su edad se ha establecido según Ariana (1996; 2000) y Rojas (2002) como Aptiano.

Formación Une (Kmu)

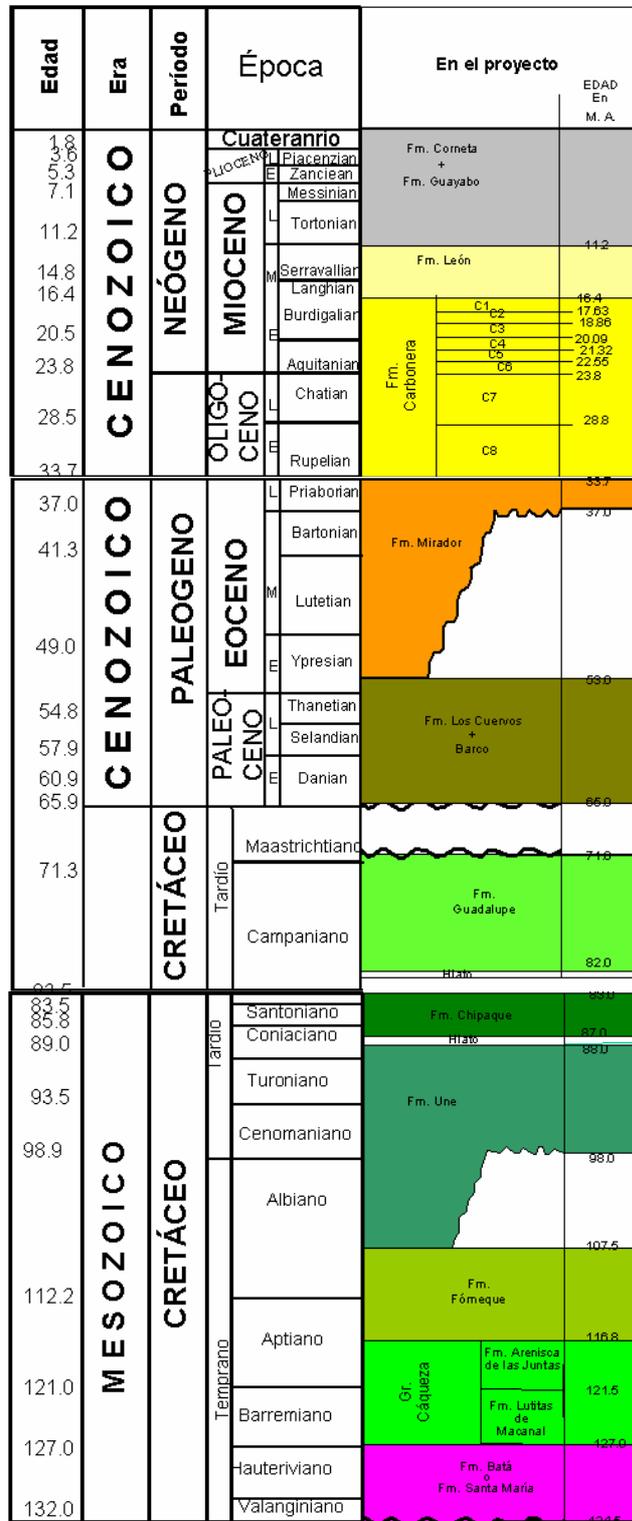
Nombre propuesto por Hubach (1931, en Ariana, 1996) para denominar las arenitas aflorantes sobre la carretera Bogotá-Villavicencio, entre las poblaciones de Chipaque y Cáqueza. Litológicamente se puede dividir en cuatro miembros, el inferior arenoso, el intermedio inferior lutítico, el intermedio superior arenítico y el superior predominantemente lutítico pero con un paquete decamétrico de arenitas

en el techo (Ariana, 2000). Su espesor varía de 600 a 800 m. (Ariana, 2000), de 850 a 1300 m. (Rojas, 2002). En cuanto a su ambiente de depósito, presenta facies litorales deltaicas (Fabre, 1985), marino somero (Daniel, 1990), deltáico progradante sobre depósitos de origen marino (Ariana, 2000), en la región de Sogamoso-Duitama se le asigna una edad Albiano medio – Cenomaniano Renzoni (1976, en Ariana, 2000; Alzate y Bueno, 1994), mientras que en su localidad tipo (Une) y en la región de la Sierra Nevada del Cocúy se extiende desde el Aptiano superior hasta el Cenomaniano inferior (?) (Etayo-Serna, 1985 en Ariana, 1996), y según Ecopetrol (1995), la edad de la Formación corresponde al Cenomaniano .

Formación Chipaque o Gachetá (Kuch)

Nombre propuesto por Miller (1972 en Ariana, 2000) para denominar el conjunto de shale aflorante sobre la carretera Sogamoso-Aguazul, que suprayace a las arenitas de la Formación Une. Litológicamente se diferencian tres tipos de secuencias de litofacies, cada una de las cuales caracteriza un tramo de la unidad: 1. Secuencia de arenitas interpuestas con lodolitas, con tendencia granodecreciente; 2. Secuencia de lodolitas y calizas bioclásticas; y 3. Secuencia de arenitas interpuestas con lodolitas, con tendencia granocreciente (Ariana, 2000). Su espesor es de 300 m. según Ariana (1996); varía de 300 a 500 m. según Ariana (2000), y según Rojas (2002), varía de 100 a 200 m. En cuanto a su ambiente de depósito, esta Formación fue depositada en fondos de plataforma marina abierta, somera a profunda (Ariana, 2000). Su edad se ha establecido según Ecopetrol (1995), como Turoniano tardío a Coniaciano; según Ariana (2000), como Cenomaniano a Coniaciano; según Fajardo (2000), como Coniaciano-Santoniano y según Rojas (2002), como Cenomaniano-Santoniano.

Figura 4. Columna estratigráfica Generalizada. Tomada de Ecopetrol, 2003.



Grupo Guadalupe (Ksg)

El término Guadalupe fue propuesto por Hettner (1892, en Ariana, 1996) y redefinido por Hubach (1931, en Ariana, 1996) como Formación Guadalupe, y Pérez & Salazar (1972, en Ariana 2000) como Grupo Guadalupe. Litológicamente se ha dividido en dos intervalos; el inferior, compuesto principalmente por limolitas silíceas; y el superior compuesto por cuarzoarenitas (Ariana, 2000). Su espesor varía de 300 a 500 m. según Ariana (2000), y de 150 a 300 m. según Rojas (2002). En cuanto a su ambiente de depósito, las facies observadas en esta unidad corresponden a depósitos litorales de origen deltáico: barras de desembocadura de canal y canales distributarios de delta (Ariana, 2000). Su edad se ha establecido según Etayo-Serna (1986, en Ariana, 1996), como Coniaciano Superior a Maastrichtiano Inferior; según Ariana (2000), como Santoniano - Maastrichtiano Inferior; y según Rojas (2002) como Campaniano-Maastrichtiano.

Formación Barco (Tpksb)

Originalmente definida por Notestein *et al.*, (1944, en Ariana, 1996), su Sección Tipo se encuentra en el flanco oriental del Anticlinal de Petrolea, dentro de la Concesión Barco, en el Departamento de Norte de Santander. Litológicamente esta compuesta por areniscas, lutitas y arcillolitas (Ariana, 2000) y su espesor varía de 150 a 200 m. (Ariana, 2000), 100 y 200 m. (Rojas, 2002). En cuanto a su ambiente de depósito, corresponde a depósitos de origen litoral, en particular se interpretan barras estuarinas de desembocadura. Su edad se ha establecido según Ariana (2000), como Paleoceno inferior y según Rojas (2002), como Paleoceno.

Formación Los Cuervos (Tpc)

Es definida por Notenstein *et al.*, (1944, en Ariana, 1996). La Sección Tipo se encuentra en el área de la Concesión Barco; en la quebrada Los Cuervos, afluente del Río Catatumbo. Litológicamente se caracteriza por la presencia de lodolitas y arcillolitas de color gris, moteadas, mantos de carbón, lodolitas carbonosas y arenitas sublíticas de grano fino, cementadas (Ariana, 2000). Su espesor varía de 200 a 300 m. (Ariana, 2000), 100 y 360 m. (Rojas, 2002). En cuanto a su ambiente de depósito, las facies observadas en esta formación permiten inferir un ámbito de llanura costera supramareal “*coastal plain*” y la presencia de mantos de carbón indica un ambiente continental o supralitoral (Ariana, 2000). Su edad se ha establecido según Ariana (2000), como Paleoceno superior a Eoceno inferior y según Rojas (2002), como Paleoceno.

Formación Mirador (Tem)

El nombre fue propuesto por Gardner (1926, en Ariana, 1996) e introducido en Colombia por Notenstein *et al.*, (1944 en Arian, 1996). Procede del Cerro Mirador en la parte alta del Río Lora, al sur del Distrito de Perijá, Estado de Zulia (Venezuela). Litológicamente la Formación Mirador en esta región se compone de tres miembros, el inferior y el superior areníticos y el intermedio lutítico (Ariana, 2000) y su espesor varía de 250 a 300 m (Ariana, 2000), 60 y 270 m (Rojas, 2002). En cuanto a su ambiente de depósito, en conjunto se infiere fluvial en la base, una superficie de transgresión hacia la base del miembro intermedio de la Formación Mirador y el desarrollo de una secuencia progradacional estuarina cuya parte superior corresponde al miembro superior de la unidad (Ariana, 2000). Su edad se ha establecido según Cooper *et al.*, (1994, en Ariana, 1996); Ariana (2000); Rojas (2002), como Eoceno Superior y según Ecopetrol (1998), como Eoceno Temprano en el piedemonte.

Formación Carbonera (Toc)

Término propuesto por Notenstein *et al.*, (1944, en Ariana, 1996). El nombre deriva de la quebrada Carbonera, afluente del Río Zulia, en el Anticlinal de Petrolea (Concesión Barco). Este término también se ha empleado tradicionalmente en la Estratigrafía del Terciario de los Llanos Orientales. Tradicionalmente se ha subdividido en ocho intervalos alternantes lutíticos y areníticos, que corresponden a las secuencias T40 a T70 de Cooper *et al.*, (1994, en Ariana, 1996) y de base a techo se denominan: C8, C7, C6, C5, C4, C3, C2 y C1. Litológicamente se caracteriza por presentar intercalaciones de secuencias granocrecientes de paquetes de lodolita-arenita de grano fino a medio, en algunos miembros arcillosos se presentan arcillolitas de color gris claro con moteado de parches rojizos, delgados horizontes carbonosos y horizontes con gasterópodos, la secuencia se presenta en la columna esquemática (Ariana, 2000). Su espesor es de 1300 m. (Ariana, 2000) y este disminuye de sur a norte entre 600 y 1500 m (Rojas, 2002). En cuanto a su ambiente de depósito, se interpreta como una secuencia de facies originada por la progradación de barras de bocas de estuario sobre depósitos arcillosos acumulados en un fondo marino somero posiblemente restringido (bahía). Su edad se ha establecido según Ariana (2000); Fajardo (2000) y Rojas (2002) como Oligoceno a Mioceno inferior.

Formación León (Tml)

El nombre proviene de la Quebrada León, afluente del Río Zulia, en el Anticlinal de Petrólea (Concesión Barco). Fue definido por Notenstein *et al.* (1944, en Ariana, 1996). Este término ha sido de común uso también en el Terciario de los Llanos Orientales. Litológicamente esta compuesta por un importante conjunto de shale arcillolítico y lodolítico en la parte inferior, y un importante intervalo compuesto por arenitas cuarzosas y arcillolitas en la parte superior (Ariana, 2000). Su espesor varía de 400 a 800m (?) (Ariana, 2000), 300 a 600m (Rojas, 2002). En cuanto a su

ambiente de depósito, los arreglos granocrecientes se interpretan como parasecuencias progradacionales de fondos sublitorales y litorales en un ambiente estuarino (Ariana, 2000). Su edad se ha establecido según Ariana (1996), como Mioceno Inferior a Medio; según Ariana (2000), como Mioceno Inferior y según Fajardo (2000); Rojas (2002), como Mioceno Medio.

Formacion Guayabo (Tmq)

El nombre proviene del Cerro Guayabo en el Distrito Colón de Venezuela. Fue introducido en Colombia por Notenstein *et al.* (1944, en Ariana, 1996) sin referir ninguna sección tipo en particular. Es también un término de común uso en la Estratigrafía del Terciario de los Llanos Orientales. Litológicamente se caracteriza por lodolitas y arcillolitas abigarradas, arenitas cuarzosas de grano medio; e interposiciones de capas lenticulares de conglomerados arenosos de guijos y cantos hacia la parte alta de la unidad (Ariana, 2000). Es un depósito molásico asociado con el levantamiento de la Cordillera Oriental (Rojas, 2002). Su espesor varía de 1500 a 2500 m (Ariana, 1996), de 500 a 800 m (Ariana, 2000), alcanza los 600 m en el eje del Sinclinal de Zamaricote (Rojas, 2002). Su ambiente de depositación, corresponde a grandes abanicos aluviales (Rojas, 2002). Su edad se ha establecido según Ariana (2000), como Pleistoceno y según Rojas (2002), como Mioceno Superior.

2.1.2 Modelo de evolución tectónica

La evolución tectónica de la Cordillera Oriental y zonas adyacentes está caracterizada por múltiples estados de evolución de una cuenca Mesozoica, relacionada a la historia de evolución geodinámica de la esquina noroccidental de Sudamérica, durante ese tiempo y posteriormente en el Cenozoico (Figura 5).

Durante el Triásico-Jurásico y Cretácico temprano, el extremo noroccidental del continente suramericano fue afectado por un evento expansivo “rifting”, asociado a la separación del Norte y Sudamérica y al desarrollo de un margen activo en el occidente con el establecimiento de un arco magmático, representado por un extenso cordón de plutones calcoalcalinos localizado en el flanco oriental de la actual cordillera central (McCourt *et al.*, 1984). Como resultado de este evento se crea una gran zona de extensión en la parte posterior del arco Cuenca de “back – arc”, donde se desarrollaron depocentros controlados por fallas normales y se depositaron sedimentos volcanoclásticos y carbonáticos poco profundos (Montgomery, 1992 en Ecopetrol, 1999).

Para este tiempo, en el área de la actual Cordillera Oriental se crearon dos grandes depocentros, la cuenca del Cocuy al este y la cuenca de Tablazo-Magdalena al oeste, separadas por el paleoalto del Macizo de Santander-Floresta (Etayo *et al.*, 1969; Fabre, 1987 en Ecopetrol, 1999). Estas cuencas actuaron como grabens subsidentes durante el Cretácico temprano. Posteriormente, el avance de la placa de Farallón ocasionó la acresión del complejo ofiolítico occidental a lo largo de la sutura de Romeral.

Durante el Albiano, en la zona de back – arc, se establece una expansión de las condiciones marinas en la actual zona del Valle Medio del Magdalena y Llanos Orientales, donde se presenta un cambio gradual de espesor y de facies en las unidades estratigráficas. Esto sugiere el desarrollo de una fase posterior a la expansión subsidencia termal “post-rift” que dominó la historia de evolución durante la mayor parte del Cretácico (Cooper *et al.*, 1995).

Durante el Cretácico tardío ocurre el primer evento compresivo contemporáneo con el levantamiento de la Cordillera Central, este evento probablemente afecta gran parte del sector occidental de la cordillera, generando zonas estructuralmente

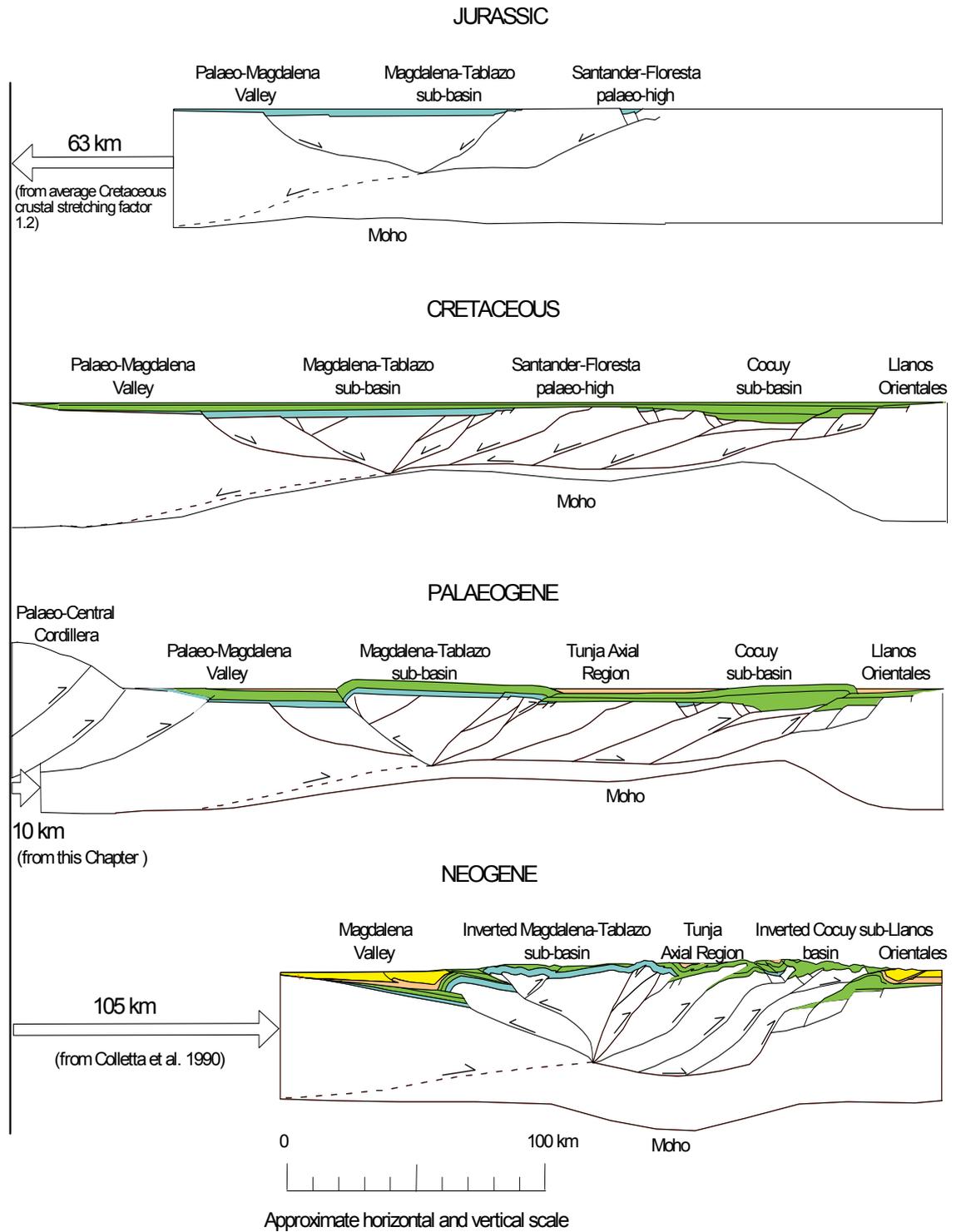
altas que controlaron la depositación de los sedimentos del Terciario inferior y al mismo tiempo sirvieron de zonas de aporte de sedimentos.

Durante el Mioceno ocurre un nuevo evento compresivo que configuraría el estado de deformación actual de la cordillera; durante este evento algunas antiguas fallas normales fueron invertidas y se generaron nuevas fallas inversas involucrando basamento. Como producto de esta deformación la carga litostática creó el espacio para la acomodación de gruesas secuencias molásicas en la cuenca tipo foreland de los llanos y en la cuenca intermontana del Valle Medio del Magdalena.

Durante la compresión Cenozoica, la deformación fue dominada por la inversión, que dio como resultado la reactivación de las antiguas fallas normales y adicionalmente la formación de nuevas fallas inversas dentro del basamento (Colleta *et al.*, 1990; Cooper *et al.*, 1995; Linares, 1996).

La evolución Terciaria de la Cordillera Oriental y áreas adyacentes está caracterizada por el desarrollo de un sistema de cuencas tipo foreland, posiblemente relacionadas con el estado final de acreción de la Cordillera Occidental (McCourt *et al.*, 1984; Cooper *et al.*, 1995). Los ejes deposicionales de estas cuencas se localizaron inicialmente en los Valles Medio y Superior del Magdalena y con el tiempo migraron a la actual área de la Cordillera Oriental (Ecopetrol, 1999).

Figura 5. Sección esquemática que sugiere la evolución tectónica de la Cordillera Oriental del Mesozoico al Neógeno. Tomado de Cooper *et al.*, (1995, en Sarmiento, 2001).



3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE FRACTURAS

3.1.1 Consideraciones previas

La información que se presenta a continuación es una recopilación del libro “Geología estructural y dinámica global” publicado por Martínez (2001).

En geología se llama fractura a una discontinuidad planar o curvilinear que se forma como resultado de un proceso de deformación frágil en la corteza terrestre.

El estudio y la clasificación de fracturas se basa en una serie de modelos teóricos o criterios de fracturación que describen las condiciones del estado de esfuerzos bajo el que se originan los distintos tipos de fracturas.

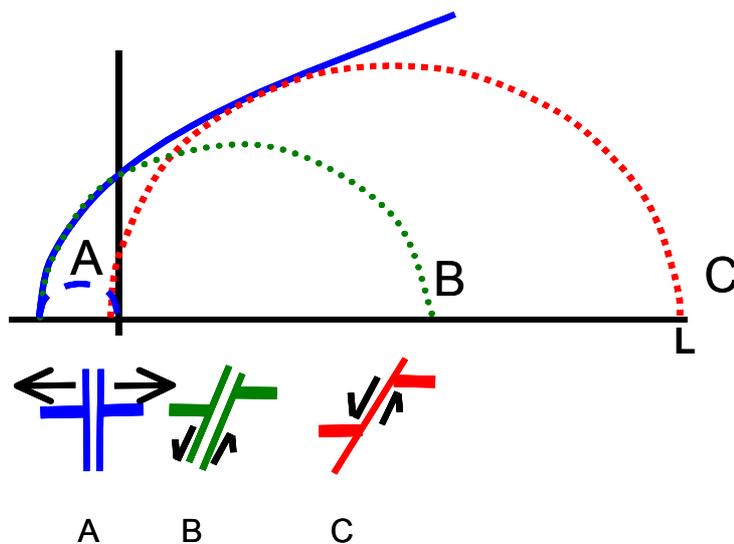
Uno de los modelos mencionados es el llamado Criterio de Navier-Coulomb que hace referencia a las fracturas de cizalla. Este criterio afirma que las rocas se fracturarán según un plano en el que el esfuerzo de cizalla supera la resistencia a la rotura de la roca y en el que además pueda vencerse la fuerza de rozamiento que se opone al deslizamiento de los dos bloques de falla. Las fracturas que se originan son las llamadas fracturas de cizalla.

Para condiciones en las que además existan esfuerzos tensionales, las fracturas responden al criterio de Griffith, modelo que además tiene en cuenta la existencia de imperfecciones en la roca (huecos, poros, microfracturas, etc) en cuyos extremos se producen concentraciones de esfuerzos tensionales aproximadamente perpendiculares al esfuerzo principal mayor (σ_1). Este criterio

predice la formación de fracturas de tensión bajo la actuación de un estado de esfuerzo triaxial en el que al menos uno de los esfuerzos principales es de tensión. Tales fracturas son perpendiculares al menor esfuerzo principal.

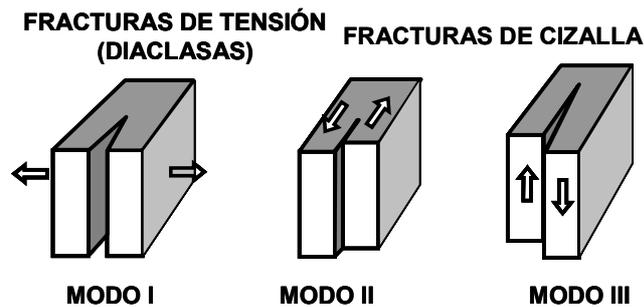
Teniendo en cuenta todas estas consideraciones y a partir de numerosos experimentos de laboratorio, se creó la llamada envolvente de Mohr o curva intrínseca que es la curva de fracturación empírica en la que se pueden separar los posibles estados de esfuerzo bajo los que se originan, para cada roca, los distintos tipos de fracturas. La roca se fracturará cuando esté sometida a un campo de esfuerzos representado por un círculo de Mohr que sea tangente a un punto de dicha curva, de manera que se pueden originar tres tipos de fracturas: fracturas de tensión, de cizalla y mixtas (Figura 6), siendo el campo de las fracturas de tensión, el que representa un estado de esfuerzos apropiado para la formación de las diaclasas.

Figura 6. Envolvente de Mohr (o curva intrínseca) y los campos en los que se originan cada una de los diferentes tipos de fracturas, así como la magnitud de los esfuerzos necesarios en cada caso. Observar que las diaclasas (fracturas de tensión) se formarían sólo cuando el círculo de Mohr es tangente a la curva en el campo (A), donde sólo hay esfuerzos de tensión, mientras que en los campos B y C, se forman fracturas tensionales transicionales y de cizalla respectivamente. Tomado de Martínez, (2001).



Se pueden distinguir varios tipos de fracturas dependiendo del movimiento relativo que tiene lugar entre las rocas situadas a un lado u otro de la misma; se distinguen tres tipos de fracturas de acuerdo con el tipo de movimiento (Figura 7):

Figura 7. Tipos de fracturas según clasificación de Anderson, 1953; (Tomado de Martínez, (2001).



Fracturas de tensión (Modo I).- El movimiento es perpendicular a la superficie de fractura (Diaclasa).

Fracturas de cizalla (Modo II).- El movimiento es paralelo a la superficie de fractura y perpendicular al borde de propagación de la misma (Falla).

Fracturas de cizalla (Modo III).- El movimiento es paralelo a la superficie de fractura y también paralelo al borde según el que se propaga la misma (Falla).

Consideraciones teóricas sobre las diaclasas

Se define una diaclasa como una discontinuidad planar visible a escala mesoscópica que separa dos cuerpos rocosos sin que se aprecie un movimiento de cizalla (Bankwithz, 1966, en Martínez, 2001). Dependiendo de las rocas en que las diaclasas se produzcan tienen una orientación general determinada.

Las diaclasas se propagan durante un proceso de fractura continuo o mediante una serie de rupturas sucesivas. A menudo se reconocen en familias con espaciados regulares que pueden ser reconocidos en áreas con poca

deformación (Nickelsen y Hough, 1967), aunque en otras ocasiones, pueden tener un espaciado irregular (Segall, 1984).

Además de esto se debe recordar algún concepto de la génesis de fracturas frágiles para poder entender las causas y los mecanismos que operan en la génesis y propagación de estas estructuras. Se sabe que una fractura de tensión se genera a partir de un punto en el cual existe un defecto en la roca, denominado grieta de Griffith, y que a partir de su inicio esta crece siempre que se cumpla la condición de que:

$$KI = \sigma t Y (\pi c)^{1/2}$$

donde:

KI es el factor de intensidad de esfuerzo para fracturas de extensión (Modo I).

σt es el esfuerzo tensional remoto.

Y es una variable adimensional que es función de la forma de la fractura.

c es la semilongitud de la fractura.

Cuando aumenta el esfuerzo tensional remoto (σt), KI alcanza un valor crítico, la resistencia a la fractura, que es un parámetro propio de cada material y que, una vez alcanzado, permite que la fractura se propague. Esta fórmula también nos indica que cuanto mayor sea la fractura (c) menor será el esfuerzo necesario para alcanzar los valores críticos de KI y, por tanto, más fácil será que se propague.

Geometría de las diaclasas

La manera de describir una diaclasa desarrollada en un medio isótropo, con la geometría más simple posible, es decir que tiene la forma de una moneda (Figura 8) en la cual, la dirección perpendicular a la fractura es el eje y, y los ejes x y z son paralelos a la misma. Este tipo de fracturas se originan en un punto y se propagan en todas las direcciones de manera radial. Otra convención usada es que el eje X

es la dirección en que la fractura se propaga en el caso de que la propagación no se realice de forma radial.

Otros parámetros que se utilizan para describir las fracturas de extensión son la apertura y la longitud, tal y como se muestra en la Figura 9. Las diaclasas se caracterizan por tener aperturas pequeñas en relación con las longitudes.

En el caso de rocas anisótropas, como pueden ser las rocas sedimentarias estratificadas, las diaclasas se propagan, desde su inicio de manera radial hasta que algunos de sus puntos alcanza un límite de capa, un plano de estratificación que sirva como una barrera a la propagación de la fractura. Si los planos de estratificación están relativamente próximos, se impedirá la propagación de la fractura en dirección perpendicular a las capas, mientras que la fractura puede continuar creciendo en una dirección contenida en los planos de estratificación. Este hecho condiciona que las diaclasas en rocas sedimentarias tengan una geometría que se aleja de la forma de moneda, y que por el contrario adquieren una geometría de lámina o cuchilla "*blade*" como se representa en la Figura 9.

Figura 8. Geometría de una fractura con forma de moneda y sistema de referencia utilizado. Tomado de Martínez, (2001).

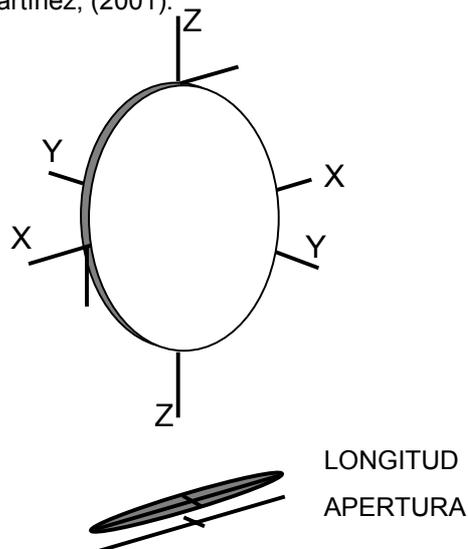
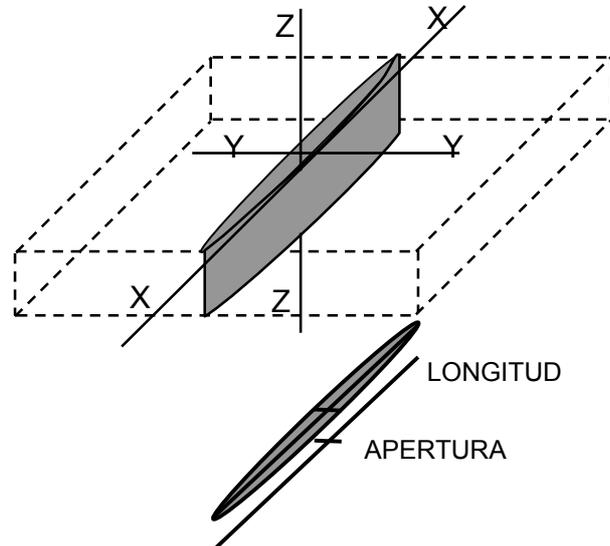


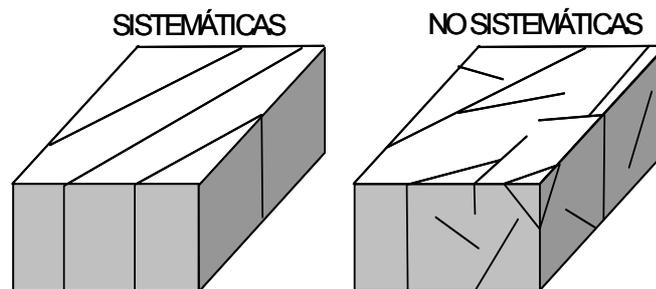
Figura 9. Geometría de una fractura con forma de cuchilla y sistema de referencia utilizado. Tomado de Martínez, (2001).



Asociaciones de diaclasas.

Una característica bien establecida acerca de las diaclasas es el hecho de que no aparecen aisladas, sino que siempre se encuentran en grupos que pueden ser sistemáticas o no. De esta manera, las diaclasas sistemáticas son aquellos grupos de diaclasas que son paralelas o subparalelas unas a otras y mantienen un espaciado aproximadamente regular entre ellas como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Diaclasas sistemáticas y no sistemáticas. Tomado de Martínez, (2001).



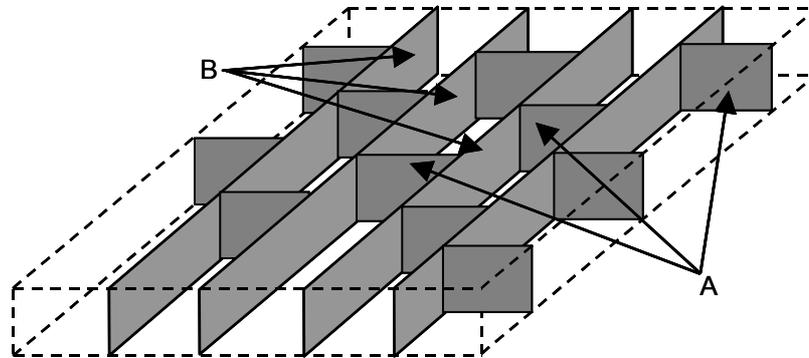
No hay una regla que determine cual es el espaciado mínimo o máximo para considerar sistemáticas a una serie de diaclasas. Por otro lado, las diaclasas no sistemáticas son menos planares que las sistemáticas, tienen una distribución espacial irregular, no son paralelas a otras diaclasas vecinas y pueden terminar contra otras diaclasas que las rodean. Tanto las diaclasas sistemáticas, como las no sistemáticas pueden darse en el mismo afloramiento.

Desde el punto de vista de las relaciones que tienen las diaclasas con sus vecinas se pueden diferenciar, además, familias de diaclasas y sistemas de diaclasas (no se deben confundir con diaclasas sistemáticas). Las familias de diaclasas son un grupo formado por todas las diaclasas sistemáticas que aparecen en una región. Cuando existen dos o más familias de diaclasas que se intersectan formando ángulos más o menos constantes se denominan sistemas de diaclasas. Un sistema de diaclasa solo se refiere a la relación espacial entre las distintas familias de diaclasas y no a sus posibles relaciones genéticas.

Relaciones temporales entre diaclasas.

La existencia de distintas familias de diaclasas dentro de un sistema hace pensar en las relaciones temporales posibles entre ellas. Por ejemplo, si las diaclasas de la familia A de la Figura 11 terminan contra las de la familia B de la forma ilustrada en dicha figura, se puede asegurar que las diaclasas de la familia A son posteriores a las de la familia B. En efecto, una diaclasa no puede propagarse a través de una superficie libre. Es decir, una superficie sin cohesión como es una diaclasa previa. Otra característica de los sistemas formados por familias de diaclasas que no son simultáneas es que, cuando no son ortogonales las diaclasas formadas más tarde tienden a curvarse bien poniéndose perpendiculares o bien paralelas a las diaclasas maestras.

Figura 11. Relaciones entre diaclasas maestras (B) y diaclasas cruzadas (A); sin escala. Tomado de Martínez, (2001).



Espaciado de diaclasas.

Uno de los aspectos relacionados con las diaclasas más importante es el hecho de que las mismas se generan, si son sistemáticas, con espaciados uniformes que son fácilmente reconocibles en los afloramientos, y se conoce con el nombre de espaciado que equivale a la distancia media entre las diaclasas contiguas, medida en la dirección perpendicular a su superficie.

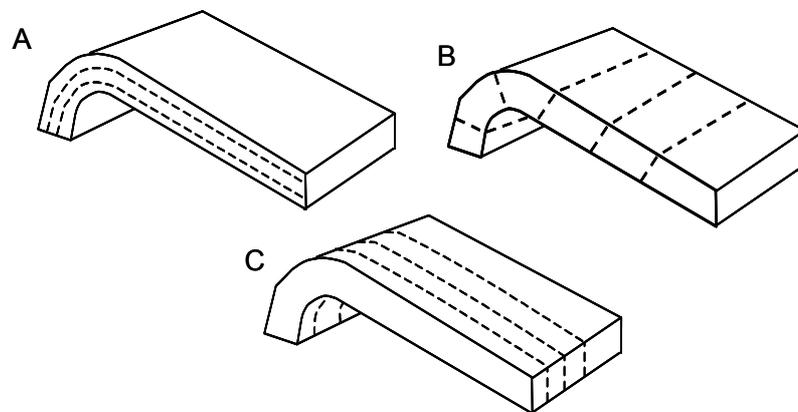
Origen e interpretación de las diaclasas.

Una vez descritas las diaclasas se pueden aproximar los procesos que las originan y, por lo tanto, intentar inferir el significado de las mismas. Uno de los hechos a tener siempre en cuenta durante el estudio de estas estructuras es el hecho de que un sistema de diaclasas puede estar formado por varias familias de diaclasas que se hayan formado en distintas situaciones o que respondan a variaciones locales de los campos de esfuerzos. Existen ciertos procesos bien conocidos que dan lugar a la génesis de diaclasas, las cuales se describen a continuación.

La clasificación de diaclasas relacionadas con pliegues más común es la que propone Hancock (1985) que se muestra en la Figura 12. En dicha figura se

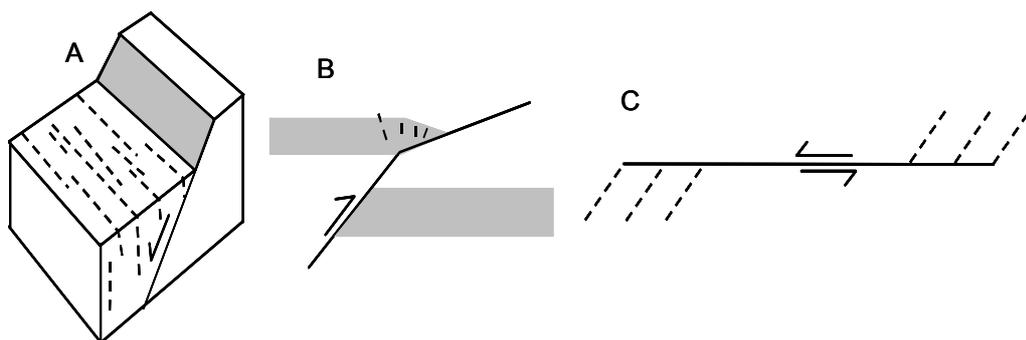
identifican 3 tipos de diaclasas dispuestas de manera simétrica respecto a la estratificación y al eje del pliegue, aunque de todas ellas las más comunes son aquellas normales al eje del pliegue (debidas a la extensión paralela al mismo) y las paralelas al mismo y perpendiculares a la estratificación, generadas en el estrados de los pliegues (originadas por los esfuerzos tensionales que se generan durante el proceso de plegamiento de una capa).

Figura 12. Relación entre diaclasas y pliegues. Tomado de Hancock, (1985 en Martínez, 2001).



Respecto a las fallas, se describen tres tipos de diaclasas relacionadas con ellas y que se muestran en la Figura 13.

Figura 13. Relación de las diaclasas con las fallas inversas, normales y de desgarre. Tomado de Martínez, (2001).



A.- Aquellas diaclasas relacionadas con el mismo campo de esfuerzos en que se esta generando la falla.

B.- Aquellas que estan asociadas a las tensiones locales que puedan estar relacionadas con los movimientos de los bloques separados por las fallas.

C.- Diaclasas generadas en relación a los esfuerzos tensionales que se producen localmente durante el movimiento de la falla (Gross *et al.*, 1997, en Martínez, 2001).

La consecuencia más importante que de todo esto se deduce, es que las diaclasas son indicadores de la orientación del campo de esfuerzos existente durante el momento de su propagación.

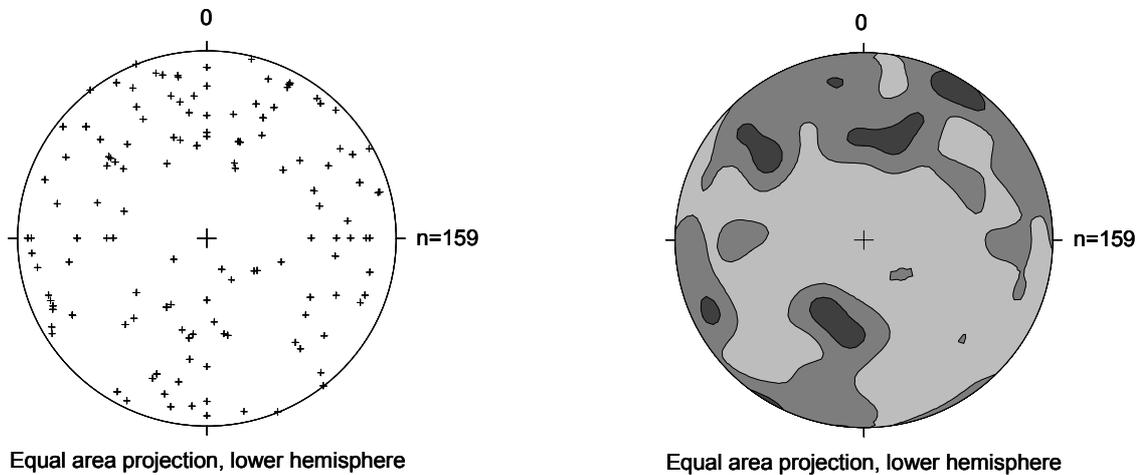
3.1.2 Estudio de las características geométricas de las fracturas

Orientación

Durante la fase de campo en la transecta fueron tomadas 159 datos estructurales de los planos de diaclasas, en un total de 50 deltas (Anexo A y Figura 2). Estos datos fueron sometidos a un proceso estadístico en los programas Excel y Stereonett 2.46 (Duyster, 2000) y luego fueron comparados con los datos tomados sobre las venas de cuarzo y calcita, para tener un modelo acerca del diaclasamiento y el relleno de aperturas en la zona de trabajo.

Si las orientaciones de los 159 datos de diaclasas se grafican en un estereograma (Figura 14) la obtención de los patrones es un tanto difícil por lo que se procede a dividir los datos por provincias estructurales para así determinar mejor los patrones en las estructuras.

Figura 14. Proyección estereográfica y densidad de contornos de la totalidad de los datos de diaclasas (159).



La organización y el tratamiento estadístico de la totalidad de los datos estructurales recolectados en la fase de campo, se llevó a cabo en el programa Stereonett 2.46 (Duyster, 2000) con el fin de determinar los principales patrones de fracturamiento en la zona. Para diaclasas, venas y fallas se grafican diagramas de rosetas y su respectiva densidad de contornos en Stereonett 2.46; también se ha hecho una comparación entre los diferentes diagramas para diaclasas y venas para cada provincia estructural. La estadística descriptiva para la totalidad de los datos de diaclasas se presenta en el Anexo C.

Las interpretaciones del trabajo se basan en comparaciones realizadas entre los diagramas de rosetas y de densidad de contornos, de diaclasas, venas, estratificación y de las grandes estructuras del área.

Los diagramas de rosas y de contornos se realizaron con una proyección tipo igual área, vista desde el hemisferio inferior con un radio de círculo del 10%. Para determinar las orientaciones de los diagramas de contornos se empleó una resolución de grilla del 30% y utilizando el método de conteo Gaussiano; también

se realizó una estadística descriptiva para cada uno de los datos de las provincias estructurales en cuanto a las diaclasas, venas y la estratificación (Anexo C).

Provincias estructurales

La zona de trabajo fue dividida de NW a SE en 4 provincias estructurales teniendo en cuenta diferentes factores como el patrón estructural de las principales fallas, anticlinales, sinclinales y la estratificación de la zona (Figura 15).

Pajarito – Mirador

Esta provincia estructural se encuentra ubicada entre la Falla de Pajarito en la localidad del mismo nombre y la Falla El Mirador cerca a la población de San Benito (Figura 15). Presenta las Formaciones Lutitas de Macanal, Fόμεque, Une, Chipaque y el Intrusivo de Pajarito (Figura 2). En esta provincia fueron tomados 42 datos de diaclasas, 5 de venas y 10 de estratificación, sus respectivos diagramas de rosetas y contornos se encuentran en las Figuras 16, 17 y 18.

Figura 15. Mapa estructural donde se muestra la localización de las provincias estructurales y sus deltas (Tomado de Ecopetrol, 2000).

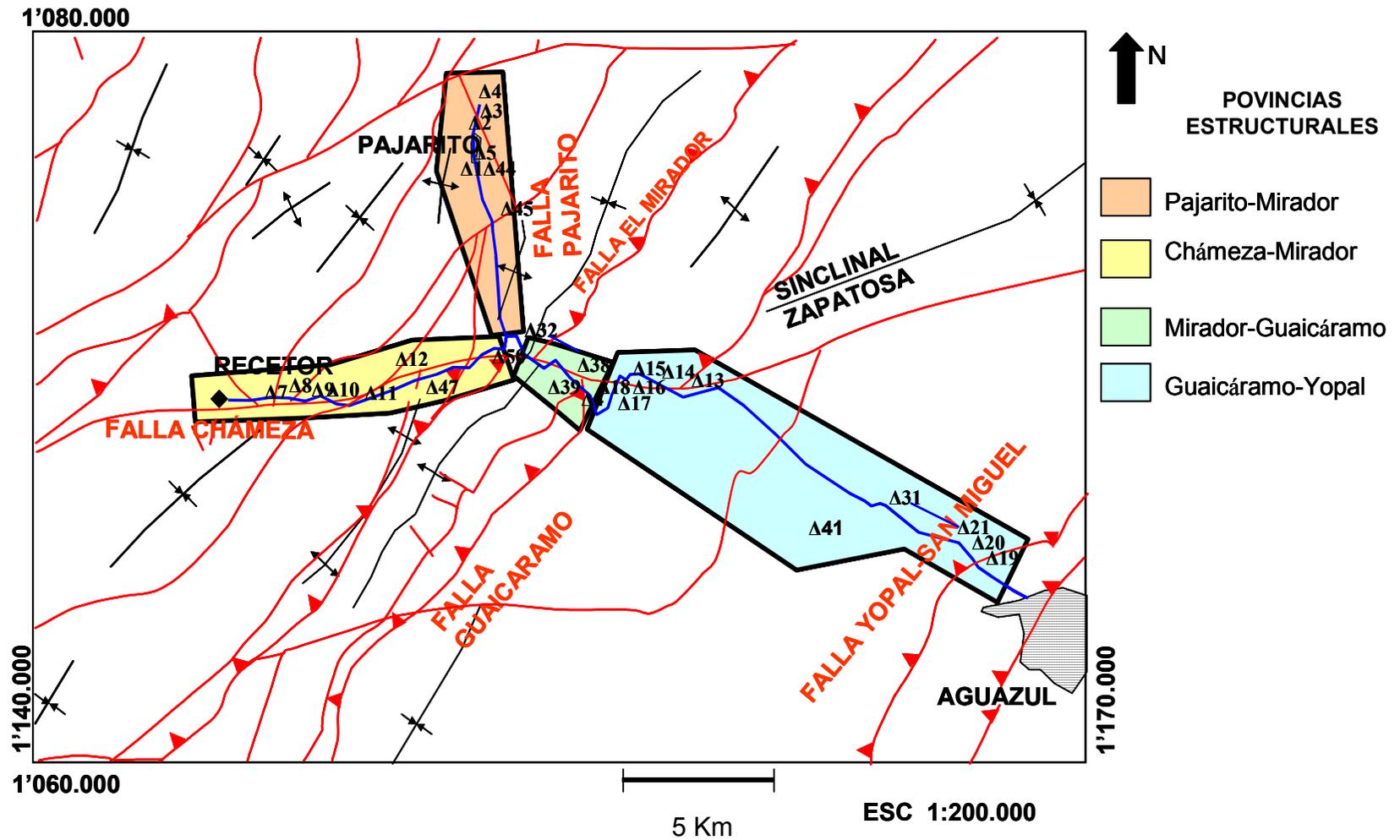
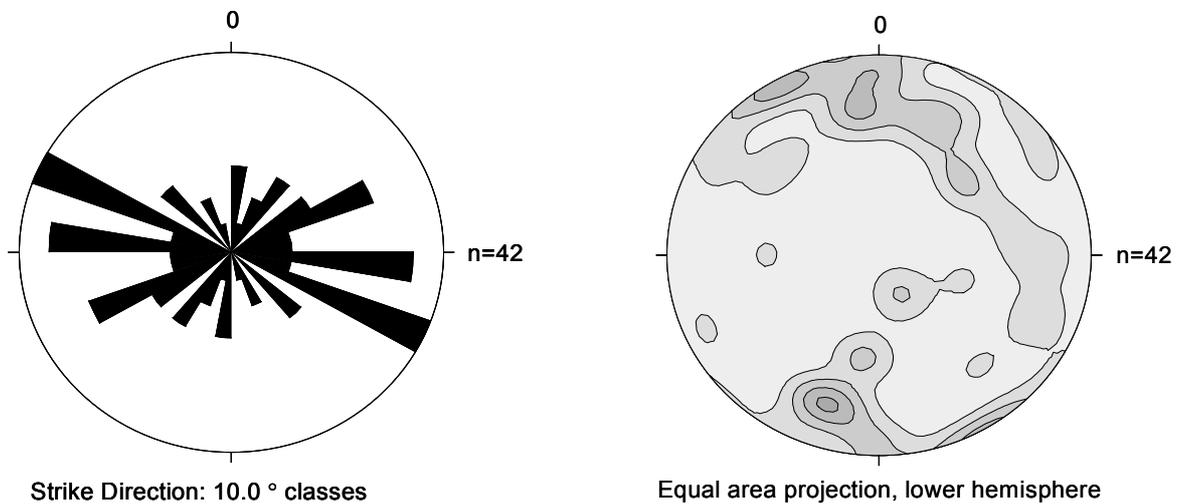
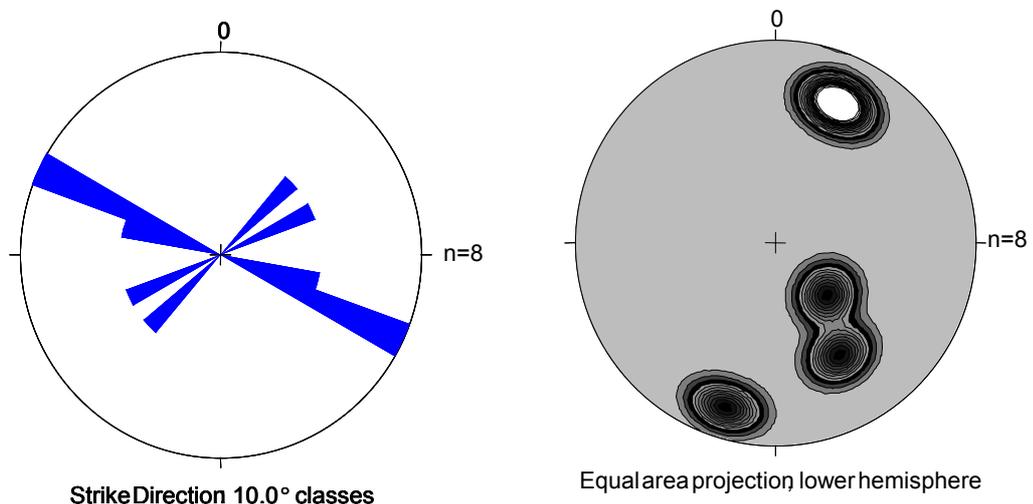


Figura 16. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de diaclasas en la provincia estructural Pajarito – Mirador N60W/70NE, E-W/75S y N60E/80SE.



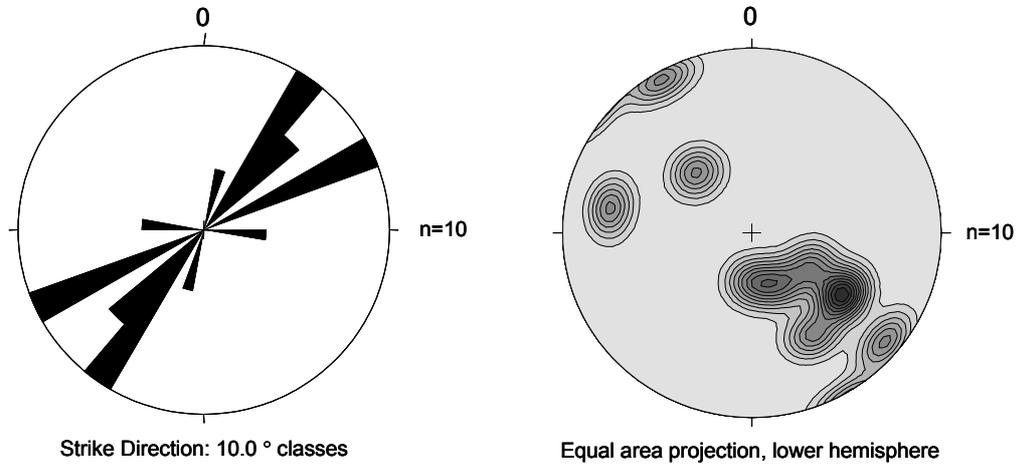
Para esta provincia se observan tres patrones estructurales predominantes de familias de diaclasas, la primera familia de N60W/70NE, la segunda de E-W/75S y la tercera de N60E/80SE (Figura 16).

Figura 17. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de venas en la Provincia estructural Pajarito – Mirador. N60W/75SW, N70W/80NE, N40E/30NW y N60E/50NW.



Para el caso de las venas se destacan cuatro patrones estructurales que son N60W/75SW otra con N70W/80NE, la tercera con N40E/30NW y la cuarta N60E/50NW (Figura 17).

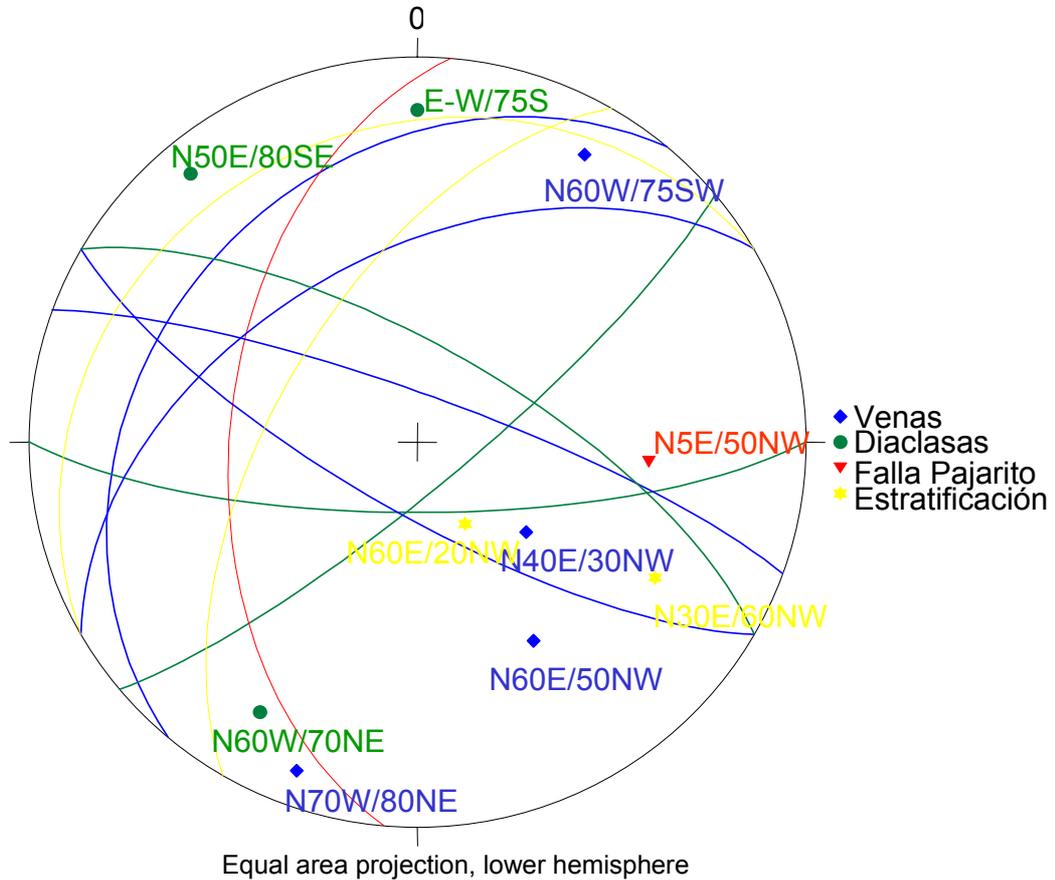
Figura 18. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de estratificación en la provincia estructural Pajarito – Mirador. N30E/60NW y N60E/20NW.



Para la estratificación se observan dos patrones estructurales predominantes que son N30E/60NW y N60E/20NW (Figura 18).

En la Figura 19 se observa que las familias de diaclasas N50E/80SE está a 45° de la orientación de la falla de Pajarito N5E/50NW (Rojo); mientras que la familia de diaclasas E-W/75S es perpendicular a la falla, lo cual indica que estas familias están relacionadas con la formación de la Falla de Pajarito en la Orogenia Andina y la familia de diaclasas N60W/70NE no se encuentra relacionada a la falla, lo que indica que es un patrón formado antes de la generación de la Falla de Pajarito. También se observa que las familias de venas N60W/75SW y N70W/80NE no están relacionadas con la falla. Mientras que las familias de venas N60E/50NW y N40E/30NW si están relacionadas con la formación de la Falla de Pajarito por estar a 45° de ésta. Por último, se observa que estas familias de diaclasas y venas no están relacionadas con la estratificación de orientaciones N60E/20NW y N30E/60NW.

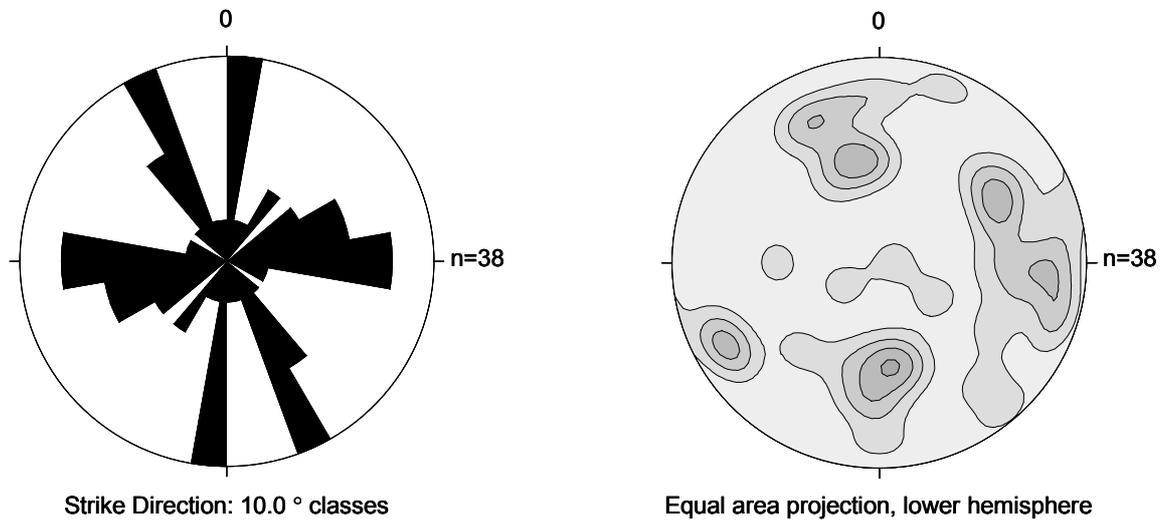
Figura 19. Diagrama comparativo entre diaclasas, venas, estratificación y la Falla de Pajarito para la provincia estructural Pajarito – Mirador.



Chámeza – Mirador

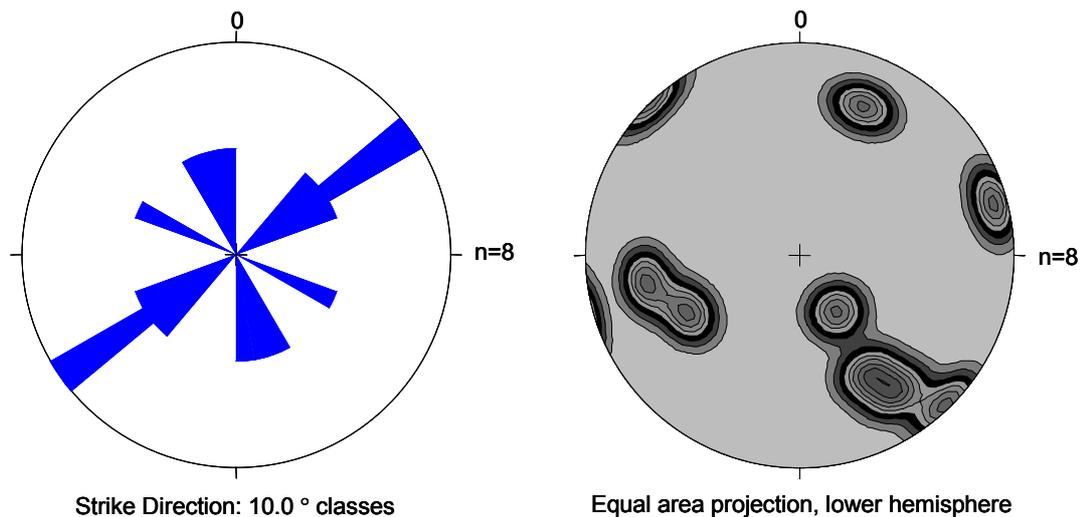
Esta provincia estructural se encuentra localizada entre la Falla de Chámeza-Pajarito en la población de Recetor y la Falla El Mirador cerca a la población de San Benito. Comprende las Formaciones Lutitas de Macanal, Une y Chipaque (Figura 2). En esta provincia se tomaron 38 datos de diaclasas, 8 de venas y 12 de estratificación (Figuras 20, 21 y 22).

Figura 20. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de diaclasas de la provincia estructural Chámeza – Mirador. N20W/70SW, N-S/80W, N80E/60SE y E-W/60N.



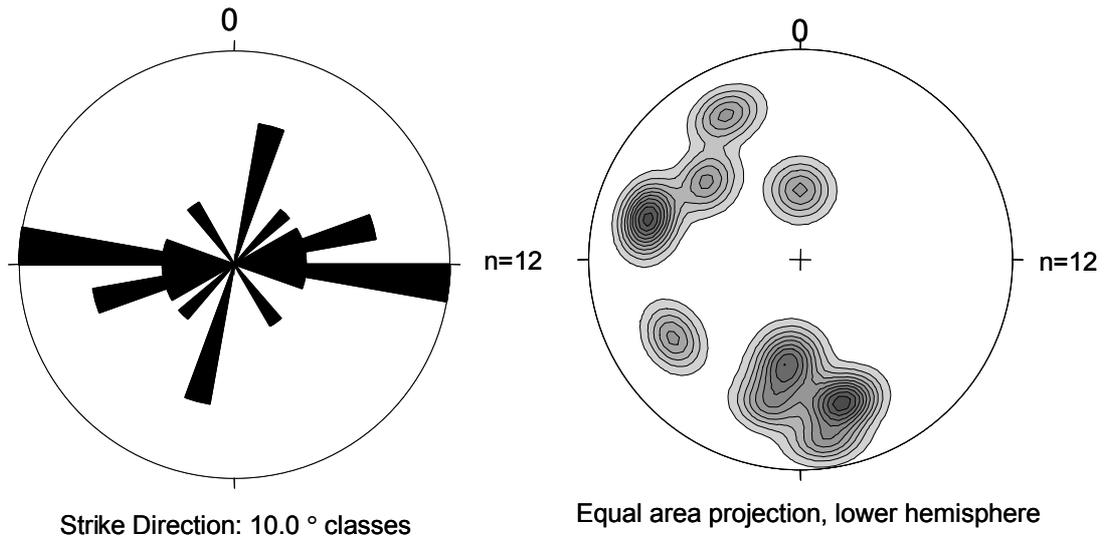
Para esta provincia se observan cuatro patrones estructurales predominantes de familias de diaclasas, la primera de N20W/70SW, la segunda N-S/80W, la tercera de N80E/60SE y la cuarta de E-W/60N (Figura 20).

Figura 21. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de venas tomados en la provincia Chámeza – Mirador. N50E/70NW; N20W/65NE, N10W/85SW y N60W/80SW.



En el caso de las venas predominan cuatro patrones estructurales que son N50E/70NW; N20W/65NE, N10W/85SW y N60W/80SW (Figura 21).

Figura 22. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para los datos de estratificación de la provincia estructural Chámeza – Mirador. E-W/50N, N70E/70NW y N10E/75SE

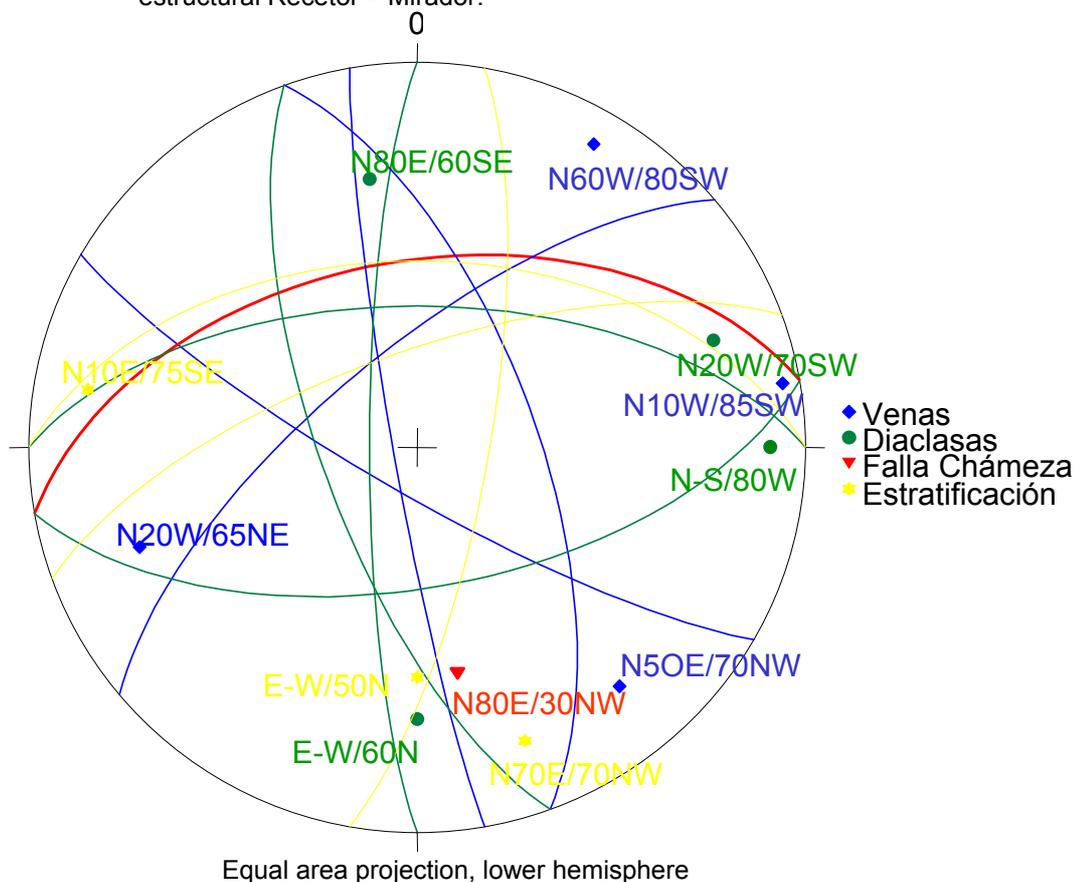


Para la estratificación en esta provincia estructural se observan tres patrones estructurales predominantes; el primero de E-W/50N, el segundo de N70E/70NW y el tercero de N10E/75SE (Figura 22).

En esta provincia estructural se observa una relación paralela entre las familias de diaclasas N80E/60SE y E-W/60N (Verde) y la Falla de Chámeza N80E/30NW (Rojo); mientras que las familias de diaclasas N20W/70SW y N-S/80W son perpendiculares a la Falla de Chámeza N80E/30NW (Rojo); las familias de venas N20W/65NE y N10W/85SW (Azul) también son perpendiculares a la Falla de Chámeza lo que indica que las anteriores familias de diaclasas y venas están relacionadas con la formación de esta falla igual que la familia de venas N60W/80SW que está a 45° de la falla. Mientras que la familia de venas N50E/70NW no se encuentra relacionada con la Falla de Chámeza lo que indica

que esta familia de venas se formó antes de la Orogenia Andina. En cuanto a la estratificación E-W/50N es paralela a la familia de diaclasas E-W/60N lo que podría indicar que esta familia de diaclasas se formó debido a la carga litostática de la roca, finalmente la estratificación con orientaciones N10E/75SE y N70E/70NW no se encuentran relacionadas con las familias de diaclasas y venas mencionadas (Figura 23).

Figura 23. Diagrama comparativo entre diaclasas, venas y la Falla de Chámeza en la provincia estructural Recetor – Mirador.

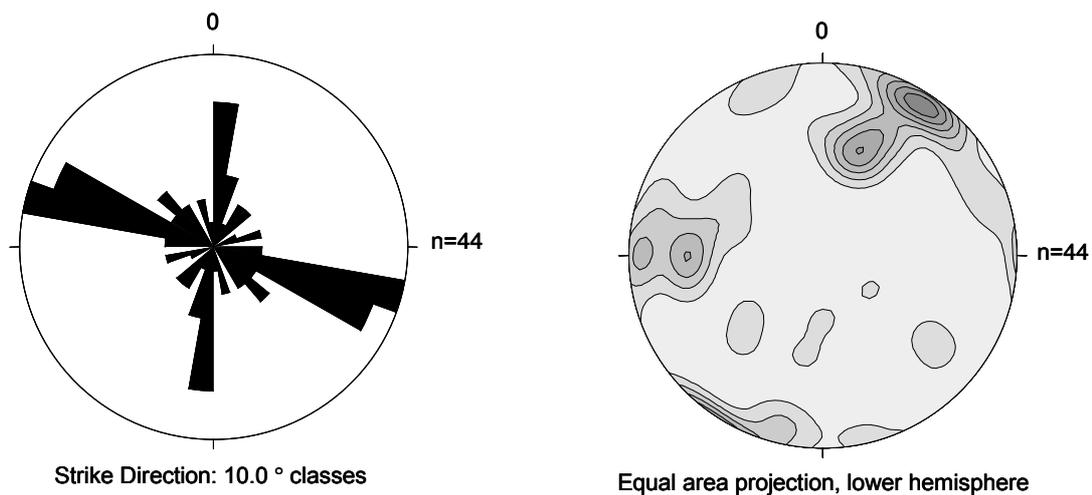


Mirador – Guaicáramo

Esta provincia estructural se encuentra ubicada entre la Falla El Mirador y la Falla de Guaicáramo. Presenta las formaciones Fómeque, Une y Chipaque (Figura 2).

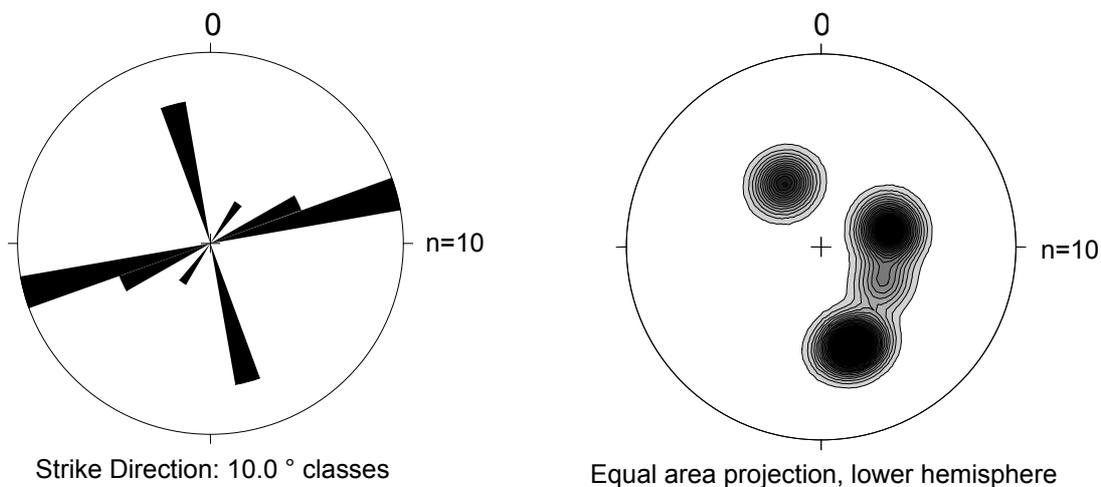
Para esta provincia fueron tomados 44 datos de diaclasas y 10 de estratificación (Figuras 24 y 25).

Figura 24. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para diaclasas en la provincia estructural Mirador - Guaicáramo. N70W/80SW y N-S/75E.



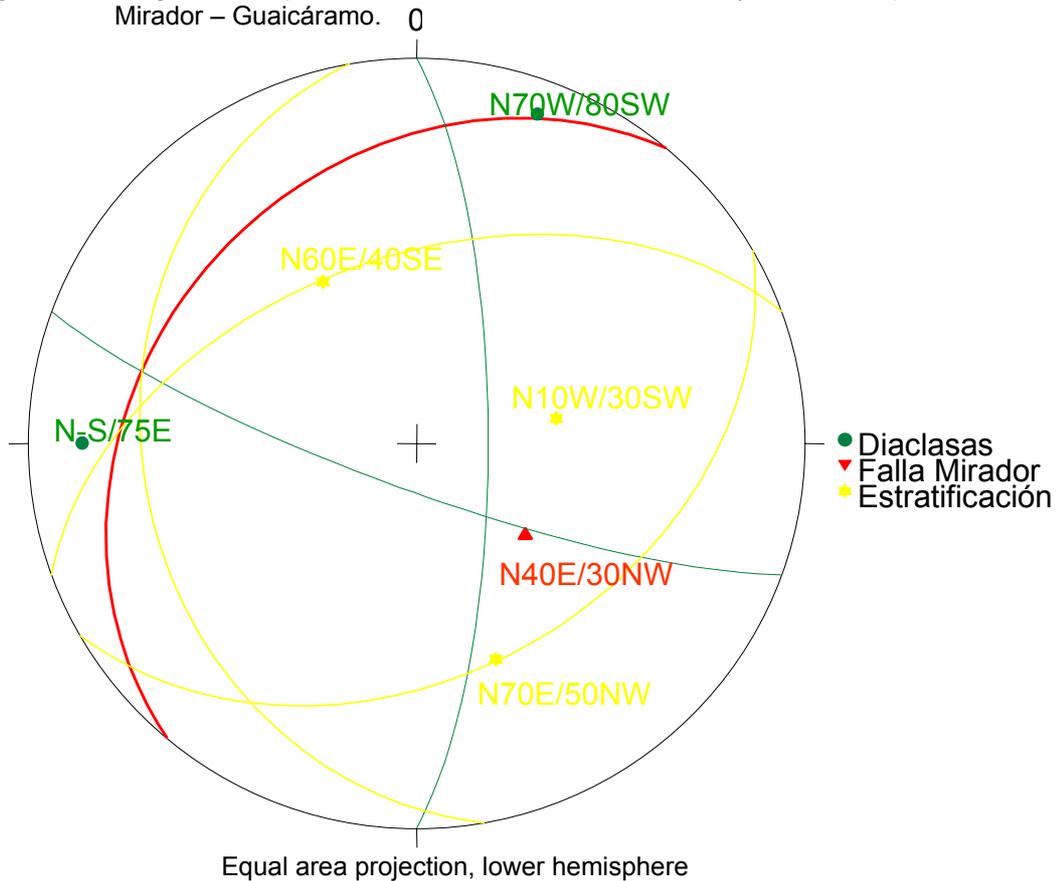
Para esta provincia se observan dos patrones estructurales predominantes de familias de diaclasas; la primera de N70W/80SW y la segunda de N-S/75E (Figura 24).

Figura 25. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para la estratificación en la provincia estructural Mirador - Guaicáramo. N70E/50NW, N10W/30SW y N60E/40SE.



En lo que respecta a la estratificación se observan tres patrones estructurales predominantes que son el primero de N70E/50NW, el segundo de N10W/30SW y el tercero de N60E/40SE (Figura 25).

Figura 26. Diagrama comparativo entre diaclasas estratificación y fallas en la provincia estructural Mirador – Guaicáramo.

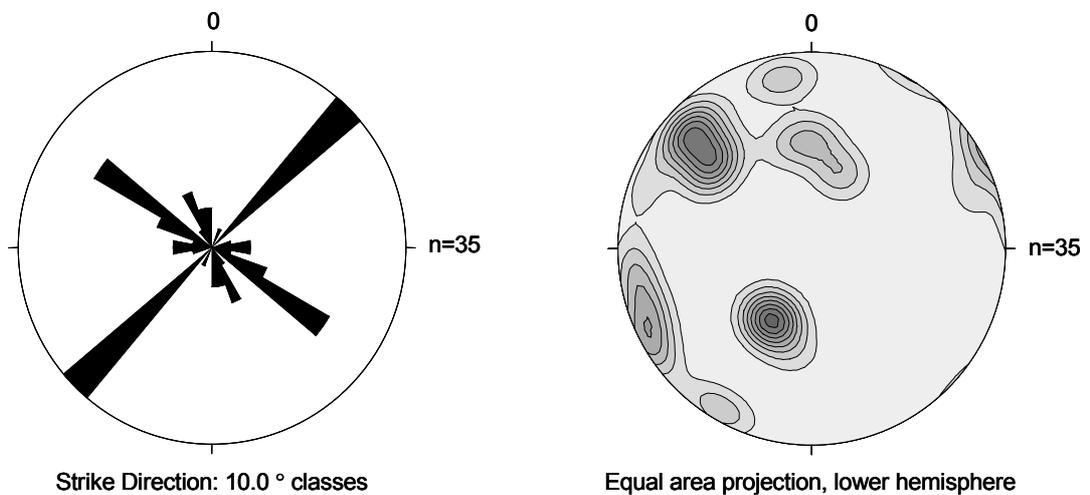


Para esta provincia estructural se determina que las familias de diaclasas N-S/75E y N70W/80SW (Verde) son perpendiculares entre sí y a su vez están relacionadas con la formación de la Falla Mirador N40E/30NW (Rojo) por estar a 45° y 90° respectivamente; también se observa que las diaclasas no tienen ninguna relación con la orientación de la estratificación N70E/50NW, N10W/30SW y N60E/40SE (Amarillo). Esto indica que estas familias de diaclasas se formaron durante la Orogenia Andina.

Guaicáramo – Yopal

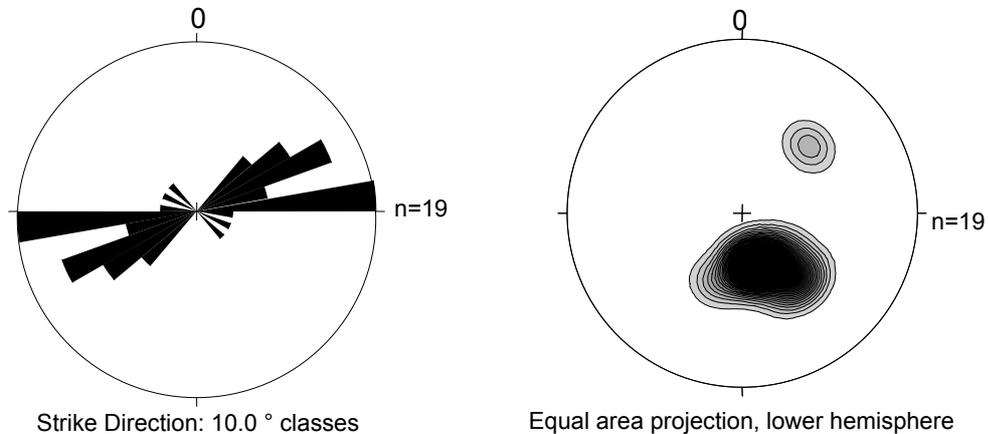
Esta provincia estructural se encuentra entre las fallas de Guaicáramo y Yopal y está representada por las Formaciones Carbonera, León y Guayabo (Figura 2). Para esta provincia fueron tomados 35 datos de diaclasas y 19 de estratificación (Figuras 27 y 28).

Figura 27. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para diaclasas en la provincia estructural Guaicáramo - Yopal. N40E/80SE y N50W/40NE.



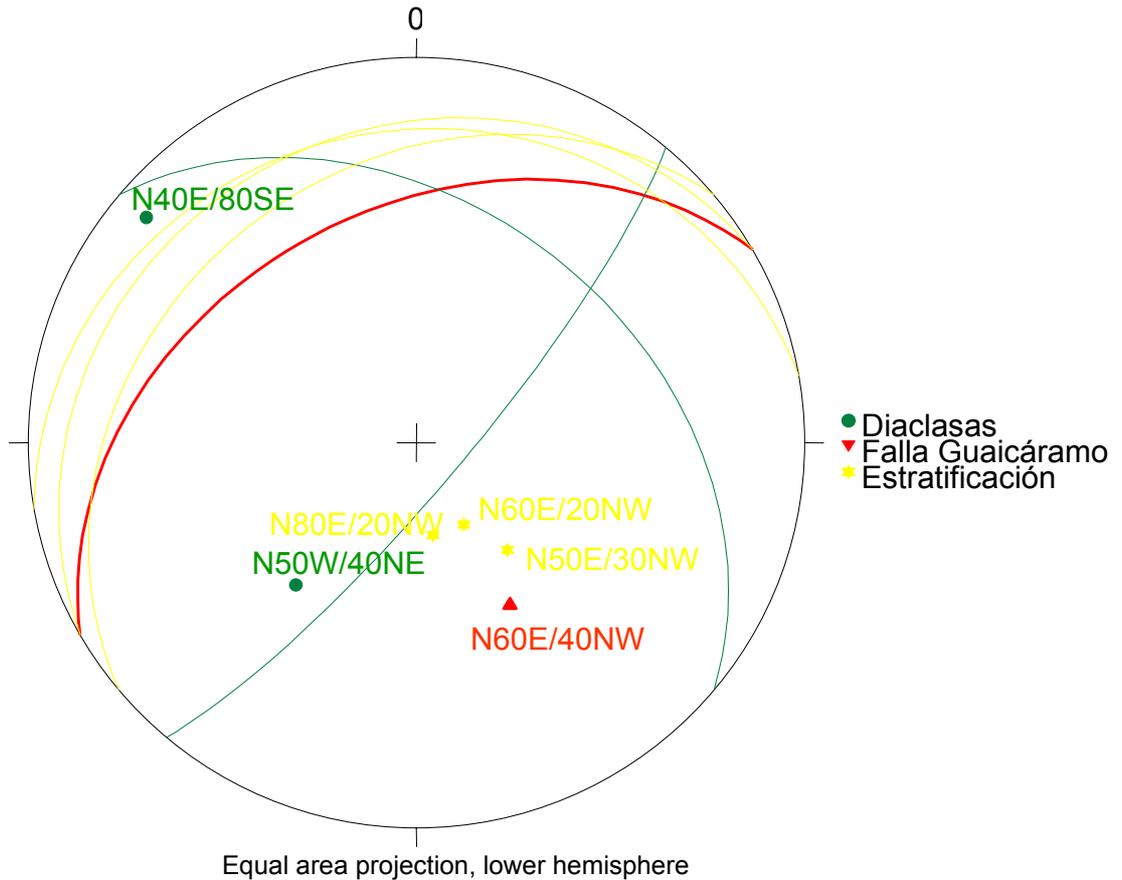
Para esta provincia se observan dos patrones estructurales predominantes de familias de diaclasas, la primera de N40E/80SE y la segunda de N50W/40NE. (Figura 27).

Figura 28. Diagrama de rosetas y densidad de contornos para la estratificación en la provincia estructural Guaicáramo - Yopal. N80E/20NW, N60E/20NW y N50E/30NW.



En cuanto a la estratificación se observan tres patrones estructurales predominantes que son el primero de N80E/20NW, el segunda de N60E/20NW y el tercero de N50E/30NW (Figura 28).

Figura 29. Diagrama comparativo entre diaclasas, fallas y estratificación para la provincia estructural Guaicáramo – Yopal.



En esta provincia estructural se observa que las familias de diaclasas N50W/40NE y N40E/80SE (Verde) son perpendiculares entre sí y a su vez la familia de diaclasas N50W/40NE es perpendicular a la Falla Guaicáramo N60E/40NW (Rojo); también se observa que la familia de diaclasas N50W/40NE es perpendicular a la estratificación N80E/20NW, N60E/20NW y N50E/30NW (Amarillo) (Figura 29).

El resumen del análisis estructural para las diaclasas, venas y estratificación se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las principales direcciones de diaclasas, venas y estratificación en las provincias estructurales.

Patrón/provincia	Pajarito-Mirador	Chámeza-Mirador	Mirador-Guaicáramo	Guaicáramo-Yopal
Diaclasas	N60W/70NE E-W/75S N50E/80SE	N20W/70SW N-S/80W N80E/60SE E-W/60N	N70W/80SW N-S/75E	N40E/80SE N50W/40NE
Venas	N60W/75SW N70W/80NE N40E/30NW N60E/50NW	N50E/70NW N20W/65NE N10W/85SW N60W/80SW		
Estratificación	N30E/60NW N60E/20NW	E-W/50N N70E/70NW N10E/75SE	N70E/50NW N10W/30SW N60E/40SE	N80E/20NW N60E/20NW N50E/30NW
Fallas	N5E/50NW	N80E/30NW	N40E/30NW	N60E/40NW

3.2 ESTUDIO MINERALOGICO Y TEXTURAL DE VENAS

El estudio de las venas presentes en el área de estudio se realizó con el fin de: a) establecer las zonas con enjambres de venas cristalinas de cuarzo y calcita; b) conocer las diferencias en la composición del material de relleno; c) seleccionar sobre esta base un grupo de venas representativas para llevar a cabo estudios de inclusiones fluidas. A continuación se presenta un resumen sobre los procesos generadores de venas, sus criterios de clasificación y significado, con el fin de facilitar una mejor visualización de los aspectos a tratar posteriormente.

3.2.1 Consideraciones previas

Desde el punto de vista genético, Dunne y Hancock (1994) dividen las venas en dos tipos: a) venas de reemplazamiento y; b) venas de relleno. Las primeras se caracterizan por tener minerales que proceden del reemplazamiento de la roca caja preexistente, mientras que en las venas de relleno los minerales han precipitado ocupando un espacio abierto.

Desde el punto de vista de la textura de relleno mineral, Dunne y Hancock (1994) dividen las venas en dos grupos: a) con textura de relleno masivo o granular (Figura 30) y; b) con textura de relleno fibroso donde los minerales se disponen paralelos entre si y oblicuos a la pared de la vena (Figura 31).

Las venas pueden presentar morfologías variadas tales como: en escalera, lazo sigmoide, y cola de caballo (Sibson, 1990). En la nomenclatura de Sibson éstos tipos de estructuras se denominan "*jogs*" y corresponden básicamente a las inflexiones, saltos, abanicos imbricados, y por supuesto, duplex extensionales (Figura 32).

Misik (1971, en Misik, 1998), interpreta un grupo de venas como 'fabricas de apertura rápida', debido a que su apertura ocurre a una velocidad mayor que la de su relleno, lo cual es típico de etapas deformacionales a baja temperatura. Por otro lado, Groshong (1988), interpreta la venas con rellenos en fibras, como producidas por apertura y/o producción muy lenta de material de relleno.

Wilson (1994), con base en resultados experimentales, utilizando hielo y soluciones acuosas, señala que la presencia de esfuerzos es extremadamente importante en la nucleación de cristales a partir de un fluido, a tal punto que dichos esfuerzos llegan a jugar un papel determinante en el desarrollo de texturas que pueden posteriormente influir en la circulación del fluido restante o tardío y en el comportamiento mecánico de la vena. Según estos aspectos mencionados, las texturas presentes en venas cristalinas pueden variar desde agregados de cristales groseros, que implican un crecimiento estático cuando no existe una influencia de esfuerzos importante en el momento de la cristalización (modelo de crecimiento tipo "*free-face*"), hasta agregados policristalinos desarrollados en un ambiente de deformación (modelo de crecimiento tipo "*contact-growth*").

Figura 30. Ejemplo de vena con relleno masivo, donde se observan granos de minerales de gran tamaño dentro de la vena. Tomado de Dunne y Hancock, (1994).

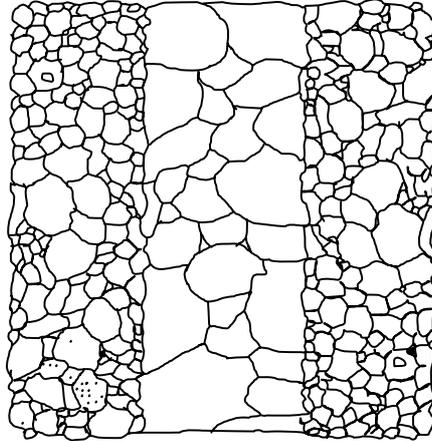


Figura 31. Vena con relleno fibroso de tipo sintaxial, donde las fibras minerales crecen desde la pared de la vena hacia el centro de la misma. Tomado de Dunne y Hancock, (1994).

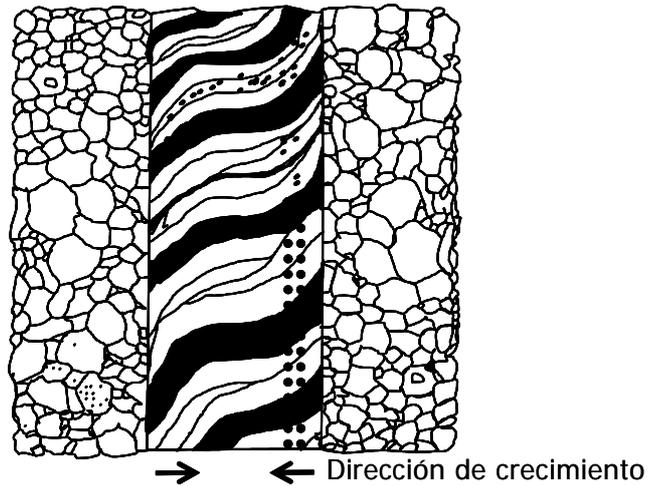
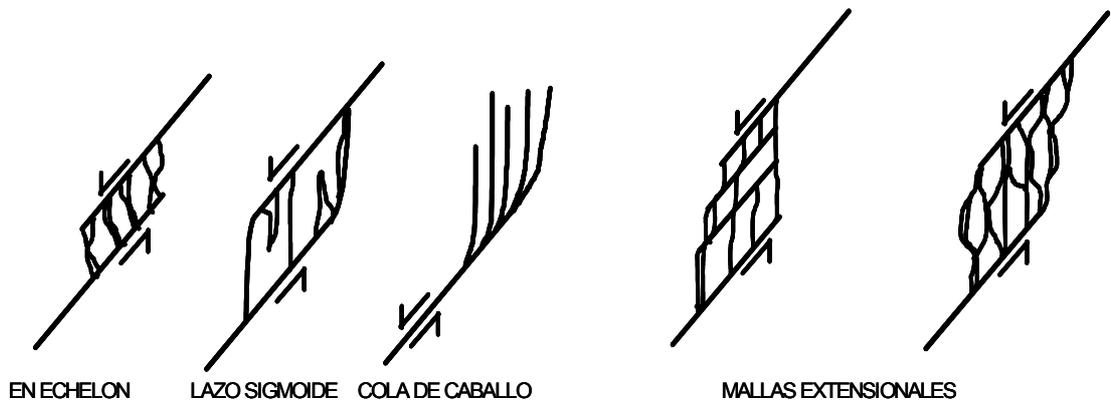
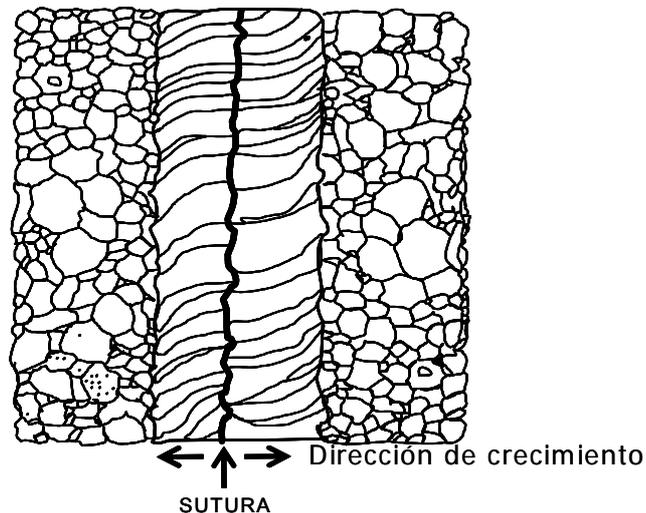


Figura 32. Estructura interna de sistemas mineralizados filonianos en *jogs* extensionales generados por saltos de fallas. Tomado de Sibson (1990).



Es igualmente importante señalar que las venas con material de relleno a manera de granos minerales fibrosos paralelos pueden ser divididas en dos grupos: de relleno sintaxial y antitaxial. Para Passchier y Trouw (1996), las fibras de venas sintaxiales crecen en continuidad óptica desde la pared de la vena hasta su encuentro desigual en la zona de sutura central. Por esto, la parte mas antigua de la vena estaría en la zona adyacente a la pared de esta. Contrariamente, las venas antitaxiales (Figura 33) crecen incrementándose desde el centro de la vena hasta las paredes, lo que implica que las fibras mas jóvenes estarían en la pared de la vena.

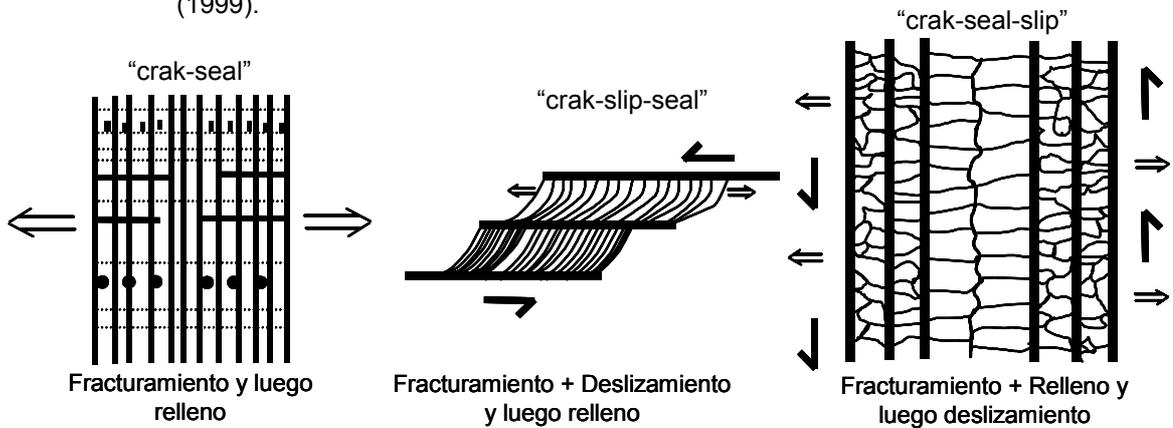
Figura 33. Vena con crecimiento de tipo antitaxial, donde las fibras minerales crecen apartir de una sutura central hacia la pared de la vena. Tomado de Dunne v Hancock. (1994)



Desde el punto de vista de el modo mecánico de su desarrollo, Petit *et al.*, (1999), diferencia las venas en: venas tipo “*crak-seal*”, vena tipo “*crak-slip-seal*” y venas tipo “*crak-seal-slip*” (Figura 34).

Según Petit *et al.* (1999), las venas tipo “*crak-slip-seal*” y “*crak-seal-slip*”, requieren por lo general de una sobrepresión de fluido y su formación se asocia al frente de avance de las fallas de cabalgamiento.

Figura 34. Tipos de venas según el modo mecánico de su desarrollo. Tomado de Petit *et al.* (1999).



3.2.2 Consideraciones previas sobre inclusiones fluidas

Las inclusiones fluidas (IF) son cavidades herméticamente cerrados e independientes, compuestas principalmente por gases o líquidos atrapados dentro de imperfecciones de la estructura cristalina, al formarse cavidades que se cierran y quedan selladas a medida que el cristal sigue creciendo (Griem-Klee, 2003), el tamaño de estas inclusiones usualmente varía entre 1 μm (reconocibles al microscópico óptico) y 100 μm . El volumen de las inclusiones tiende a ser diminuto, aunque la suma de los volúmenes de todas las inclusiones generalmente abarca menos del 1% del volumen total del mineral. Las IF se originan tanto en minerales traslúcidos (cuarzo, calcita, fluorita, esfalerita, etc.) como en minerales opacos (pirita, calcopirita, magnetita, etc.), pero solo se pueden estudiar ópticamente en los minerales transparentes o traslúcidos. No obstante, en estudios recientes se ha intentado estudiar inclusiones fluidas en minerales opacos utilizando rayos infrarrojos (Fitz, 2003). A temperaturas ambientales se puede encontrar inclusiones de todos los estados físicos (sólido, líquido, gaseoso), cuya calidad y cantidad depende de sus condiciones de formación. Las inclusiones fluidas son importantes porque nos proporcionan datos sobre las condiciones fisicoquímicas en el que ocurrió su atrapamiento.

Dentro del contenido de este trabajo se estudiaron y analizaron IF presentes en minerales de relleno de venas (cuarzo y calcita), y puntualmente algunas inclusiones transgranulares formadas en microfracturas selladas que cortan los límites de granos detríticos, en rocas de las Formaciones Une y Guadalupe.

3.2.3 Análisis Microtermométrico

El estudio microtermométrico en IF se fundamenta en los cambios de fases que sufre el sistema (por ejemplo, en una cavidad rellena de una solución acuosa-salina, gaseosa, etc.) durante los procesos de enfriamiento y calentamiento. Antes de tomar las mediciones es de importancia primordial pasar por una etapa de observación de las muestras, que es básicamente el desarrollo de una petrografía detallada, que ayuda a definir familias de IF mediante criterios genéticos y/o número de fases, entre otros criterios.

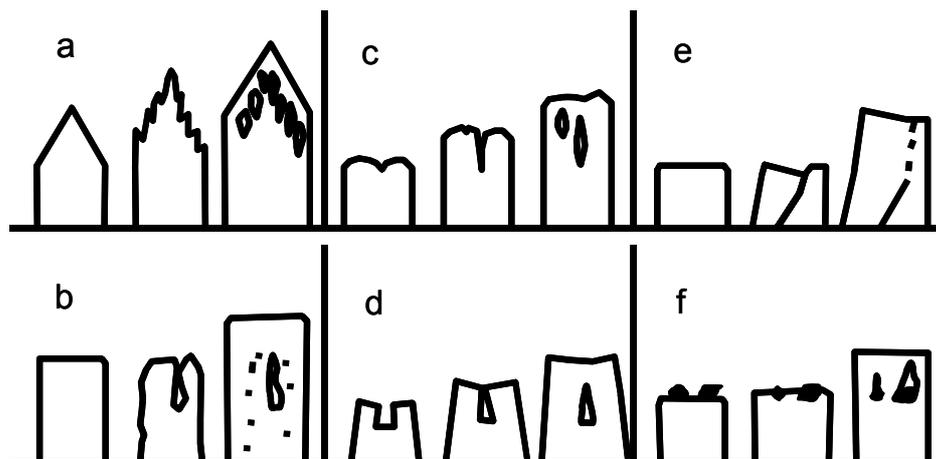
Desde el punto de vista genético, las IF se clasifican en primarias, secundarias y pseudosecundarias. Las IF primarias, también llamadas normales o autógenas, son fluidos atrapados en irregularidades durante el crecimiento del cristal (Griem-Klee, 2003). Por esta razón estas IF reflejan las condiciones de formación del mineral. A menudo las IF primarias son idiomorfas, controladas por las condiciones de crecimiento, son identificables en un mineral por encontrarse distribuidas al azar, aisladas dentro de un cristal sin relación obvia con cualquier estructura que permita el escape o entrada de gas o líquido, en grupos característicos, en las aristas o vértices del cristal (Fitz, 2003).

Según Roedder (1984), los distintos mecanismos de captura de este tipo de IF son:

a) Como consecuencia de un rápido crecimiento dendrítico se forman cavidades donde puede quedar aprisionado el fluido (Figura 35a).

- b) Por disolución parcial de un mineral creando cavidades y al crecer nuevamente el cristal atrapa las inclusiones. (Figura 35b).
- c) Cuando quedan atrapadas en cavidades del mineral. (Figura 35c).
- d) Crecimiento subparalelo de los cristales, creando cavidades que puedan atrapar fluidos(Figura 35d).
- e) Fracturas en el crecimiento del cristal, creando imperfecciones y atrapando inclusiones(Figura 35e).
- f) Cuando un objeto extraño se fija sobre la superficie de crecimiento de un cristal, el cual puede quedar englobado y atrapado como una inclusión sólida (Figura 35f).

Figura 35. Mecanismos de captura de las IF primarias. a) Rapido crecimiento dendrítico que forma cavidades, b) Disolución parcial de un mineral creando cavidades, c) IF atrapadas en cavidades del mineral, d) Crecimiento subparalelo de los cristales donde se forman cavidades, e) Fracturas en el crecimiento del cristal formando imperfecciones, f) Objeto extraño que se fija sobre la superficie de crecimiento de un cristal, el cual queda atrapado como una IF solida. Tomado de Roedder (1984).



Las IF secundarias o epigenéticas se forman bajo condiciones distintas a aquellas de la formación del mineral que hospeda las inclusiones, son atrapadas después del crecimiento de cristal, principalmente en planos de fracturas (Griem-Klee, 2003). Estas se reconocen por que se disponen a lo largo de planos de microfracturas relacionadas a eventos de deformación del cristal con posterioridad a su formación. El estudio de las IF secundarias aporta información acerca de los

procesos que han afectado a sus minerales hospedadores, luego de la formación de este.

Las IF pseudosecundarias son aquellas que se forman durante el crecimiento del cristal en microfracturas o planos de crecimiento del cristal antes que este termine su completo crecimiento.

Desde el punto de vista de las fases presentes, las IF pueden ser clasificadas como monofásicas, bifásicas o trifásicas (sólido+líquido+gas).

La fase líquida presente en las IF corresponde por lo general a agua pura o soluciones acuosas con sales disueltas, tales como NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, NaHCO₃ entre otras, y gases fluidificados e hidrocarburos.

Las fases gaseosas o gaseiformes de IF pueden ser de vapor de agua y dióxido de carbono CO₂, nitrógeno, metano (etano, propano y otros), hidrógeno, oxígeno, sulfuro de hidrógeno (o ácido sulfhídrico), helio, argón, otros gases nobles y otros compuestos de halógeno e hidrógeno. Este tipo de fases se pueden apreciar por su diferencia en el índice de refracción con respecto al relieve y el movimiento browniano de las moléculas.

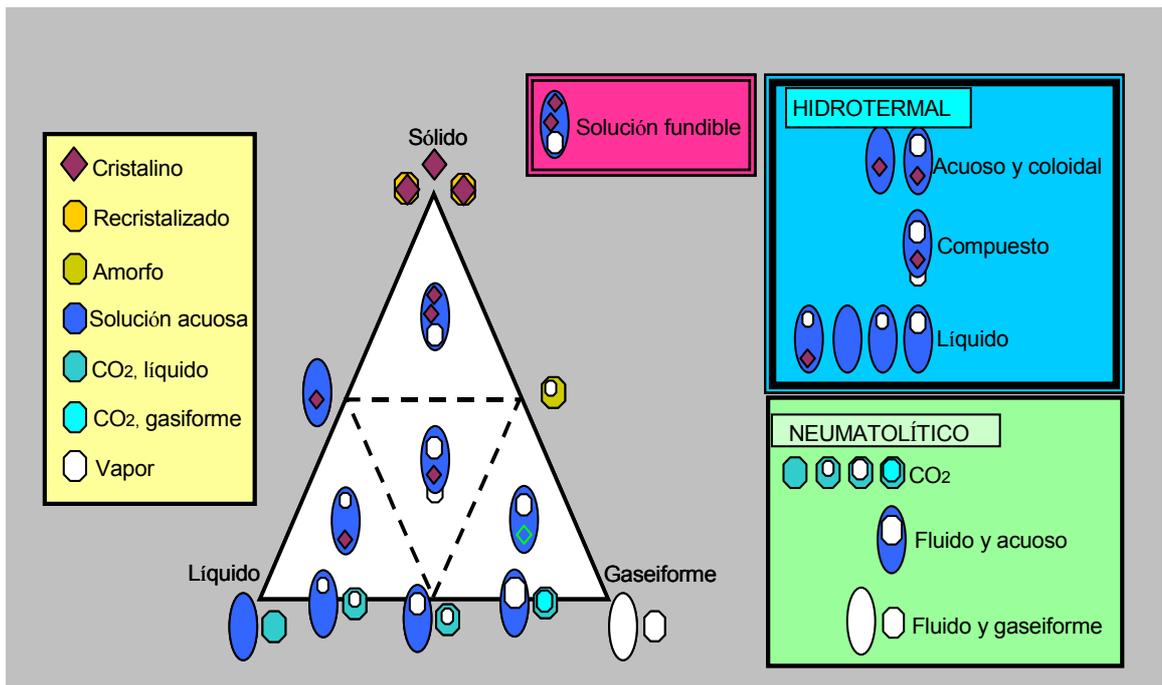
Según Fitz (2003), desde el punto de vista morfológico las IF se clasifican en:

- a) Irregulares, caracterizadas por sus formas isométricas, tubulares, alargadas, bordes rectilíneos, cubos, prismas y pueden ser controladas por la estructura del cristal.
- b) Suaves, caracterizadas por sus formas esféricas, ovaladas o elípticas.
- c) Cristal negativo, caracterizadas porque se presentan a manera de huecos que tienen la forma cristalina del mineral hospedador.

Leeder *et al.* (1987, en Griem-Klee, 2003), clasifica las IF según la composición y proporción de sus fases presentes por medio de un diagrama triangular que toma como miembros finales sólido, líquido y gas (Figura 36). Según este criterio, las IF se clasifican en:

- a) Inclusiones de tipo neumatolítico, formadas por combinación de sustancias líquidas y gaseosas.
- b) Inclusiones de tipo hidrotermal, formadas por combinaciones de sustancias líquidas, gaseosas y sólidas.
- c) Inclusiones de tipo solución fundible, como aquellas inclusiones que contienen 2 o mas sustancias sólidas.

Figura 36. Tipos de IF, según la composición y proporción de fases presentes, proyectadas en un diagrama triangular solido-liquido-gas. Tomado de Leeder *et al.* (1987, en Griem-Klee, 2003).



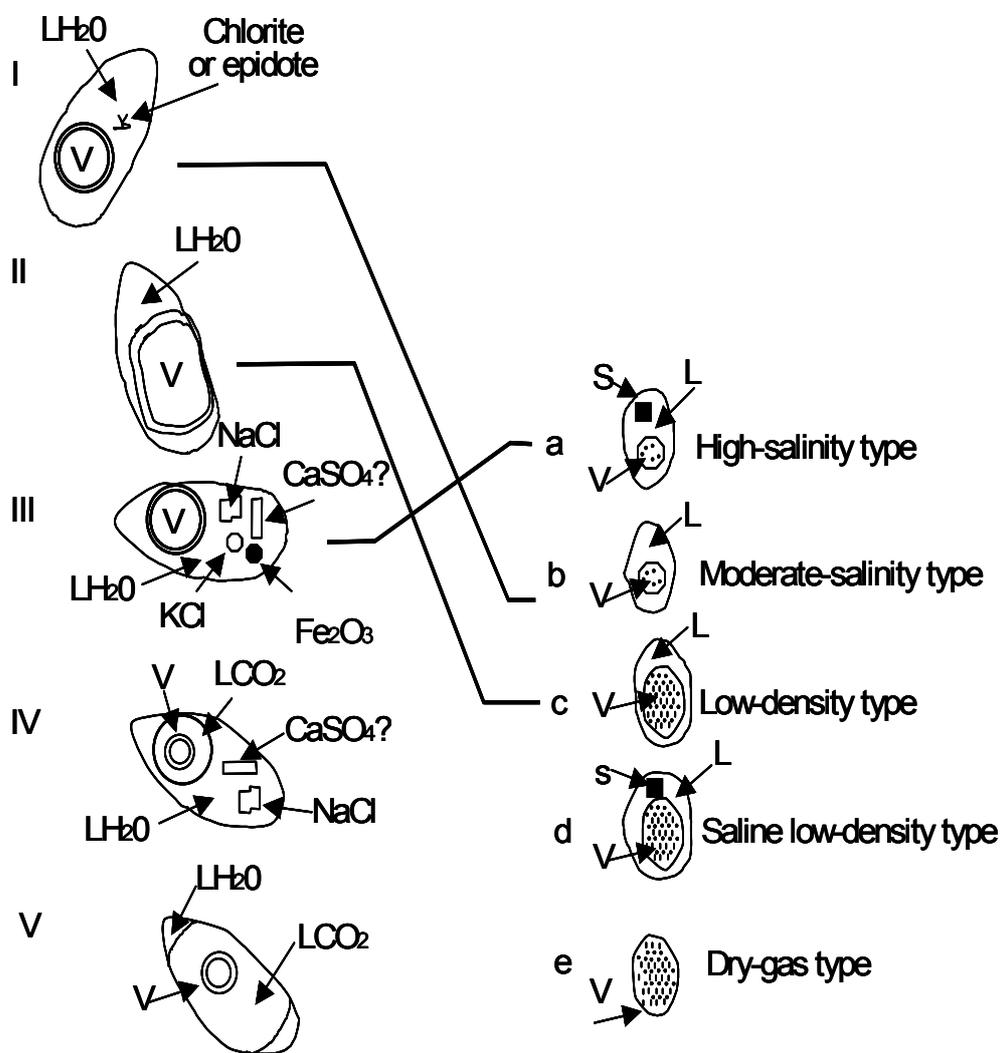
Nash (1976) presenta una clasificación de IF basada en las fases observables a temperatura ambiente, lo cual tiene una gran importancia genética (Figura 37):

- a) IF Tipo I, son inclusiones líquidas con una pequeña burbuja de vapor, sin minerales hijos; son originadas por un fluido subsaturado, con menos del 26% en peso de NaCl eq. y rico en H₂O (líquido); estas IF se homogenizan a líquido durante el proceso de calentamiento.
- b) IF Tipo II, son inclusiones líquidas con una gran burbuja de vapor, sin minerales hijos; su fluido original es rico en vapor; cuando estas IF son calentadas la burbuja se expande y se homogenizan a vapor.
- c) IF Tipo III, son inclusiones Polifásicas (líquido+vapor+sólidos), contienen uno o más minerales hijos; su fluido original es saturado, con más del 26% en peso de NaCl eq., estas IF contienen fases sólidas como halita (NaCl) o silvita (KCl) a temperatura ambiente. Existen dos subtipos:
- IF con fluido subsaturado al atrapamiento: las cuales al calentarlas, desaparece primero la sal y luego la burbuja.
 - IF con fluido saturado al atrapamiento: las cuales al calentarlas, desaparece primero la burbuja y luego la sal.
- d) IF Tipo IV, estas inclusiones están compuestas de 2 líquidos y minerales hijos. Son inclusiones ricas en CO₂; típicamente presentan doble burbuja, porque incluyen líquido rico en H₂O y líquido rico en CO₂, además de vapor más CO₂ gaseoso, y fases sólidas.
- e) IF Tipo V, son inclusiones de CO₂ líquido con vapor, sin minerales hijos. Estas IF contienen agua líquida, CO₂ líquido y una burbuja pequeña de vapor, y corresponden a un fluido subsaturado en sales y rico en CO₂.

También existe un tipo especial de IF, y son aquellas con contenido de Hidrocarburos, en las cuales se relacionan procesos de migración de componentes derivados de la madurez termal de la materia orgánica en los sedimentos; son traslúcidas a negras y se puede determinar con el microscopio de luz ultravioleta por la fluorescencia que presentan los hidrocarburos.

Teniendo en cuenta todas las anteriores consideraciones, con las IF podemos obtener datos del sistema químico del paleofluido del cual se formó el mineral y de los fluidos asociados, tales como temperatura, presión, composición del fluido y densidad del fluido, y a su vez realizar algunas estimaciones muy generales sobre la profundidad a la cual fue atrapado el fluido.

Figura 37. Clasificación de las IF según el número de fases observables a temperatura ambiente. Tomado de Nash & Theodore (1971, en Nash 1976).



3.2.4 Obtención de los datos microtermométricos

El procedimiento consiste en enfriar las IF hasta -180°C calentándola luego hasta su completa homogeneización. Las temperaturas a las que tienen lugar los cambios de fases se registran y de la interpretación de éstas se extrae la información fisicoquímica del fluido estudiado. Entre los cambios de fases registrables se destacan los siguientes:

Temperatura eutéctica (T_{euc}), cuyo valor permite determinar la composición del fluido atrapado.

Temperatura de comienzo de fusión detectable (T_{cfd}), aquella temperatura a la cual se empieza a observar un cambio de fase.

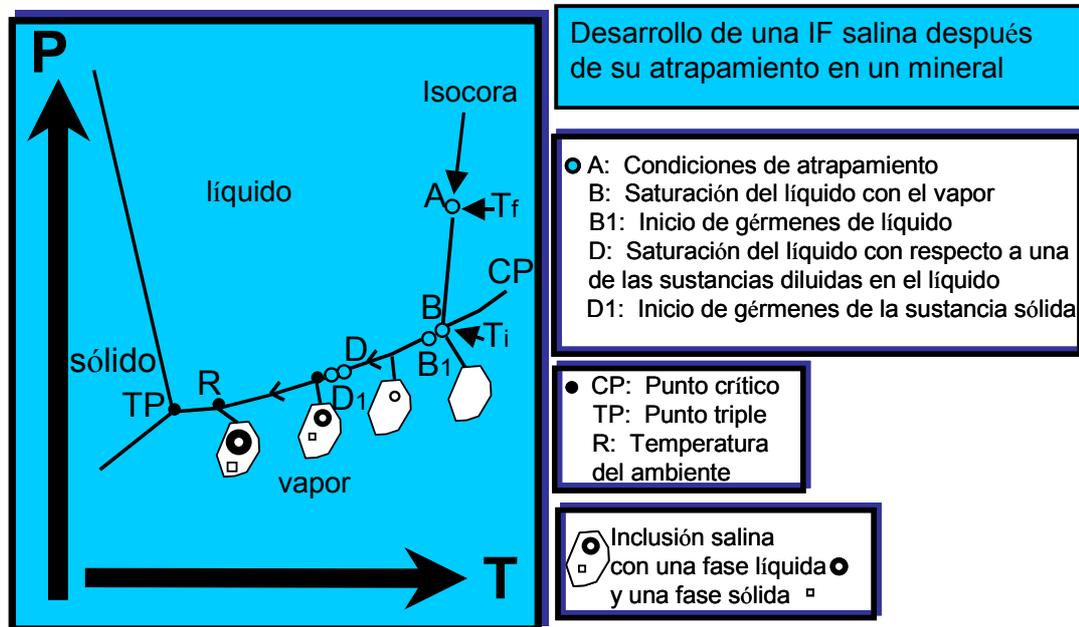
Temperatura del punto de fusión del hielo (T_{fh}), la cual provee información aproximada sobre la concentración de los solutos presentes en el fluido.

Temperatura de homogenización (T_h), la cual indica la temperatura mínima del atrapamiento del paleofluido.

Temperatura de fusión del sólido ($T_{m_{sol}}$), la temperatura a la cual el sólido presente en la IF empieza a fundir.

Un ejemplo de la sucesión de cambios de fases en una IF se ilustra en la Figura 38. En esta se muestra, como un fluido atrapado en el punto A, al sufrir enfriamiento, presenta una disminución de presión (trayectoria A-B). En el punto B_1 se observa la formación de una burbuja de gas. El punto D marca las condiciones de temperatura y presión correspondientes a la inclusión saturada con respecto a uno de sus constituyentes. Al bajar más la temperatura dicho constituyente inicia a cristalizar (D1).

Figura 38. Diagrama de presión en función de la temperatura del desarrollo de una IF salina después de su atrapamiento en un mineral. Tomado de Gill (1993, en Griem – Klee, 2003).



3.2.5 Interpretación de los datos microtermométricos

Para la interpretación de los datos microtermométricos, las propiedades composicionales de las inclusiones fluidas fueron calculadas mediante la utilización de algunos programas desarrollados por el profesor Ronald J. Bakker del Institute of Geological Sciences, de la Universidad de Leoben, Austria. Dichas propiedades composicionales en el sistema acuoso salino $H_2O + NaCl$, fueron calculadas mediante la utilización del Programa AqSo5e (versión 03/02); en el sistema acuoso salino $H_2O + NaCl + CaCl_2$, fueron calculadas utilizando el Programa AqSo3e (versión 03/02); y en el sistema acuoso salino $H_2O + NaCl + CaCl_2 (\pm MgCl_2)$, fueron calculadas utilizando el Programa AqSo2e (versión 03/02).

De igual manera las isócoras de los sistemas químicos $H_2O + NaCl$ y $H_2O + NaCl + CaCl_2$, fueron calculadas mediante la utilización de los Programas Loner 32 y

Loner 38 respectivamente. en el intrusivo de Pajarito. Estos programas, se encuentran disponibles en la página web:

<<http://www.unileoben.ac.at/%7Ebuero62/minpet/ronald/Ronald.html>>.

Las isocoras fueron realizadas para cada sistema químico con el propósito de determinar tanto las temperaturas y presiones mínimas de atrapamiento de estos paleofluidos, como las temperaturas y presiones máximas. Esto debido a que el fluido pudo haber sido atrapado en cualquier punto localizado entre estos dos extremos señalados.

En este sentido fue necesario estimar el paleogradiente de temperatura. En este caso, se utilizó un gradiente de 30°C/Km similar al usado por Hodgkins y Stewart (1994). El paleogradiente utilizado para estos cálculos es un gradiente hidrostático (presión alcanzada por una columna de agua), considerando que la corteza superior (niveles de la corteza donde se ubican las cuencas sedimentarias) tiene un comportamiento frágil.

3.2.6 Localización de las muestras con presencia de venas

A continuación se realiza la descripción de la principales venas presentes en el área de trabajo, aunque el estudio se centrará fundamentalmente en aquellas venas presentes en el Intrusivo de Pajarito y la Formación Lutitas de Macanal, debido a que en estas zonas es donde se observaron en mayor cantidad. La mayor concentración de venas ($\Delta 7$), se pudo apreciar a unos 400 metros al Este del municipio de Recetor (Figura 39), sobre el borde izquierdo de la vía que conduce hacia el caserío de San Benito; de igual forma, se encontró una buena concentración de venas ($\Delta 2$), a unos 500 metros al Norte del municipio de Pajarito Sobre el borde izquierdo de la vía que conduce hacia Sogamoso (Figura 39).

Los diferentes tipos de vena, según la composición del material de relleno predominante en la zona de estudio por lo general son venas compuestas de calcita y cuarzo.

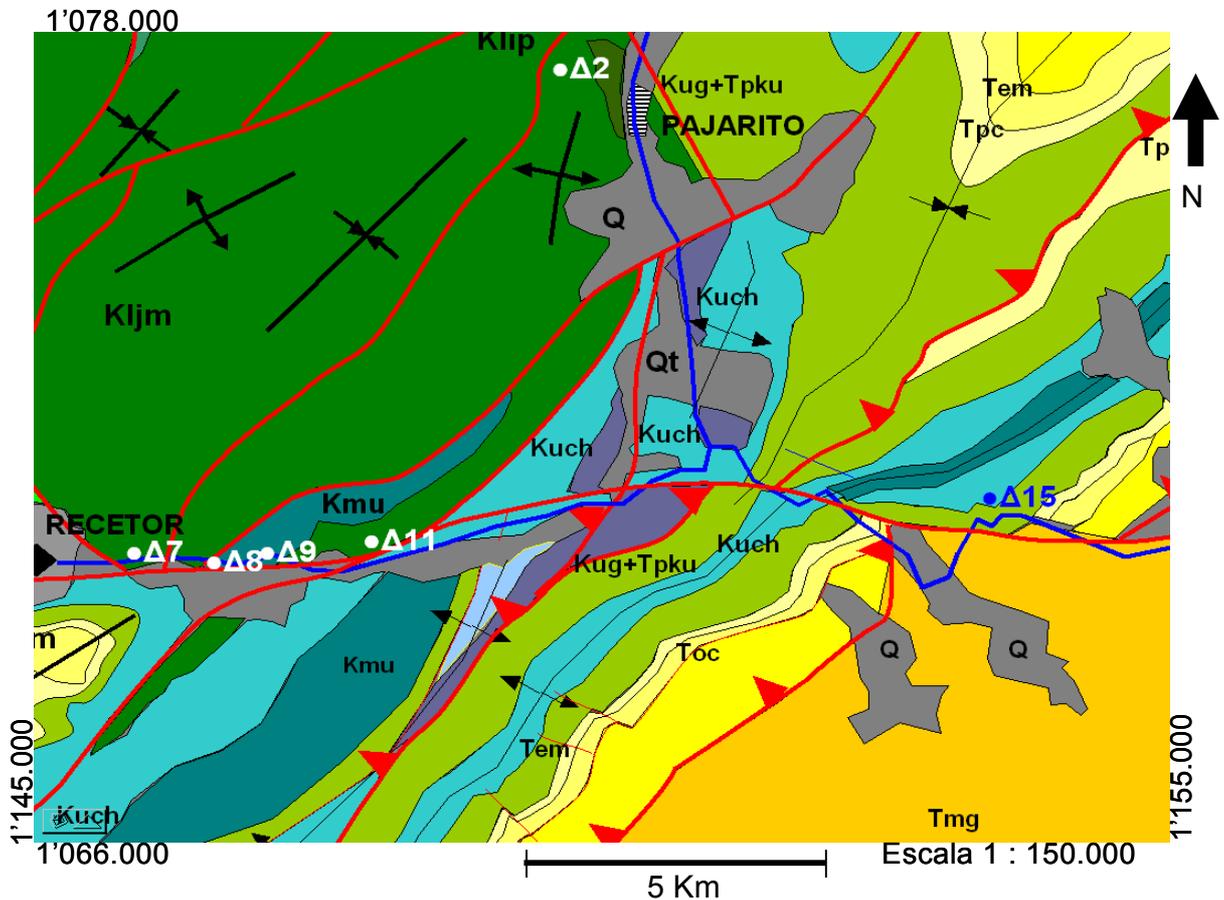
3.2.7 Localización de muestras seleccionadas para estudio de IF.

Las muestras que se seleccionaron para el estudio de las inclusiones fluidas y referenciadas en el catalogo de muestras (Anexo B), corresponden principalmente a venas cristalinas encontradas en el Intrusivo de Pajarito, 500m al norte del municipio de Pajarito y en la Formación Lutitas de Macanal (Figura 39). De igual manera se seleccionaron algunas muestras correspondientes a la Formación Une y Guadalupe para realizar estudios en familias de inclusiones fluidas secundarias transgranulares, debido a que en las formaciones terciarias aflorantes en nuestra transecta no se encontraron venas cristalinas (Tabla 3).

Tabla 3. Muestras seleccionadas para el estudio de los fluidos. (n: número de inclusiones analizadas).

# Lámina	Formación	n	Mat. Analizado
FF G1 Δ2-64a	Intrusivo de Pajarito	3	Cuarzo (Vena)
FF G1 Δ2-65	Intrusivo de Pajarito	2	Cuarzo (Vena)
FF G1 Δ2-65	Intrusivo de Pajarito	3	Calcita (Vena)
FF G1 Δ2-66	Intrusivo de Pajarito	2	Cuarzo (Vena)
FF G1 Δ2-66	Intrusivo de Pajarito	1	Calcita (Vena)
FF G1 Δ2-67	Intrusivo de Pajarito	2	Cuarzo (Vena)
FF G1 Δ2-67	Intrusivo de Pajarito	1	Calcita (Vena)
FF G1 Δ7-73	Lutitas de Macanal	5	Calcita (Vena)
FF G1 Δ7-73	Lutitas de Macanal	9	Cuarzo (Vena)
FF G1 Δ7-75	Lutitas de Macanal	3	Cuarzo (Vena)
FF G1 Δ8 -21	Une	21	Cuarzo Detrítico
FF G1 Δ8 -24	Une	18	Cuarzo Detrítico
FF G1 Δ9 -26	Une	11	Cuarzo Detrítico
FF G1 Δ11-30	Une	11	Cuarzo Detrítico
FF G1 Δ15-36	Guadalupe	24	Cuarzo Detrítico

Figura 39. Localización de las muestras seleccionadas para el estudio de los fluidos, convenciones en Figura 2.



3.2.8 Intrusivo de Pajarito (Klip)

Tipología de venas asociadas al Intrusivo de Pajarito

En este cuerpo se observaron venas de calcita y cuarzo-calcita fundamentalmente (Figura 40 y 41) con patrón estructural N66W/64SW y N45E/30NW. El espesor de estas venas es de hasta 2 centímetros, con textura masiva, sintaxial (Figura 42), y localizadas en su mayoría, 500m al norte del municipio de Pajarito, sobre la vía Pajarito-Sogamoso.

Figura 40. Foto de una vena de cuarzo y calcita perteneciente al Intrusivo de Pajarito ($\Delta 2$), de 2cm de espesor, con orientación de diaclasa N45E/30NW. Muestra # FF-G1- $\Delta 2$ -65.

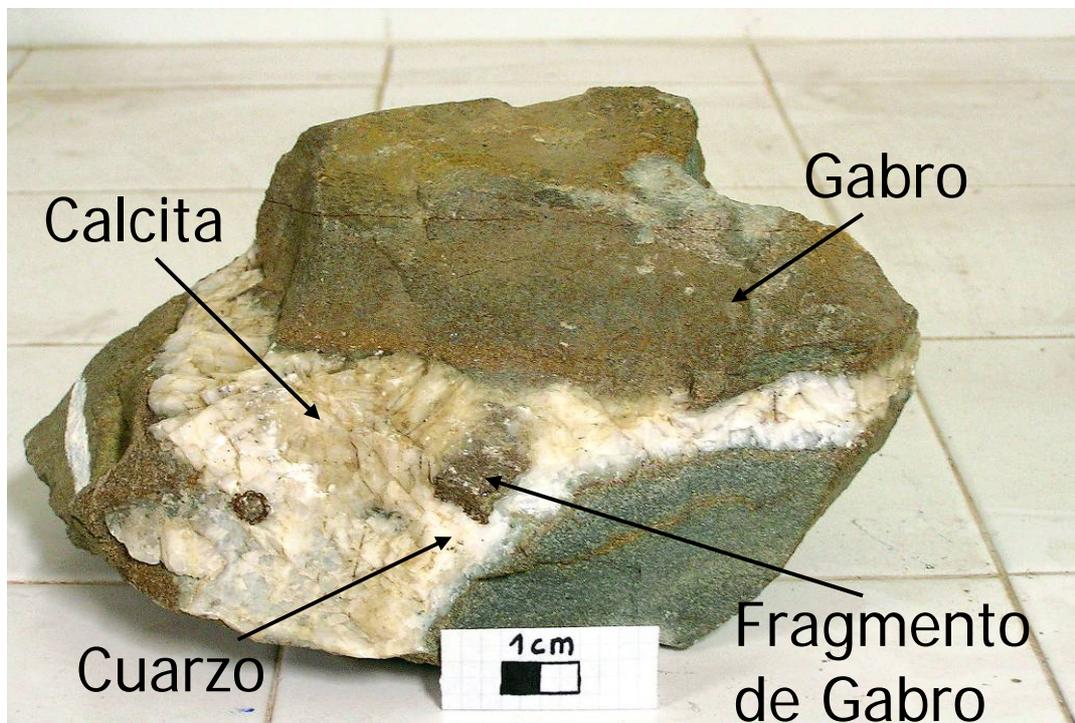


Figura 41. Foto de una vena de cuarzo y calcita perteneciente al Intrusivo de Pajarito, de 2cm de espesor, con orientación de diaclasa N66W/64SW. Muestra #FF-G1- $\Delta 2$ -64a.

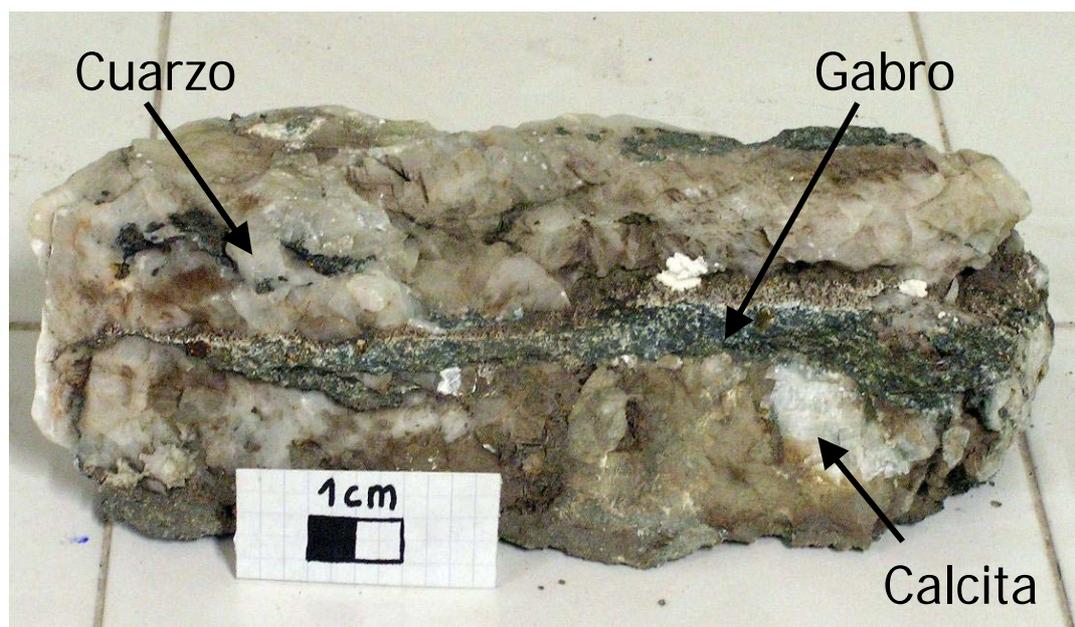
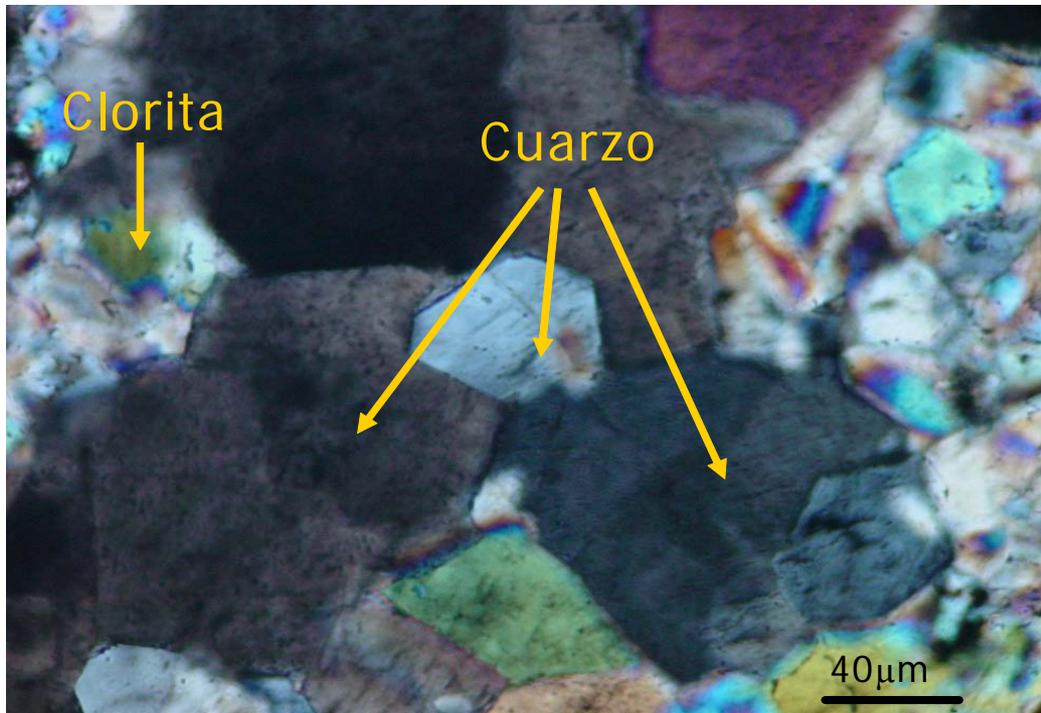


Figura 42. Microfotografía en nicols cruzados de una vena de cuarzo del Intrusivo de Pajarito, donde se observan cristales de cuarzo de gran tamaño dentro de la vena. Es una vena con relleno masivo (Aumento 10x).



Una exploración al SEM de “chips” del material de relleno de estas venas analizadas se llevó a cabo con el fin de establecer la naturaleza y composición del material de relleno de la vena, sirviendo de ayuda y soporte a los estudios petrográficos durante el análisis de microscopía óptica, permitiendo definir mejor su relación espacial con los bordes del mineral y los rasgos morfológicos de los minerales presentes, al igual que los rasgos composicionales del material huesped (Figuras 43 y 44). En este sentido, las imágenes tomadas con el microscopio electrónico (SEM), muestran morfologías irregulares y morfologías suaves presentes en una vena de calcita y de cuarzo en el Intrusivo de Pajarito. En la calcita presente en las venas, se observan los planos de exfoliación, sus lados rectos y un relieve bajo. Las Figuras 45 y 46 corresponden a los espectros de composición de las venas, donde se detectan iones distintos al Ca, C y O en los

análisis semicuantitativos al SEM, tales como cationes de Mg, Si, Al y Fe, los cuales se encuentran presentes en venas principalmente compuestas por cuarzo.

Figura 43. Imagen al SEM de una vena de calcita en el microscopio electrónico, donde se observan morfologías suaves y bordes minerales en cristales de calcita presentes en la vena. Muestra # FF-G1-Δ2-64a.

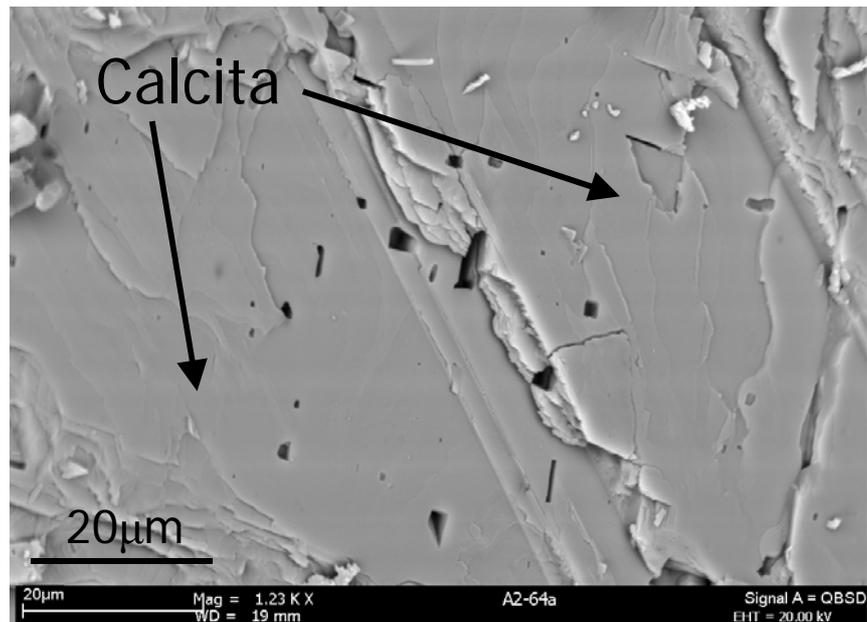


Figura 44. Imagen al SEM de una vena con cuarzo en el microscopio electrónico, donde se observa las morfologías irregulares en los cristales de cuarzo presentes en la vena muestra # FF-G1-Δ2-64a.

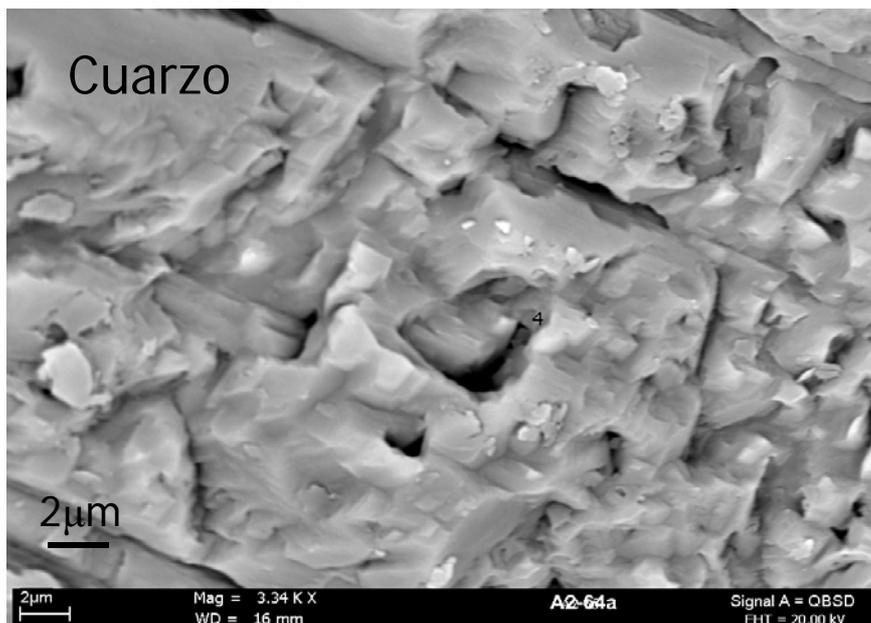


Figura 45. Espectro de composición química de una vena de calcita, en el Intrusivo de Pajarito; con alto contenido de calcio y en menor proporción oxígeno y carbono.

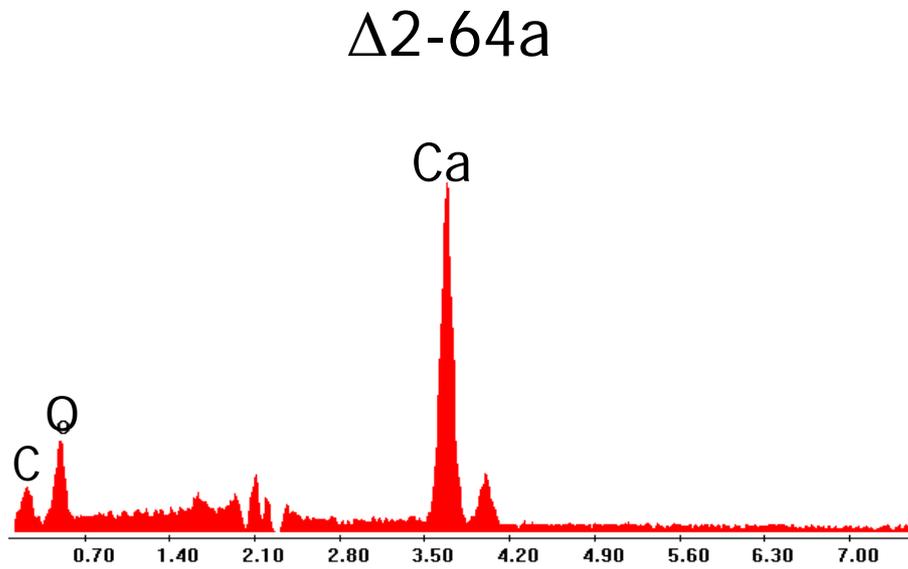
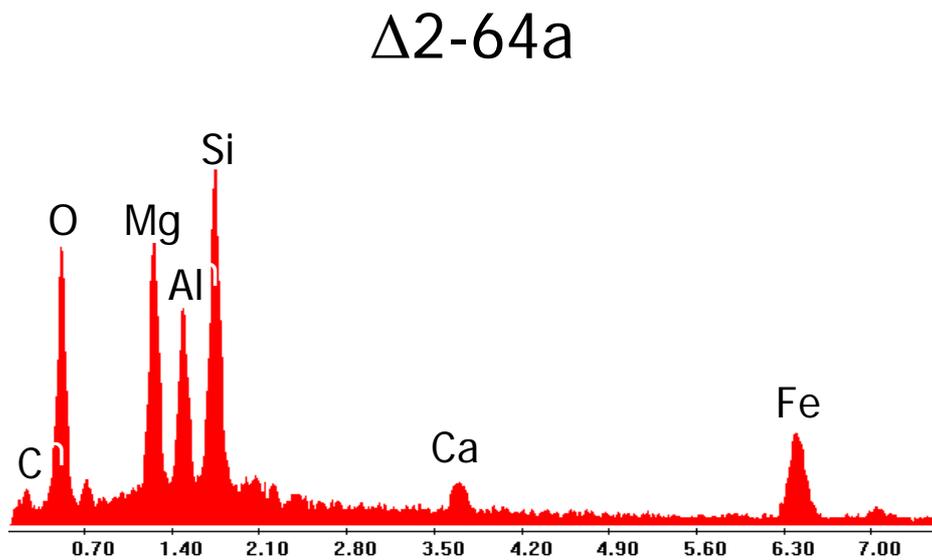


Figura 46. Espectro de composición química de una vena de cuarzo-calcita, en el Intrusivo de Pajarito; con alto contenido de silicio, magnesio, oxígeno y aluminio, y en menor proporción hierro calcio y carbono.



Petrografía.

En el Intrusivo de Pajarito de tipo básico, se estudiaron venas de tipo hidrotermal con relleno de cuarzo principalmente y calcita. La gran mayoría de las IF presentes en estas venas son bifásicas, tanto primarias como secundarias, estas venas presentan espesores de hasta 7 milímetros. El estudio petrográfico de las inclusiones fluidas presentes en las venas del Intrusivo de Pajarito, permiten diferenciar dos tipos genéticos: IF Primarias e IF Secundarias.

IF Primarias.

Se encuentran distribuidas al azar y aisladas, son bifásicas, normalmente se encuentran ubicadas en las aristas o vértices de los cristales, se caracterizan por sus tamaños entre $6\mu\text{m}$ y $40\mu\text{m}$, presentan morfologías suaves alargadas y morfologías irregulares. Con base en la clasificación de Nash (1976), se observó dos tipos de IF: Las de tipo I, constituidas por una fase líquida con una pequeña burbuja de vapor y sin minerales hijos; y las de tipo II, constituidas por una fase líquida con una gran burbuja de vapor y sin minerales hijos (Tabla 4). En los dos tipos de inclusiones, la movilidad de la burbuja en ciertas IF es nula, pero también se encontraron otras IF donde la movilidad de la burbuja es media y alta. La relación Fase Vapor / Fase Líquido (V/L) en las IF tipo I varía entre 1/10 y 1/20, en las IF tipo II la relación es de 1/8.

Tabla 4. Tipos de Inclusiones Fluidas en venas del Intrusivo de Pajarito. (n: número de inclusiones analizadas).

# Lámina	n	Tipo IF	N° Fases	Clas. Nash
FF G1 Δ2-64a	1	Primaria	Bifásica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ2-65	2	Primaria	Bifásica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ2-66	1	Primaria	Bifásica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ2-64a	1	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ2-64a	1	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ2-65	1	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ2-65	2	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ2-66	2	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ2-67	2	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ2-67	1	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo II

IF Secundarias.

Estas IF se reconocen al microscopio, por su gran abundancia en los minerales a lo largo de microfracturas o fisuras cicatrizadas. Estas, son bifásicas, generalmente presentan una alineación, y sus tamaños oscilan entre las 10µm y 30µm, presentan morfologías suaves alargadas y morfologías irregulares; muy pocas de estas inclusiones presentan bordes rectilíneos. La mayoría de los planos observados mantienen un carácter oblicuo con respecto a las paredes de las venas. Con base en Nash (1976), estas inclusiones pueden diferenciarse por su relación líquido/vapor en: IF de tipo I, líquidas con una pequeña burbuja de vapor y sin minerales hijos, en IF de tipo II, líquidas con una gran burbuja de vapor y sin minerales hijos (Tabla 4). En los dos tipos de inclusiones, y como en el caso de las IF primarias, la movilidad de la burbuja es nula. La relación Fase Vapor / Fase Líquido (V/L) en las IF tipo I varía entre 1/12 y 1/22 y en las IF tipo II varía entre 1/6 y 1/9.

Datos microtermométricos Intrusivo de Pajarito.

El comportamiento crioscópico de las IF analizadas en las muestras FF G1 Δ2-64a, FF G1 Δ2-65, FF G1 Δ2-66 y FF G1 Δ2-67, para las venas del Intrusivo de Pajarito y sus puntos de homogenización, permiten agrupar familias de IF (Tabla 5). Todas ellas corresponden a sistemas acuosos salinos: $H_2O + NaCl$, $H_2O + NaCl + CaCl_2$ y $H_2O + NaCl + CaCl_2 (\pm MgCl_2)$. En algunos de los anteriores sistemas acuosos salinos se presentan algunas trazas minerales tales como Fe, Li, Cr, Ca, Mn, y Mg, reflejadas durante el calentamiento de las IF.

Las propiedades composicionales para el Intrusivo de Pajarito, en el sistema acuoso salino $H_2O + NaCl$, fueron calculadas mediante la utilización del Programa AqSo5e (versión 03/02), para el sistema acuoso salino $H_2O + NaCl + CaCl_2$, fueron calculadas utilizando el Programa AqSo2e (versión 03/02); mientras que para el sistema acuoso salino $NaCl + CaCl_2 (\pm MgCl_2)$, fueron calculadas utilizando el Programa AqSo3e (versión 03/02). Dichas propiedades composicionales para los sistemas acuosos-salinos, identificados se encuentran detalladamente en el Anexo D.

El sistema $H_2O + NaCl$, presenta un porcentaje en peso de NaCl que varía entre 7,06458%W de NaCl y 14,3069%W de NaCl, con algunas trazas de Mg; el sistema $H_2O + NaCl + CaCl_2$ presenta un porcentaje en peso de NaCl que varía entre 6,7809%W de NaCl y 9,8674%W de NaCl, con presencia de algunas trazas de Fe, Li, Cr, Mn y Mg, y un porcentaje en peso de $CaCl_2$ que varía entre 0,4431%W de $CaCl_2$ y 2,8145%W de $CaCl_2$; mientras que el sistema $H_2O + NaCl + CaCl_2 (\pm MgCl_2)$, presenta un promedio de porcentaje en peso de NaCl que varía entre 1,81217%W de NaCl y 10,3639%W de NaCl, y un promedio de porcentaje en peso de $MgCl_2$ que varía entre 16,4424%W de $MgCl_2$ y 17,2002%W de $MgCl_2$ (Tabla 5).

Conforme a los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en las IF presentes en las venas del Intrusivo de Pajarito, se permite agruparlos en tres sistemas químicos (Tabla 5):

- 1) $H_2O + NaCl$
- 2) $H_2O + NaCl + CaCl_2$
- 3) $H_2O + NaCl + CaCl_2 (\pm MgCl_2)$

La explicación de estos sistemas químicos se encuentra en el Anexo H.

Respecto a la temperatura de homogenización (T_h) reconocidas en las IF primarias, los puntos obtenidos estuvieron entorno a los $165^\circ C$, entre los $127^\circ C - 123^\circ C$ y entorno a los $93,5^\circ C$ (Tabla 5 y Figura 47); mientras que en las IF secundarias, los puntos obtenidos estuvieron entre a los $164^\circ C - 130^\circ C$, entre los $128^\circ C - 126^\circ C$ y entre a los $102^\circ C - 98^\circ C$ (Tabla 5 y Figura 48).

Figura 47. Temperaturas de Homogenización (T_h) para el Intrusivo de Pajarito para las IF primarias, donde se observa una concentración de datos entorno a los $165^\circ C$, entre los $123^\circ C - 127^\circ C$ (óvalo naranja) y entorno a los $93,5^\circ C$

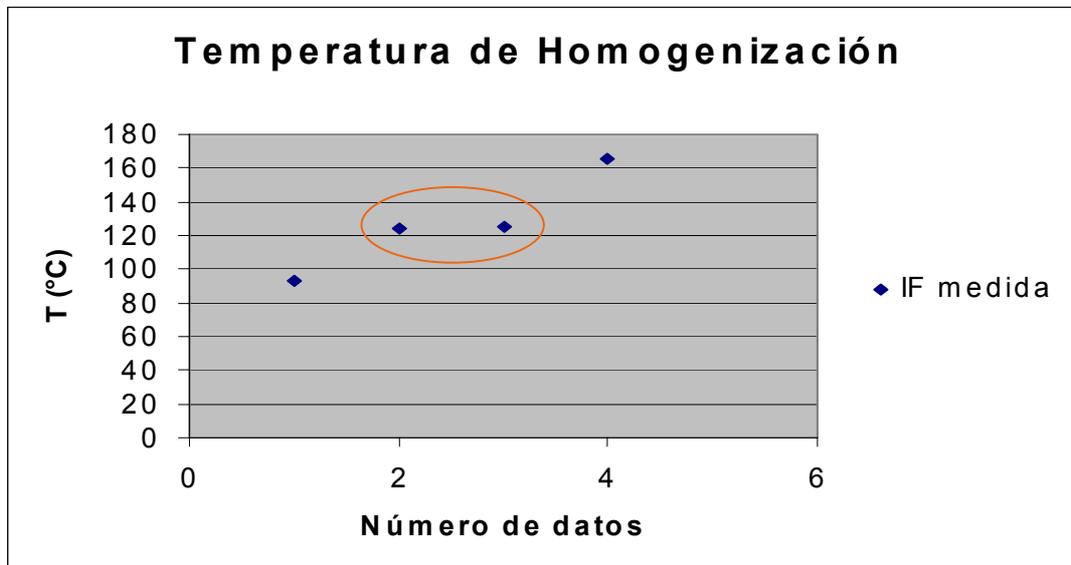
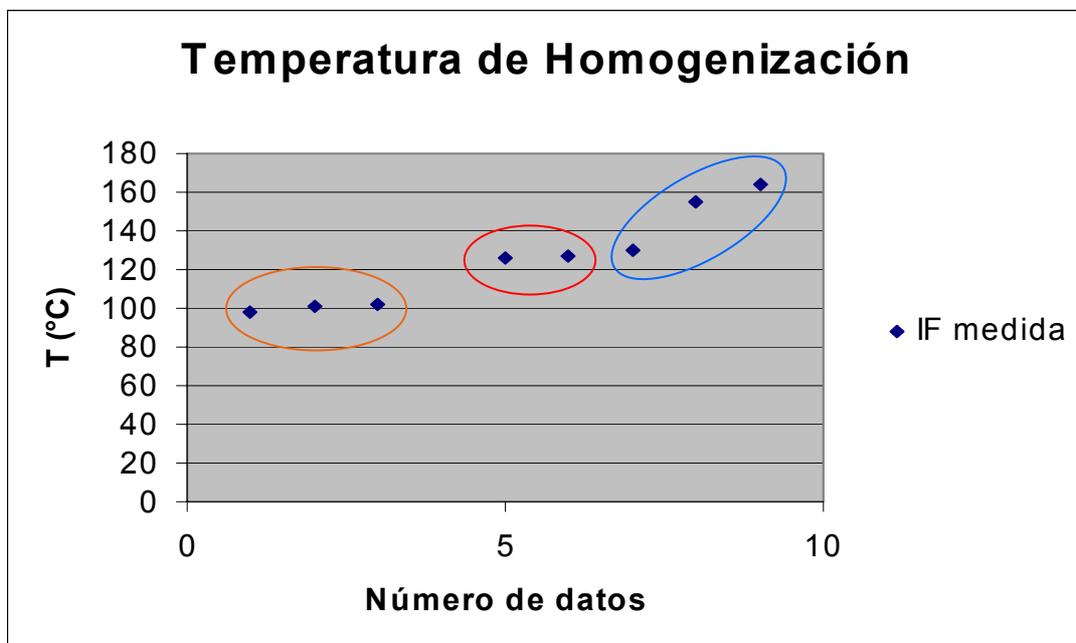


Tabla 5. Familias de Inclusiones Fluidas identificadas en venas del Intrusivo de Pajarito. →L: homogenización a líquido; L:Líquido; V:Vapor.

INTRUSIVO DE PAJARITO (Klip)								
Mat. Analizado	Tipo IF	Fases	Familia	Tcfd (°C)	Tfh (°C)	Th (°C)	Salinidad (% Peso)	Sist. Químico
cuarzo-calcita	Primaria	L+V	I	-68,9	-8,6	165,6 -->L	9,86	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (Fe, Cr, Li, Mn, Mg ?)
			II	-24 a -27	-7 a -9	127 a 123 -->L	10,74 a 13,43	H ₂ O + NaCl (±Mg ?)
			III	-65,4	-6,3	93,5 -->L	7,77	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (Fe, Cr, Li, ?)
	Secundaria	L+V	IV	-52 a -63	-1 a -9	164 a 130 -->L	1,81 a 10,36	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±MgCl ₂)
			V	-25 a -26	-8 a -10	128 a 126 -->L	7,06 a 14,30	H ₂ O + NaCl
			VI	-48 a -62	-5 a -6	101a 98 -->L	6,78 a 7,37	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±Mg ?)

Figura 48. Temperaturas de Homogenización (Th) para el Intrusivo de Pajarito para las IF secundarias, donde los puntos obtenidos estuvieron entre a los 164°C – 130°C (óvalo azul), entre los 128°C - 126°C(óvalo rojo) y entre a los 102°C – 98°C(óvalo naranja).



Interpretación de los datos microtermométricos: Condiciones físicas del atrapamiento de los fluidos.

Paleofluidos relacionados con el Intrusivo de Pajarito.

Las isócoras de los sistemas químicos $H_2O + NaCl$ y $H_2O + NaCl + CaCl_2$, en el intrusivo de Pajarito, fueron calculadas mediante la utilización de los Programas Loner 32 y Loner 38 respectivamente.

La Figura 49, muestra la isócora para el sistema $H_2O + NaCl$, con respecto a las proyecciones de la isócora calculada para el mismo sistema y la del gradiente hidrostático. Esta gráfica se realiza con el objeto de determinar las temperaturas y presiones tanto mínimas como máximas posibles de atrapamiento de este paleofluido. El punto de intersección de la isócora $H_2O + NaCl$ con menor

temperatura (color fucsia), con la proyección de la isócora para el mismo sistema (color Azul), indica la temperatura y presión mínima de atrapamiento para las IF de dicho sistema, las cuales tienen un valor de 124,6°C y 1,708 bares respectivamente. El punto de intersección de la proyección de la isócora (color azul), con la isócora correspondiente al gradiente hidrostático (color amarillo), indica la temperatura y presión máxima de atrapamiento de las inclusiones para la sistema químico H₂O + NaCl, las cuales tienen un valor de 146,6°C y 486,66 bares respectivamente, a partir de estos puntos se pudo determinar una profundidad de atrapamiento máxima 5 kilómetros (Tabla 6).

Tabla 6. Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H₂O + NaCl, en el Intrusivo de Pajarito (los valores en rojo corresponden a las temperaturas y presiones mínimas de atrapamiento)

T° Isocora (°C)	P Isocora (bar)	T° críticas (°C)	P críticas (bar)	T gradiente (°C)	P gradiente (bar.)
125	10,975	0	0	0	0
150	590,113	124,6	1,708	90	300
250	2906,67	146,6	486,66	400	1333,33
400	6381,49	469,98	550,84	600	2000

La Figura 50, muestra la isócora para el sistema químico H₂O + NaCl + CaCl₂, con respecto a las proyecciones de la isócora calculada para el mismo sistema y la del gradiente hidrostático, esta gráfica se realiza con el objeto de determinar las temperaturas y presiones tanto mínimas como máximas posibles de atrapamiento de este paleofluido. El punto de intersección de la isócora H₂O + NaCl + CaCl₂, con menor temperatura (color fucsia), con la proyección de la isócora para el mismo sistema (color Azul), indica la temperatura y presión mínima de atrapamiento para las IF de dicho sistema, las cuales tienen un valor de 165,6°C y 6,112 bares respectivamente. El punto de intersección de la proyección de la isócora (color azul), con la isócora correspondiente al gradiente hidrostático (color amarillo), indica la temperatura y presión máxima de atrapamiento de las inclusiones para el sistema químico H₂O + NaCl + CaCl₂, las cuales tienen un

valor de 200°C y 666,66 bares respectivamente, a partir de estos puntos se pudo determinar una profundidad de atrapamiento máxima de 6,8 kilómetros (Tabla 7).

Tabla 7. Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H₂O + NaCl + CaCl₂, en el Intrusivo de Pajarito (los valores en rojo corresponden a las temperaturas y presiones mínimas de atrapamiento)

T° Isocora (°C)	P Isocora (bar)	T° críticas (°C)	P críticas (bar)	T gradient (°C)	P gradiente (bar.)
167	32,805	0	0	0	0
200	661,994	165,6	6,112	90	300
250	1615,31	200	666,66	400	1333,33
300	2568,63			600	2000

Figura 49. Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H₂O + NaCl.

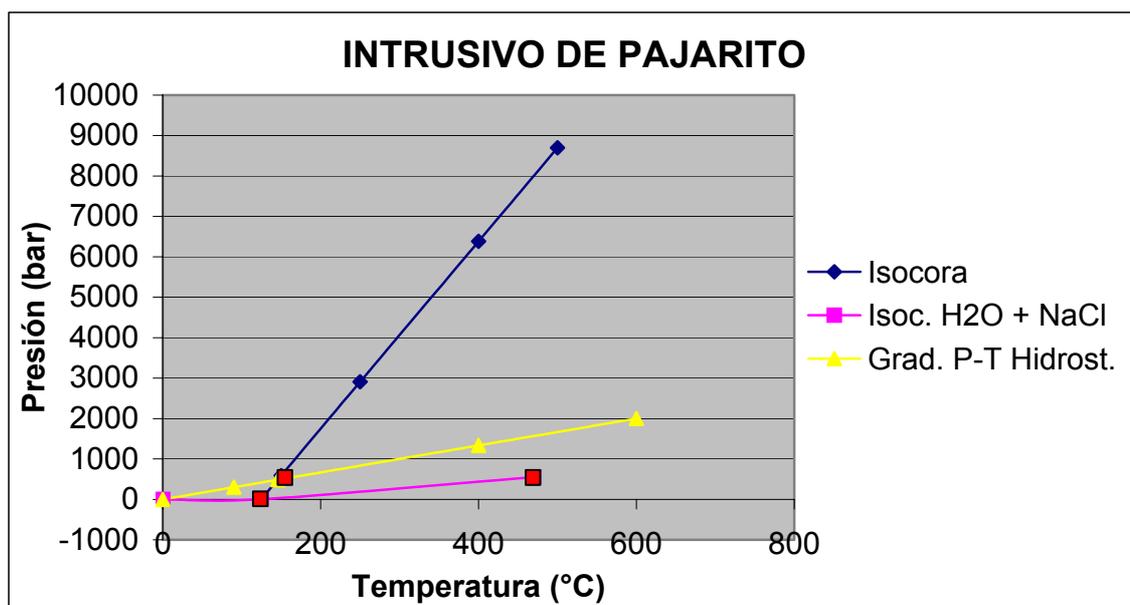
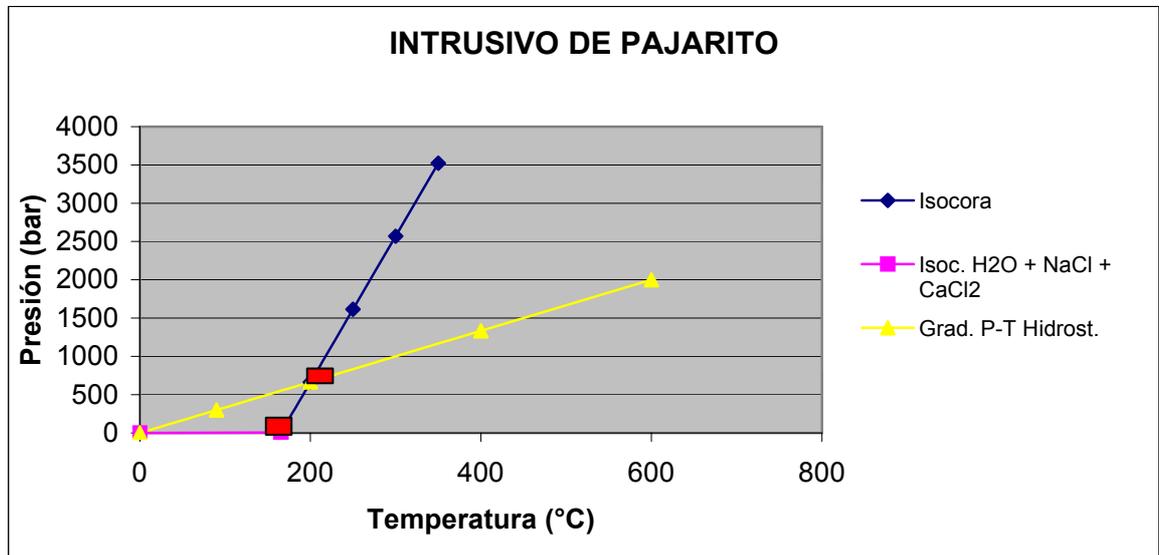


Figura 50. Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$.



3.2.9 Formación Lutitas de Macanal (Kljm)

Tipología de las venas en la Formación Lutitas de Macanal

En esta formación se han observado venas de calcita y cuarzo-calcita, las cuales cortan la estratificación y relleno diaclasas, con una orientación de N60E/54NW, N28W/49NE, N10W/62NE, N67W/65SW, N15W/83SW, N44E/88NW; se considera que han sido formadas mediante un mecanismo tipo “*crak-seal*”. Se observaron en cercanías del municipio de Recetor, sobre la vía que va de San Benito hacia Chameza .

El espesor de estas venas varía desde 1mm hasta 5cm (Figura 51 y 52), presentan texturas de relleno masiva y en algunos casos se ha observado textura de relleno fibroso hacia los bordes de las venas (Figura 53). La gran mayoría son venas de dilatación con textura masiva, formadas mediante procesos de “*crak-seal*”, en estas venas la presión del paleo fluido es tan alta que además de rellenar

las diaclasas rompe la roca caja y crea nuevas fracturas por donde circulan los fluidos e incorporan a la vena partes de la roca caja (Figura 54).

Figura 51. Foto de una vena de cuarzo y calcita perteneciente a la Formación Lutitas de Macanal, de 1.5cm de espesor, la cual presenta morfología de lazo sigmoide, y se encuentra orientada con una dirección de N28W/49NE. Muestra # FF-G1-Δ7-73.

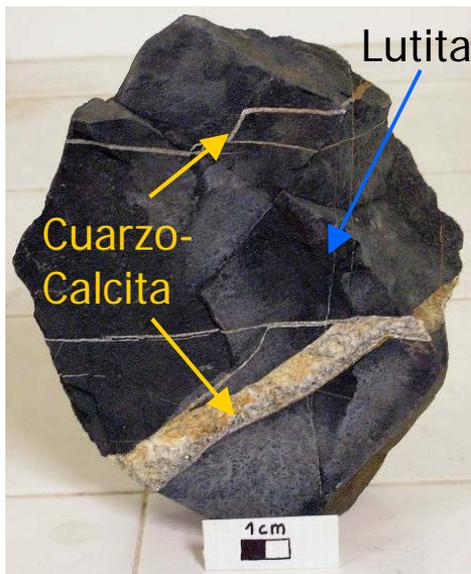


Figura 52. Foto de una vena de cuarzo y calcita perteneciente a la Formación Lutitas de Macanal, de 1cm de espesor, la cual presenta morfología de cola de caballo, y se encuentra orientada con una dirección de N44E/88NW. Muestra # FF-G1-Δ7-74.



Figura 53. Microfotografía de una vena cuarzo con textura de relleno fibroso, de tipo antitaxial con sutura, en la Formación Lutitas de Macanal (Aumento 5x).

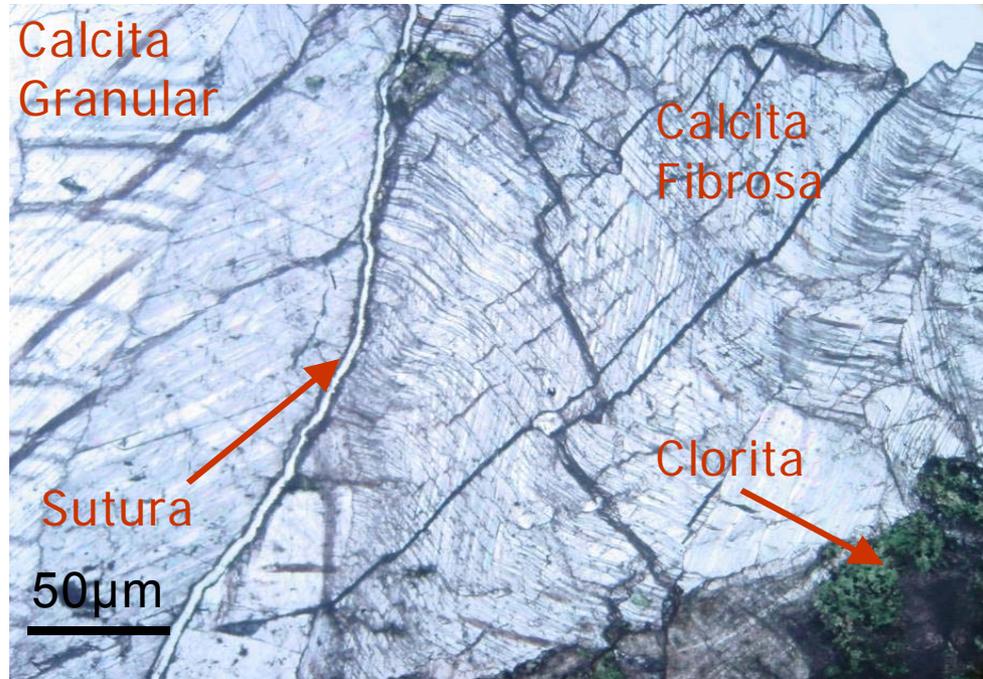
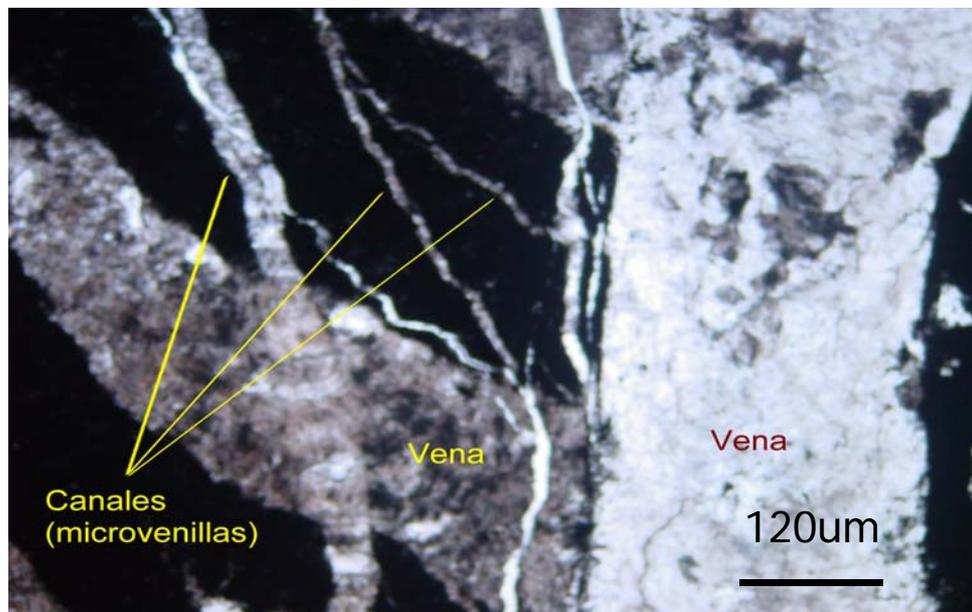


Figura 54. Microfotografía de una vena de cuarzo con textura de relleno masivo en la Formación Lutitas de Macanal donde se observa como la vena rompe la roca caja, creando nuevos canales de circulación (Aumento 2.5x).



La Figura 55 corresponde a una imagen al SEM, donde se aprecia la morfología del material de una vena presente en la Formación Lutitas de Macanal, donde se observó la presencia de inclusiones minerales, de igual forma se pudo determinó la presencia de halita tanto en la vena como dentro de algunas inclusiones. La Figura 56 corresponde a un espectro de composición del material presente en el material de relleno de la vena, la cuales presentan un alto contenido de cloro y sodio y en menor proporción calcio, oxígeno y carbono para la vena de calcita, con algunas trazas de hierro y magnesio.

Figura 55. Imagen al SEM de una vena de calcita donde se observa las diferentes morfologías en las IF presentes y la presencia de halita en la vena y dentro de la inclusión.

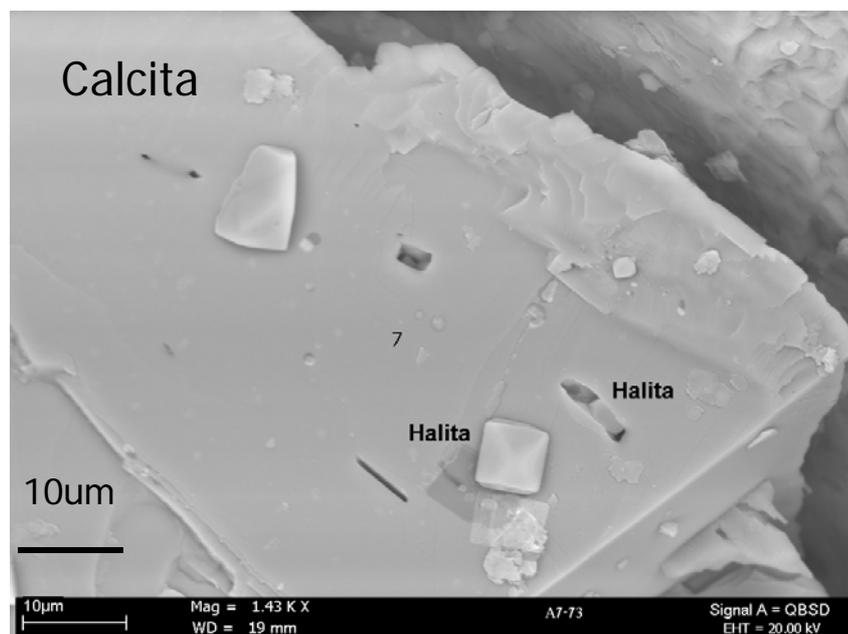
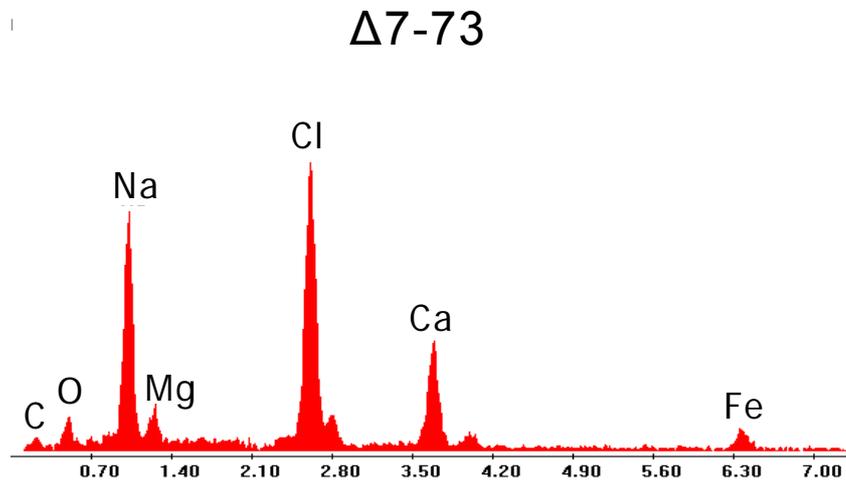


Figura 56. Espectro de composición química de vena de calcita, en la Formación Lutitas de Macanal; con alto contenido de cloro y sodio, y en menor proporción calcio, oxígeno y carbono para la vena de calcita, con algunas trazas de hierro y magnesio.



Petrografía.

En Formación Lutitas de Macanal se estudiaron venas de tipo hidrotermal con relleno de cuarzo principalmente y calcita, las IF presentes en estas venas son bifásicas y trifásicas tanto primarias como secundarias. El estudio petrográfico de las inclusiones fluidas, permitió diferenciar dos tipos de IF las cuales se describen a continuación.

IF Primarias.

Se encuentran distribuidas al azar y aisladas, son bifásicas y trifásicas, normalmente se encuentran ubicadas en las aristas o vértices de los cristales, se caracterizan por sus tamaños entre $5\mu\text{m}$ y $60\mu\text{m}$, presentan morfologías irregulares y suaves con formas alargadas, esféricas, elípticas. Con base en la clasificación de Nash (1976), se determinaron tres tipos de IF: tipo I, constituidas

por una fase líquida con una pequeña burbuja de vapor y sin minerales hijos; tipo II, constituidas por una fase líquida con una gran burbuja de vapor y sin minerales hijos; y tipo III, las cuales son inclusiones polifásicas (líquido+vapor+sólido) que contienen minerales hijos, presentan una fase líquida acuosa, una fase gaseosa y una fase sólida formada por individuos irregulares o rectangulares (Tabla 8). La composición de estos sólidos resultó ser halita y calcita, según el análisis semicuantitativo realizado durante su exploración al SEM. Estos sólidos se presentan sólo en escasas inclusiones y la proporción que ocupan posee un alto grado de variabilidad. En los tres tipos de inclusiones la movilidad de la burbuja es nula. La relación Fase Vapor / Fase Líquido (V/L) en las IF tipo I es de 1/14, en las IF tipo II es de 1/8 y en las IF tipo III varía entre 1/6 y 1/13.

Tabla 8. Tipos de inclusiones fluidas en venas de cuarzo y calcita de la Formación Lutitas de Macanal. (n: número de inclusiones analizadas).

# Lámina	n	Tipo IF	N° Fases	Clas. Nash
FF G1 Δ7-73	1	Primaria	Bifásica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ7-73	1	Primaria	Bifásica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ7-73	5	Primaria	Trifásica (L+V+S)	Tipo III
FF G1 Δ7-75	1	Primaria	Trifásica (L+V+S)	Tipo III
FF G1 Δ7-73	3	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ7-73	2	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ7-73	2	Secundaria	Trifásica (L+V+S)	Tipo III
FF G1 Δ7-75	2	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo II

IF Secundarias

Son apreciables y se pueden distinguir por su gran abundancia en los minerales a lo largo de microfracturas o fisuras cicatrizadas, son bifásicas y trifásicas, generalmente presentan una alineación, y sus tamaños oscilan entre 5µm y 30µm, presentan morfologías irregulares y morfologías suaves, con formas alargadas, esféricas y elípticas; muy pocas de estas inclusiones presentan bordes rectilíneos, la mayoría de los planos observados mantienen un carácter oblicuo con respecto a las paredes de las venas (Figuras 57 y 58). Basados en Nash (1976), estas

inclusiones son de tipo I, líquidas con una pequeña burbuja de vapor y sin minerales hijos, inclusiones de tipo II, líquidas con una gran burbuja de vapor y sin minerales hijos e inclusiones de tipo III, inclusiones Polifásicas (líquido+vapor+sólidos) que contienen minerales hijos (Tabla 8). En los tres tipos de inclusiones la movilidad de la burbuja es nula. La relación Fase Vapor / Fase Líquido (V/L) en las IF tipo I varía entre 1/12 y 1/19, en las IF tipo II varía entre 1/5 y 1/9 y en las IF tipo III varía entre 1/8 y 1/12.

Figura 57. Microfotografía de una familia de inclusiones fluidas secundarias bifásicas, tipo I y II, presentes en una vena de cuarzo-calcita en la Formación Lutitas de Macanal; con morfologías irregulares, suaves alargadas y elípticas. (Aumento 40x).

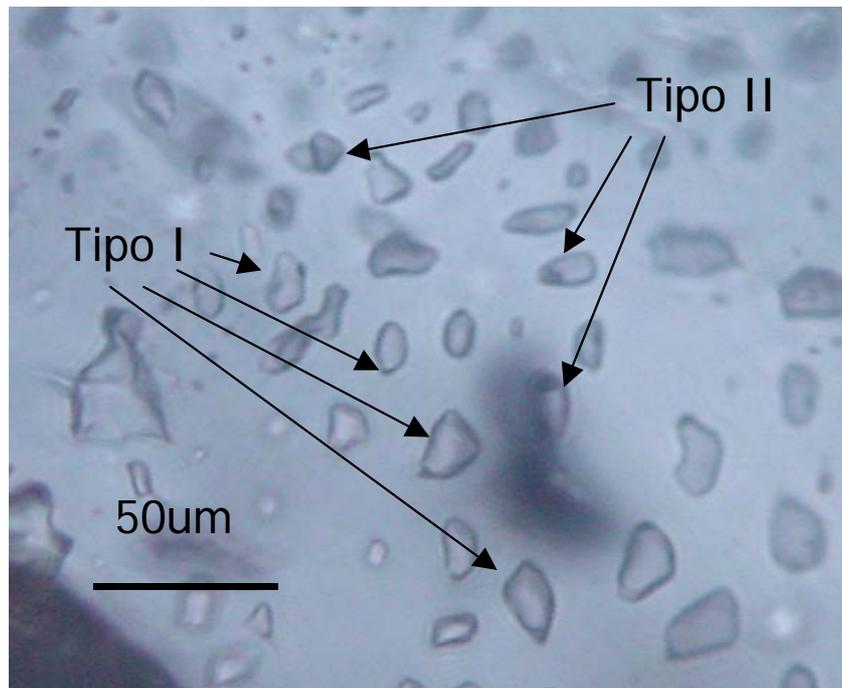
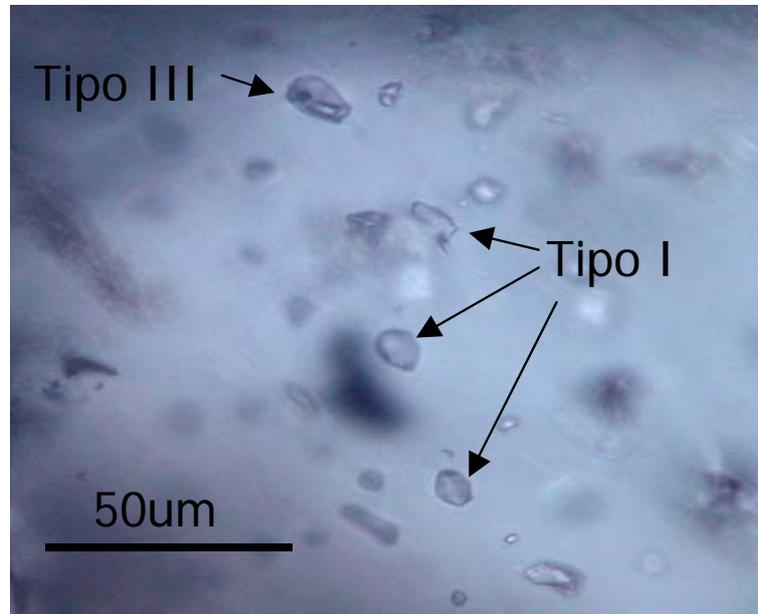


Figura 58. Microfotografía de una familia de inclusiones fluidas secundarias bifásicas y trifásicas, tipo I y III, presentes en una vena de cuarzo-calcita en la Formación Lutitas de Macanal; con morfologías irregulares, suaves alargadas y elípticas. (Aumento 40x).



La Figura 59 ilustra una imagen al SEM, donde se observa un mineral dentro de una IF presente en una vena de cuarzo-calcita en la Formación Lutitas de Macanal. La Figura 60 corresponde al espectro de composición del material presente dentro de la inclusión, donde se observa un alto contenido de calcio, oxígeno, carbono y pequeñas trazas de hierro y cloro, determinándose que el material presente dentro de la IF resultó ser calcita.

Figura 59. Imagen al SEM de una vena de calcita, donde se observa la presencia de carbonato dentro de la inclusión.

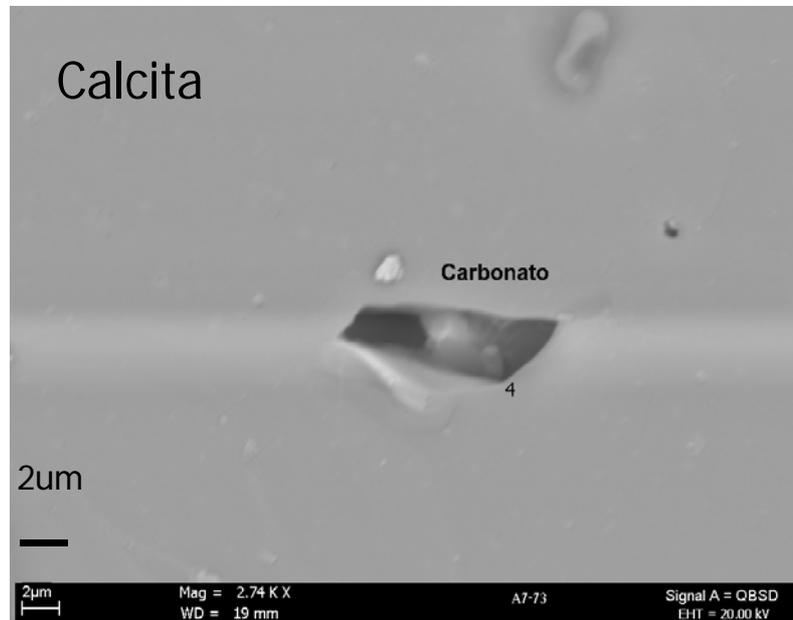
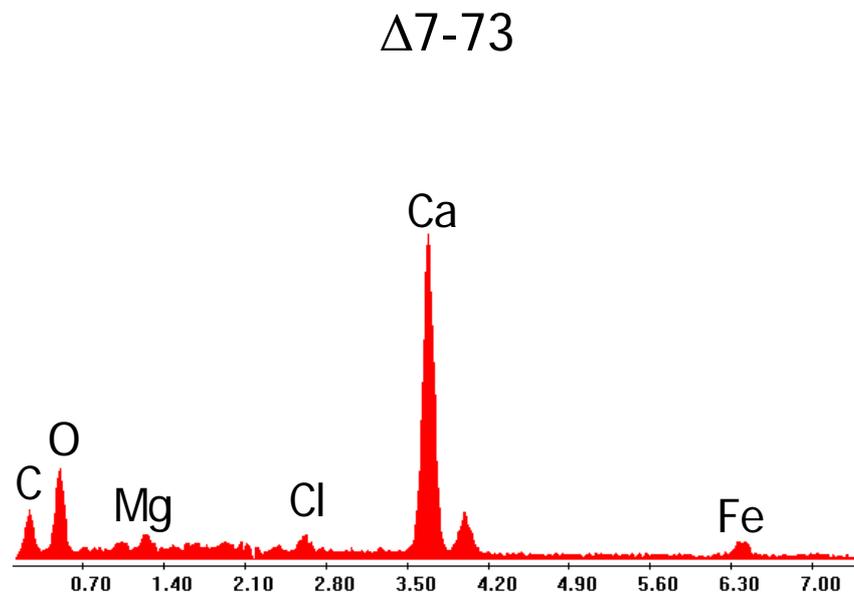


Figura 60. Espectro de composición química de una vena de calcita en la Formación Lutitas de Macanal, mostrando un alto contenido de calcio, oxígeno y carbono, y pequeñas trazas de hierro y cloro.



Datos microtermométricos Formación Lutitas de Macanal.

El comportamiento crioscópico de las IF analizadas en las muestras FF G1 Δ7-73 y FF G1 Δ7-75, para las venas de la Formación Lutitas de Macanal y sus puntos de homogenización, permiten agrupar familias de IF (Tabla 9). Todas ellas corresponden a sistemas acuosos salinos y mezcla de fluidos: $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ y $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{S}$ (?). En algunos de los anteriores sistemas acuosos salinos se presentan algunas trazas minerales tales como Fe, Li, Cr y Mn.

Las propiedades composicionales del sistema acuoso salino $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ en las IF primarias de esta formación, fueron calculadas mediante el Programa AqSo2e (versión 03/02). Dichas propiedades composicionales para los sistemas acuosos-salinos identificados, se encuentran detalladamente en el Anexo E.

El sistema $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$, presenta un porcentaje en peso de NaCl que varía entre 1,032%W de NaCl y 12,1125%W de NaCl y un porcentaje en peso de CaCl_2 que varía entre 1,86177%W de CaCl_2 y 28,2662%w de CaCl_2 ; mientras que en las IF secundarias de esta formación, presenta un porcentaje en peso de NaCl que varía entre 1,2895%W de NaCl y 9,0747%W de NaCl y un porcentaje en peso de CaCl_2 que varía entre 13,9409%W de CaCl_2 y 27,2321%w de CaCl_2 , con presencia de algunas trazas de Fe, Li, Cr y Mn (Tabla 9). Durante el desarrollo de este trabajo no se realizó cálculos para el sistema químico $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{S}$ (?), debido a que para el cálculo de las propiedades composicionales en dicho sistema químico, es necesario realizar otros tipos de estudios adicionales como Espectroscopia Raman, ya que a partir de los datos arrojados por ese tipo de análisis se puede calcular la concentración de cada compuesto en la inclusión.

Conforme a los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en las IF en venas de esta formación, se puede identificar que esta formación se evidencia una mezcla de fluidos conformada por dos sistemas químicos (Tabla 9):

- 1) $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$
- 2) $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{S} (?)$

La explicación de estos sistemas químicos se llevará a cabo en el Anexo H.

Respecto a la Temperatura de Homogenización (T_h) que se reconocieron en las IF primarias de esta formación, los puntos obtenidos estuvieron entre los $332^\circ\text{C} - 205^\circ\text{C}$ y entre $312^\circ\text{C} - 181^\circ\text{C}$ (Tabla 9 y Figura 61); mientras en las IF secundarias, los puntos obtenidos estuvieron entre $213^\circ\text{C} - 191^\circ\text{C}$, entre $262^\circ\text{C} - 107^\circ\text{C}$ y entre los $28^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$ (Tabla 9 y Figura 62). Las temperaturas altas que se observaron en el momento de las mediciones se debe a la reacción producida por la mezcla de los fluidos presentes en el momento de la formación de dichas IF, por lo tanto estas temperaturas altas no representan el pico máximo de temperatura alcanzado por las IF.

Figura 61. Temperaturas de Homogenización (T_h) en IF primarias, para La Formación Lutitas de Macanal, donde los puntos obtenidos estuvieron entre los $332^\circ\text{C} - 205^\circ\text{C}$ (óvalo naranja) y entre $312^\circ\text{C} - 181^\circ\text{C}$ (óvalo azul).

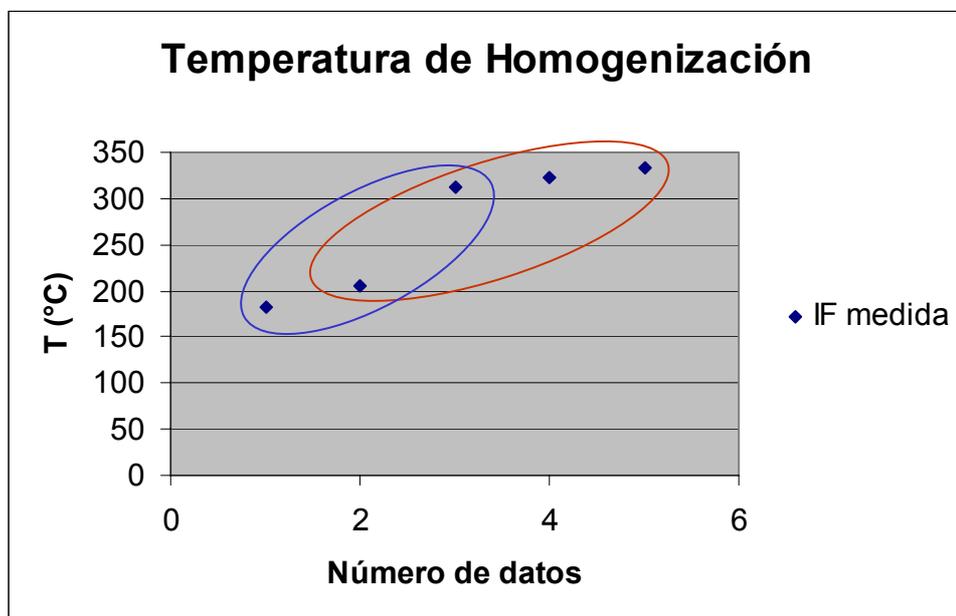
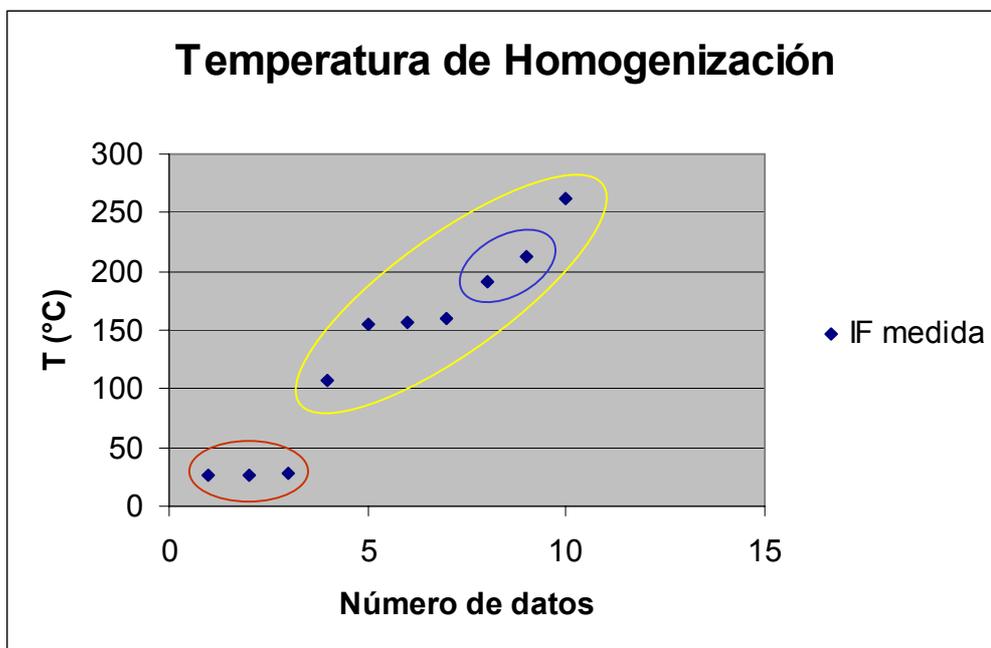


Tabla 9. Familias de Inclusiones Fluidas identificadas en venas de la Formación Lutitas de Macanal.

FORMACION LUTITAS DE MACANAL (Kljm)								
Mat. Analizado	Tipo IF	Fases	Familia	Tcfd (°C)	Tfh (°C)	Th (°C)	Salinidad (% Peso)	Sist. Químico
Cuarzo- Calcita	Primaria	L+V	I	-56 a -84	-9,6	332 a 205 -->L	1,33	Mezcla de fluidos H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±Fe, Cr, Li, Mn?) y CO ₂ + CH ₄ + N ₂ + H ₂ S (?)
		L+V+S		-51 a -85	-10 a -11	312 a 181 -->L	1,03 a 12,11	
	Secundaria	L+V+S	I	-76 a -79	-10 a -13	262 a 107-->L	1,29 a 9,07	
		L+V		-80 a -85	-11 a -12	213 a 191-->L	1,31 a 6,85	
		L+V		-68 a -73	-0,5 a -1	28 a 26 -->V	---	

Figura 62. Temperaturas de Homogenización (Th) en IF secundarias, para La Formación Lutitas de Macanal, donde los puntos obtenidos estuvieron entre 213°C – 191°C (óvalo azul), entre 262°C – 107°C (óvalo amarillo) y entre los 28°C – 26°C (óvalo naranja).



Interpretación de los datos microtermométricos: Condiciones físicas del atrapamiento de los fluidos.

Paleofluidos relacionados con la Formación Lutitas de Macanal.

Las isócoras del sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, en la Formación Lutitas de Macanal, fueron calculadas mediante la utilización del Programa Loner 38.

Las isocoras fueron realizadas para determinar temperaturas y presiones posibles de atrapamiento de las IF, para el sistema $H_2O + NaCl + CaCl_2$. De igual manera se construyó isocoras comparativas para dicho sistema químico y se calculo la isócora correspondiente al gradiente de presión hidrostática. para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, se enfrentaron las tres isocoras calculadas y se pudo determinar los valores temperatura y presión máxima de atrapamiento, para

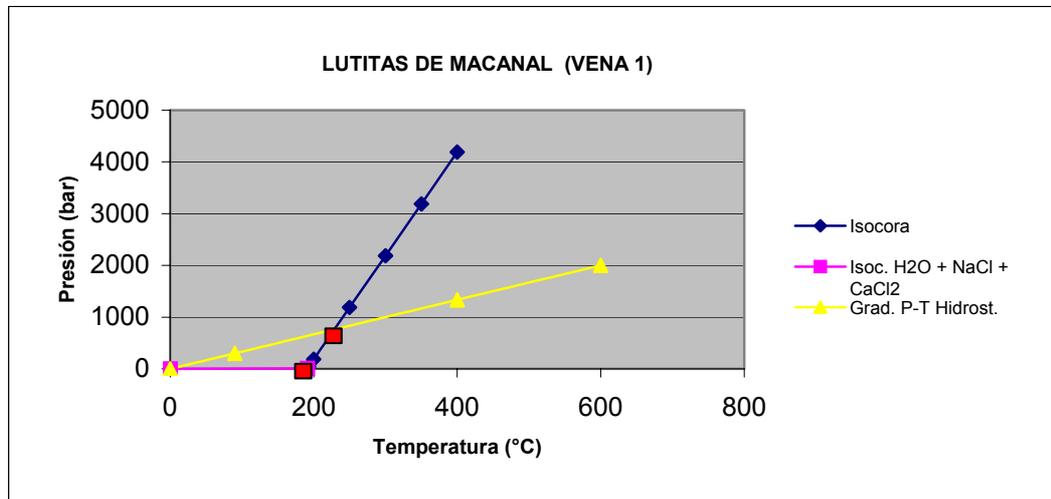
así poder conocer las condiciones de formación de los minerales y la profundidad a la que fueron atrapadas dichas inclusiones.

La Figura 63 muestra la isócora para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, con respecto a las proyecciones de la isócora calculada para el mismo sistema y la del gradiente hidrostático, estas gráfica se realizó con el objeto de determinar la temperatura y presión tanto mínima como máxima de atrapamiento. El punto de intersección de la isócora $H_2O + NaCl + CaCl_2$ con menor temperatura (color fucsia), con la proyección de la isócora para el mismo sistema (color Azul), indican la temperatura y presión mínima de atrapamiento para las IF de dicho sistema, la cual tienen un valor en la Figura 64 de 191,2°C y 10,35 bares respectivamente. El punto de intersección de la proyección de la isócora (color azul), con la isócora correspondiente al gradiente hidrostático (color amarillo), indica la temperatura y presión máxima de atrapamiento de las inclusiones para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, la cual tiene un valor en la Figura 63 de 231°C y 770 bares respectivamente, a partir de estos puntos se pudo determinar una profundidad de atrapamiento para las IF pertenecientes al sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$ de 7,8 kilómetros (Tabla 10).

Tabla 10. Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$ en la Formación Lutitas de Macanal (los valores en rojo corresponden a las temperaturas y presiones mínimas de atrapamiento)

VENA 1					
T° Isocora (°C)	P Isocora (bar)	T° críticas (°C)	P críticas (bar)	T gradient (°C)	P gradiente (bar.)
193	46,374	0	0	0	0
200	186,469	191,2	10,35	90	300
250	1187,14	231	770	400	1333,33
300	2187,81			600	2000
350	3188,48				
400	4189,15				

Figura 63. Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$.



3.2.10 Formación Une (Kmu)

Petrografía.

En esta formación se estudiaron inclusiones transgranulares formadas en microfracturas selladas que cortan los límites de grano detríticos, ya que en esta formación no se encontraron venas cristalinas para ser estudiadas. La gran mayoría de las IF presentes en estos granos son bifásicas primarias y secundarias.

Sin embargo, también se estudiaron algunas IF Primarias, presentes en algunos granos detríticos. Estas inclusiones, evidentemente no guardan relación alguna con la historia de los fluidos intracuencales, pero si aportan información sobre el material en el que se forma la inclusión.

IF Primarias.

Son IF heredadas presentes en granos detríticos, las cuales suministran información sobre la historia de formación del mineral, se encuentran distribuidas al azar y aisladas, son bifásicas, normalmente se encuentran ubicadas en las aristas o vértices de los cristales, se caracterizan por sus tamaños entre 10 μ m y 70 μ m, presentan morfologías suaves alargadas y elípticas, morfologías de cristal negativo y morfologías irregulares (Figura 64). Con base en la clasificación de Nash (1976), se observó un solo tipo de IF, correspondiendo a inclusiones tipo II, liquidadas con una gran burbuja de vapor y sin minerales hijos (Tabla 11). En este tipo de inclusiones la movilidad de la burbuja es nula. La relación Fase Vapor / Fase Líquido (V/L) varía entre 1/1.5 y 1/9.

Figura 64. Microfotografía de inclusiones fluidas primarias bifásicas, tipo II, con relación Vapor / líquido de 1/5, presentes en granos de cuarzo en la Formación Une, con morfología suave elíptica. (Aumento 20x)

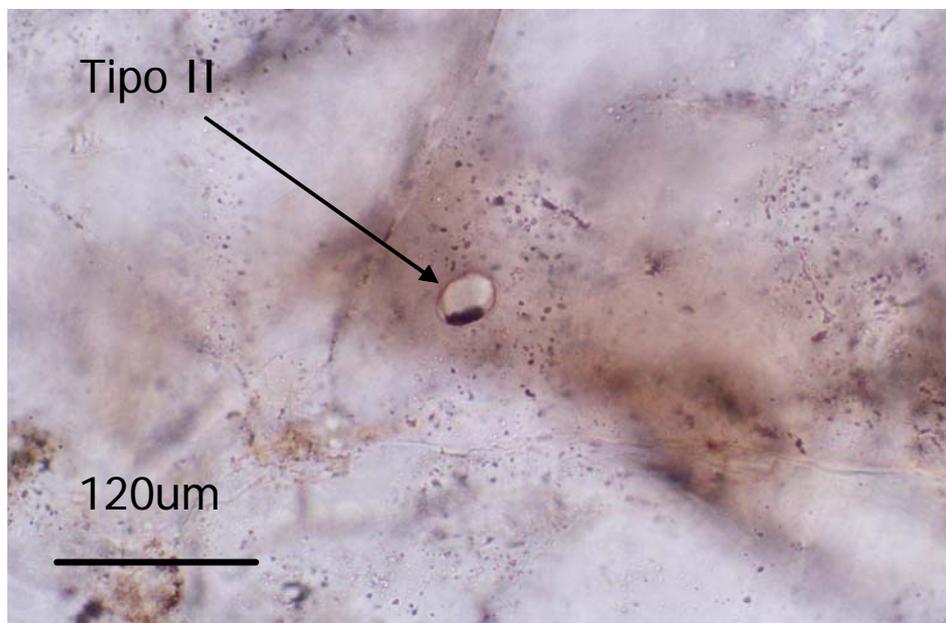


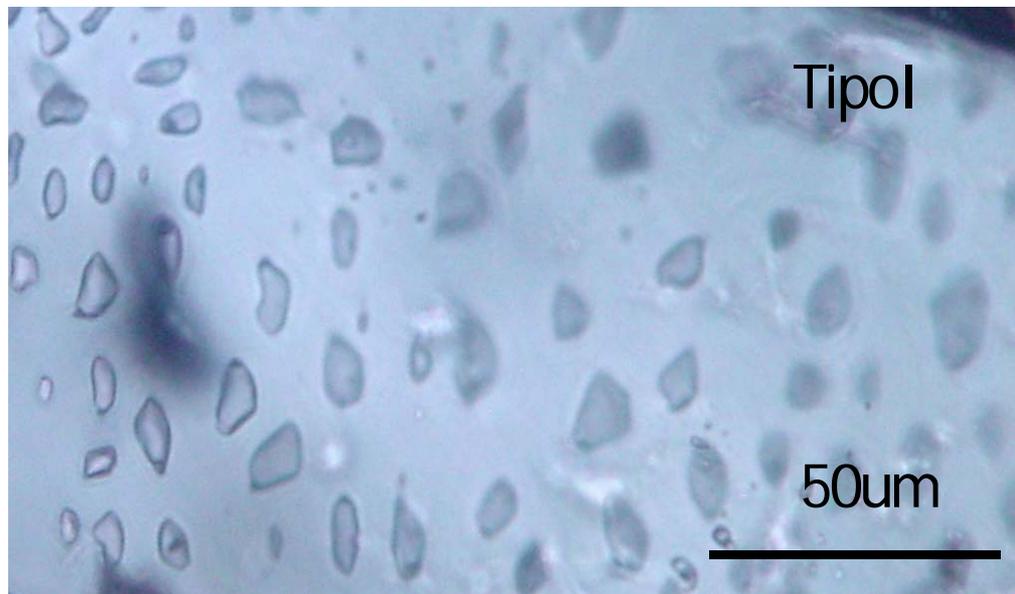
Tabla 11. Tipos de inclusiones fluidas transgranulares en granos de cuarzo de la Formación Une. (n: número de inclusiones analizadas).

# Lámina	n	Tipo IF	Nº Fases	Clas. Nash
FF G1 Δ8 -24	3	Primaria	Bifasica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ9 -26	6	Primaria	Bifasica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ11-30	3	Primaria	Bifasica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ8 -21	5	Secundaria	Bifasica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ8 -21	11	Secundaria	Bifasica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ8 -24	8	Secundaria	Bifasica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ8 -24	6	Secundaria	Bifasica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ9 -26	3	Secundaria	Bifasica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ9 -26	2	Secundaria	Bifasica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ11-30	2	Secundaria	Bifasica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ11-30	4	Secundaria	Bifasica (L+V)	Tipo II

IF Secundarias Transgranulares

Son apreciables y se pueden distinguir por su gran abundancia en los minerales a lo largo de microfracturas o fisuras selladas, son bifásicas, generalmente presentan una alineación cortando los límites de los granos y sus tamaños oscilan entre las 4µm y 20µm, presentan morfologías irregulares y morfologías suaves con formas alargadas, elípticas y esféricas (Figura 65). Basados en Nash (1976), se puede distinguir dos tipos de IF, estas inclusiones son de tipo I, líquidas con una pequeña burbuja de vapor y sin minerales hijos, e inclusiones de tipo II, líquidas con una gran burbuja de vapor y sin minerales hijos (Tabla 11). En los dos tipos de inclusiones la movilidad de la burbuja varía de baja a alta, también se observó inclusiones donde la movilidad de la burbuja es nula. La relación Fase Vapor / Fase Líquido (V/L) en las IF tipo I varía entre 1/10 y 1/24 y en las IF tipo II varía entre 1/3 y 1/9. En esta formación nos concentraremos solo en el análisis y estudio de las Inclusiones Fluidas Secundarias Transgranulares.

Figura 65. Microfotografía de una familia de inclusiones fluidas secundarias transgranulares, tipo I, con relación Vapor/líquido variable de entre 1/10 y 1/24, bifásicas, presentes en granos de cuarzo en la Formación Une, con morfologías irregulares y suaves alargadas. (Aumento 50x)



Datos microtermométricos Formación Une.

El estudio microtermométrico en granos de cuarzo detríticos, de las IF transgranulares analizadas en las muestras FF G1 Δ8-21, FF G1 Δ8-24, FF G1 Δ9-26 y FF G1 Δ11-30 de esta formación y sus puntos de homogenización, permiten agrupar familias de IF (Tabla 12). Todas ellas corresponden a sistemas acuosos salinos: $H_2O + NaCl$, $H_2O + NaCl + CaCl_2$ y $H_2O + NaCl + CaCl_2 (\pm MgCl_2)$. En algunos de los anteriores sistemas acuosos salinos se presentan algunas trazas minerales de Mg.

Las propiedades composicionales para la Formación Une, en el sistema acuoso salino $H_2O + NaCl$, fueron calculadas mediante la utilización del Programa AqSo5e (versión 03/02), para el sistema acuoso salino $H_2O + NaCl + CaCl_2$, fueron calculadas utilizando el Programa AqSo2e (versión 03/02); mientras que para el

Programa AqSo3e (versión 03/02). Dichas propiedades composicionales, para los sistemas acuosos-salinos identificados, se encuentran detalladamente en el Anexo F.

En este trabajo se estudió con detalle las IF secundarias transgranulares neoformadas, de tal forma, que para el sistema químico $H_2O + NaCl$, presento un porcentaje en peso de NaCl que varía entre 1,0466%W de NaCl y 8,26678%W de NaCl, con presencia de algunas trazas de Mg; mientras que el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, presento un porcentaje en peso de NaCl que varía entre 1,49605%W de NaCl y 14,1686%W de NaCl, y un porcentaje en peso de $CaCl_2$ que varía entre 3,46458%W $CaCl_2$ y 19,4519%W $CaCl_2$, con presencia de algunas trazas de Mg (Tabla 12).

Conforme a los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en las IF transgranulares presentes en la Formación Une, se pueden agrupar en tres sistemas químicos (Tabla 12):

- 1) $H_2O + NaCl$
- 2) $H_2O + NaCl + CaCl_2$
- 3) $NaCl + CaCl_2 (\pm MgCl_2)$.

Para nuestro estudio en esta formación solo tendremos en cuenta los sistemas químicos $H_2O + NaCl$ y $H_2O + NaCl + CaCl_2$ presentes en IF transgranulares secundarias neoformadas. La explicación de estos sistemas químicos se llevará a cabo en el anexo H.

Respecto a la Temperatura de Homogenización (T_h) que se reconocieron en las IF transgranulares de esta formación, los puntos obtenidos estuvieron entre los $462^\circ C - 421^\circ C$, entre $385^\circ C - 320^\circ C$ y entre $311^\circ C - 275^\circ C$, para IF primarias heredadas; entre $235^\circ C - 185^\circ C$, entre los $214^\circ C - 150^\circ C$ y entre $178^\circ C - 149^\circ C$,

para IF secundarias heredadas; mientras que para las IF secundarias neoformadas los puntos obtenidos estuvieron entre los 138°C – 120°C y entre 137°C – 122°C (Tabla 12 y Figura 66).

Figura 66. Temperaturas de homogenización (Th) para la Formación Une en IF secundarias neoformadas, donde los puntos obtenidos estuvieron entre los 138°C – 120°C (óvalo azul) y entre 137°C – 122°C (óvalo rojo).

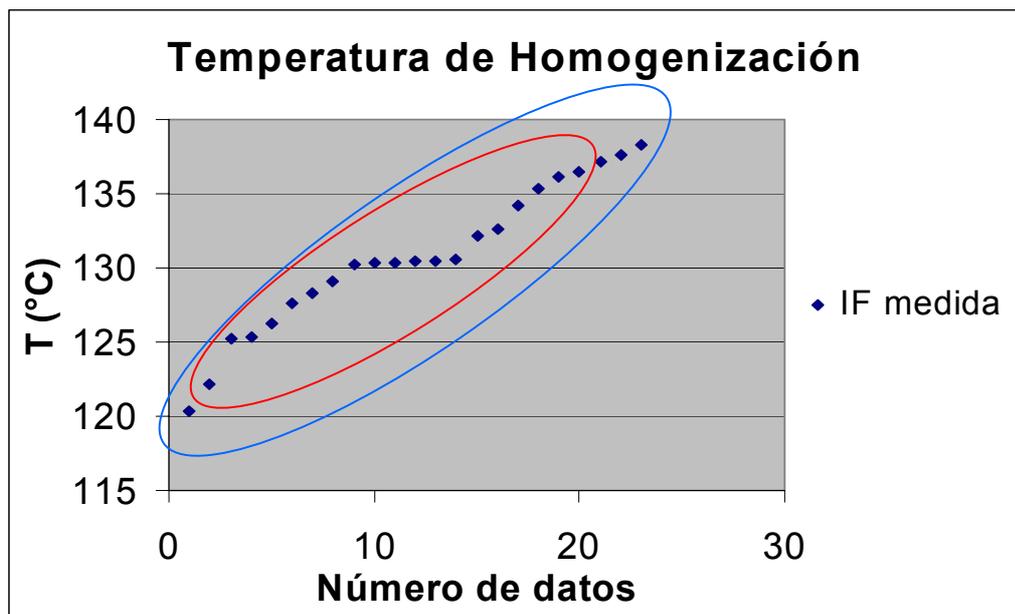


Tabla 12. Familias de Inclusiones Fluidas identificadas en granos de cuarzo detrítico en la Formación Une.

FORMACION UNE (Kmu)								
Mat. Analizado	Tipo IF	Fases	Familia	Tcfd (°C)	Tfh (°C)	Th (°C)	Salinidad (% Peso)	Sist. Químico
Grano de cuarzo detrítico	Primaria heredada	L+V	I	---	-2 a -3	462 a 421 -->L	---	---
			II	-20 a -33	-0,2 a -8	385 a 320 -->L	0,14 a 12,53	H ₂ O + NaCl (±Mg ?)
			II	-39 a -48	-1 a -2	311 a 275 -->L	0,76 a 2,96	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (± MgCl ₂)
Grano de cuarzo detrítico	Secundaria Heredada	L+V	IV	-22 a -31	-2 a 8	235 a 185 -->L	3,85 a 18,35	H ₂ O + NaCl (±Mg ?)
		L+V	V	-37 a -46	-1 a -8	214 a 150 -->L	1,39 a 9,37	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±Mg ?)
		L+V	VI	-20 a -30	-5 a -10	178 a 149 -->L	7,99 a 16,52	H ₂ O + NaCl (±Mg ?)
Grano de cuarzo detrítico	Secundaria Neoformada	L+V	VII	-42 a -47	-2 a -6	138 a 120 -->L	1,49 a 14,16	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±Mg ?)
			VIII	-22 a -39	-0,5 a -9	137 a 122 -->L	1,05 a 8,27	H ₂ O + NaCl (±Mg ?)

Interpretación de los datos microtermométricos: Condiciones físicas del atrapamiento de los fluidos.

Paleofluidos relacionados con la Formación Une.

Las isócoras de los sistemas químicos $H_2O + NaCl$ y $H_2O + NaCl + CaCl_2$ en la Formación Une, fueron calculadas mediante la utilización de los Programas Loner 32 y Loner 38 respectivamente.

Las isocoras fueron realizadas en cada sistema para determinar temperaturas y presiones posibles de atrapamiento de las IF, así como las temperaturas críticas para el sistema $H_2O + NaCl$, temperaturas a las cuales a partir de ese punto el fluido se comporta como un estado supercrítico. De igual manera se utilizaron los programas para construir isocoras comparativas de cada sistema químico, y se calculo la isócora correspondiente al gradiente de presión hidrostática. Para cada sistema químico se enfrentaron las tres isocoras calculadas y se pudo determinar los valores temperatura y presión máxima de atrapamiento, para así poder conocer las condiciones de formación de los minerales y la profundidad a la que fueron atrapadas dichas inclusiones.

La Figura 67, muestra la isócora para el sistema químico $H_2O + NaCl$, con respecto a las proyecciones de la isócora calculada para el mismo sistema y la del gradiente hidrostático, esta gráfica se realiza con el objeto de determinar las temperaturas y presiones tanto mínimas como máximas de atrapamiento. El punto de intersección de la isócora $H_2O + NaCl$ con menor temperatura (color fucsia), con la proyección de la isócora para el mismo sistema (color Azul), indica la temperatura y presión mínima de atrapamiento para las IF de dicho sistema, las cuales tienen un valor de $130,5^{\circ}C$ y 2,04 bares respectivamente. El punto de intersección de la proyección de la isócora (color azul), con la isócora correspondiente al gradiente Hidrostático (color amarillo), indica la temperatura y

presión máxima de atrapamiento de las inclusiones para el sistema químico $H_2O + NaCl$, las cuales tienen un valor de $160^{\circ}C$ y $533,33$ bares respectivamente, a partir de estos puntos se pudo determinar aproximadamente una profundidad de atrapamiento máxima de $5,4$ kilómetros (Tabla 13).

Tabla 13. Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico $H_2O + NaCl$, en la Formación Une (los valores en rojo corresponden a las temperaturas y presiones mínimas de atrapamiento).

T° Isocora (°C)	P Isocora (bar)	T° críticas (°C)	P críticas (bar)	T gradient (°C)	P gradiente (bar.)
160	2,04205	0	0	0	0
200	1283,56	130,5	2,04205	90	300
300	3127,43	160	533,33	400	1333,33
		395,265	271,922		

La Figura 68, muestra la isócora para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, con respecto a las proyecciones de la isócora calculada para el mismo sistema y la del gradiente hidrostático, esta gráfica se realiza con el objeto de determinar las temperaturas y presiones tanto mínimas como máximas de atrapamiento. El punto de intersección de la isócora $H_2O + NaCl + CaCl_2$, con menor temperatura (color fucsia), con la proyección de la isócora para el mismo sistema (color Azul), indica la temperatura y presión mínima de atrapamiento para las IF de dicho sistema, las cuales tienen un valor de $138,3^{\circ}C$ y $4,53$ bares respectivamente. El punto de intersección de la proyección de la isócora (color azul), con la isócora correspondiente al gradiente hidrostático (color amarillo), indica la temperatura y presión máxima de atrapamiento de las inclusiones para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, las cuales tienen un valor de $162^{\circ}C$ y 540 bares respectivamente, a partir de estos puntos se pudo determinar aproximadamente una profundidad de atrapamiento máxima de $5,5$ kilómetros (Tabla 14).

Tabla 14. Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, en la Formación Une (los valores en rojo corresponden a las temperaturas y presiones mínimas de atrapamiento).

T° Isocora (°C)	P Isocora (bar)	T° críticas (°C)	P críticas (bar)	T gradiente (°C)	P gradiente (bar.)
138,3	4,5396	0	0	0	0
200	1366,36	138,3	4,5396	90	300
300	3573,53	162	540	300	1000

Figura 67. Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico $H_2O + NaCl$.

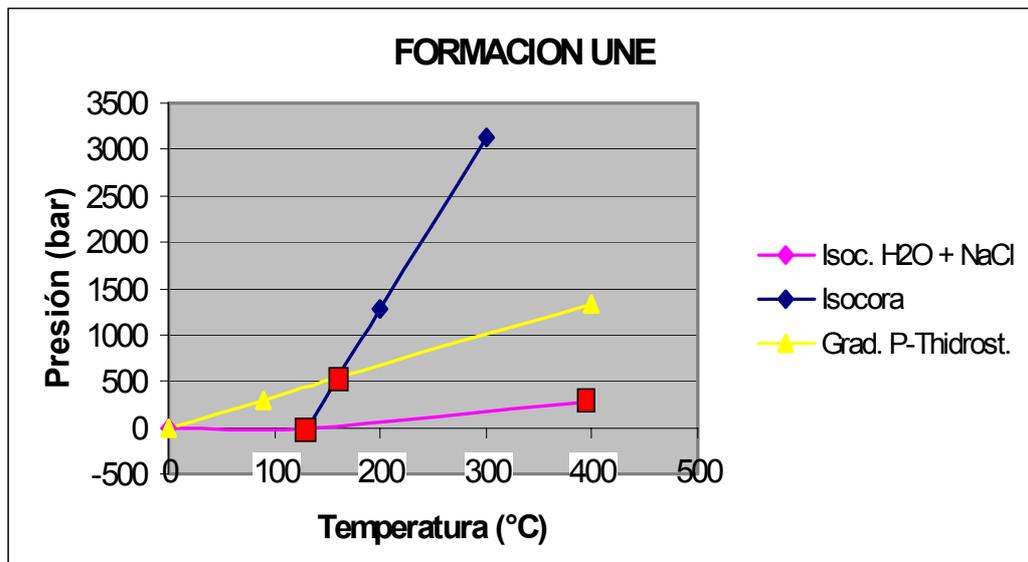
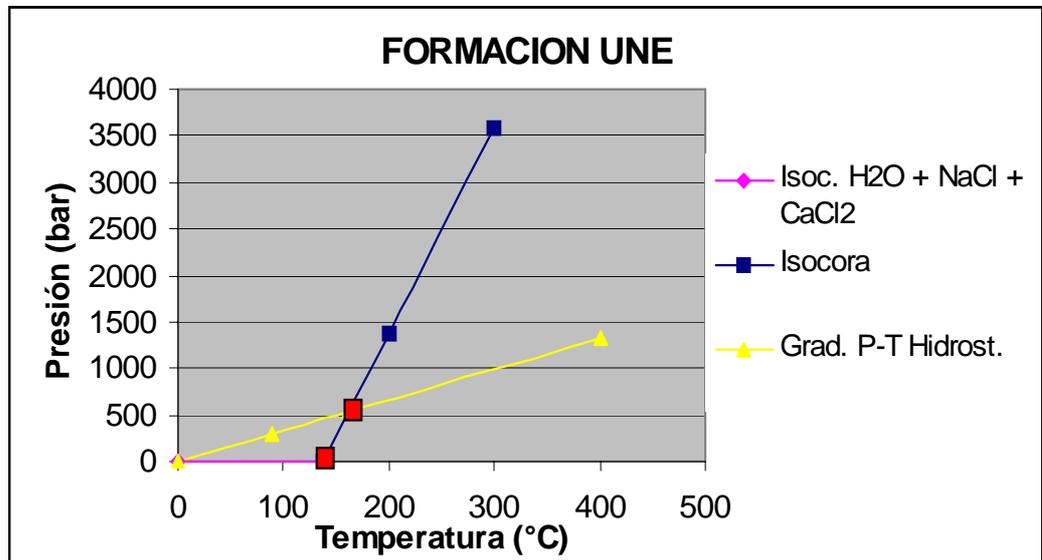


Figura 68. Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H₂O + NaCl + CaCl₂.



3.2.11 Formación Guadalupe (Ksg)

Petrografía.

En esta formación se estudiaron inclusiones transgranulares formadas en microfracturas selladas que cortan los límites de grano detríticos, ya que en esta formación tampoco se encontró venas cristalinas para ser estudiadas. La gran mayoría de las IF presentes en estos granos son bifásicas primarias y secundarias.

Sin embargo, también se estudiaron algunas IF Primarias, presentes en algunos granos detríticos. Estas inclusiones, evidentemente no guardan relación alguna con la historia de los fluidos intracuencales, pero si aportan información sobre el material en el que se forma la inclusión.

IF Primarias.

Son inclusiones heredadas de los granos, las cuales nos proveen información sobre la historia de formación del mineral, se encuentran distribuidas al azar y aisladas, son bifásicas, normalmente se encuentran ubicadas en las aristas o vértices de los cristales, se caracterizan por sus tamaños entre $10\mu\text{m}$ y $70\mu\text{m}$, presentan morfologías suaves elípticas y morfologías irregulares (Figura 69). Basados en la clasificación de Nash (1976), se observó solo dos tipos de IF, estas inclusiones son de tipo I, líquidas con una pequeña burbuja de vapor y sin minerales hijos, e inclusiones de tipo II, líquidas con una gran burbuja de vapor y sin minerales hijos; en los dos tipos de inclusiones la movilidad de la burbuja varía de baja a alta y en algunas inclusiones la movilidad de la burbuja es nula. La relación Fase Vapor / Fase Líquido (V/L) en las IF tipo I es de $1/18$ y en las IF tipo II varía entre $1/1.5$ y $1/9$ (Tabla 15).

Figura 69. Microfotografía de inclusiones fluidas primarias bifásicas, tipo II, con relación Vapor/líquido de $1/1.5$, presentes en granos de cuarzo en la Formación Guadalupe, con morfología suave elíptica. (Aumento 20x).

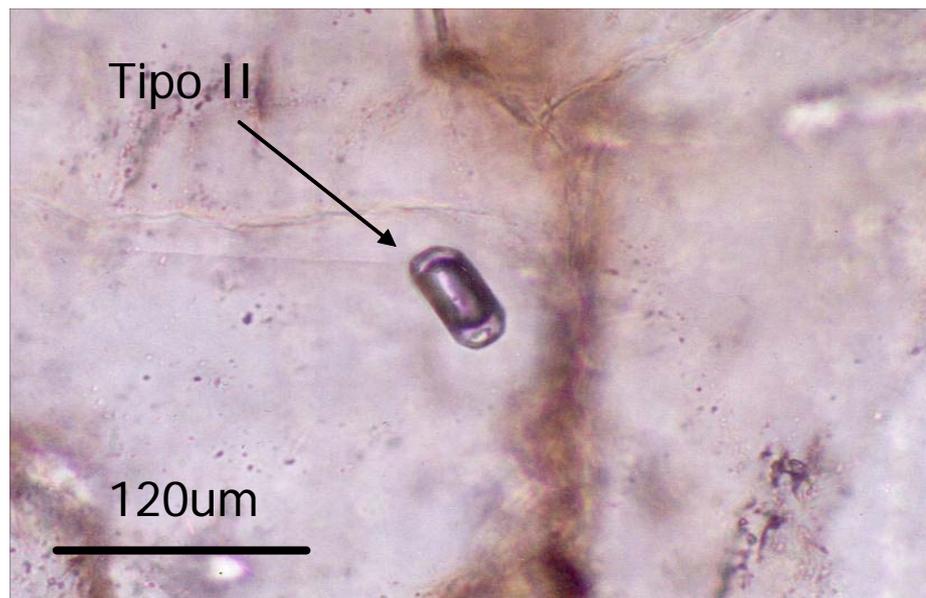


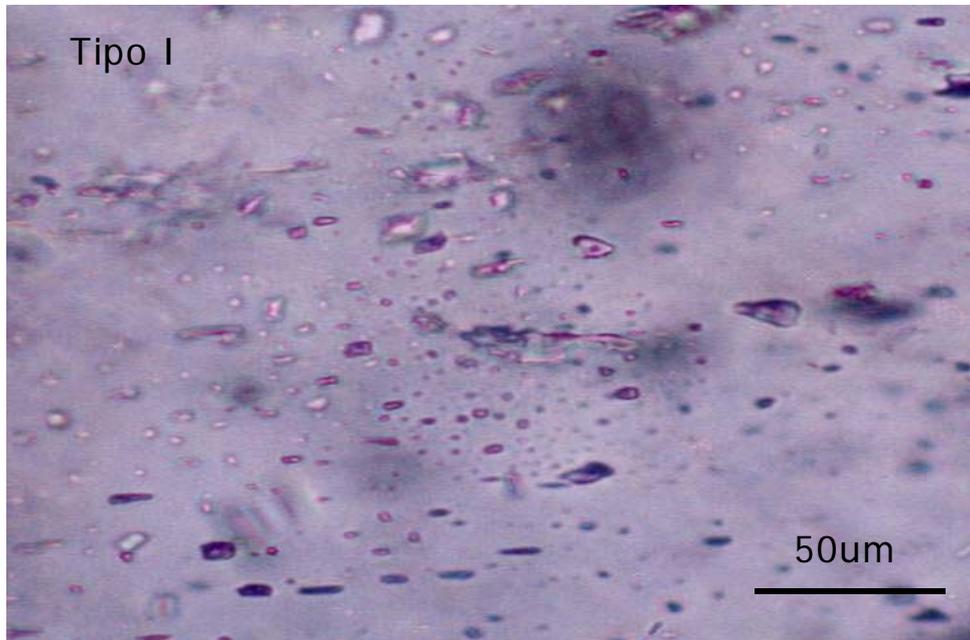
Tabla 15. Tipos de Inclusiones Fluidas en granos de cuarzo de la Formación Guadalupe. (n: número de inclusiones analizadas).

# Lámina	n	Tipo IF	N° Fases	Clas. Nash
FF G1 Δ15-36	1	Primaria	Bifásica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ15-36	3	Primaria	Bifásica (L+V)	Tipo II
FF G1 Δ15-36	13	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo I
FF G1 Δ15-36	4	Secundaria	Bifásica (L+V)	Tipo II

IF Secundarias Transgranulares

Son apreciables y se pueden distinguir por su gran abundancia en los minerales a lo largo de microfracturas o fisuras selladas, generalmente presentan una alineación cortando los límites de los granos y sus tamaños oscilan entre las 4 μ m y 30 μ m, presentan morfologías irregulares y morfologías suaves con formas alargadas, elípticas y esféricas (Figura 70). Basados en Nash (1976), se puede distinguir dos tipos de IF, estas inclusiones son de tipo I, líquidas con una pequeña burbuja de vapor y sin minerales hijos, e inclusiones de tipo II, líquidas con una gran burbuja de vapor y sin minerales hijos; en los dos tipos de inclusiones la movilidad de la burbuja varía de baja a alta, también se observó inclusiones donde la movilidad de la burbuja es nula. La relación Fase Vapor / Fase Líquido (V/L) en las IF tipo I varía entre 1/10 y 1/22 y en las IF tipo II varía entre 1/4 y 1/9 (Tabla 15). En esta formación, de nuevo nos concentraremos solo en el análisis y estudio de las Inclusiones Fluidas Secundarias Transgranulares.

Figura 70. Microfotografía de una familia de inclusiones fluidas secundarias transgranulares, tipo I, con relación Vapor / líquido variable de entre 1/10 y 1/24, bifásicas, presentes en granos de cuarzo en la Formación Guadalupe, con morfologías irregulares y suaves alargadas. (Aumento 50x).



Datos microtermométricos Formación Guadalupe.

El estudio Microtermométrico de las IF transgranulares analizadas en las muestra FF G1 Δ15-36 de esta formación y sus puntos de homogeneización, permiten agrupar familias de IF (Tabla 16). Todas ellas corresponden a sistemas acuosos salinos: $H_2O + NaCl$, $H_2O + NaCl + CaCl_2$ y $H_2O + NaCl + MgCl_2$. En algunos de los anteriores sistemas acuosos salinos se presentan algunas trazas minerales de Mg y $MgCl_2$.

Las propiedades composicionales para la Formación Guadalupe, para el sistema acuoso salino $H_2O + NaCl$ fueron calculadas mediante la utilización del Programa AqSo5e (versión 03/02), para el sistema acuoso salino $H_2O + NaCl + CaCl_2$ fueron calculadas utilizando el Programa AqSo2e (versión 03/02), mientras que para el sistema acuoso salino $NaCl + CaCl_2 + MgCl_2$, fueron calculadas utilizando el

Programa AqSo3e (versión 03/02). Dichas propiedades composicionales, para los sistemas acuosos-salinos identificados, se encuentran detalladamente en el Anexo G.

En este trabajo se estudió con detalle las IF secundarias transgranulares neoformadas, de tal forma, que el sistema químico $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ presenta un porcentaje en peso entre 2,39579% a 7,8246% de NaCl, con presencia de algunas trazas de Mg; mientras que el sistema químico $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$, presenta un porcentaje en peso de NaCl de 5,46362% y un porcentaje en peso de CaCl_2 de 7,34779%, con presencia de algunas trazas de MgCl_2 (Tabla 16).

Conforme a los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en las IF transgranulares presentes en la Formación Guadalupe, se pueden agrupar en tres sistemas químicos (Tabla 16):

- 1) $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$
- 2) $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$
- 3) $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$

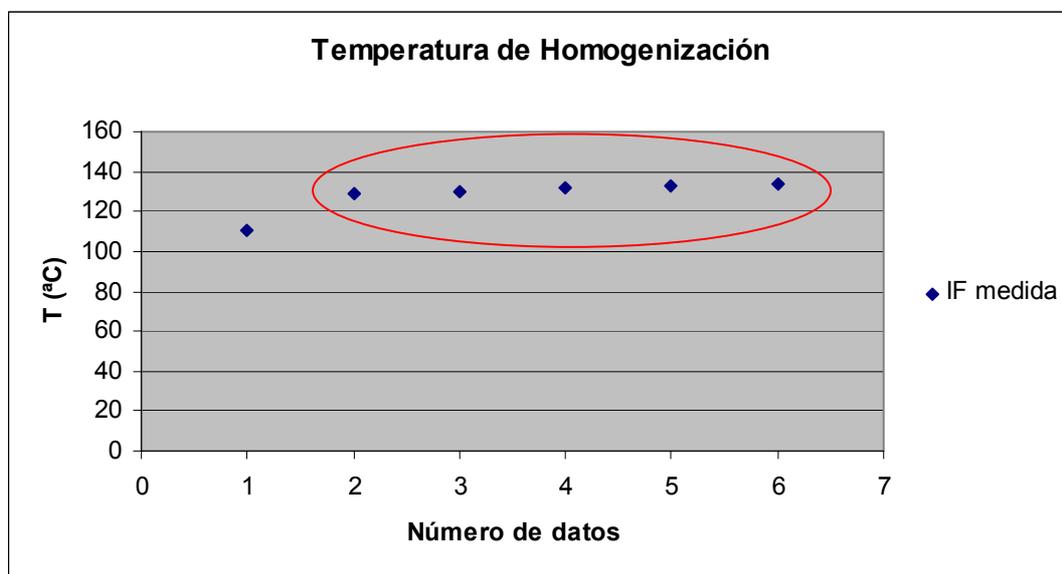
Para nuestro estudio en esta formación solo tendremos en cuenta los sistemas químicos $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ y $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ presentes en IF transgranulares secundarias neoformadas. La explicación de estos sistemas químicos se llevará a cabo en el Anexo H.

Respecto a la Temperatura de Homogenización (T_h) que se reconocieron en las IF transgranulares de esta formación, los puntos obtenidos estuvieron entre los $400^\circ\text{C} - 323^\circ\text{C}$, entre $285^\circ\text{C} - 231^\circ\text{C}$ y entre $218^\circ\text{C} - 216^\circ\text{C}$ para IF primarias heredadas; entre $192^\circ\text{C} - 163^\circ\text{C}$ y entre $187^\circ\text{C} - 177^\circ\text{C}$ para IF secundarias heredadas; mientras que para las IF secundarias neoformadas los puntos obtenidos estuvieron entre los $133^\circ\text{C} - 128^\circ\text{C}$ y entorno a los $110,6^\circ\text{C}$ (Tabla 16 y Figura 71).

Tabla 16. Familias de Inclusiones Fluidas identificadas en granos de cuarzo en la Formación Guadalupe.

FORMACION GUADALUPE (Ksg)								
Mat. Analizado	Tipo IF	Fases	Familia	Tcfd (°C)	Tfh (°C)	Th (°C)	Salinidad (% Peso)	Sist. Químico
Grano de cuarzo detrítico	Primarias heredadas	L+V	I	-40 a -47	-10 a -11	400 a 323 -->L	5,61 a 12,88	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±Mg ?)
			II	-36 a -39	-4 a -10	285 a 231 -->L	5,04 a 5,64	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂
			III	-37 a -38	-3 a -7	218 a 216 -->L	4,47 a 4,90	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (± MgCl ₂)
Grano de cuarzo detrítico	Secundaria Heredada	L+V	IV	-29 a -39	-2 a -10	192 a 163 -->L	4,64 a 5,64	H ₂ O + NaCl + MgCl ₂ (CCA ?)
		L+V	V	-48 a -50	-7 a -8	187 a 177 -->L	9,00 a 9,99	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±Mg ?)
Grano de cuarzo detrítico	Secundaria Neoformada	L+V	VI	-26 a -34	-1 a -8	133 a 128 -->L	2,40 a 7,82	H ₂ O + NaCl (±Mg ?)
		L+V	VII	-40,3	-9,8	110,6 -->L	5,46	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (± MgCl ₂)

Figura 71. Temperaturas de Homogenización (Th) para la Formación Guadalupe, donde los puntos obtenidos estuvieron entre los 133°C – 128°C (óvalo rojo) y entorno a los 110,6°.



Interpretación de los datos microtermométricos: Condiciones físicas del atrapamiento de los fluidos.

Paleofluidos relacionados con la Formación Guadalupe.

Las isocoras de los sistemas químicos $H_2O + NaCl$ y $H_2O + NaCl + CaCl_2$ en la Formación Guadalupe, fueron calculadas mediante la utilización de los Programas Loner 32 y Loner 38 respectivamente.

Las isocoras fueron realizadas en cada sistema para determinar temperaturas y presiones posibles de atrapamiento de las IF, así como las temperaturas críticas para el sistema $H_2O + NaCl$, temperaturas a las cuales a partir de ese punto el fluido se comporta como un estado supercrítico. De igual manera se utilizaron los programas para construir isocoras comparativas de cada sistema químico, y se calculó la isócora correspondiente al gradiente de presión hidrostática. Para cada

sistema químico se enfrentaron las tres isocoras calculadas y se pudo determinar los valores temperatura y presión máxima de atrapamiento, para así poder conocer las condiciones de formación de los minerales y la profundidad a la que fueron atrapadas dichas inclusiones.

La Figura 72, muestra la isócora para el sistema químico H₂O + NaCl, con respecto a las proyecciones de la isócora calculada para el mismo sistema y la del gradiente hidrostático, esta gráfica se realiza con el objeto de determinar las temperaturas y presiones tanto mínimas como máximas de atrapamiento. El punto de intersección de la isócora H₂O + NaCl con menor temperatura (color fucsia), con la proyección de la isócora para el mismo sistema (color Azul), indica la temperatura y presión mínima de atrapamiento para las IF de dicho sistema, las cuales tienen un valor de 132,3°C y 2,15 bares respectivamente. El punto de intersección de la proyección de la isócora (color azul), con la isócora correspondiente al gradiente hidrostático (color amarillo), indica la temperatura y presión máxima de atrapamiento de las inclusiones para el sistema químico H₂O + NaCl, las cuales tienen un valor de 162°C y 540 bares respectivamente, a partir de estos puntos se pudo determinar una profundidad de atrapamiento máxima de 5,5 kilómetros (Tabla 17).

Tabla 17. Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico H₂O + NaCl, en la Formación Guadalupe (los valores en rojo corresponden a las temperaturas y presiones mínimas de atrapamiento).

T° Isocora (°C)	P Isocora (bar)	T° críticas (°C)	P críticas (bar)	T gradiente (°C)	P gradiente (bar)
132,3	2,15329	0	0	0	0
200	1249,01	132,3	2,15329	90	300
300	3090,74	162	540	400	1333,33
		396,852	276,111		

La Figura 73, muestra la isócora para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, con respecto a las proyecciones de la isócora calculada para el mismo sistema y la del gradiente hidrostático, esta gráfica se realiza con el objeto de determinar las temperaturas y presiones tanto mínimas como máximas de atrapamiento. El punto de intersección de la isócora $H_2O + NaCl + CaCl_2$, con menor temperatura (color fucsia), con la proyección de la isócora para el mismo sistema (color Azul), indica la temperatura y presión mínima de atrapamiento para las IF de dicho sistema, las cuales tienen un valor de $110,6^{\circ}C$ y $4,83$ bares respectivamente. El punto de intersección de la proyección de la isócora (color azul), con la isócora correspondiente al gradiente hidrostático (color amarillo), indica la temperatura y presión máxima de atrapamiento de las inclusiones para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, las cuales tienen un valor de $128^{\circ}C$ y $426,66$ bares respectivamente, a partir de estos puntos se pudo determinar una profundidad de atrapamiento máxima de $4,3$ kilómetros (Tabla 18).

Tabla 18. Temperaturas y Presiones mínimas y máximas de atrapamiento para el sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, en la Formación Guadalupe (los valores en rojo corresponden a las temperaturas y presiones mínimas de atrapamiento).

T° Isocora (°C)	P Isocora (bar)	T° críticas (°C)	P críticas (bar)	T gradiente (°C)	P gradiente (bar)
110,6	4,83828	0	0	0	0
200	2058	110,6	4,83828	50	166,66
250	3206,3	128	426,66	400	1333,33

Figura 72. Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H₂O + NaCl.

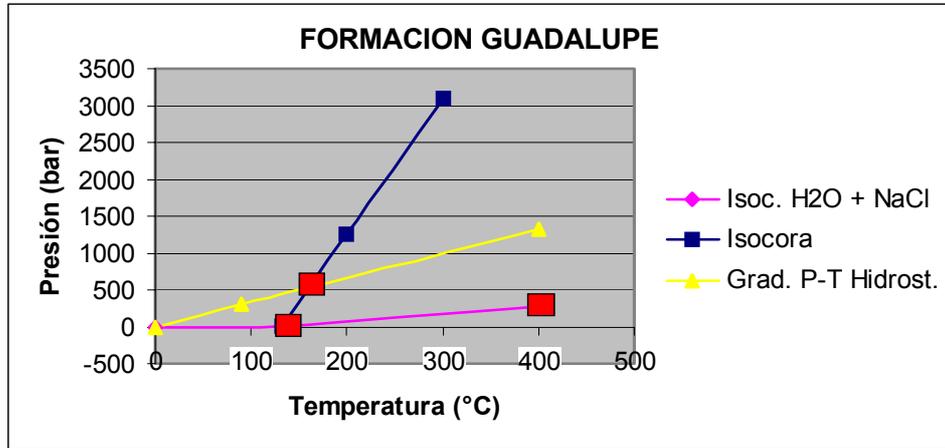
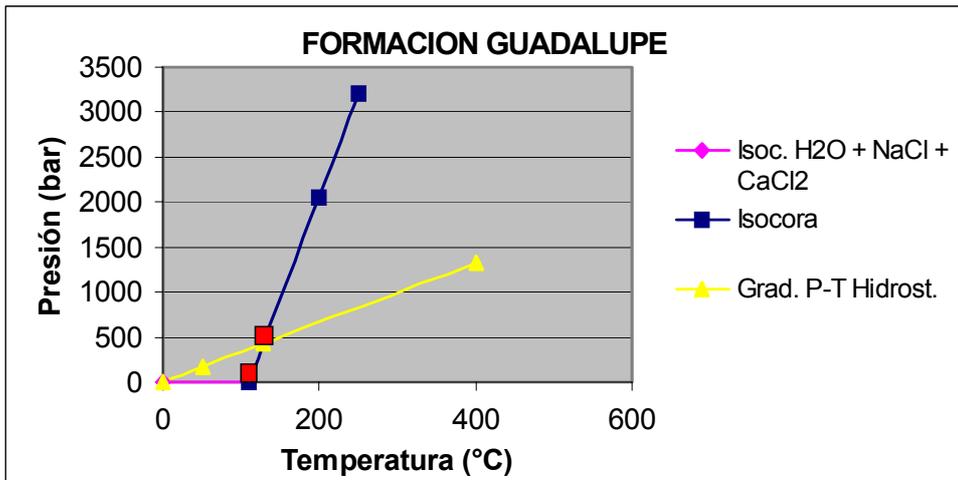


Figura 73. Isocoras con las temperaturas y presiones mínimas y máximas corregidas de atrapamiento para el sistema químico H₂O + NaCl + CaCl₂.



4 INTERPRETACIÓN GENERAL DE DATOS

Para un mejor entendimiento de los resultados obtenidos se procede inicialmente a hacer un breve recuento de los principales eventos deformativos que han afectado las rocas que hacen parte del área de trabajo. Tal como se deduce de la información geológica publicada (trabajos y artículos) y apoyada en datos propios. Este permitirá amarrar estos eventos con los resultados del análisis estructural de fracturas y a su vez poder relacionarlos con los datos de IF.

Durante el Triásico-Jurásico y Cretácico temprano, el extremo noroccidental del continente suramericano fue afectado por un evento expansivo (rifting) denominado por Fabre (1987 en Ecopetrol, 2002), como “*Cocuy half-rift*” (deposición de Macanal), y como resultado de este evento se crea una gran zona de extensión en la parte posterior del arco (Cuenca de “*back – arc*”), donde se desarrollaron depocentros controlados por fallas normales y se depositaron sedimentos volcanoclásticos y carbonáticos poco profundos (Montgomery, 1992 en Ecopetrol, 2002). A finales de este evento se lleva a cabo la intrusión de Pajarito a principios del Aptiano y se da comienzo a la deposición de la Formación Fómeque a mediados de la misma época.

Durante el Albiano en la zona de “*back – arc*”, se establece una expansión de las condiciones marinas en la actual zona del Valle Medio del Magdalena y Cordillera Oriental, que produce un cambio gradual de espesor y de facies en las unidades estratigráficas. Esto sugiere el desarrollo de una fase posterior a la expansión (Subsidencia termal post – rift) que dominó la historia de evolución. La exposición de las condiciones marinas durante el Albiano permitió la deposición de la Formación Une.

A finales del Cretácico tiene lugar el primer evento deformacional previo a la Orogenia Andina debido al levantamiento de la Cordillera Central. Este período ha sido denominado por Fabre (1987 en Ecopetrol, 2002), como “*subsistencia termal post-rift*”, el cual probablemente afecta gran parte del sector oriental de la Cordillera Oriental. Esto favoreció la depositación de la Formación Guadalupe y generó zonas estructuralmente altas que controlaron la depositación de los sedimentos del Terciario inferior, y sirvieron de zonas de aporte de sedimentos (depositación de las Formaciones Barco y Los Cuervos).

Durante el Mioceno ocurre un nuevo evento deformacional que configuraría el estado de deformación actual de la Cordillera Oriental (Orogenia Andina). Durante este evento algunas antiguas fallas normales fueron invertidas y se generaron nuevas fallas inversas, las cuales involucraron incluso al basamento. Como producto de esta deformación se creó el espacio para la acomodación de gruesas secuencias molásicas (depositación de la Formación Guayabo).

Como los principales patrones de fracturamiento (Diaclasas y Venas) tomados y obtenidos en campo están directamente relacionados con la historia deformacional regional antes mencionada, se realizó un análisis estructural de venas a partir de los principales datos de diaclasamiento tomados en la zona de estudio (ver el apartado 3.1.2); a partir de este análisis se puede establecer que el patrón de venas N50E/70NW, identificado en este trabajo en la provincia Chámeza - Mirador, es el más antiguo encontrado en la Formación Lutitas de Macanal (Tabla 19).

Por otro lado se establece que el patrón de venas N70W/80NE identificado en la Provincia Pajarito - Mirador debió ser posterior. Los patrones de venas N40E/30NW y N60E/50NW identificados en la Provincia Pajarito - Mirador, resultan ser correlacionables en tiempo con los patrones N20W/65NE y N10W/85SW identificados en la provincia Chámeza - Mirador; ya que estos

patrones están relacionados con las fallas de Pajarito y Chámeza, posteriores a los patrones N50E/70NW y N70W/80NE. Por último, el patrón de venas N60W/75SW identificado en la provincia Pajarito – Mirador, resulta ser correlacionable con el patrón de venas N60W/80SW identificado en la provincia Chámeza – Mirador, relacionados con las fallas Pajarito y Mirador y a su vez aparecen registrados en la provincia Mirador – Guaicáramo como patrón de diaclasas N70W/80SW (Tabla 2). Esto sugiere que este patrón de venas fue posterior y por consiguiente el más reciente a todos los patrones anteriormente mencionados (Tabla 19).

Tabla 19. Resumen de los principales patrones de fracturamiento (Diaclasas y Venas).

Patrón estructural Orientación	Provincia estructural	Época
N50E/70NW	Chámeza-Mirador	Pre-Orogenia Andina
N70W/80NE	Pajarito-Mirador	Pre-Orogenia Andina
N40E/30NW y N60E/50NW	Pajarito-Mirador	Orogenia Andina
N20W/65NE y N10W/85SW	Chámeza-Mirador	Orogenia Andina
N60W/75SW	Pajarito-Mirador	Orogenia Andina
N60W/80SW	Chámeza-Mirador	Orogenia Andina
N70W/80SW	Mirador-Guaicáramo	Orogenia Andina

Para poder llevar a cabo esta relación entre los paleofluidos presentes en venas de la Formación Lutitas de Macanal y en el Intrusivo de Pajarito; y los paleofluidos presentes en granos de cuarzo detrítico en las Formaciones Une y Guadalupe se resume a continuación los principales tipos composicionales de paleofluidos identificados en este trabajo.

En la zona de estudio se identificaron tres tipos composicionales de IF, que han circulado en mayor o menor medida por las litologías antes mencionadas. Estos son :

- 1) Fluidos acuoso-salinos (predominantemente H₂O + NaCl)
- 2) Fluidos acuoso-salinos (predominantemente H₂O + NaCl + CaCl₂)
- 3) Mezcla de fluidos acuoso-salinos (H₂O + NaCl + CaCl₂ con fluidos carbónicos)

Los fluidos de tipo $H_2O + NaCl$ se reconocen en el Intrusivo de Pajarito y en la Formaciones Une y Guadalupe.

En el Intrusivo de Pajarito las inclusiones con sistema químico $H_2O + NaCl$, presentan una salinidad entre 7,06% y 14,30% en peso. La isócora calculada para IF primarias indican temperaturas de atrapamiento (máximas para un gradiente hidrostático) del orden de aproximadamente de 147°C y una presiones de atrapamiento aproximada de 487 bares. Esto corresponde a una profundidad máxima de atrapamiento de 5 Kilómetros (Tabla 20).

En la Formación Une, las inclusiones con sistema químico $H_2O + NaCl$, presentan una salinidad entre 1,04% y 8,26% en peso. La isócora calculada para IF primarias indican temperaturas de atrapamiento (máximas para un gradiente hidrostático) del orden de aproximadamente de 160°C y presiones de atrapamiento aproximada de 533 bares. Esto corresponde a una profundidad máxima de atrapamiento de 5,4 Kilómetros (Tabla 20).

En la Formación Guadalupe, las inclusiones con sistema químico $H_2O + NaCl$, presentan una salinidad entre 2,40 a 25,48% en peso. La isócora calculada para IF primarias indican temperaturas de atrapamiento (máximas para un gradiente hidrostático) del orden de aproximadamente de 162°C y presiones de atrapamiento aproximada de 540 bares. Esto corresponde a una profundidad máxima de atrapamiento de 5,5 Kilómetros (Tabla 20).

Los fluidos acuoso-salinos tipo $H_2O + NaCl + CaCl_2$, se reconocen en el Intrusivo de Pajarito y en las Formaciones Lutitas de Macanal, Une y Guadalupe.

Tabla 20. Tipos de IF principales estudiadas según unidad litoestratigráfica y sus condiciones fisicoquímicas de atrapamiento. #: no se realizó cálculo de salinidad, x: no se cálculo condiciones máximas de atrapamiento por no ser muestras representativas.

Roca	Tipo IF	Th (°C)	Salinidad (% Peso)	Sist. Químico	Condiciones máximas de atrapamiento		
					T (°C)	P (Bar)	Prof. (Km)
Guadalupe	Secundaria Neoformada	133 - 128	2,40 a 7,82	H ₂ O + NaCl (±Mg ?)	162	540	5,5
		110,6	5,46	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (± MgCl ₂)	128	426,7	4,3
Une	Secundaria Neoformada	138 - 120	1,49 - 14,16	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±Mg ?)	160	533,3	5,4
		137 - 122	1,05 - 8,27	H ₂ O + NaCl (±Mg ?)	162	540	5,5
Intrusivo de Pajarito	Primaria	165,6	9,8674	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (Fe, Cr, Li, Mn, Mg ?)	200	666,7	6,8
		127 - 123	10,74 - 13,43	H ₂ O + NaCl (±Mg ?)	146,6	486,7	5
		93,5	7,77	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (Fe, Cr, Li, ?)	x	x	x
	Secundaria	164 - 130	1,81 - 10,36	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (± MgCl ₂)	x	x	x
		128 - 126	7,06 - 14,30	H ₂ O + NaCl	x	x	x
		102 - 98	6,78 - 7,37	H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±Mg ?)	x	x	x
Lutitas de Macanal	Primaria	332 - 205	1,33	Mezcla de fluidos H ₂ O + NaCl + CaCl ₂ (±Fe, Cr, Li, Mn?) y CO ₂ + CH ₄ + N ₂ + H ₂ S ?	x	x	x
		312 - 181	1,03 - 12,11		x	x	x
	Secundaria	213 - 191	1,29 - 9,07		231	770	7,8
		262 - 107	1,31 - 6,85		x	x	x
		28 - 26	#		x	x	x

En el Intrusivo de Pajarito las inclusiones con sistema químico H₂O + NaCl + CaCl₂, presentan una salinidad entre 6,78% y 9,86% en peso. La isócora calculada para IF primarias indican temperaturas de atrapamiento (máximas para un gradiente hidrostático) del orden de aproximadamente de 200°C y presiones de atrapamiento aproximada de 667 bares. Esto corresponde a una profundidad máxima de atrapamiento de 6,8 Kilómetros (Tabla 20).

En la Formación Lutitas de Macanal, las inclusiones con sistema químico H₂O + NaCl + CaCl₂, presentan una salinidad entre 1,03% y 12,11% en peso. La isócora calculada para IF primarias indican temperaturas de atrapamiento (máximas para un gradiente hidrostático) del orden de aproximadamente de 231°C y presiones de atrapamiento aproximada de 770 bares. Esto corresponde a una profundidad máxima de atrapamiento de 7,8 Kilómetros (Tabla 20).

En la Formación Une, las inclusiones con sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, presentan una salinidad entre 1,04% de NaCl y 8,26% en peso. La isócora calculada para IF primarias indican temperaturas de atrapamiento (máximas para un gradiente hidrostático) del orden de aproximadamente de 162° y presiones de atrapamiento aproximada de 533 bares. Esto corresponde a una profundidad máxima de atrapamiento de 5,4 Kilómetros (Tabla 20).

En la Formación Guadalupe, las inclusiones con sistema químico $H_2O + NaCl + CaCl_2$, presentan una salinidad de 5,46362% en peso. La isócora calculada para IF primarias indican temperaturas de atrapamiento (máximas para un gradiente hidrostático) del orden de aproximadamente de 128°C y presiones de atrapamiento aproximada de 427 bares. Esto corresponde a una profundidad máxima de atrapamiento de 4,3 Kilómetros (Tabla 20).

El análisis composicional de los paleofluidos (según datos de IF) y su relación con los patrones estructurales de venas sugieren lo siguiente:

El patrón N50E/70NW, identificado en la provincia Chámeza - Mirador, debió servir de canal de circulación de paleofluidos de composición $H_2O + NaCl + CaCl_2$ con algunas trazas de Fe, Li, Cr y Mn, y volátiles compuestos fundamentalmente de $CO_2 + CH_4 + N_2$ (?). En este sentido, estas fracturas permitieron que estos dos fluidos composicionalmente diferentes pero coetáneos, se mezclaran, y dieran lugar a una serie de IF con relaciones L/V muy variables. Este fenómeno, impide que las temperaturas a las cuales sucedieron los cambios de fases observados durante los estudios microtermométricos, sean utilizados para deducir las verdaderas condiciones físicas de su atrapamiento. No obstante, en este estudio se decidió calcular la isócora para este fluido paleohidrotermal, utilizando los datos microtermométricos de unas IF que indican estar representando un extremo puro (acuoso-salino) de esta mezcla de fluidos. En este contexto, el cálculo de la isócora para las IF con Th aproximadamente de 191°C, nos estarían indicando que

en un régimen hidrostático, la temperatura máxima de atrapamiento sería entorno a 230°C a una presión de 770 bares. Por lo cual, la profundidad máxima de atrapamiento de estos fluidos es de 7,8 Km, lo cual sugiere que este pulso perteneciente al patrón estructural N50E/70NW fue el primero que afectó a las rocas de la Formación Lutitas de Macanal durante su exhumación.

Posteriormente en la provincia Pajarito - Mirador se identificó un pulso que circuló por el patrón estructural N70W/80NE y que corresponde a un paleofluido de composición $H_2O + NaCl + CaCl_2$ con presencia de algunas trazas de Fe, Li, Cr, Ca, Mn, y Mg. Este pulso también circuló por rocas de la Formación Lutitas de Macanal, posterior al primer pulso identificado para el patrón estructural N50E/70NW; dando lugar a una profundidad máxima de atrapamiento de estos fluidos de 6,8 Km, a medida que la roca continuaba su proceso de exhumación.

Así mismo, se encontró un paleofluido de composición $H_2O + NaCl + CaCl_2$, con presencia de algunas trazas de Fe, Li, Cr, Ca, Mn, y Mg, el cual debió circular por los patrones estructurales N40E/30NW y N60E/50NW en la provincia Pajarito – Mirador, y los patrones estructurales N20W/65NE y N10W/85SW en la provincia Chámeza - Mirador; la profundidad máxima de atrapamiento de estos paleofluidos debió estar entre 4,3 Km y 5,5 Km, mientras la roca continuaba con su proceso exhumativo.

Por último, se identificó un pulso posterior a todos los anteriores, de composición $H_2O + NaCl$, con presencia de algunas trazas de Mg. Este circuló a través de las microfracturas generadas en granos de cuarzo detrítico en rocas de las Formaciones Une y Guadalupe en la provincia Mirador - Guaicáramo, correlacionables con los pulsos que circularon a través de los patrones N60W/75SW en la provincia Pajarito-Mirador y N60W/80SW en la provincia Chámeza – Mirador; cuando la roca estaba a una profundidad máxima de atrapamiento de unos 5,4 Km.

Finalmente, en cuanto al origen de los paleofluidos, con los datos actuales resultaría especulativo determinar su fuente. Sin embargo la presencia de solutos tales como Fe, Li, Cr, Ca, Mn, y Mg, sugiere procesos de lixiviación de las rocas hospedadoras. La presencia de fluidos con NaCl y CaCl₂, pueden estar relacionados con procesos de expulsión de fluidos intersticiales de rocas evaporíticas, como resultado de la compactación que ocurre en respuesta a la carga litostática ocasionada por la depositación de nuevos sedimentos (Landes, 1960; en Carpenter, 1978).

En cuanto a los paleofluidos con presencia de componentes gaseosos tales como CO₂, CH₄ y N₂ presentes en IF de venas en rocas de la Formación Lutitas de Macanal, al parecer se originaron como producto de la madurez termal de componentes orgánicos presentes en los shales de dicha formación. Estos volátiles, por lo general se relacionan con condiciones de temperatura típica de la ventana de generación del gas o mayores.

5 CONCLUSIONES

El estilo estructural de las rocas cretácicas y terciarias en la transecta Recetor-Aguazul, permitió diferenciar las siguientes provincias:

1. Provincia de Pajarito-Mirador
2. Provincia de Chámeza-Mirador
3. Provincia de Mirador-Guaicáramo
4. Provincia de Guaicáramo-Yopal

separadas por las respectivas fallas como lo indica su nombre en cada una de las provincias antes mencionadas.

El estilo de las fracturas en cada una de las provincias permitió identificar las siguientes familias de patrones estructurales de venas: N50E/70NW; N70W/80NE; N40E/30NW; N60E/50NW; N20W/65NE; N10W/85SW; N60W/75SW y N60W/80SW

El estudio de IF en el material de relleno de venas y en microfracturas cicatrizadas en granos de cuarzo detríticos apuntan a que las rocas de las formaciones Lutitas de Macanal, Une, Guadalupe y el Intrusito de Pajarito, fueron afectadas por el paso de fluidos, constituidos por tres tipos composicionales de IF:

- 1) Fluidos acuoso-salinos (predominantemente $H_2O + NaCl$)
- 2) Fluidos acuoso-salinos (predominantemente $H_2O + NaCl + CaCl_2$)
- 3) Mezcla de fluidos acuoso-salinos ($H_2O + NaCl + CaCl_2$ con fluidos carbónicos)

En rocas de la Formación Lutitas de Macanal y en el Intrusivo de Pajarito, circuló 2 pulsos importantes constituidos composicionalmente por $H_2O + NaCl$ y $H_2O + NaCl + CaCl_2$, estos pulsos alcanzan sus máximas temperaturas y presiones en la Formación Lutitas de Macanal en la cual se registró una profundidad máxima de

atrapamiento de 7,8 Km. En dicha Formación se evidenció el tránsito de volátiles compuestos fundamentalmente de $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2$ (?), lo cual dio como resultado una mezcla de fluidos en los cuales se pudo evidenciar su presencia debido a las altas temperaturas de homogenización registradas durante el análisis microtermométrico.

En todas las rocas de las Formaciones estudiadas, se observó la circulación de un pulso importante tardío constituido composicionalmente por $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$, afectando principalmente a las Formaciones Une y Guadalupe. El cual alcanzó una profundidad máxima de atrapamiento de 5,5 Km, en estas dos Formaciones.

Los pulsos de composición $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ con presencia de algunas trazas de Fe, Li, Cr, Ca, Mn, y Mg, registrados en el Intrusivo de Pajarito y la Formación Lutitas de Macanal pertenecen a un mismo evento de circulación de fluidos, que de acuerdo a las condiciones fisicoquímicas de su atrapamiento, pueden reflejar la historia de exhumación de las rocas.

6 RECOMENDACIONES

Con el ánimo de resolver de una mejor manera las inquietudes que genera el proyecto pero que por las herramientas trabajadas no se pudieron resolver se recomienda lo siguiente:

En cuanto el análisis estructural se recomienda hacer un estudio que esté basado en la determinación de un posible comportamiento fractal del fracturamiento evidenciado en la zona de trabajo, esto con el fin de entender y aplicar este comportamiento a un contexto regional

Llevar a cabo estudios de microscopia Raman para estudiar mas detalladamente la composición de las IF. Fundamentalmente de aquellas presentes en la Formación Lutitas de Macanal, por estar estas relacionadas con procesos de mezclas entre soluciones acuoso-salinas y otra rica en volátiles tipo $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2$ (?), entre otros.

Efectuar tanto análisis de isótopos estables como de geocronología para determinar con exactitud la procedencia de las aguas, como la edad de los eventos paleohidrotermales.

7 BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, S., TRITLLA, J., JULIVERT, M., ARBOLEYA, M. L., y SAIDI, A. 2000. Geotectonic Significance of the textural evolution of fluid inclusions in Precambrian Quartz Veins from the “Boutonniere de Zenega” (Ant-Atlas, Moroco). Journal of Geochemical Exploration. Vol 69, pp 363-368.

ALZATE, J. y BUENO, M. 1994. Análisis estratigráfico secuencial en las rocas cretácicas de la parte oriental del Dpto de Byacá, Municipios de Sogamoso, Belencito y Aquitana. Trabajo de grado, universidad nacional de Colombia. Bogotá.

ARDILA, L. E. 1993. Contrato de Asociación Recetor. Informe técnico Anual 1992. Maxus Energy Corporation. Bogotá. 64 pág.

ARIANA LTDA. 1996. Geología de superficie en los bloques Piedemonte y Piedemonte Occidental. BP EXPLORATION COMPANY. 358 pág.

_____. 2000. Evaluación del Piedemonte Llanero. Reporte interno Ecopetrol. 42 pág.

BAKKER, R. J. Computer programs [online]. Austria. Mineralogy and petrology group, University of Leoben, Marzo 2004. Disponible en internet: <www.unileoben.ac.at/%7ebuero62/minpet/ronald/Ronald.html>

BRANQUET, Y., CHEILLETZ, A., COBBOLD, P.R., BABY, P., LAUMONIER, B. y GIULIANI, G. 2002. Andean deformation and rift inversion, eastern edge of

Cordillera Oriental (Guateque-Medina Area), Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 15, pp 391-407.

CARPENTER, A. B., 1978. Origin and chemical evolution of brines in sedimentary basins. Oklahoma Geological Survey. Circular 79, pp 60-77.

COLETTA, B., HEBRARD, F., LETOUZEY, J., WERNER, P., RUDKIEWICZ. 1990. Tectonic style and crustal structure of the Eastern Cordillera (Colombia) from a balanced cross-section. *Petroleum and tectonics in mobile belts*. Editions Technip, Paris.

COOPER, M., *et al.* 1995. Basin Development and tectonic History of the llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *A.A.P.G.*, Vol 79, No 8, pp 1421-1443.

CRISPINI, L., y FREZZOTTI M. L. 1998. Fluid inclusion evidence for progressive folding during decompression in metasediments of Voltri Group (western Alps, Italy). *Journal of structural geology*. Vol. 20, pp 1733-1746.

DUNNE, W. y HANCOCK, L. 1994. Palaeostress Análisis of small-scale brittle. Pp 101-142. structures in: HANCOCK, L. 1994. *Continental deformation*. Pergamon press. 421 pág.

DUYSTER, J. Stereonett 2.46 versión libre. [online]. Bochum (Germany): Ruhr University, Institute für Geologie, Mineralogie und Geophysik. Ago. 2000. Disponible en internet:
<www.ruhr.uni.bochum.de/johannes.p.duyster/stereo/stereo1.htm>

ECOPETROL, 1999. Modelamiento estructural de la Cordillera Oriental. Bogotá, 105 pág.

ECOPETROL-ICP, 2003. Flujo regional de fluidos y migración del petróleo. Informe interno 348-04.

FABRE, A. 1985. Dinámica de la sedimentación cretácica en la sierra Nevada del Cocuy. Proyecto cretácico. Edición Ingeominas.

FABRE, A. y DELALOYE, M. 1982. Intrusiones básicas cretácicas en las sedimentitas de la parte central de la Cordillera Oriental. Geología Norabdina. Pp 19-28.

FOREMAN, L., y DUNNE, M. W. 1991. Conditions of Vein Formation in the Southern Appalachian foreland: Constrains from Vein Geometries and Fluid Inclusions. Journal of Structural Geology. Vol 13, pp 1173-1183.

FITZ, E. 2003. Estudio de inclusiones Fluidas en Vetas de Bajo grado de Metamorfismo. Seminario de Investigación. Mexico. 30 pág.

GEMTEC, Ltda. Catalogo de Inclusiones [online]. Santafé de Bogotá, Colombia. Jul. 2002. disponible en Internet:

<http://www.gemtec.com/spanish/index.htm>

GOLDSTEIN, R H., y REYNOLDS, T. J. 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. Society for sedimentary Geology, SPEM Short Course 31. 199 pág.

GONZALES-PARTIDA, E., SALINAS-PRIETO, J., y MOCTEZUMA-SALGADO, M. 2001. Datos Microtermométricos de algunas unidades Litológicas del subterreno Telolopan, Guerrero, Mexico. Boletín de la Sociedad Geologica Mexicana. Tomo LIV, pp 10-18.

GOVEA, R. C., y TORRES, R. E. 1972. Reconocimiento Geológico entre Unete y Aguazul. ISN 18082. Ecopetrol. Bogotá. 12 pág.

GRIEM-KLEE, Susanne. Inclusiones Fluidas [online]. Chile. Departamento de Minas, Área de Geología. Universidad de Atacama. 2003. Disponible en Internet: < <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/profluid/ptext/10001intro.htm>>

GROSHONG, R. H. 1988. Low-Temperature Deformation Mechanisms and their Interpretation. Geological Society of America Bulletin. Vol 100, pp 1329-1360.

HANCOCK, P. 1985. Brittle microtectonics: Principles and practice. Journal of Structural Geology, 7, pp 438-457.

HODGKINS, M., y STEWART, K. G. 1994. The Use of Fluid Inclusions to Constrain Fault Zone Pressure, Temperature and Kinematic history: An Example from the Alpi Apuane, Italy. Journal of Structural geology. Vol 16, No 1, pp 85-96.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). 1966. Plancha topográfica 212-I-D. Escala 1:25.000.

_____. 1998a. Plancha topográfica 211-I-B. Escala 1:25.000.

_____. 1998b. Plancha topográfica 211-I-D. Escala 1:25.000.

_____. 1998c. Plancha topográfica 211-II-A. Escala 1:25.000.

_____. 1998d. Plancha topográfica 211-II-C. Escala 1:25.000.

KENIS, I., MUCHEZ, Ph., SINTUBIN, M., MANSY, J. L., y LACQUEMENT, F. 2000. The Use of a Combined Structural, Stable isotope and Fluid Inclusion Study to

Constrain the Kinematic History at the northern Variscan Zone (Bettrechies, Northern France). *Journal of structural Geology*. Vol 22, pp 589-602.

LEISCHNER, K., WELTE, D. H., y LITTKKE, R. 1993. Basin Modelling: Advances and Applications edited by A.G. Doré *et al.* Norwegian Petroleum Society (NPF) Special Publication 3. Elsevier, Amsterdam, pp 161-172.

LINARES, R. Structural styles and kinematics of the Medina area, Eastern Cordillera, Colombia. Tesis Msc. Universidad de Colorado, Boulder, Colorado. 1996, 140 pág.

MARTINEZ, C. J. R. 2001. Geología Estructural y Dinámica Global. Curso adaptado por Gutierrez, A. G. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. 315 Pp. [on line] disponible en <http://web.usal.es/~gabi/apuntes>

McCAIG, A. 1988. Deep Fluid Circulation in Fault Zones. *Geology*, Vol 16, pp 867-870.

McCOURT W., *et al.*, 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *Journal of the geological society*. London 1984. pp 831-845.

MISIK, M. 1998. Peculiar Types of Thin Veins in the Mesozoic Carbonates and Silicates of the Western Carpathians. *Geologica Carpathica*, Vol 49, No 4, pp 271-287.

NASH, J. T. 1976. Fluid inclusion petrology data from porphyry copper deposits and applications to exploration. U. S. G. S. Professional Paper 907D, 16 pág.

NICKELSEN, R. y HOUGH, V. Jointing in the Appalachian Plateau of Pennsylvania. *Geological Society of America Bulletin*, 78, pp 609-630. 1967.

PASSCHIER, C. W., y TROUW, R. A. J. 1996. *Microtectonics*. Springer, Alemania. 330 pág.

PETIT, J., *et al.* 1999. Crack-Seal, Slip: a New Fault Valve Mechanism?. *Journal of Structural Geology*. Vol 21, pp 1199-1207.

POTTER, R. W. 1977. Pressure correction for fluid inclusions homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O. *U. S. Geological Survey Journal. Res. 5*, pp 603-607.

ROA, C. M., y ROJAS, A. N. 1992. Evaluación de la capacidad generadora de hidrocarburos de las lutitas y calizas Cretáceas del flanco oriental de la Cordillera Oriental (Departamento de Boyacá). Informe 3377 ISN 28171, proyecto de grado UPTC, Sogamoso, 220 pág.

ROEDDER, E. 1984. Fluid Inclusions. *Mineralogical Society of America. Reviews in Mineralogy*. Vol 12, pp 644.

ROJAS, L. E., Interpretación estructural Piedemonte Central Cuenca Llanos Orientales. *Ecopetrol*, reporte interno. 2002. 41 pág.

SARMIENTO, R. L. F. 2001. Cenozoic Basin Inversion History of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Tesis de doctorado. Bogotá, Colombia.

SEGALL, P. 1984. Formation and growth of extensional fractures set. *Geological Society of America Bulletin*, 94, pp 563-575.

Sibson, R.H., 1990, Faulting and fluid flow, *in* Nesbitt, B.E., ed., Short course on fluids in tectonically active regimes of the continental crust: *Mineralogical Association of Canada*, p. 93-132.

ULLOA, C., y RODRIGUEZ, E. 1976. Mapa Geológico, plancha 211-Tauramena,. Ingeominas. Escala 1:100.000, 1 lámina.

UNION TEXAS, 1984. Geology of the Cordillera Oriental Eastern Foothills between Rio Cusiana – Yopal. Informe 1258 ISN 14567. Bogotá. 49 pp.

WILSON, L. 1994. Crystal growth during a single-stage opening and its implications for syntectonic veins. Journal of Structural Geology, Vol 16, No 9, pp 1283-1296.

Enlaces:

www.gemtec.com/spanish/index.html

www.ua.es/es/investigacion/sti/dx.htm

<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/profluid/ptext/10001intro.htm>

<http://cipres.cec.uchile.cl/~vmaksaev/INCLUSIONES%20FLUIDAS.pdf>

www.etsimo.uniovi.es/usr/almudena/Documentos/INCLUSIONES%20FLUIDAS.pdf

www.gl.fcen.uba.ar/geologia/materia/materias/materias/Estudio%20microm%20E9trico%20de%20inclusiones%20f

www.ciemat.es/capacidades/anaincfl.htm

www.gl.fcen.uba.ar/materia/materias/Estudio%20microm%20E9trico%20de%20inclusiones%20fluidas.doc

<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/Vortrag5/Inhalt1a.htm>

www.igme.es/internet/Museo/investigacion/mineralogia/invesmine/inclusiones.htm

www.concytec.gob.pe/cyted/Barra/articulos/57.html

www.geociencias.unam.mx/~alaniz/SGM/2001-54GonzalezP2.PDF

www.uns.edu.ar/neoweb/ProyIncentivos/ver_proyectos.asp?pid_cyt=240943+&anio=2003

www.geo.vu.nl/news/theses_eduardo.pdf

www.mitareanet.com/quimica2.htm

www.igme.es/internet/museo/investigacion/mineralogia/invesmine/inclusiones.htm
www.geocities.com/fisicaquimica99/radiacion11.htm
www.ucm.es/info/crismine/RECURSOS_MINERALES.htm
www.segemar.gov.ar/noticias/ymad.htm
www.geociencias.unam.mx/~camprubi/ACC_web_areasinv.htm
www.satori.geociencias.unam.mx/lqm/minerales/acronimos.pdf
<http://cipres.cec.uchile.cl/~vmaksaev/EL%20SALVADOR.pdf>
www.ictp.csic.es/ramanft/tj2test.htm
www2.petrobras.com.br/tecnologia/portugues/centro_cenpes/pdf/geociencia_novo.pdf
www.uned.es/cristamine/mineral/metodos/raman.htm
http://geologia.igeolcu.unam.mx/academia/posgrado/Alumnos/Elisa_F/intereses.html

ANEXOS

Anexo A. Tabla de deltas.

Estación No	No de la muestra	Foto No	Coordenadas planas (m)		Coordenadas geográficas (grados)		Altura sobre el nivel del mar (m)	Estratificación		Diaclasas				Orientación de las venas				Dirección del plano de la falla		Descripción litológica	Unidad geológica	
			Norte	Este	Latitud	Longitud		Azimuth de la dirección de Bto	Bto	Azimuth de la dirección de Bto	Bto	Espaciado	Edad relativa que sistema corta a cual?	Azimuth de la dirección de Bto	Bto	Material de relleno	Espaciado	Espesor	Azimuth de la dirección de Bto			Bto
1	FF-G1-A1-01	6	1°078037,98	1°151780,99	5°18' 11,6"	72°42' 42,5"	898	330	30	180	80	15cm								Lodolitas Negras	Lutitas de Macanal	
2	FF-G1-A2-02 FF-G1-A2-03 FF-G1-A2-04 FF-G1-A2-05 FF-G1-A2-63 FF-G1-A2-64 FF-G1-A2-65 FF-G1-A2-66 FF-G1-A2-67	7,8,9	1°078315,67	1°152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			66 288 172 192 128 90 270 335 293 208 169 175 207 180 270 165 150	78 34 57 57 86 44 73 15 77 52 63 65 67 80 58 79 85	30cm 10,15cm 15cm 15cm 12cm 10cm 15cm 25cm 15cm 10cm 18cm 12cm 15cm 20cm 17cm 14cm 10cm		315 206 203	30 64 65	Cuarzo Cuarzo	25 cm 30 cm 30 cm	7mm 4mm 5mm			Roca intrusiva de tipo Gabro de color verdoso	Intrusivo de Pajarito
3	FF-G1-A3-06	10,1	1°078315,87	1°152390,23	5°18' 24,0"	72°42' 22,7"	910	332	26	0	84	15cm		17	74	Cuarzo	15 cm	1cm			Lodolitas Negras	Lutitas de Macanal
4	FF-G1-A4-07 FF-G1-A4-08 FF-G1-A4-09 FF-G1-A4-10 FF-G1-A4-11		1°078527,78	1°152374,36	5°18' 27,4"	72°42' 23,2"	988	138	36	240 294 11 5 26 21 254 225	78 64 67 79 86 69 52 86	1cm 15cm >1m >1m 20cm 42cm 25 >1m							141	21	Lodolitas Negras	Lutitas de Macanal
5	FF-G1-A5-12		1°077624,29	1°152290,12	5°17' 18,1"	72°42' 26"	912	0	22	200 126 140 142 ó 338	65 55 55 90	14cm 28cm 12cm 20cm									Lodolitas Negras	Lutitas de Macanal
6	FF-G1-A6-13 FF-G1-A6-14 FF-G1-A6-15	13,14,15,16, 17,18, 19,20	1°070036,69	1°146025,90	5°13' 51,6"	72°45' 49,9"	745	310	81	152 0 282 42 239 290 57 348	68 58 77 48 64 78 17 44	12cm 14cm 10cm 22cm 15cm 30cm 20cm 10cm									Lodolitas Negras	Lutitas de Macanal

7	FF-G1-A7-16 FF-G1-A7-17 FF-G1-A7-18 FF-G1-A7-71 FF-G1-A7-72 FF-G1-A7-73 FF-G1-A7-74 FF-G1-A7-75 FF-G1-A7-76	21,22,23,24	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	300 201 270 8	53 80 75 55	15cm 60cm 10cm 15cm	80 62 325 316 255 327	62 49 68 88 83 26	Calcita Calcita Calcita Calcita Calcita	25cm 20cm 15cm 8cm 15cm 5cm	1-3mm 1-5mm 3mm 3mm 5cm 3cm			Lodolitas Negras	Lutitas de Macanal	
8	FF-G1-A8-19 FF-G1-A8-20 FF-G1-A8-21 FF-G1-A8-22 FF-G1-A8-23 FF-G1-A8-24	25	1'069901,75	1'147600,25	5°13' 47,1"	72°44' 58,8"	695	5 342	37 61	162 270 350 166 15	47 65 43 77 42	15 y 28cm 5 y 15cm 30cm 8cm 5 y 10cm						5 10	37 90	Intercalación de areniscas de grano fino, de color rosado con lodolitas de color negro	Fm. Une	
9	FF-G1-A9-25 FF-G1-A9-26 FF-G1-A9-27 FF-G1-A9-28	26,27,28	1'069902,01	1'147723,46	5°13' 47,1"	72°44' 54,8"	697	8 105	46 62	90 230 152 355	41 54 37 37	4, 8, 10cm 8, 20cm 5, 10, 15cm 10cm						8	46	Intercalación de lodolitas grises muy laminadas con areniscas rosadas muy fracturadas	Fm. Une	
10	FF-G1-A10-29	29	1'069728,47	1'148475,45	5°13' 41,4"	72°44' 30,4"	703	58	60	320 263	83 64	10cm 15cm									Areniscas de color gris de grano medio	Fm. Chipaque
11	FF-G1-A11-30 FF-G1-A11-31	31	1'069827,86	1'148974,26	5°13' 44,6"	72°44' 14,2"	682	12	60	0 278 152	76 58 61	40cm 15cm 15cm									Areniscas grises cuarzosas, friables	Fm. Une
12	FF-G1-A12-32	32,33, 34	1'070020,77	1'150098,19	5°13' 50,8"	72°43'37,7"	675	345 130	59 48	270 180	46 70	5cm 8cm							345 140	59 73		Fm. Chipaque
13	FF-G1-A13-33	35	1'070695,66	1'159279,49	5°14' 12,1"	72°38'39,6"	682	315	30	110 250 10	80 75 45	5 y 8cm 10 y 15cm 10 y 15cm										Fm. Guayabo
14		36	1'070473,14	1'158719,35	5°14' 4,9"	72°38'57,8"	741	225	45	308 208	56 83	5 y 8cm 1 y 2cm									Lodolitas fisiles de color gris	Fm. Carbonera
15	FF-G1-A15-34 FF-G1-A15-35 FF-G1-A15-36 FF-G1-A15-37	41	1'070346,70	1'158514,41	5°14' 0,8"	72°39'4,3"	767	325	25	255 348 305 180	84 84 25 55	50cm 30cm 25cm 30cm									areniscas rojizas de grano medio, masivas algo alteradas	Fm. Guadalupe
16	FF-G1-A16-38 FF-G1-A16-39 FF-G1-A16-40	42	1'070207,33	1'158036,09	5°13'56,3"	72°39'20"	681	330	43	80 130 310 52	63 48 70 39	40cm 30 y 50cm 25cm 5cm									Alternancia de lodolitas negras fisiles con areniscas de grano fino	Fm. Guayabo

17	FF-G1-Δ17-41 FF-G1-Δ17-42 FF-G1-Δ17-43a FF-G1-Δ17-43b FF-G1-Δ17-44 FF-G1-Δ17-45 FF-G1-Δ17-46	43, 44, 45, 46	1'070207,27	1'158011,45	5°13'56,3"	72°39'20,8"	681	316	43	154 163 43	78 81 53	15cm 20cm 15cm		320 316	39 43	Materia orgánica Materia orgánica	1, 4 y 6mm 1mm					Fm. Guayabo
18	FF-G1-Δ18-47 FF-G1-Δ18-48 FF-G1-Δ18-49 FF-G1-Δ18-50	53, 54, 55	1'070197,85	1'157922,13	5°13'56"	72°39'23,7"	719	20	35	108 236	38 74	10cm 5cm						243 140	68 43	Paquetes grandes de areniscas grises de grano fino	Fm. Guayabo	
19			1'065040,94	1'166868,01	5°11'7,5"	72°34'33,7"	308	0	28	165 241	45 88	80cm 25cm								Intercalaciones de lodolitas negras y areniscas de grano medio, muy alteradas de color amarillento	Fm. Carbonera	
20	FF-G1-Δ20-51 FF-G1-Δ20-52 FF-G1-Δ20-53 FF-G1-Δ20-54 FF-G1-Δ20-55	56, 57	1'065185,10	1'166756,76	5°11'12,2"	72°34'37,3"	308	337	30	180 60	45 84	5 y 10cm 14cm		337	30		5mm			Intercalaciones de grandes paquetes de areniscas de grano medio, con pequeñas capas de lodolitas negras fisiles	Fm. Carbonera	
21		58 Y 59	1'065366,14	1'166651,58	5°11'18,1"	72°34'40,7"	299	340	30	180 58	47 86	18cm 15cm								Intercalaciones de lodolitas negras y areniscas de grano medio de color grisáceo.	Fm. Carbonera	
22		60	1'065461,37	1'166635,95	5°11'21,2"	72°34'41,2"	321	320	40	130 202 70	53 33 78	50cm 60cm 30cm								Intercalaciones de lodolitas negras y areniscas de grano medio de color grisáceo.	Fm. Carbonera	
23		61	1'065779,83	1'166166,92	5°11'31,6"	72°34'56,4"	351	320	40	130 200 68	56 35 78	55cm 40cm 30cm								Intercalaciones de lodolitas negras y areniscas de grano medio de color grisáceo.	Fm. Carbonera	
24	FF-G1-24-56	62	1'065761,04	1'166016,00	5°11'31,0"	72°35'1,3"	346	331	25	170 85	77 82	40 a 80cm 50cm								Intercalaciones de lodolitas negras y areniscas de grano medio de color grisáceo.	Fm. Carbonera	

25		63	1'066079,06	1'165359,05	5° 11' 41,4"	72° 35' 22,6"	364	331	25	170 80	76 80	50cm 60cm								Intercalaciones de grandes paquetes de lodolitas negras con areniscas de grano fino.-	Fm. Carbonera
26	FF-G1-26-57	64	1'066097,17	1'165220,37	5° 11' 42,0"	72° 35' 27,1"	356	350	24	133 30	66 35	5 y 10cm 15cm		350	24	Materia Orgánica	15cm	5mm		Intercalaciones de grandes paquetes de areniscas de grano muy fino con lodolitas negras.	Fm. Carbonera
27		65	1'066081,36	1'165029,40	5° 11' 41,5"	72°35' 33,3"	357	350	25	133 28	66 33	25cm 30cm		350	24	Materia Orgánica	10 cm	1cm		Intercalaciones de grandes paquetes de lodolitas negras con areniscas de grano fino	Fm. Carbonera
28	FF-G1-28-58	66 Y 67	1'066022,40	1'164786,16	5° 11' 39,6"	72°35' 41,2"	338	352	23	133 30	76 35	30cm 50cm								Gandes paquetes arenosos de grano fino	Fm. León
29		68	1'066712,97	1'164436,41	5° 12' 2,1"	72°35' 52,5"	354	350	25	133 30	76 35	40cm 35cm								Intercalaciones de areniscas de grano muy fino con lodolitas negras	Fm. León
30			1'066838,98	1'164448,44	5° 12' 6,2"	72°35' 52,1"	345	350	25	133 30	76 35	20cm 15cm								Intercalaciones de lodolitas negras fisiles con areniscas de grano muy fino	Fm. León
31	FF-G1-31-60		1'066897,35	1'164442,14	5° 12' 8,1"	72°35' 52,3"	346	346	26	133 30	76 35	20cm 5cm								Contacto entre lodolitas negras fisiles (inferior) y areniscas de grano muy fino (superior)	Fm. León
32		69	1'071875,97	1'153993,90	5° 14' 50,9"	72°41' 31,1"	926	256	27	12 103	81 70	15cm 20cm								Intercalaciones de lodolitas grisáceas de alta fisilidad con areniscas amarillentas de grano muy fino a fino	Fm. Chipaque

33			1'072538,42	1'153425,65	5° 15' 12,5"	72°41' 49,5"	938	255	30	15	75	2m								Areniscas blancas a rosadas de grano medio y en la base lodolitas negras con alta fisilidad.	Fm. Chipaque
34		70	1'071227,77	1'154056,95	5° 14' 29,8"	72°41' 29,1"	1078	257	32	108 194 0	51 88 27	30cm 20 a 60cm 60cm y 1m						190	87	Areniscas de color blancuzco, rosado de grano grueso a muy grueso.	Fm. Chipaque
35		71	1'070840,94	1'154208,75	5° 14' 17,2"	72°41' 24,2"	1015	150	31	205 208 90	60 82 58	8, 10 y 12 cm 50 cm 30cm								Shales oscuros de alta fisilidad	Fm. Chipaque
36			1'071021,29	1'155163,27	5° 14' 23,0"	72°40' 53,2"	889	150	31	205 208 90	60 82 58	15cm 50cm 35cm								Areniscas blancas de grano medio, friables.	Fm. Chipaque
37	FF-G1-37-61 FF-G1-37-62	72	1'070542,66	1'155487,79	5° 14' 7,4"	72°40' 42,7"	839	345	46	90 218 198	84 84 45	10 a 40cm 25cm 45cm								Areniscas de color verdoso de grano muy fino con shales en la parte superior.	Fm. Chipaque
38			1'070281,36	1'155513,02	5° 13' 58,9"	72°40' 41,9"	826	345	46	90 218 198	84 84 45	30cm 25cm 40cm								Areniscas blancas de grano medio a grueso.	Fm. Cuervos
39			1'070925,06	1'156103,02	5° 14' 19,8"	72°40' 22,7"	694	340	44	90 220 199	82 83 45	20cm 35cm 25cm								Areniscas cuarzosas de color gris de grano medio a grueso con estratificación cruzada	Fm. Mirador
40			1'070923,28	1'156679,07	5° 14' 19,7"	72°40' 4,0"	723	340	44	220 199	83 45	25cm 20cm								Areniscas cuarzosas de color gris de grano medio a grueso con estratificación cruzada	Fm. Mirador
41		73, 74, 75 y 76	1'067530,67	1'160608,31	5° 12' 29,0"	72°37' 56,7"	576	300	30	130 30	57 84	20 a 50cm 15 a 25cm								Areniscas de color rojo de grano grueso.	Fm. Guayabo
42			1'067656,04	1'162998,61	5° 12' 32,9"	72°36' 39,1"	401			130 30	57 84	20cm 15cm								Areniscas de color rojo de grano grueso.	Fm. Guayabo

43	FF-G1-43-68a FF-G143-68b	80	1'077851,68	1'152292,70	5° 18' 5,5"	72°42' 25,9"	934			150	85	10cm		203	65	Calcita	12cm	5mm			Lodolitas negras con alta fisilidad.	Lutitas de Macanal
44	FF-G1-44-69	87 Y 88	1'076782,39	1'152295,06	5° 17' 30,7"	72°42' 25,9"	915	330	54	320 330 120	62 21 75	25 y 30cm 15 y 20cm 20cm		330	54	Calcita	10cm	1mm			Lodolitas negras con alta fisilidad.	Lutitas de Macanal
45	FF-G1-45-70a FF-G1-45-70b	89, 90 y 91	1'075103,09	1'152961,02	5° 16' 36,0"	72°42' 4,4"	862	100	65	20 8 228	66 43 45	25 y 30cm 10cm 15cm							260	50	Areniscas de color rojo de grano grueso.	Fm. Guayabo
46			1'074049,57	1'153148,16	5° 16' 1,7"	72°41' 58,4"	797	105	65	20 8 228	66 43 45	12cm 20cm 15cm									Areniscas de color gris a blanco de grano medio.	Fm. CHIPAQUE
47	FF-G1-47-77 FF-G1-47-78		1'071398,47	1'147766,49	5° 14' 35,8"	72°44' 53,3"	736	352	76	255 303	83 26	15cm 20cm									Areniscas de color amarillo de grano medio a fino, con pequeñas intercalaciones de lodolitas negras	Fm. UNE
48			1'070377,72	1'150337,69	5° 14' 2,4"	72°43' 29,9"	714	305	48	60 174 246	71 41 52	10cm 15cm 15cm									Areniscas de color gris a blanco de grano medio.	Fm. Chipaque
49		92-97	1'070600,38	1'150999,50	5° 14' 9,6"	72°43' 8,4"	717	305	50	60 174 246	71 41 52	15cm 10cm 20cm									Areniscas de color grisáceo de grano fino.	Fm. Chipaque
50		98	1'072653,80	1'152800,09	5° 15' 16,3"	72°42' 9,8"	798	180	27	65 320	79 66	8cm 10cm									Areniscas de color grisáceo de grano medio a grueso.	Fm. Guadalupe

Anexo B. Catálogo de muestras.

Identificación de la muestra	Coordenadas planas (m)		Coordenadas geográficas (Grados)		Elevación (m)	Estratificación		Descripción litológica	Unidad Geológica
	Norte	Este	Latitud	Longitud		Azimuth del Bto	Bto		
FF-G1-Δ1-01	1'078037,98	1'151780,99	5°18' 11,6"	72°42' 42,5"	898	330	30	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Presenta Venillas de hasta 2mm de espesor rellenas de Cuarzo. Se observan Flute Marks.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ2-02	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Roca Ignea del tipo Gabro, de color Verde oscuro, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano Fino, Inequigranular, Porfídítica.	Intrusivo de Pajarito
FF-G1-Δ2-03	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Roca Ignea del tipo Gabro, de color Verde oscuro, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano Fino, Inequigranular, Porfídítica, con presencia de venas de hasta 2cm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita.	Intrusivo de Pajarito
FF-G1-Δ2-04	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Roca Ignea del tipo Gabro, de color Verdoso, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano Fino, Inequigranular, Porfídítica, Fanerítica, con un alto contenido de Biotita y Hornblenda, en algunos sectores se observa sobrecrecimientos de Pirita con bastante oxidación.	Intrusivo de Pajarito
FF-G1-Δ2-05	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Roca Ignea del tipo Gabro, de color Verde oscuro, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano Fino, Inequigranular, Porfídítica, con presencia de venas de hasta 2mm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita. Se aprecia una Baja meteorización de color pardo producto de la oxidación de minerales con contenido de hierro presentes en la roca.	Intrusivo de Pajarito
FF-G1-Δ2-63	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Roca Ignea del tipo Gabro, de color Verde oscuro, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano muy Fino, Inequigranular, Porfídítica.	Intrusivo de Pajarito
FF-G1-Δ2-64a	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Roca Ignea del tipo Gabro, de color Verde oscuro, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano Fino, Inequigranular, Porfídítica, con presencia de venas de hasta 3cm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita, en algunos sectores se observa Fenocristales de Cuarzo de hasta 1cm de longitud en la roca intrusiva.	Intrusivo de Pajarito
FF-G1-Δ2-64b	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Roca Ignea del tipo Gabro, de color Verde oscuro, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano Fino, Inequigranular, Porfídítica, con presencia de venas de hasta 3cm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita.	Intrusivo de Pajarito

FF-G1-Δ2-65	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Roca Ignea del tipo Gabro, de color Verde oscuro, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano Fino, Inequigranular, Porfídica, con presencia de venas de hasta 3cm de espesor y en algunos sectores alcanza los 5cm, rellenas de Cuarzo y Calcita, en algunos sectores se observa Fenocristales de Cuarzo de hasta 12mm de longitud en la roca intrusiva.	Intrusivo de Pajarito
FF-G1-Δ2-66	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Vena de 5cm de espesor de color Blancuzco, la cual hace parte del intrusivo de Pajarito constituida principalmente por Cuarzo y Calcita.	Intrusivo de Pajarito
FF-G1-Δ2-67	1'078315,67	1'152300,91	5°18' 20,6"	72°42' 25,6"	886			Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta una fisilidad Media y Baja porosidad. Presenta Venas de hasta 8mm de espesor rellenas Cuarzo y Calcita, y otras de menor espesor hasta 1mm rellenas de oxidos; también se observa concreciones de hasta 5cm de diametro, en algunos sectores se puede apreciar un enrejado constituido por material de vena de Cuarzo y Calcita con Pirobitumen de color Negruzco cristalizado. Se observan Groove Marks.	Intrusivo de Pajarito
FF-G1-Δ3-06	1'078315,87	1'152390,23	5°18' 24,0"	72°42' 22,7"	910	332	26	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Presenta Venas de hasta 12mm de espesor rellenas de oxidos y Pirita. Se observan Flute Marks.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ4-08	1'078527,78	1'152374,36	5°18' 27,4"	72°42' 23,2"	988	138	36	Roca Ignea del tipo Gabro, de color Verde oscuro, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano Fino, Inequigranular, Porfídica, con presencia de venillas de hasta 1mm de espesor rellenas de Oxidos.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ4-09	1'078527,78	1'152374,36	5°18' 27,4"	72°42' 23,2"	988	138	36	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Presenta venillas rellenas de Cuarzo y Calcita de hasta 1mm de espesor.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ4-10	1'078527,78	1'152374,36	5°18' 27,4"	72°42' 23,2"	988	138	36	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Presenta venillas rellenas de pirita de hasta 1mm de espesor y nódulos altamente alterados rellenos de pirita de tamaño de hasta 12cm de diametro.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ4-11	1'078527,78	1'152374,36	5°18' 27,4"	72°42' 23,2"	988	138	36	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se observa la presencia de nódulos bastante alterados rellenos de pirita de tamaño de hasta 12cm de diametro.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ5-12	1'077624,29	1'152290,12	5°17' 18,1"	72°42' 26"	912	0	22	Roca Terrígena del tipo Limolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se encuentra altamente meteorizada, presentando una coloración Rojiza. Se observa Flute Marks y presenta venillas rellenas de oxidos de hasta 1mm de espesor.	Lutitas de Macanal

FF-G1-Δ6-13	1'070036,70	1'146025,90	5°13' 51,6"	72°45' 49,9"	745	310	81	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Medio, de color Gris rojizo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Angulares, Roca Texturalmente Submadura, Bien seleccionada y con una porosidad Media. Presenta minerales de Hierro y algo de cemento Ferruginoso. Se observan venillas de hasta 1,5mm de espesor rellenas de oxidos, presenta una Alta meteorización de color Pardo rojizo. Composición: Qz: 90% F: 2% Lit:8%	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ6-14	1'070036,70	1'146025,90	5°13' 51,6"	72°45' 49,9"	745	310	81	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Medio, de color Gris rojizo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Angulares, Roca Texturalmente Submadura, Bien seleccionada y con una porosidad Media. Presenta minerales de Hierro y algo de cemento Ferruginoso. Se observan venillas de hasta 1,5mm de espesor rellenas de oxidos, también se puede apreciar estilolitos de hasta 1mm de espesor. Presenta una Alta meteorización de color Pardo rojizo. Composición: Qz: 90% F: 2% Lit:8%	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ6-15	1'070036,70	1'146025,90	5°13' 51,6"	72°45' 49,9"	745	310	81	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad con intercalaciones de Arenisca de grano Fino a Medio, de color Grisaceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Submadura, Bien seleccionada y con una porosidad Media. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor, rellenas de Oxidos. Composición: Qz:95% F:2% Lit: 3%	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ7-16	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se aprecian venillas de hasta 2mm de espesor rellenas de Calcita y Cuarzo las cuales muestran una textura de Diente de Perro, algunas de estas venillas presentan oxidos. Se observa Flute Marks y una Baja meteorización de color Rojizo, producida por la oxidación de la Pirita y minerales de Hierro.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ7-17	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se aprecian venillas de hasta 2mm de espesor rellenas de Calcita y Cuarzo las cuales muestran una textura de Diente de Perro, también presenta venillas de hasta 2mm de espesor rellenas de Pirita y oxidos. Se observa Flute Marks.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ7-18	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se aprecian venillas de hasta 5mm de espesor rellenas de Calcita y Cuarzo las cuales muestran una textura de Diente de Perro, también presenta venillas de hasta 2mm de espesor rellenas de Pirita y oxidos. Se observa Flute Marks y una Baja meteorización de color Rojizo, producida por la oxidación de la Pirita y minerales de Hierro.	Lutitas de Macanal

FF-G1-Δ7-71	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se aprecian venas de hasta 2cm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita, las cuales cortan de forma casi perpendicular la Estratificación, también presenta venillas constituidas también por Cuarzo y Calcita, de menor espesor de hasta 2mm y que cortan a las anteriores. En algunos sectores de las venas se observa Piritización.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ7-72	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se aprecian venas de hasta 5mm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita, las cuales cortan de forma casi perpendicular la Estratificación, también presenta venillas constituidas también por Cuarzo y Calcita, de menor espesor de hasta 1mm y que cortan a las anteriores. En algunos sectores de las venas se observa Piritización.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ7-73	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se aprecian venas de hasta 12mm de espesor rellenas de Calcita y Cuarzo que cortan perpendicularmente la estratificación y en algunas de estas venas de menor espesor presentan piritización. Se observa Flute Marks.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ7-74	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se aprecian venas de hasta 2cm de espesor rellenas de Calcita y Cuarzo, siguiendo una dirección subparalela a la estratificación y en otros sectores se encuentran cortandola, poniendose en contacto con las anteriores, algunas de estas venas de menor espesor presentan piritización. Se observa Flute Marks.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ7-75	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se aprecian venas de hasta 12mm de espesor rellenas de Calcita y Cuarzo que cortan perpendicularmente la estratificación y en algunas de estas venas de menor espesor presentan piritización. Se observa Flute Marks.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ7-76	1'069847,35	1'146577,68	5°13' 45,4"	72°45' 32"	791	153	66	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se aprecian venas de hasta 2cm de espesor rellenas de Calcita y Cuarzo las cuales muestran una textura de Diente de Perro, algunas de estas venas de menor espesor presentan piritización. Se observa Flute Marks.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ8-19	1'069901,75	1'147600,25	5°13' 47,1"	72°44' 58,8"	695	5	37	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Medio a Grueso, de color Blanco grisáceo, Moderadamente calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Inmadura, Medianamente seleccionada y con una porosidad Media. Presenta algunas venillas de color negruzco y de hasta 5mm de espesor, rellenas de Bitumen. Se observa algunos pequeños lentes de Limolita tipo Shale de hasta 1cm de espesor de color Negro, se observa algo de muscovita sobre estos lentes, así como presencia de Groove Marks. Composición: Qz:92% F:2% Lit: 6%	Fm. Fomeque

FF-G1-Δ8-20	1'069901,75	1'147600,25	5°13' 47,1"	72°44' 58,8"	695	342	61	Roca Terrígena del tipo Limolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Se encuentra altamente meteorizada, presentando una coloración Rojiza producto de la oxidación de minerales con contenido de Hierro. Se observa venillas rellenas de oxidos de hasta 1mm de espesor.	Fm. Fomeque
FF-G1-Δ8-21	1'069901,75	1'147600,25	5°13' 47,1"	72°44' 58,8"	695	342	61	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Madura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor, rellenas de Oxidos, sobrecrecimientos de Cuarzo y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm . Composición: Qz:95% F:2% Lit: 3%	Fm. Fomeque
FF-G1-Δ8-22	1'069901,75	1'147600,25	5°13' 47,1"	72°44' 58,8"	695	5	37	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Madura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de color negruzco y de hasta 5mm de espesor, rellenas de Bitumen. Composición: Qz:95% F:2% Lit: 3%	Fm. Fomeque
FF-G1-Δ8-23	1'069901,75	1'147600,25	5°13' 47,1"	72°44' 58,8"	695	5	37	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino a Fino, de color Grisáceo, muy Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Roca Texturalmente Madura, Bien seleccionada y con Baja porosidad. Presenta una Alta meteorización de color Amarillento. Composición: Qz:95% F:4% Lit: 1%	Fm. Fomeque
FF-G1-Δ8-24	1'069901,75	1'147600,25	5°13' 47,1"	72°44' 58,8"	695	5	37	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Grueso, de color Blancuzco, Mal calibrada, Baja esfericidad, granos Subandulares a Subredondeados, Roca Texturalmente Inmadura, Mal seleccionada y con una porosidad Media. Presenta rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Composición: Qz:97% F:1% Lit: 2%	Fm. Fomeque
FF-G1-Δ9-25	1'069902,01	1'147723,46	5°13' 47,1"	72°44' 54,8"	697	8	46	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Blancuzco, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subandulares a Subredondeados, Roca Texturalmente Inmadura, Bien seleccionada y con una porosidad Media. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor rellenas de bitumen de color negruzco. Composición: Qz:95% F:2% Lit: 3%	Fm. Fomeque
FF-G1-Δ9-26	1'069902,01	1'147723,46	5°13' 47,1"	72°44' 54,8"	697	8	46	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Inmadura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta rastros de bitumen a manera de manchas irregulares de color negruzco. Composición: Qz:97% F:1% Lit: 2%	Fm. Fomeque

FF-G1-Δ9-27	1'069902,01	1'147723,46	5°13' 47,1"	72°44' 54,8"	697	8	46	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Inmadura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor rellenas de óxidos y Pirita, así como rastros de bitumen a manera de manchas irregulares de color negruzco. Composición: Qz:97% F:1% Lit: 2%	Fm. Fomeque
FF-G1-Δ9-28	1'069902,01	1'147723,46	5°13' 47,1"	72°44' 54,8"	697	105	62	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, Blanca grisácea, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Madura, bien seleccionada y alta porosidad. Presenta venillas < 1mm de espesor rellenas de óxidos y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta una Moderada meteorización de color Amarillento. Composición: Qz:97% F:1% Li t: 2%	Fm. Fomeque
FF-G1-Δ10-29	1'069728,47	1'148475,45	5°13' 41,4"	72°44' 30,4"	703	58	60	Roca Terrígena tipo Arenisca de grano Medio a Grueso, Blanca grisácea, bién calibrada, alta esfericidad, granos subredondeados a redondeados, Roca Madura y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor rellenas de Bitumen y rastros del mismo a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta Baja meteorización de color Amarillento. Composición: Qz:96% F:2% Lit: 2%	Fm. Chipaque
FF-G1-Δ11-30	1'069827,86	1'148974,26	5°13' 44,6"	72°44' 14,2"	682	12	60	Roca Terrígena tipo Arenisca de grano muy grueso, blancuzca, con fragmentos de roca de 3mm, moderadamente calibrada, baja esfericidad, granos subangulares a subredondeados, Roca inmadura, mal seleccionada y con Alta porosidad. Presenta rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta Baja meteorización de color Amarillento. Composición: Qz:96% F:1% Lit: 3%	Fm. Une
FF-G1-Δ12-32	1'070020,77	1'150098,19	5°13' 50,8"	72°43'37,7"	675	345	59	Roca Terrígena de tipo Limolita de color Verde grisáceo, con una fisilidad media y baja porosidad. Se encuentra muy meteorizada, presentando una coloración Rojo amarillento. Se observa Groove Marks y presenta venillas rellenas de óxidos y Bitumen de hasta 1mm de espesor.	Fm. Chipaque
FF-G1-Δ13-33	1'070695,66	1'159279,49	5°14' 12,1"	72°38'39,6"	682	315	30	Roca Terrígena del tipo Arcillolita de color Amarillento, presenta una fisilidad Media y una porosidad Media. Se observa presencia de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm.	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ15-34	1'070346,70	1'158514,41	5°14' 0,8"	72°39'4,3"	767	325	25	Roca terrígena tipo Arenisca de grano medio a grueso, Blancuzca, bien calibrada, alta esfericidad, granos subredondeados a redondeados, Roca madura con alta porosidad. Presenta venillas de 1.5mm de espesor rellenas de óxidos y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta Alta meteorización de color Amarillo rojizo. Composición: Qz:96% F:2% Lit: 2%	Fm. Guayabo

FF-G1-Δ15-35	1'070346,70	1'158514,41	5°14' 0,8"	72°39'4,3"	767	325	25	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Medio a Grueso, de color Blanco amarillento, Bien calibrada, Baja esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Inmadura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de menos de 1mm de espesor rellenas de oxidos. Presenta una Moderada meteorización de color Rojizo. Composición: Qz:96% F:2% Lit: 2%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ15-36	1'070346,70	1'158514,41	5°14' 0,8"	72°39'4,3"	767	325	25	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Medio a Grueso, de color Blancuzco, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados a Redondeados, Roca Texturalmente Madura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 1.5mm de espesor rellenas de oxidos y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta Alta meteorización de color Amarillo rojizo. Composición: Qz:96% F:2% Lit: 2%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ16-38	1'070207,33	1'158036,09	5°13'56,3"	72°39'20"	681	330	43	Roca Terrígena del tipo Lodolita de color Gris oscuro, presenta una fisilidad Alta y Baja porosidad. Se encuentra Altamente meteorizada, presentando una coloración Amarillenta.	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ16-39	1'070207,33	1'158036,09	5°13'56,3"	72°39'20"	681	330	43	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino, de color Gris blancuzco, muy Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Roca Texturalmente Madura, Bien seleccionada y con una porosidad Media. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor rellenas oxidos y otras entre 1mm y 3mm de espesor rellenas de bitumen . Presenta Flute Marks. Composición: Qz:92% F:5% Lit: 3%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ16-40	1'070207,33	1'158036,09	5°13'56,3"	72°39'20"	681	330	43	Roca Terrígena del tipo Limolita de color Cafe oscuro, presenta una fisilidad Media y Baja porosidad. Se encuentra Altamente meteorizada, presentando una coloración Amarillo rojizo. Presenta algunos pequeños lentes de hasta 2cm de espesor de Arenisca de grano Medio a Grueso, se observa Groove Marks.	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ17-41	1'070207,27	1'158011,45	5°13'56,3"	72°39'20,8"	681	316	43	Roca Terrígena del tipo Limolita de color Gris oscuro, presenta una fisilidad Media y Baja porosidad. Se encuentra Moderadamente meteorizada, presentando una coloración Rojiza. Presenta venillas rellenas de oxidos y Bitumen de hasta 1mm de espesor.	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ17-42	1'070207,27	1'158011,45	5°13'56,3"	72°39'20,8"	681	316	43	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino a Fino, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Roca Texturalmente Madura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor rellenas de bitumen y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta Groove Marks y una Baja meteorización de color amarillento. Composición: Qz:97% F:1% Lit: 2%	Fm. Guayabo

FF-G1-Δ17-43a	1'070207,27	1'158011,45	5°13'56,3"	72°39'20,8"	681	316	43	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Bien seleccionada, Roca Texturalmente Madura y con Alta porosidad. Presenta un alto contenido de venillas de hasta 1.5mm de espesor rellenas de bitumen y rastros del mismo a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Composición: Qz:93% F:2% Lit:5%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ17-43b	1'070207,27	1'158011,45	5°13'56,3"	72°39'20,8"	681	316	43	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Roca Texturalmente Madura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 2mm de espesor rellenas de bitumen y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta una Baja meteorización de color amarillento. Composición: Qz:96% F:3% Lit: 1%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ17-44	1'070207,27	1'158011,45	5°13'56,3"	72°39'20,8"	681	316	43	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Grueso a muy Grueso, de color Blancuzco, Mal calibrada, Alta esfericidad, granos Subangulares, Roca Texturalmente Inmadura, Mal seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor rellenas de bitumen. Composición: Qz:97% F:1% Lit: 2%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ17-45	1'070207,27	1'158011,45	5°13'56,3"	72°39'20,8"	681	316	43	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino a Fino, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Bien seleccionada, Roca Texturalmente Madura y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 2mm de espesor rellenas de bitumen . Presenta concreciones de hasta 6cm de diametro y otras mas alargadas de hasta 8cm de longitud. Se observa Flute Marks. Composición: Qz:93% F:4% Lit: 3%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ17-46	1'070207,27	1'158011,45	5°13'56,3"	72°39'20,8"	681	316	43	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Roca Texturalmente Madura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 2mm de espesor rellenas de bitumen y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta una Baja meteorización de color amarillento. Composición: Qz:96% F:3% Lit: 1%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ18-47	1'070197,85	1'157922,13	5°13'56"	72°39'23,7"	719	20	35	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Submadura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de menos de 1mm de espesor rellenas de oxidos y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta una Baja meteorización de color amarillento. Composición: Qz:96% F:3% Lit: 1%	Fm. Guayabo

FF-G1-Δ18-48	1'070197,85	1'157922,13	5°13'56"	72°39'23,7"	719	20	35	Roca Terrígena tipo Arenisca de grano fino a medio, blanca grisácea, bien calibrada, alta esfericidad, granos subredondeados, roca submadura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de menos de 1mm de espesor rellenas de oxidos y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta una Baja meteorización de color Amarillento. Composición: Qz:96% F:3% Lit: 1%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ18-49	1'070197,85	1'157922,13	5°13'56"	72°39'23,7"	719	20	35	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Submadura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Presenta rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm presentes en gran cantidad en la roca. Presenta una Baja meteorización de color Amarillento. Composición: Qz:97% F:1% Lit: 2%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ18-50	1'070197,85	1'157922,13	5°13'56"	72°39'23,7"	719	20	35	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Bien seleccionada, Roca Textualmente Madura y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de menos de 1mm de espesor rellenas de oxidos y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta una Baja meteorización de color amarillento. Composición: Qz:96% F:3% Lit: 1%	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ20-51	1'065185,10	1'166756,76	5°11'12,2"	72°34'37,3"	308	337	30	Muestra de una concreción bastante alterada con gran contenido de sulfuros, principalmente Pirita; de color gris verdoso, con un de tamaño de 10cm de diametro, en algunos sectores se observa una coloración amarillenta indicando la presencia de Azufre.	Fm. Carbonera
FF-G1-Δ20-52	1'065185,10	1'166756,76	5°11'12,2"	72°34'37,3"	308	337	30	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino a Fino, de color Blanco grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Bien seleccionada, Roca Texturalmente Madura y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor rellenas de oxidos y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta concreciones de hasta 6cm de diametro y otras mas alargadas de hasta 8cm de longitud. Se observa Flute Marks. Composición: Qz:93% F:4% Lit: 3%	Fm. Carbonera
FF-G1-Δ20-53	1'065185,10	1'166756,76	5°11'12,2"	72°34'37,3"	308	337	30	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Bien seleccionada, Roca Texturalmente Madura y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 2mm de espesor rellenas de oxidos y rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta concreciones de hasta 5cm de diametro con contenido de Pirita. Composición: Qz:97% F:1% Lit: 2%	Fm. Carbonera

FF-G1-Δ20-54	1'065185,10	1'166756,76	5°11'12,2"	72°34'37,3"	308	337	30	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino, de color Grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Bien seleccionada, Roca Texturalmente Madura y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 1mm de espesor rellenas de Bitumen y rastros del mismo a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta concreciones de hasta 5cm de diametro y algo de Bioturbación. Se observa Flute Marks. Composición: Qz:95% F:2% Lit: 3%	Fm. Carbonera
FF-G1-Δ20-55	1'065185,10	1'166756,76	5°11'12,2"	72°34'37,3"	308	337	30	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano Fino a Medio, de color Grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Bien seleccionada, Roca Texturalmente Madura y con Alta porosidad. Presenta un alto contenido de venillas de hasta 1.5mm de espesor rellenas de bitumen y rastros del mismo a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Composición: Qz:93% F:2% Lit:5%	Fm. Carbonera
FF-G1-Δ24-56	1'065761,04	1'166016,00	5°11' 31,0"	72° 35' 1,3"	346	331	25	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino, de color Grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Bien seleccionada, Roca Texturalmente Madura y con Alta porosidad. Presenta algunas venillas de hasta 3mm de espesor rellenas de Bitumen de color Negruzco. Se observa Groove Marks. Composición: Qz:97% F:1% Lit: 2%	Fm. Carbonera
FF-G1-Δ26-57	1'066097,17	1'165220,37	5°11' 42,0"	72°35' 27,1"	356	350	24	Roca Terrígena del tipo Limolita de color Verde grisáceo, sin laminación y con una porosidad Media. Presenta venilas de hasta 1mm de espesor rellenas de oxidos y de bitumen de color gris oscuro. Se observa Flute Marks .	Fm. Carbonera
FF-G1-Δ28-58	1'066022,40	1'164786,16	5°11' 39,6"	72°35' 41,2"	338	352	23	Roca Terrígena del tipo Limolita de color Verde grisáceo, sin laminación y con una porosidad Media. Presenta venilas de hasta 1mm de espesor rellenas de oxidos y de bitumen de color gris oscuro, también presenta algunos fragmentos de roca de 2mm de diametro. Se observa Flute Marks y Bioturbación .	Fm. León
FF-G1-Δ30-59	1'066838,98	1'164448,44	5° 12' 6,2"	72°35' 52,1"	345	350	25	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino, de color Verde grisáceo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Redondeados, Roca Texturalmente Madura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Se observa algunos pequeños lentes de Lodolita de hasta 3mm de espesor y de color gris oscuro, también se aprecia rastros de bitumen a manera de pequeños puntos de color negruzco de menos de 1mm. Presenta una Baja meteorización de color Rojizo. Composición: Qz:96% F:2% Lit: 2%	
FF-G1-Δ31-60	1'066897,35	1'164442,14	5° 12' 8,1"	72°35' 52,3"	346	346	26	Roca Terrígena del tipo Limolita de color Verde grisáceo, sin laminación y con una porosidad Media. Se observa presencia de bitumen a manera de pequeños puntos de color negro de tamaño entre 0,5mm y 1,5mm. Se observa Flute Marks.	Fm. León

FF-G1-Δ37-61	1'070542,66	1'155487,79	5° 14' 7,4"	72°40' 42,7"	839	345	46	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino, de color Grisáceo, con alto contenido de Cuarzo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Inmadura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Se observa un pequeño Bandeamiento en la roca. Composición: Qz:98% F:1% Lit: 1%	Fm. Chipaque
FF-G1-Δ37-62	1'070542,66	1'155487,79	5° 14' 7,4"	72°40' 42,7"	839	345	46	Roca Terrígena del tipo Arenisca de grano muy Fino, de color Grisáceo, con alto contenido de Cuarzo, Bien calibrada, Alta esfericidad, granos Subredondeados, Roca Texturalmente Inmadura, Bien seleccionada y con Alta porosidad. Se observa un pequeño Bandeamiento en la roca. Composición: Qz:98% F:1% Lit: 1%	Fm. Chipaque
FF-G1-Δ43-68a	1'077851,68	1'152292,70	5° 18' 5,5"	72°42' 25,9"	934			Contacto entre la roca Ignea del tipo Gabro con la roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Gris Oscuro. La roca Ignea es de color Verde oscuro, con alto contenido de minerales máficos(?), Holocristalina, de grano Fino, Inequigranular, Porfídica, la cual se encuentra embebiendo el Shale. Se observan venas de hasta 15mm de espesor rellenas de Cuarzo y las cuales en algunos sectores se encuentran con presencia de oxidos.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ43-68b	1'077851,68	1'152292,70	5° 18' 5,5"	72°42' 25,9"	934			Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Presenta Venas de hasta 8mm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita, en algunos sectores estas venas se encuentran muy alteradas presentando oxidación. Se observan Groove Marks.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ44-69	1'076782,39	1'152295,06	5°17' 30,7"	72°42' 25,9"	915	330	54	Roca Terrígena del tipo Arcillolita Shale de color Negro, presenta Alta fisilidad y Baja porosidad. Presenta Venas de hasta 1cm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita, en algunos sectores estas venas se encuentran muy alteradas presentando oxidación. Se observan Groove Marks.	Lutitas de Macanal
FF-G1-Δ45-70a	1'075103,09	1'152961,01	5°16' 36,0"	72°42' 4,4"	862	100	65	Brecha constituida principalmente por material terrígeno de tipo Shale, la cual corta perpendicularmente la estratificación, presenta un alto contenido de Pirobitumen muy quemado y brillante, en algunos sectores se observa venas de hasta 5mm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita siguiendo la dirección de la brecha.	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ45-70b	1'075103,09	1'152961,01	5°16' 36,0"	72°42' 4,4"	862	100	65	Brecha constituida principalmente por material terrígeno de tipo Shale, la cual corta perpendicularmente la estratificación, presenta un alto contenido de Pirobitumen muy quemado y brillante, en algunos sectores se observa venas de hasta 5mm de espesor rellenas de Cuarzo y Calcita siguiendo la dirección de la brecha.	Fm. Guayabo
FF-G1-Δ47-77	1'071398,47	1'147766,49	5°14' 35,8"	72°44' 53,3"	736	352	76	Brecha constituida principalmente por material terrígeno de tipo Shale y Cuarzo, la brecha se encuentra bastante alterada presentando un color Rojizo. En algunos sectores se observa la presencia de Azufre, Así mismo también se puede apreciar en la brecha algunos sobrecrecimientos de Cuarzo alcanzando hasta los 3cm de Longitud.	Fm. Une

Anexo C. Estadística descriptiva de los datos estructurales tomados en la zona de trabajo.

Estadística descriptiva para la totalidad de los datos de diaclasas en la zona de trabajo.

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	159,264151	Media	62,672956
Error típico	7,69930085	Error típico	1,43304504
Mediana	165	Mediana	65
Moda	90	Moda	84
Desviación estándar	97,0844897	Desviación estándar	18,0700104
Varianza de la muestra	9425,39814	Varianza de la muestra	326,525277
Curtosis	-0,93715487	Curtosis	-0,76489047
Coefficiente de asimetría	0,06347076	Coefficiente de asimetría	-0,45217848
Rango	355	Rango	75

Estadística descriptiva para los datos de diaclasas en la provincia Pajarito – Mirador.

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	166,4761905	Media	64,78571429
Error típico	16,00937001	Error típico	2,808344897
Mediana	173,5	Mediana	66
Moda	8	Moda	86
Desviación estándar	103,7525758	Desviación estándar	18,20015507
Varianza de la muestra	10764,59698	Varianza de la muestra	331,2456446
Curtosis	-0,979814904	Curtosis	0,348598368
Coefficiente de asimetría	-0,149908716	Coefficiente de asimetría	-0,780570279
Rango	338	Rango	75

Estadística descriptiva para los datos de venas en la Provincia Pajarito – Mirador.

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	214,2	Media	57,4
Error típico	55,96909862	Error típico	7,547184906
Mediana	206	Mediana	64
Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación estándar	125,1507091	Desviación estándar	16,87601849
Varianza de la muestra	15662,7	Varianza de la muestra	284,8
Curtosis	1,147950396	Curtosis	1,939171289
Coefficiente de asimetría	-1,08271577	Coefficiente de asimetría	-1,327198299
Rango	313	Rango	44

Estadística descriptiva para los datos de estratificación en la Provincia Pajarito – Mirador.

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	227	Media	49,7
Error típico	37,64276528	Error típico	6,981005977
Mediana	302,5	Mediana	49
Moda	305	Moda	#N/A
Desviación estándar	119,0368757	Desviación estándar	22,07587925
Varianza de la muestra	14169,77778	Varianza de la muestra	487,3444444
Curtosis	-0,646402142	Curtosis	-0,978008108
Coefficiente de asimetría	-0,884908554	Coefficiente de asimetría	0,432791927
Rango	332	Rango	63

Estadística descriptiva para los datos de diaclasas en la provincia Chámeza – Mirador.

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	193,2894737	Media	56,10526316
Error típico	17,74390717	Error típico	2,988310434
Mediana	215,5	Mediana	56,5
Moda	152	Moda	41
Desviación estándar	109,3807898	Desviación estándar	18,42118269
Varianza de la muestra	11964,15718	Varianza de la muestra	339,3399716
Curtosis	-1,062993746	Curtosis	0,202308976
Coefficiente de asimetría	-0,386569927	Coefficiente de asimetría	-0,607629066
Rango	355	Rango	77

Estadística descriptiva para los datos de venas en la provincia Chámeza – Mirador.

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	237,25	Media	61,875
Error típico	39,52564719	Error típico	6,931907334
Mediana	285,5	Mediana	63,5
Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación estándar	111,7954126	Desviación estándar	19,60639473
Varianza de la muestra	12498,21429	Varianza de la muestra	384,4107143
Curtosis	-0,964899696	Curtosis	0,562213661
Coefficiente de asimetría	-0,902523945	Coefficiente de asimetría	-0,537694432
Rango	268	Rango	62

Estadística descriptiva para los datos de estratificación en la provincia Chámeza – Mirador.

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	149,5833333	Media	55,58333333
Error típico	37,91406918	Error típico	3,93788578
Mediana	117,5	Mediana	60
Moda	105	Moda	60
Desviación estándar	131,3381883	Desviación estándar	13,6412365
Varianza de la muestra	17249,7197	Varianza de la muestra	186,083333
Curtosis	-0,970164901	Curtosis	0,49615744
Coefficiente de asimetría	0,649594352	Coefficiente de asimetría	-0,85846917
Rango	347	Rango	49

Estadística descriptiva para los datos de diaclasas en la provincia Mirador – Guaicáramo.

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	162,068182	Media	65,5681818
Error típico	13,0957362	Error típico	2,6679124
Mediana	196	Mediana	70
Moda	90	Moda	84
Desviación estándar	86,8672866	Desviación estándar	17,6969288
Varianza de la muestra	7545,92548	Varianza de la muestra	313,18129
Curtosis	-0,60093175	Curtosis	-0,8281218
Coefficiente de asimetría	-0,06228774	Coefficiente de asimetría	-0,5536369
Rango	348	Rango	63

Estadística descriptiva para los datos de la estratificación en la provincia Mirador – Guaicáramo.

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	273,8	Media	36,1
Error típico	23,85036687	Error típico	2,465089586
Mediana	278,5	Mediana	31,5
Moda	150	Moda	30
Desviación estándar	75,42148235	Desviación estándar	7,795297728
Varianza de la muestra	5688,4	Varianza de la muestra	60,76666667
Curtosis	-0,559484715	Curtosis	-2,077642199
Coefficiente de asimetría	-0,806651286	Coefficiente de asimetría	0,406063609
Rango	195	Rango	19

**Estadística descriptiva para los datos de diacclasas en la provincia
Guaicáramo – Yopal.**

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	110,1428571	Media	61,9714286
Error típico	11,21749405	Error típico	3,3032924
Mediana	130	Mediana	66
Moda	30	Moda	35
Desviación estándar	66,36358979	Desviación estándar	19,5425414
Varianza de la muestra	4404,12605	Varianza de la muestra	381,910924
Curtosis	-0,837234383	Curtosis	-1,55913726
Coficiente de asimetría	0,239426093	Coficiente de asimetría	-0,31117768
Rango	240	Rango	55

**Estadística descriptiva para los datos de estratificación en la provincia
Guaicáramo – Yopal.**

Azimuth de Bto		Buzamiento	
Media	295,1578947	Media	30,8947368
Error típico	23,94538903	Error típico	1,73356061
Mediana	331	Mediana	28
Moda	350	Moda	25
Desviación estándar	104,375531	Desviación estándar	7,5564155
Varianza de la muestra	10894,25146	Varianza de la muestra	57,0994152
Curtosis	5,198076422	Curtosis	-0,94070885
Coficiente de asimetría	-2,486999346	Coficiente de asimetría	0,82611595
Rango	352	Rango	22

Anexo D. Datos de temperaturas de IF en el Intrusivo de Pajarito.

INTRUSIVO DE PAJARITO (Klip)						
Muestra	Tipo IF	Fases	Familia	Tcfd (°C)	Tfh (°C)	Th (°C)
FF G1 Δ2-65	Primaria	L+V	I	-68,9	-8,6	165.6 -->L
FF G1 Δ2-66			II	-27,3	-7,2	125.6 -->L
FF G1 Δ2-64a				-24,2	-9,5	124.6 -->L
FF G1 Δ2-65			III	-65,4	-6,3	93.5 -->L
FF G1 Δ2-66	Secundaria	L+V	IV	-63,1	-9,2	164.2 -->L
FF G1 Δ2-64a				-58,2	-7,6	155.2 -->L
FF G1 Δ2-65				-52,6	-1,3	130.2 -->L
FF G1 Δ2-66		L+V	V	-25,4	-10,3	127.4 -->L
FF G1 Δ2-67				-25,8	-8,5	126.2 -->L
FF G1 Δ2-67		L+V	VI	-48,3	-5,6	102.3 -->L
FF G1 Δ2-65	-50,9			-5,2	100.7 -->L	
FF G1 Δ2-67	-62,5			-5,9	98.1 -->L	

Anexo E. Datos de temperaturas de IF en la Formación Lutitas de Macanal.

FORMACION LUTITAS DE MACANAL (Kljm)							
Muestra	Tipo IF	Fases	Familia	Tcfd (°C)	Tfh (°C)	Tfs (°C)	Th (°C)
FF G1 Δ7-73	Primaria	L+V	I	-84,2	---	---	332.3 -->L
FF G1 Δ7-73				-56,6	-9,6	---	205.2 -->L
FF G1 Δ7-73				-51,5	-11,3	---	312.8 -->L
FF G1 Δ7-73		L+V+S		-85,4	-11,8	---	286.7 -->L
FF G1 Δ7-73				-82,7	-11,5	356,7	284.6 -->L
FF G1 Δ7-73				-84,1	-11,1	348,4	281.3 -->L
FF G1 Δ7-73				-54,2	-10,9	320,5	181.6 -->L
FF G1 Δ7-73	Secundaria	L+V+S	II	-76,6	-13,1	331,5	213.4 -->L
FF G1 Δ7-73				-79,7	-10,5	312,2	191.2 -->L
FF G1 Δ7-75		L+V		-78,9	-5,4	---	262.9 -->L
FF G1 Δ7-73				-85,3	-12,5	---	160.1 -->L
FF G1 Δ7-73				-80,4	-12,1	---	157.3 -->L
FF G1 Δ7-73				-81,3	-11,8	---	155.2 -->L
FF G1 Δ7-73				-84,5	-12,6	---	107.3 -->L
FF G1 Δ7-75				-73,1	-0,8	262,1	27.9 -->V
FF G1 Δ7-75		L+V		-70,2	-0,6	---	27.1 -->V
FF G1 Δ7-75				-68,3	-1,1	---	26.5 -->V

Anexo F. Datos de temperaturas de IF en la Formación Une.

FORMACION UNE (Kmu)							
Muestra	Tipo IF	Fases	Familia	Tcfd (°C)	Tfh (°C)	Th (°C)	
FF G1 Δ8 -24	Primaria	L+V	I	---	-2,5	462,3 -->L	
FF G1 Δ8 -24				---	-2,1	421,2 -->L	
FF G1 Δ9 -26			II	-33,7	-0,2	385,6 -->L	
FF G1 Δ8 -24				---	-2,5	356,5 -->L	
FF G1 Δ11-30				-20,4	-8,1	346,5 -->L	
FF G1 Δ11-30				-21,2	-8,3	346,2 -->L	
FF G1 Δ9 -26				-22,6	-0,6	325,3 -->L	
FF G1 Δ9 -26				-22,3	-0,7	320,2 -->L	
FF G1 Δ9 -26			III	-48,3	-2,1	311,2 -->L	
FF G1 Δ11-30				-39,8	-0,8	275,4 -->L	
FF G1 Δ8 -24			Secundaria Heredada	IV	IV	-27,5	-6,2
FF G1 Δ8 -24	-27,6					-3,2	212,3 -->L
FF G1 Δ8 -21	-30,2					-7,5	199,2 -->L
FF G1 Δ9 -26	-22,9					-2,3	190,3 -->L
FF G1 Δ8 -24	-31,2				-4,5	185,2 -->L	
FF G1 Δ8 -24	V				-44,5	-4,1	214,2 -->L
FF G1 Δ8 -24					-42,1	-7,4	202,4 -->L
FF G1 Δ11-30					-43,9	-4,1	195,4 -->L
FF G1 Δ8 -24				-41,6	-5,2	179,3 -->L	
FF G1 Δ9 -26	VI			-37,3	-1,6	157,8 -->L	
FF G1 Δ8 -24				-46,2	-7,8	150,2 -->L	
FF G1 Δ8 -21				-28,5	-6,2	178,2 -->L	
FF G1 Δ8 -21		-25,4		-5,6	172,1 -->L		
FF G1 Δ8 -21		-30,7		-5,1	168,5 -->L		
FF G1 Δ8 -21		-20,3		-5,6	168,2 -->L		
FF G1 Δ8 -21		-32,1		-5,6	165,8 -->L		
FF G1 Δ8 -21		-23,6		-5,2	160,1 -->L		
FF G1 Δ8 -21	-25,4	-8,7		151,6 -->L			
FF G1 Δ8 -21	-25,6	-9,5	149,2 -->L				

FORMACION UNE (Kmu)						
FF G1 Δ9 -26	Secundaria Neoformada	L+V	VII	-42,9	-4,5	138,3 -->L
FF G1 Δ11-30				-47,2	-5,8	130,6 -->L
FF G1 Δ8 -21				-45,6	-2,5	130,3 -->L
FF G1 Δ8 -21				-45,3	-2,2	130,2 -->L
FF G1 Δ8 -24				-44,6	-4,1	120,3 -->L
FF G1 Δ11-30			-31,8	-0,6	137,6 -->L	
FF G1 Δ11-30			-31,3	-1,2	137,2 -->L	
FF G1 Δ8 -24			-24,6	-4,2	136,5 -->L	
FF G1 Δ8 -21			-28,2	-1,5	136,1 -->L	
FF G1 Δ9 -26			-39,6	-0,6	135,3 -->L	
FF G1 Δ8 -24			-28,5	-5,3	134,2 -->L	
FF G1 Δ8 -21			-27,2	-0,6	132,6 -->L	
FF G1 Δ8 -21			-29,3	-1,1	132,2 -->L	
FF G1 Δ8 -21			-31,6	-2,1	130,5 -->L	
FF G1 Δ9 -26			-22,3	-1,3	130,5 -->L	
FF G1 Δ11-30			-31,5	-2,1	130,3 -->L	
FF G1 Δ11-30			-30,6	-1,5	129,1 -->L	
FF G1 Δ8 -24			-24,1	-1,1	128,3 -->L	
FF G1 Δ8 -24			-25,4	-3,2	127,6 -->L	
FF G1 Δ8 -21			-28,7	-1,9	126,2 -->L	
FF G1 Δ8 -24			-32,3	-9,5	125,3 -->L	
FF G1 Δ8 -21			-29,3	-2,2	125,2 -->L	
FF G1 Δ8 -24			-30,5	-9,1	122,2 -->L	

Anexo G. Datos de temperaturas de IF en la Formación Guadalupe.

FORMACION GUADALUPE (Ksg)						
Muestra	Tipo IF	Fases	Familia	Tcfd (°C)	Tfh (°C)	Th (°C)
FF G1 Δ15-36	Primaria	L+V	I	-47,6	-11,2	400,6 -->L
FF G1 Δ15-36				-40,8	-11,2	323,6 -->L
FF G1 Δ15-36				-40,6	-10,2	323,5 -->L
FF G1 Δ15-36			II	-36,5	-10,3	285,1 -->L
FF G1 Δ15-36				-39,3	-4,8	236,5 -->L
FF G1 Δ15-36				-36,3	-10,2	231,5 -->L
FF G1 Δ15-36			III	-37,3	-3,5	217,4 -->L
FF G1 Δ15-36				-38,5	-7,3	216,2 -->L
FF G1 Δ15-36			Secundaria Heredada	IV	-34,6	-10,3
FF G1 Δ15-36	-29,7				-2,5	188,5 -->L
FF G1 Δ15-36	V			-39,6	-9,3	163,2 -->L
FF G1 Δ15-36				-50,2	-7,4	187,2 -->L
FF G1 Δ15-36				-48,3	-8,5	177,3 -->L
FF G1 Δ15-36				-30,2	-2,8	133,6 -->L
FF G1 Δ15-36	Secundaria Neoformada		VI	-31,3	-4,2	133,2 -->L
FF G1 Δ15-36				-26,9	-1,4	132,3 -->L
FF G1 Δ15-36				-31,2	-5,1	130,4 -->L
FF G1 Δ15-36				-34,5	-8,1	128,6 -->L
FF G1 Δ15-36		VII		-40,3	-9,8	110,6 -->L
FF G1 Δ15-36						

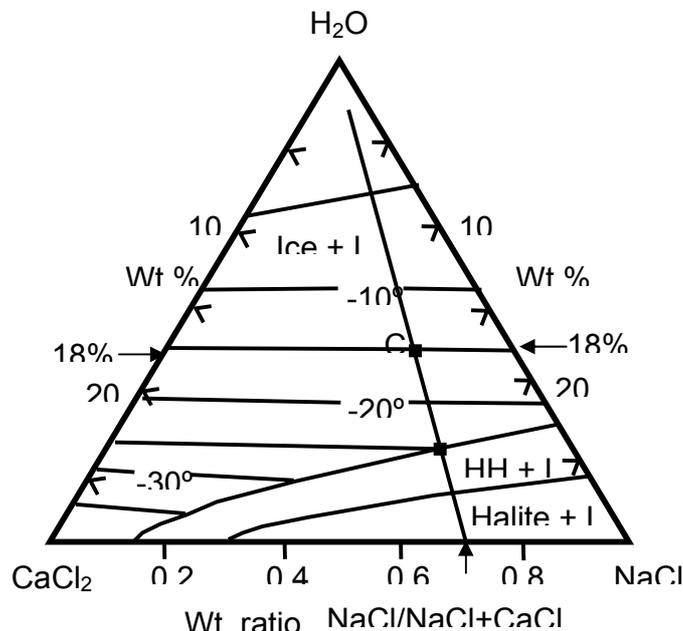
Sistema H₂O + NaCl + MgCl₂

El sistema H₂O + NaCl + MgCl₂, es aplicable cuando la Temperatura eutéctica se puede observar alrededor de los -33.6°C, sin embargo cuando existe un relativo dominio de cationes de Mg⁺⁺ en la composición del fluido, se puede también considerar temperaturas eutécticas de hasta -43°C (Figura 1).

Sistema H₂O + NaCl + CaCl₂

El sistema H₂O + NaCl + CaCl₂, es aplicable cuando la Temperatura eutéctica se puede observar alrededor de los -52±5°C, esta composición es típica de los fluidos que componen algunas de las soluciones hidrotermales de salmueras sedimentarias.

Figura 1. Diagrama de equilibrio de fases para el sistema H₂O + NaCl + CaCl₂. Tomado de Goldstein y Reynolds, (1994).



Goldstein y Reynolds (1994) presentan un diagrama de equilibrio de fases para este sistema (Figura 2), el punto A, corresponde a la temperatura del punto eutéctico (-52°C), temperatura a la cual funde la antracita y da lugar a una inclusión que contiene vapor, hidrohálita, líquido y hielo; por encima de esta temperatura la composición del líquido se desarrolla a lo largo de la curva coetéctica (A-B), la cual separa las fases hielo + líquido e hidrohálita + líquido. Si la inclusión tiene una salinidad suficientemente baja, el hielo (en lugar de la halita o hidrohálita) es la última fase en fundir.

La Temperatura de fusión del último cristal de hidrohálita (Punto B), define la cantidad relativa de CaCl_2 y NaCl en la inclusión. Por encima de esta temperatura (fusión de la hidrohálita), el hielo sigue fundiendo y diluyendo las sales residuales sin alterar la relación $\text{NaCl} / \text{CaCl}_2$. Finalmente el último cristal de hielo funde en el punto C de la figura 117, esta temperatura es combinada con la temperatura de fusión del último cristal de hidrohálita (Punto B), para determinar la salinidad de la inclusión. La salinidad es determinada como el resultado de la intersección de la línea definida por el radio $\text{NaCl} / \text{CaCl}_2$ (Punto B) y la isoterma de la temperatura de fusión final del hielo en el campo hielo + líquido (Punto C).