

Geometría y Análisis Cinemático de la Falla Río Blanco

Proyecto de grado para optar por el título de geólogo

Jesús David Valencia Patiño



Daniel Alejandro Piñeros Rodríguez



Manizales, Caldas
2021

100 μ m

GEOMETRÍA Y ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LA FALLA RÍO BLANCO

Jesús David Valencia Patiño

Daniel Alejandro Piñeros Rodríguez



Universidad De Caldas

Facultad De Ciencias Exactas Y Naturales

Departamento De Ciencias Geológicas

Programa De Geología

Manizales

2021

GEOMETRÍA Y ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LA FALLA RÍO BLANCO

**Proyecto de grado para optar por el título de geólogo
Modalidad trabajo de grado.**

Jesús David Valencia Patiño

Daniel Alejandro Piñeros Rodríguez

Director

**Ingeniero Geólogo, MSc.
Gustavo Hincapié Jaramillo**

Universidad De Caldas

Facultad De Ciencias Exactas Y Naturales

Departamento De Ciencias Geológicas

Programa De Geología

Manizales

2021

Nota de Aceptación



Gustavo Hincapié Jaramillo
Director

Manizales, 12 de febrero de 2021.

1. RESUMEN

La zona de estudio se encuentra localizada en la ciudad de Manizales (Caldas, Colombia) y municipios aledaños en dirección sur y suroccidente como son Villamaría y San Peregrino. Se identifican las siguientes unidades geológicas: La Migmatita de Manizales, Complejo Quebradagrande, Formación Casabianca y depósitos aluviales cuaternarios.

La falla Río Blanco, se describe teniendo en cuenta tres sectores, sector nororiental indicada por la Reserva Río Blanco y la Sultana, sector central indicado por la antigua carrilera entre los municipios de Manizales y Villamaría, característico porque la geometría de la falla se ramifica en tres microcuencas, y el sector suroccidental, localizado entre San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná.

El sector nororiente, presenta dos eventos deformativos, uno de cinemática sinistral y normal-sinistral en régimen dúctil, otro con movimiento dextral y dextral-normal en régimen frágil-dúctil, caracteres descritos en rocas del Complejo Quebradagrande (miembro Sedimentario) y Formación Casabianca. En el sector central, se encuentran tobas andesíticas con deformación frágil y movimiento normal-sinistral, en el sector suroccidental, el análisis cinemático coincide con movimientos de buzamiento inverso y normal, estructuras formadas en régimen frágil y pertenecientes a rocas del Complejo Quebradagrande.

En rocas miloníticas, se hallaron estructuras como S-C', S-C, tipo Φ , tipo σ , tipo domino, zonas de cizalla y foliación sigmoidal; en las rocas cataclásticas, se encontraron estructuras tipo σ , fallas locales y lentes estructurales.

El estudio de microestructuras en la parte nororiente indica temperaturas de deformación entre (300-400) °C, en protomilonitas y milonitas encontradas en rocas sedimentarias como conglomerados y lodolitas con lentes de cuarzo, en la parte central, en tobas andesíticas se identifican temperaturas de deformación menores a 300°C, pertenecientes al régimen frágil, clasificándose como cataclasitas. Por último, en la parte suroccidental, Alto tablazo, en grauwacas feldespática con orientación N-S como en la parte final de San Peregrino en rocas andesíticas porfiríticas, se indican temperaturas de deformación menores a 300°C, clasificándolas como cataclasitas.

En el sector de la reserva Río Blanco, se propone superposición de dos eventos deformativos, ligados a dos movimientos encontrados en la falla con temperaturas de deformación en régimen frágil y dúctil. Las protomilonitas y milonitas se asociaron con temperaturas de deformación de (300-400) °C y expresan

movimiento normal sinistral, el otro movimiento hallado se indicó en rocas en su mayoría cataclásticas y también protomilonitas, controladas por deformación frágil y dúctil, expresando en la roca un movimiento dextral y dextral normal, con base en la reología se puede ubicar los dos movimientos, el primero se relaciona con la parte media de la corteza y el segundo se indica entre la parte superior y media de la corteza.

CONTENIDO

1.	RESUMEN	5
2.	INTRODUCCIÓN	18
3.	OBJETIVOS.....	19
2.1.	Objetivo General.....	19
2.2.	Objetivos Específicos.....	19
4.	LOCALIZACIÓN.....	20
5.	METODOLOGÍA.....	21
5.1.	Interpretación Geomorfológica en Fotos Aéreas del Municipio de Manizales y Villamaría.....	21
5.2.	Revisión Bibliográfica de la Literatura.....	21
5.3.	Fase de Campo	22
5.4.	Elaboración de Secciones Delgadas en Laboratorio.....	23
5.5.	Análisis y Resultados.....	23
5.6.	Elaboración de Proyecto Final.....	24
6.	ANTECEDENTES	25
7.	MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	26
7.1.	Complejo Cajamarca.....	27
7.2.	Complejo Quebradagrande	27
7.2.1.	Miembro Volcánico.....	27
7.2.2.	Miembro Sedimentario.....	28
7.3.	Complejo Arquía	28
7.4.	Migmatita de Manizales	29
7.5.	La Tonalita-Granodiorita de Manizales	30
7.6.	Formación Manizales.....	30
7.7.	Formación Casabianca	31
7.8.	Domo Sancancio.....	31
7.9.	Depósitos De Lluvia Piroclástica	32
7.10.	Depósitos Aluviales.....	32
8.	MARCO TECTÓNICO REGIONAL	33

9.	GEOLOGÍA LOCAL.....	35
9.1.	Complejo Quebradagrande – Miembro Sedimentario	36
9.1.1.	Lodolitas con Lentes de Cuarzo.....	36
9.1.2.	Shale.....	37
9.1.3.	Lodolita	37
9.1.4.	Lodolitas Silíceas	38
9.1.5.	Arenitas- Grauwacas feldespáticas pertenecientes a una sucesión Turbidítica.....	39
9.1.5.1.	Petrografía-JD-122.....	40
9.1.6.	Conglomerados	42
9.1.6.1.	Petrografía JD 159 – JD 153	42
9.1.6.1.1.	Sección delgada JD-159	43
9.1.6.1.2.	Sección delgada JD-153	47
9.1.7.	Rocas Volcanosedimentarias.....	50
9.2.	Complejo Quebradagrande – Miembro Volcánico.....	50
9.2.1.	Basaltos	54
9.2.2.	Andesita porfídica.....	54
9.3.	Complejo Quebradagrande – Intrusivos Básicos	57
9.3.1.	Microgabros	57
9.4.	Migmatita De Manizales	57
9.5.	Formación Casabianca	58
9.6.	Depósitos Aluviales.....	59
10.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	60
10.1.	Sistema de Fallas Romeral	60
10.1.1.	Falla Silvia-Pijao.....	60
10.1.2.	Falla San Jerónimo.....	60
10.2.	Falla La Siria.....	61
10.3.	Falla Villamaria – Termales	61

10.4.	Falla Manizales.....	61
10.5.	Falla Mangabonita	61
10.6.	Falla el Perro	62
10.7.	Falla Chipre	62
11.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL A NIVEL MACROscopico Y MESOSCÓPICO.....	63
11.1.	Análisis Estereográfico.....	63
11.1.1.	Zona entre La Sultana y Reserva Río Blanco (SRRB).	65
11.1.2.	Zona de la Antigua Carrilera (AC).....	67
11.1.3.	Zona entre San Peregrino y Antigua Vía a Chinchiná.....	69
11.1.3.1.	Quebrada al Norte de la Divisoria de Drenajes del Alto Tablazo (QN).....	72
11.1.3.2.	Quebrada Guacas (QAT).	73
11.1.3.3.	Quebrada La Siria (QS).....	75
11.2.	Análisis Cinemático.....	76
11.2.1.	Estructuras de Rocas Deformadas Dúctilmente	76
11.2.1.1.	Milonitas a Partir de Conglomerados.....	77
11.2.1.2.	Protomilonita a Partir de Rocas Ígneas (Metagabro).....	78
11.2.2.	Estructuras de Rocas Deformadas Frágilmente	80
11.2.2.1.	Brecha de Falla a Partir de un Conglomerado.	80
11.2.2.2.	Cataclasita a Partir de Toba.....	80
11.2.2.3.	Fallas Locales.....	81
11.2.2.3.1.	Fallas de Rumbo, Sentido Sinistral.....	81
11.2.2.3.2.	Fallas de Rumbo, Sentido Dextral.	82
11.2.2.3.3.	Falla de Buzamiento, Componente Normal.....	82
11.2.2.3.4.	Falla de Buzamiento, Componente Inverso.....	84
12.	MECANISMOS DE DEFORMACIÓN.....	87
12.1.	Análisis de Microestructuras.....	89
12.1.1.	Milonita a partir de un Conglomerado.	89

12.1.1.1.	Microestructuras en sección delgada JD-159	90
12.1.1.2.	Microestructuras en sección delgada JD-153	91
12.1.2.	Protocataclasita a partir de una toba andesítica JD-01.....	94
12.1.3.	Cataclasita a partir de una Grauwaca feldespática JD-122.....	96
12.1.4.	Cataclasita a partir de una andesita porfídica. JD-274.....	99
13.	EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA DE LA FALLA RÍO BLANCO	102
13.1.	Zona entre La Sultana y Reserva Río Blanco (SRRB)	103
13.1.1.	Régimen Dúctil.....	103
13.1.1.1.	Lodolitas con Lentes de Cuarzo Deformados	103
13.1.1.2.	Cizalla Presente en Lodolitas con Lentes de Cuarzo	106
13.1.1.3.	Microestructuras e Indicadores Cinemáticos.....	107
13.1.1.3.1.	Sección Delgada JD-159	107
13.1.1.3.2.	Sección Delgada JD-153.....	110
13.1.2.	Régimen Frágil.....	113
13.1.2.1.	Fallas Presentes en Tobas.....	113
13.1.2.2.	Falla Presente en Lodolitas	114
13.1.3.	Interpretación de Eventos Deformativos	115
13.1.4.	Diaclasas y Foliaciones	116
13.2.	Zona de la Antigua Carrilera (AC)	117
13.2.1.	Microestructuras- Indicadores Cinemáticos.....	118
13.3.	Zona entre San Peregrino y Antigua Vía a Chinchiná	121
13.3.1.	Quebrada al Norte de la Divisoria de Drenajes del Alto Tablazo (QN)	121
13.3.2.	Quebrada Guacas (QAT).....	122
13.3.3.	Quebrada La Siria (QS).....	123
14.	DISCUSIÓN	126
15.	CONCLUSIONES.....	128
16.	RECOMENDACIONES.....	130
17.	BIBLIOGRAFÍA	131

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización del área de estudio.</i> _____	20
<i>Figura 2. Esquema metodológico.</i> _____	21
<i>Figura 3. Vías (Rojo), caminos (Marrón) y drenajes (Azul) de acceso a la zona de estudio.</i> _____	22
<i>Figura 4: (A) Toma de muestra de roca orientada en campo (B) Método para elaborar secciones delgadas orientadas en campo (Pasquier & Trouw, 2005).</i> _____	23
<i>Figura 5. Mapa geológico de la zona de estudio, modificado de la plancha 206 del servicio geológico (González, 2001). Nótese las principales fallas con un trazo más oscuro las cuales son atravesadas por la Falla Villamaria-Termas.</i> _____	26
<i>Figura 6. A. Afloramiento característico de lodolitas con lentes de cuarzo deformado. B. Correspondiente a lodolitas carbonosas, con lentes de cuarzo bastante fracturados.</i> _____	36
<i>Figura 7. A y B. Shale gris plegado, con meteorización moderada. C. Shale negro. D. Intercalación de shale pardo y gris.</i> _____	37
<i>Figura 8. A y B. Capas de lodolita negra masiva, intercalada con laminaciones de lodolita.</i> _____	38
<i>Figura 9. Foto de planta. Capas de lodolita negra, con superficie estriada producto del deslizamiento por gravedad de una capa con respecto a otra.</i> _____	38
<i>Figura 10. A. Foto de perfil. Lodolitas silíceas intercaladas con lodolitas negras y arenitas. B. Lodolitas silíceas intercaladas con lodolitas carbonosas. C. Lodolitas silíceas intercaladas con lodolitas carbonosas y arenitas. D. Intercalaciones de lodolitas silíceas, lodolitas negras y arenitas.</i> _____	39
<i>Figura 11. Nótese que tanto en A y B se presentan intercalaciones de lodolita carbonosa (Lc) y turbiditas (a). C. toma de muestra en una capa de sucesión turbidítica. D. corte de muestra y descripción de la estratificación, gradación normal.</i> _____	40
<i>Figura 12. Sección JD-122. Identificación mineral a nivel microscópico. A, cuarzo (Qz) y calcita (Ca). B, cuarzo (Qz), calcita (Ca) y apatito (Ap). C, zeolita (Ze). F, opacos (Op). G, plagioclasa (Plg)</i> _____	41
<i>Figura 13. Foto a nivel de perfil. Afloramiento en la quebrada Olivares-Río Blanco, parte alta, porcentaje de matriz 65% y agregados de cuarzo 35%.</i> _____	42
<i>Figura 14. Sección JD-159. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). Moscovita en diferentes presentaciones. A, moscovita corte longitudinal y no presenta alargamiento. B, moscovita alargada y en sus laterales tiene un hábito acicular dentro de cuarzo. C, moscovita alargada.</i> ___	44
<i>Figura 15. Sección JD-159. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A y B cuarzo en diferentes presentaciones. A, cuarzo (Qz) con forma anhedral. B, cuarzo con forma anhedral alargado. C, óxidos de hierro con grafito. D, apatito (Ap).</i> _____	45

<i>Figura 16. Sección JD-159. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, epidota (Ep). B, olivino (Ol). C y D prhenita variedad corbatín(Prh).</i>	46
<i>Figura 17. Sección JD-153. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, cuarzo (Qz), grafito (Gf), moscovita (Ms) y turmalina (Tr). B, turmalina (Tr).</i>	47
<i>Figura 18. Sección JD-153. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, material titanífero (Tf), óxidos de hierro (OH) con moscovita (Ms). B, carbonatos (Ca) y moscovita (Ms). C, carbonatos (Ca) con moscovita alterada (Ms). D, es prehnita (Prh) y moscovita (Ms).</i>	48
<i>Figura 19. Sección JD-153. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, moscovita (Ms) y carbonatos (Ca) B, cuarzo (Qz) monocristalino alargado y policristalino deformado. C, cuarzo (Qz) monocristalino en mosaico. D, moscovita orientada (Ms).</i>	49
<i>Figura 20. Toba con deformación frágil, presenta una matriz triturada con remanentes de Líticos Volcánicos fracturados, expresando formas angulares. Sector de la Sultana-Río Olivares, cerca de la reserva Río Blanco.</i>	50
<i>Figura 21. Roca Volcanosedimentaria, intraclastos de lodolita con forma elongada y discontinua, quebrada Norte dirección al Arenillo</i>	51
<i>Figura 22. Ignimbrita, parte central de la zona de estudio en dirección a la vía de la antigua carrilera, Villamaria</i>	51
<i>Figura 23. Sección JD-01. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, clorita (Cl). B, cuarzo (Qz) policristalino. C, hornblenda alterada (Hb).</i>	52
<i>Figura 24. Sección JD-01. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, epidota (Ep) y líticos volcánicos alterados (LV). B, zoicita-clinozoisita (ZC) y sericita (Se). C, óxidos de hierro (OH) no se puede identificar el mineral. D, sericita (Se).</i>	53
<i>Figura 25. Basaltos, altamente diaclasados. Sector próximo a la quebrada el Rosario en A es cerca al Arenillo y en B sector quebrada Guacas-Alto Tablazo.</i>	54
<i>Figura 26. Andesita porfírica, identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, Plagioclasa alterada (Plg alt). B, cuarzo (Qz) monocristalino y plagioclasa alterada (Plg alt). C, sericita (Se). D, clorita (Cl).</i>	55
<i>Figura 27. Andesita porfírica, identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, piroxenos alterados (Px alt). B, cuarzo (Qz) monocristalino. C, piroxenos alterados (Px alt) y clorita (Cl). D, plagioclasa alterada (Plg alt) y piroxenos alterados (Px).</i>	56
<i>Figura 28. A. Toma de muestras de mano, microgabro (A) y volcanosedimentaria (B). B. Metagabro- Sector Río Blanco.</i>	57
<i>Figura 29. Foto a nivel de piso, Migmatita de Manizales.</i>	58
<i>Figura 30. Rocas procedentes de la Formación Casabianca.</i>	58

<i>Figura 31. Mapa con los arcos meridionales correspondientes a las fallas localizadas por las diferentes zonas.</i>	64
<i>Figura 32. Mapa con los arcos meridionales correspondientes a la foliación, localizadas en las diferentes zonas.</i>	64
<i>Figura 33. Mapa con los arcos meridionales correspondientes a diaclasas, localizadas en las diferentes zonas.</i>	65
<i>Figura 34. Polos de los planos de fallas localizados en la zona SRRB</i>	66
<i>Figura 35. Polos de planos de foliación localizados en la zona SRRB.</i>	66
<i>Figura 36. Polos de los planos de diaclasa localizados en la zona S-RRB.</i>	67
<i>Figura 37. Arcos meridionales de fallas localizadas en la carretera de la antigua carrilera.</i>	68
<i>Figura 38. Arcos meridionales de foliación localizados en la carretera de la antigua carrilera.</i>	68
<i>Figura 39. Polos de planos de diaclasa localizados en la carretera de la antigua carrilera.</i>	69
<i>Figura 40. Polos de los planos de falla localizados entre San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná.</i>	70
<i>Figura 41. Polos de planos de foliación localizados entre San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná.</i>	71
<i>Figura 42. Polos de planos de diaclasas localizados entre San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná.</i>	71
<i>Figura 43. Polos de los planos de falla localizados en QN.</i>	72
<i>Figura 44. Polos de planos de foliación localizados en QN.</i>	72
<i>Figura 45. Polos de los planos de diaclasa localizados en la QN.</i>	73
<i>Figura 46. Polos de planos de falla localizados en QAT.</i>	74
<i>Figura 47. Polos de planos de foliación localizados en la QAT.</i>	74
<i>Figura 48. Polos de planos de diaclasa localizados en la QAT.</i>	74
<i>Figura 49. Polos de los planos de falla localizados en el trayecto de la QS.</i>	75
<i>Figura 50. Polos de los planos de foliación localizados en el trayecto de la QS.</i>	75
<i>Figura 51. Estructuras cinemáticas georreferenciadas espacialmente en la zona de estudio.</i>	76
<i>Figura 52. Conjunto de fajas continuas y discontinuas de espesor variable y con porcentajes distintos entre matriz y clastos, las fajas se presentan de manera simétricas. Reserva Río Blanco.</i>	77
<i>Figura 53. A. Foto de perfil. Ultramilonita (U). Porcentajes similares entre clastos y matriz (M). clastos de Qz poco deformados rodeado de material fuertemente deformado (A). B. Foto de perfil. Nótese la relación de matriz y clastos tanto en A y B. Qz, con sentido de cizalla sinistral, presenta zona de cizalla con movimiento normal. Reserva Río Blanco.</i>	78
<i>Figura 54. A. Metagabro deformado dúctilmente presentando foliación sigmoidal con cinemática normal. B. Protomilonita con estructura S-C' y con cinemática dextral. Reserva Río Blanco.</i>	79
<i>Figura 55. A, es Afloramiento constituido por brecha de falla. B, son muestras representativas de lodolita silícea (C1) y brecha de falla(C2).</i>	80
<i>Figura 56. Cataclasita a partir de una toba.</i>	81

<i>Figura 57. Falla con componente de rumbo sinistral, desplazando paquetes de intercalaciones entre lodolita silíceas y arenitas. Nótese que la parte derecha se encuentra la roca triturada, en la parte izquierda se presenta con foliación anastomosada. Qbda. Cárcava del Alto Tablazo.</i>	81
<i>Figura 58. Falla con buzamiento de alto ángulo (78°- 84°) con componente dextral ya que el bloque yacente se desplaza hacia el NW. Cárcava Alto Tablazo.</i>	82
<i>Figura 59. A. Zona de fallas normales, quebrada Olivares - La sultana. B. Falla normal. Quebrada La Siria. C. Falla normal. Quebrada La Siria.</i>	83
<i>Figura 60 (A) Falla inversa, nótese que el bloque yacente se desplaza hacia el occidente. (B) Falla normal. (C) falla subvertical inversa. Quebrada La Siria.</i>	84
<i>Figura 61. Falla inversa a escala local. Tomada al SW de la zona de estudio, sobre el Río Rosario.</i>	85
<i>Figura 62. A. Fallas inversas desplazando segmentos de una veta de Qz. Quebrada Guacas. B. Zona de fallas inversas y vetas de Qz desplazadas. Quebrada Guacas.</i>	85
<i>Figura 63. Escalones de falla con componente inverso-dextral de bajo ángulo. Quebrada Olivares-Sultana</i>	86
<i>Figura 64. Conjunto de fallas. A y B, fallas inversas desplazando arenitas y lodolitas. C, falla normal. Quebrada Guacas.</i>	86
<i>Figura 65. Geolocalización de los resultados de mecanismos de deformación de las secciones delgadas obtenidas.</i>	87
<i>Figura 66. Mecanismos de deformación presentes en la sección JD 159. A, B, D, E, F, presentan cuarzo con extinción ondulante y Bulging (BLG). C, es cuarzo con extinción ondulatoria y se presenta como (SB) subgranos separados por subjuntas. B, presenta moscovita con extinción ondulatoria y flexionada.</i>	90
<i>Figura 67. G, H, Cristales de moscovita (Ms) con extinción ondulante y se presentan flexionadas.</i>	91
<i>Figura 68. Mecanismos de deformación presentes en la sección JD 153. A, B, D, E, F, G presentan cuarzo con extinción ondulante y Bulging (BLG).</i>	92
<i>Figura 69. Mecanismos de deformación presentes en la sección JD 153. A y B presentan moscovita con extinción ondulante y flexionadas. C y D, Son carbonatos con fracturamiento de granos.</i>	93
<i>Figura 70. Mecanismos de deformación presentes en la sección JD-01. A, B y F, cuarzo (Qz) con extinción ondulante. C y D, cristales de epidota (Ep) y zoisita-clinozoisita (CZ) fracturados. E y F, hornblenda (Hb) fracturada. G, plagioclasa alterada (Plg alt) fracturada.</i>	95
<i>Figura 71. Sección JD-122. Imagen de Iza (PPL) y Der (XPL) distintas presentaciones de textura pseudotaquilita, se observan venas de vidrio con textura de flujo, presentan fragmentos angulares remanentes de Qz y Plg</i>	97
<i>Figura 72. Sección JD-122. Microestructuras. A, B y C, plagioclasa (Plg) fractura. D, E, F y G, cuarzo (Qz) con microgrietas.</i>	98
<i>Figura 73. Sección JD-274. Microestructuras. A, cuarzo (Qz) fracturado. B, cuarzo (Qz) con extinción ondulante.</i>	99

<i>Figura 74. Mapa con las evidencias de falla encontradas en campo a nivel mesoscópico y macroscópico de la falla Río Blanco.</i>	103
<i>Figura 75. A. Lente de cuarzo deformado asimétricamente tipo σ (lente superior) y tipo sigmoideo (lente inferior) indicando componente de rumbo sinestral. B. Lente de cuarzo deformado asimétricamente tipo sigmoideo indicando cinemática sinestral. Reserva Río Blanco.</i>	104
<i>Figura 76. A. Lente de cuarzo deformado asimétricamente, tipo Sigmoideo indicando cinemática sinestral. B. Lentes de cuarzo deformados, estructura S-C', cizalla derecha .quebrada Olivares- Río Blanco.</i>	105
<i>Figura 77. Muestra de mano JD-113, lodolita con lentes de cuarzo con estructura S-C indicando movimiento destal paralelo a la foliación. Sector Río Blanco parte baja, próximo al río Olivares y sector la sultana,</i>	105
<i>Figura 78. JD113, movimiento en muestra de mano destal, trasladado a muestra de mano orientada. Cinemática en el afloramiento, Destal-Normal.</i>	106
<i>Figura 79. Foto a nivel de piso, lodolita con cuarzo, cizalla sinestral- cerca de la Reserva Río Blanco.</i>	106
<i>Figura 80. Geolocalización de las secciones delgadas orientadas en campo para la interpretación de microestructuras cinemáticas.</i>	107
<i>Figura 81. Imágenes microscópicas de muestra JD159(XPL), puede observarse en términos generales que en sección delgada se presenta cinemática sinestral y es paralelo a la foliación. A, B, C, D, E, F Pez de moscovita con sentido de cizalla sinestral. E, se observa tipo domino con movimiento Destal y antitéticas al sentido de la foliación.</i>	108
<i>Figura 82. Imágenes microscópicas de muestra JD159 con movimiento sinestral. G, H, I, J, Pez de moscovita. I, tipo domino con movimiento sinestral con respecto al sentido de la foliación y destal de manera antitética a la foliación. J, se observa un lente conformado por Qz y Ms en donde la Ms en sus extremos presenta micropliegues de arrastre e indica un movimiento sinestral.</i>	109
<i>Figura 83. JD159, movimiento en sección delgada (sinestral) trasladado a muestra de mano orientada. Cinemática en el afloramiento, normal-sinestral.</i>	109
<i>Figura 84. Imágenes microscópicas de muestra JD153 con movimiento destal. A, pez de moscovita. B, se observa micropliegues de arrastre en moscovita con movimiento destal. C y D, tipo pez en foliación(S₂). E, moscovita flexionada con sentido destal en sus extremos. F, moscovita tipo σ.</i>	110
<i>Figura 85. Imágenes microscópicas de muestra JD153 con movimiento destal. G, se observan tipo pez en foliación(S₂). H, moscovita con micropliegues de arrastre. I, filamentos de moscovita flexionados con movimiento destal. J y K, moscovita tipo domino.</i>	111
<i>Figura 86. Imágenes microscópicas de muestra JD153. A, B y C, se presenta un evento deformativo (S₃) cortante con la foliación (S₂). A y C, microfallas con orientación (S₃), B, crenulación.</i>	112
<i>Figura 87. JD153, movimiento en sección delgada (destal) trasladado a muestra de mano orientada. Cinemática en el afloramiento, normal-sinestral.</i>	113

<i>Figura 88 Foto a nivel de piso, Quebrada Olivares. Toba, agregados deformados y triturados, fallas con cinemática dextral. JD, indica cómo se encuentran los agregados, están triturados y fracturados.</i>	114
<i>Figura 89. Lodolita, falla sinistral-Quebrada Olivares-Reserva Río Blanco. Foto de perfil.</i>	114
<i>Figura 90. Interpretación gráfica del comportamiento cinemático de la Falla Río Blanco en la zona SRRB.</i>	115
<i>Figura 91. Foto tomada en el lado sureste del Río Chinchiná en Villamaría (estación 07). Se observan dos triángulos de falla ubicados en el costado noroccidente de la falla Río Blanco en cercanías al barrio Estambul (izquierda) y a la Curva del Kumis (derecha).</i>	117
<i>Figura 92. Foto tomada en el sector Torres RCN, Villamaría (estación 06). Proyección de la falla Río Blanco desde la Av. Santander hasta el sector de la Estación Uribe con triángulos de falla localizados en el sector de Estambul la Curva del Kumis.</i>	117
<i>Figura 93. Foto tomada entre el Barrio Colombia y Bajo Prado, indicando el Alto y Bajo tablazo, flanco limitado por el río Chinchiná y municipio de Villamaría - Geoformas relacionadas con la falla Río Blanco.</i>	118
<i>Figura 94. Muestra de mano de sección delgada JD-01, lentes estructurales, conformados por porfiroclastos rotos, tipo domino y con movimiento sinistral, paralelo a la foliación.</i>	119
<i>Figura 95. Imágenes microscópicas de muestra JD-01 indicando movimiento sinistral. A y D, tipo σ en porfiroclastos de cuarzo. B, tipo domino en porfiroclasto roto de plagioclasas alteradas.</i>	119
<i>Figura 96. Imágenes microscópicas de muestra JD-01 indicando movimiento sinistral. A y B, tipo σ en porfiroclastos de Líticos de roca volcánica. C, tipo domino en porfiroclastos de minerales alterados a sericita. D, tipo domino en zoisita-clinozoisita. E, micropliegue de arrastre. F, tipo pez en porfiroclastos de cuarzo y sericita.</i>	120
<i>Figura 97. JD-01, movimiento en sección delgada (sinistral) trasladado a muestra de mano orientada. Cinemática en el afloramiento, normal-sinistral.</i>	120
<i>Figura 98. Se observan rocas volcanosedimentarias (lado izquierdo de la foto) en contacto fallado normal con rocas basálticas verdosas (derecha) altamente fracturada en patrones diédricos. Estación 226.</i>	122

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clasificaciones de rocas de falla según Sibson, (1997). Modificado según Wise et al. (1984) y Snoke et al. (1998).</i>	88
<i>Tabla 2. Clasificación de milonitas Bajo, Medio y Alto grado. Tomado y modificado de (Parra & Quintero, 2016) basado de (Trouw & Passchier, 2010).</i>	88
<i>Tabla 3. Recristalización dinámica del cuarzo. Tomado de (Parra & Quintero, 2016) basado de Hirth and Tullis (1992) en Blenkinsop, (2000).</i>	89
<i>Tabla 4. Temperatura de deformación por mineral y roca de sección JD-159.</i>	91
<i>Tabla 5. Temperatura de deformación por mineral y roca de sección JD-153.</i>	93
<i>Tabla 6. Temperatura de deformación por mineral y roca de sección JD-01.</i>	96
<i>Tabla 7. Temperatura de deformación por mineral y roca, sección JD-122</i>	99
<i>Tabla 8. Temperatura de deformación por mineral y roca, sección JD-274</i>	100
<i>Tabla 9. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector de Río Blanco</i>	116
<i>Tabla 10. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector de Río Chinchiná</i>	121
<i>Tabla 11. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector quebrada Norte-quebrada Rosales</i>	122
<i>Tabla 12. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector Alto tablazo-quebrada Rosales</i>	123
<i>Tabla 13. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector Bajo tablazo-quebrada Rosales</i>	123

2. INTRODUCCIÓN

El Occidente Colombiano, parte occidente de la cordillera central, está conformado por litodemas, conjunto de bloques estructurales orientados NS y de tectonismo complejo. Se presentan fallas regionales como es el Sistema de fallas Romeral (N-S), a menor escala, distintas fallas con dirección NNE-SSW, NE-SW, NW-SE y E-W. Modelando el relieve de la región siendo las distintas unidades geológicas afectadas por dichas fallas. Volviéndose la geología estructural y la descripción de zonas de falla un interés de estudio.

En los alrededores de la ciudad de Manizales (Caldas, Colombia), se presentan distintos lineamientos geomorfológicos, varios de estos han sido determinados por controles estructurales de fallas regionales y locales ya estudiadas, en otras zonas de la región no se ha realizado un estudio de geología estructural. El siguiente trabajo corresponde al estudio de la geometría y análisis cinemático de la falla Río Blanco, localizada al nororiente y suroccidente de la ciudad de Manizales.

La descripción de la falla de estudio se indica a distintas escalas de trabajo, se interpretan estructuras desarrolladas a escala mesoscópica, descripción física de las rocas deformadas, análisis de datos estructurales, mecanismos de deformación, identificación de composición mineral y microestructuras.

Por último, se realiza el análisis estructural, identificando tendencias estructurales, proponiendo cinemática, grado de deformación y temperatura a la cual fueron sometidas las rocas presentes en la zona de estudio.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Realizar el análisis geométrico, cinemático y de mecanismos de deformación presentes en la falla Río Blanco con dato estructural N (35-55) E/SE ubicado en la ciudad de Manizales, entre los sectores de Río Blanco y San Peregrino.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar las unidades geológicas presentes en la zona de estudio.
- Analizar a escala meso y microscópica las diferentes estructuras deformativas presentes en unidades litológicas afectadas por la falla.
- Realizar un análisis de mecanismos de deformación presentes en los principales minerales de las rocas estudiadas.
- Analizar datos estructurales que permitan identificar tendencias y patrones estructurales asociados a la falla estudiada y fallas ubicadas en la zona.

4. LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se encuentra al NWW de la ciudad de Bogotá D.C, Colombia, sobre el flanco occidental de la cordillera central en la ciudad de Manizales, Caldas (Figura 1). La zona abarca varios municipios y barrios tales como Villamaría, San Peregrino, Alto Tablazo, Bajo Tablazo, Guacas, Reserva Rio Blanco y una porción del casco urbano de Manizales. La falla Río Blanco presenta lineamientos geomorfológicos de valles en V, drenajes, silletas y hombreras, es considerablemente notable en fotos aéreas o en vistas satelitales, dando a conocer una connotación geomorfológica con rumbo NE-SW desde la Reserva Rio Blanco al NE de la ciudad de Manizales hasta las partes bajas de las microcuencas Tierra baja, quebrada Guacas y quebrada la Siria al SW.

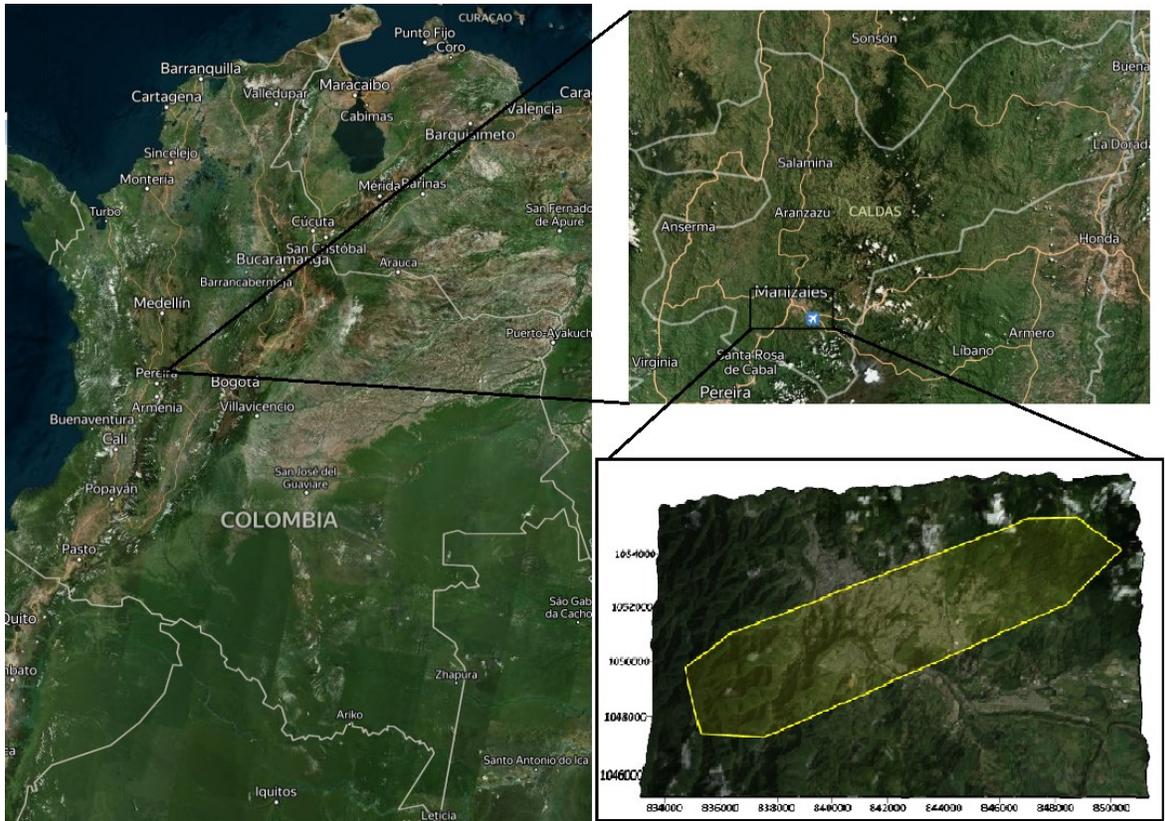


Figura 1. Localización del área de estudio.

5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la metodología se realizaron seis etapas, las cuales se muestran en la figura 2.

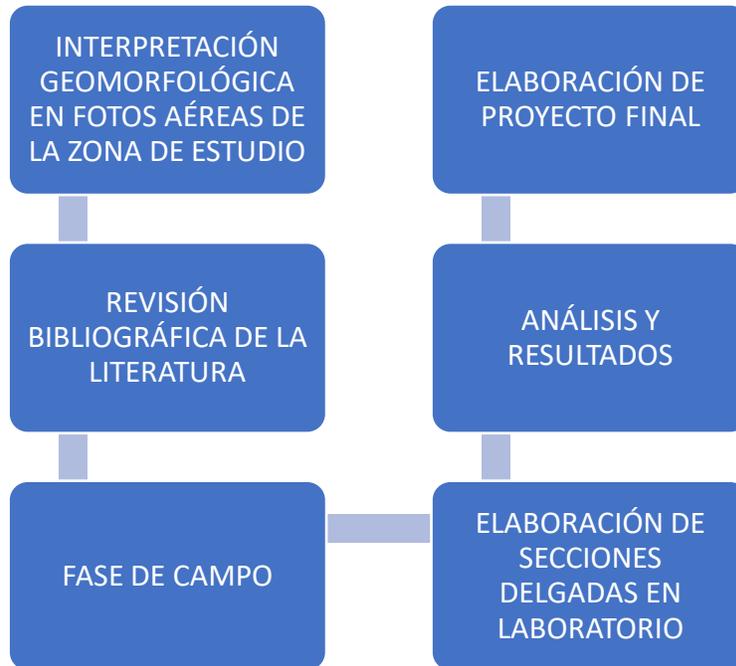


Figura 2. Esquema metodológico.

5.1. Interpretación Geomorfológica en Fotos Aéreas del Municipio de Manizales y Villamaría.

Se realiza la primera fase del proyecto, analizando e interpretando fotos aéreas en estereoscopios de espejos para identificar lineamientos geomorfológicos de las diferentes tendencias estructurales y topográficas, presentes en los municipios de Villamaría y Manizales que aún no han sido estudiadas ni documentadas.

5.2. Revisión Bibliográfica de la Literatura

Se realiza revisión bibliográfica de la literatura de ciencias geológicas de la cordillera central, específicamente de la ciudad de Manizales y el departamento de Caldas, seleccionando los documentos o informes con mayor relación a la tectónica y geología de la zona de estudio.

5.3. Fase de Campo

Una vez trazado el lineamiento marcado por escarpes de media a alta pendiente de la falla, se programan 15 salidas de campo en las localidades de la Reserva Río Blanco, Quebrada Olivares, la Sultana, casco urbano de Manizales, carretera del antiguo ferrocarril en Villamaría, Alto Tablazo, Quebrada de Guacas, Quebrada la Siria, San Peregrino-Arenillo y Quebrada el Rosario como se muestra en la Figura 3, con el fin de recolectar datos estructurales (rumbo y buzamiento) de diaclasa, foliación, foliación milonítica y cizalla, esto es de gran utilidad para interpretar de una manera estadística-global el comportamiento de las zonas de cizalla encontradas, también se describen estructuras a nivel macroscópico y la geología de los afloramientos más representativos en las carreteras y/o quebradas de estas zonas para elaborar la cartografía de la zona de estudio, se recolectan muestras de mano para clasificar tipo de roca y tipo de deformación.

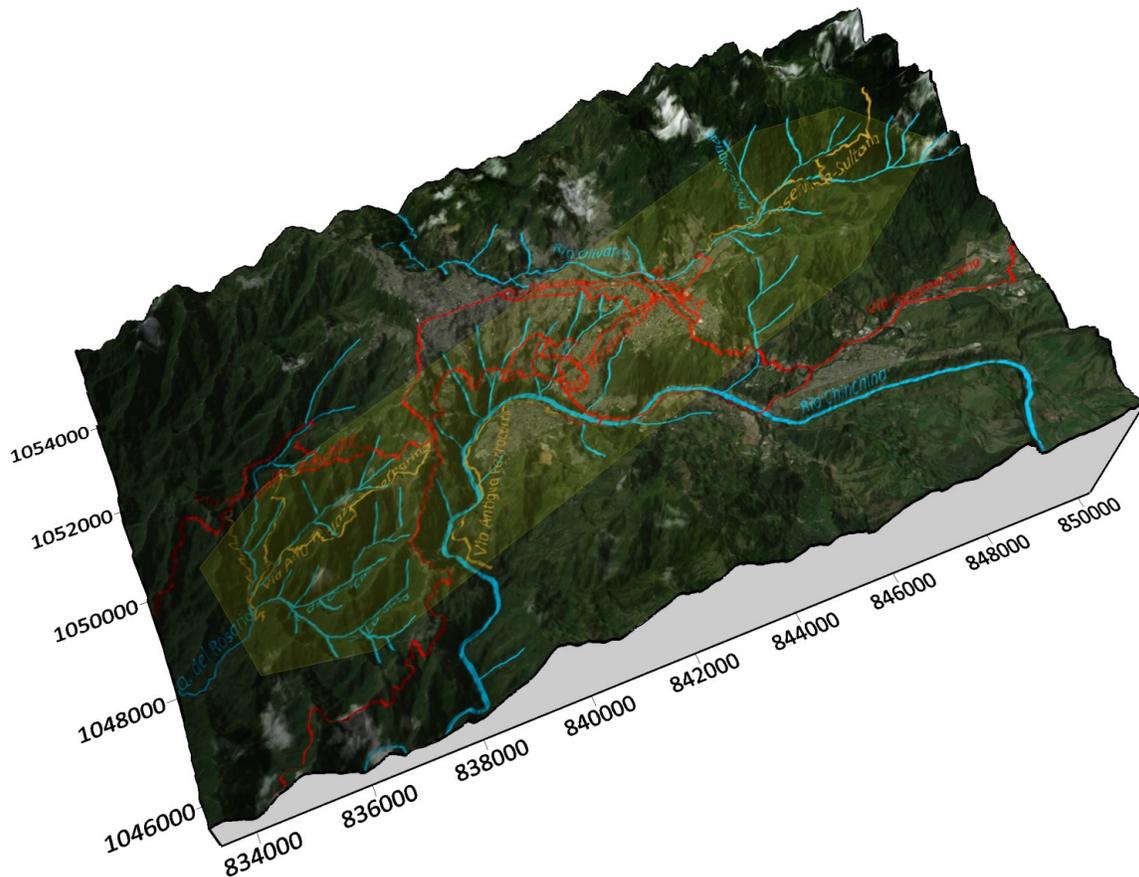


Figura 3. Vías (Rojo), caminos (Marrón) y drenajes (Azul) de acceso a la zona de estudio.

5.4. Elaboración de Secciones Delgadas en Laboratorio

Se recolectaron 10 muestras de roca, las cuales se orientaron en campo con el método propuesto por Passhier & Trouw, 2005, pág. 371, (Figura 4a) en el laboratorio se les realizan cortes con sierra en dirección paralela al alargamiento principal de los minerales y perpendicular a los planos de foliación milonítica. A las muestras JD-113, JD-264, JD-278, JD-304 se les realiza una descripción mesoscópica luego del primer corte en la sierra con el fin de clasificar las rocas, resaltando estructuras asimétricas que permitieron determinar la cinemática.

Al restante de las muestras, como la sección JD-122, JD-159, JD-153, JD-274, JD-01 se les realizó el corte en sección delgada con el método propuesto por Passhier & Trouw, 2005 (ver Figura 4b) con un grosor aproximado de 3 μm , fueron analizadas en microscopio petrográfico, se identificó y clasificó la mineralogía de la rocas para determinar el tipo de roca, microestructuras que indiquen la cinemática, mecanismos de deformación en minerales como cuarzo, feldespatos, biotitas, plagioclasa, los cuales permiten deducir temperatura a las cuales ocurrió la deformación.

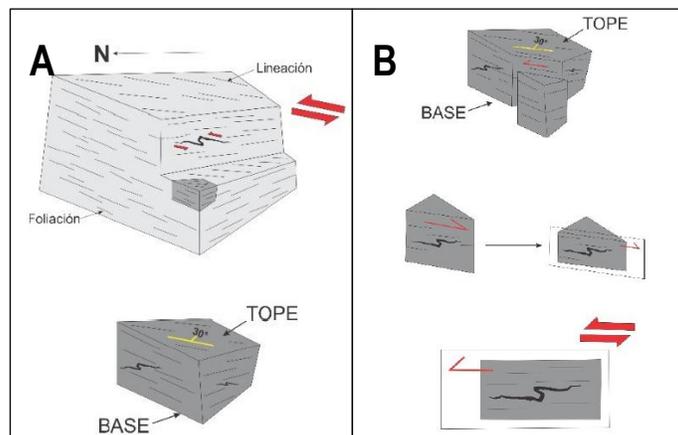


Figura 4: (A) Toma de muestra de roca orientada en campo (B) Método para elaborar secciones delgadas orientadas en campo (Passhier & Trouw, 2005).

5.5. Análisis y Resultados

Debido a que el corte sugerido por Passhier & Trouw (2005) es el corte XZ del elipsoide de deformación finita, el análisis realizado permitió identificar microestructuras que indican la cinemática de las zonas de deformación.

Los mecanismos de deformación observados en las secciones delgadas permiten dilucidar un rango de temperatura en el cual el proceso de deformación dúctil dio lugar en la roca.

Los mecanismos de deformación son evidencia de procesos de deformación ocurridos, observables a escala microscópica en sección delgada, no obstante los indicadores cinemáticos se pueden observar a escala

macroscópica en afloramientos o a escala microscópica en sección delgada, en campo se realizaron diferentes descripciones de indicadores cinemáticos en afloramientos observables en cortes de carretera o en cortes de drenaje en la zona de Sultana-Reserva Rio Blanco, La antigua carrilera, San Peregrino-Alto y Bajo Tablazo, estos datos estructurales fueron colectados, clasificados por zonas como lo es la zona Sultana-Reserva Rio Blanco (SRRB), zona de la antigua carrilera (AC), San Peregrino - Alto Tablazo sobre la quebrada norte, nombrada así en este trabajo (QN), San Peregrino – Alto Tablazo sobre la quebrada Guacas (QAT) y la zona San Peregrino – Bajo tablazo sobre la quebrada La Siria (QS), fueron comparados y procesados en el software Open Stereo 0.1.2 sub-agrupando los datos por diaclasas, foliación, y cizalla, obteniendo así conjuntos de diagramas equiareales del polo y arcos meridionales de los planos tomados en la falsilla de *Wulff*.

5.6. Elaboración de Proyecto Final

Finalmente se compilan todos los datos estructurales, descripciones cinemáticas de las muestras y afloramientos tomados en campo, y los resultados de los indicadores cinemáticos y mecanismos de deformación de las secciones delgadas, para así, poder tener mayor certeza y comprobar el verdadero proceso llevado a cabo que desarrolló este lineamiento observable en fotos aéreas.

6. ANTECEDENTES

Por medio de las tesis de Morales & Palacio Bedoya (2015), Parra & Quintero (2016), Moreno-Sánchez et al. (2016), se realiza un estudio al modelo tectónico y geológico de esta región, en conjunto con el análisis foto-interpretativo y geomorfológico se realiza un sondeo de las fallas documentadas localmente, sin embargo, no hay estudios anteriores sobre la tectónica y el movimiento de los bloques asociados a la falla en cuestión. Por lo tanto, en este capítulo se hace mención de los estudios realizados de las fallas sub-paralelas al lineamiento NE-SW en la cordillera central, tales como, la Falla Santa Rosa y la falla La Telaraña, además de fallas en sentido NNE-SSW como la falla Palestina, Falla Samaná Sur, y la Falla Pinares. A continuación, se realiza una breve descripción de estas fallas:

Falla Santa Rosa definida por Guzmán et al. (1998), la cual se describe como una falla de componente inversa dextral. Se encuentra localizada al sur y este de Manizales, desde el norte de la ciudad de Pereira hasta el municipio de Herveo, Tolima.

La falla La Telaraña, nombrada así informalmente y descrita por Acosta & Quintero (2014) localizada en el sector de Fermín López al sur del departamento de Risaralda hasta el sector de La Laguna, al norte; se encuentra subparalela al rumbo de la falla Santa Rosa y según el análisis del tensor de esfuerzos de esa zona, se concluye que la falla tiene cinemática transcurrente de carácter netamente dextral, sin evidencia aparente de componente de buzamiento.

La falla Palestina principalmente con rumbo NE-SW siendo en algunos sectores NNE-SSW o N-S definida por Feininger en 1970 como una falla de rumbo dextralateral que atraviesa la Cordillera Central, desde el río Quindío hasta la Serranía de San Lucas. La falla se encuentra en el sistema de Fallas de Palestina, indicada por algunos autores como un producto de la subducción oblicua de la placa Nazca bajo Suramérica, cuyas características estructurales están relacionadas con mecanismos tipo “desgarre”, clásicos en la mecánica de partición de la deformación en condiciones de subducción oblicua (De Barrero, 2000 y Cediel, Shaw, & Cáceres, 2002, en Mejía-Toro, 2012).

La Falla Samaná Sur es de carácter regional que es correlacionada con la Falla San Jerónimo (Calvache & Monsalve, 1983), descrita con una componente inversa dextral y rumbo aproximado de N30E, localizada al NE de la zona de estudio.

La Falla Pinares definida por Sánchez & Sánchez, 2001, como una ramificación de la Falla Samaná Sur, se encuentra al NE de la Zona de estudio con direcciones de rumbo variables de NNE a NNW y una longitud de 9.5 km aproximadamente.

7. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Las unidades representativas de la zona de estudio comprenden o están relacionados con los Complejos Cajamarca, Quebradagrande y Arquía, La Tonalita-Granodiorita De Manizales, Formación Manizales, Formación Casabianca, Depósitos de Flujo Piroclástico, Domo Sancancio, Depósitos De Lluvia Piroclástica y Depósitos Aluviales (Figura 5).

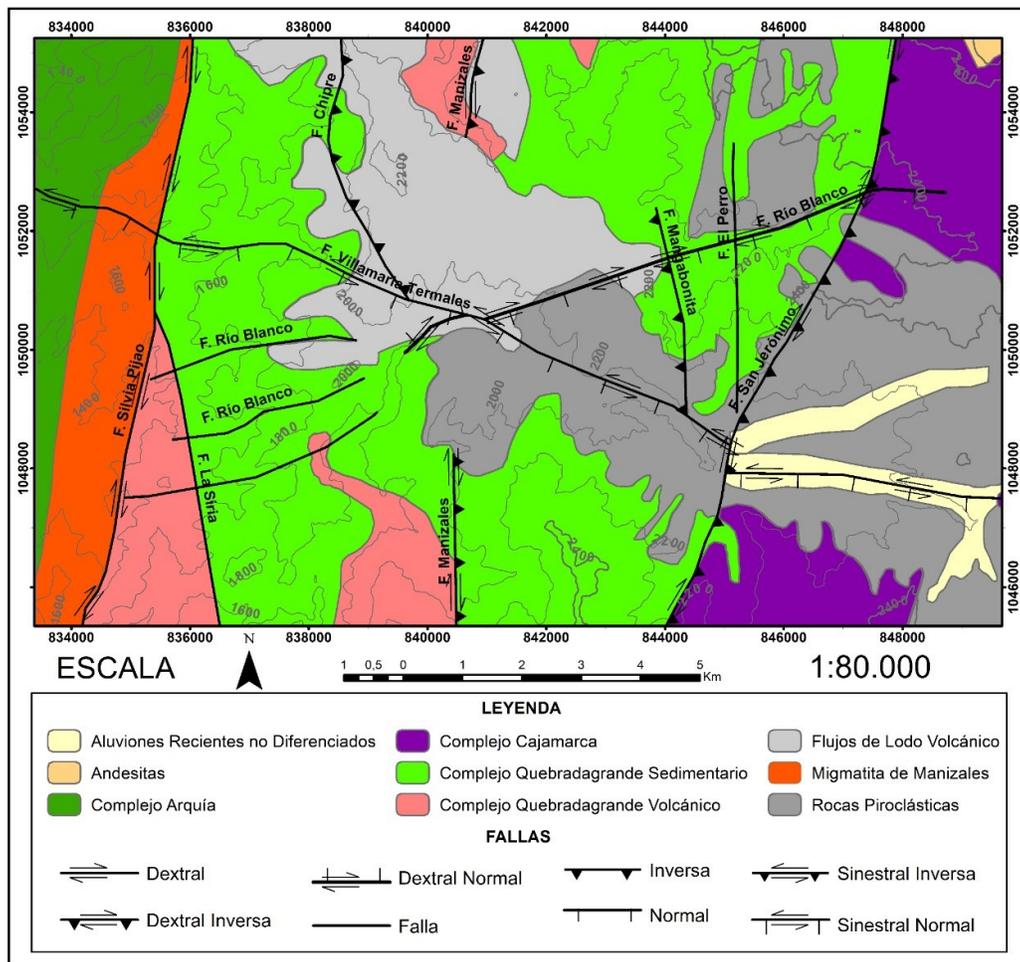


Figura 5. Mapa geológico de la zona de estudio, modificado de la plancha 206 del servicio geológico (González, 2001). Nótese las principales fallas con un trazo más oscuro las cuales son atravesadas por la Falla Villamaria-Termiales.

7.1. Complejo Cajamarca

Descrita por Maya y Gonzáles (1995), mencionan litodemas metamórficos reunidos y con extensión regional localizados en la parte occidental, oriental y superior de la cordillera central, con límites tectónicos al occidente por la falla San Jerónimo (NNE-SSW) que la separa del complejo Quebradagrande, y al oriente por la falla Otúpericos que la separa de unidades metamórficas del Precámbrico.

La descripción del complejo está indicada por un conjunto de rocas metamórficas conformadas por pizarras, filitas, esquistos cuarzo sericiticos, esquistos verdes, cuarcitas, neises, granulitas, anfibolitas y fajas de mármoles.

Vinasco et al., (2006) concluye que la evolución de la cordillera central es compleja y estuvo relacionada a una orogenia por colisión en el Pérmico-Triásico y construcción del supercontinente Pangea. Dataciones U-Pb registradas en circones de rocas metamórficas y cuerpos graníticos sintectónicos indican edades de 280 Ma - 250 Ma.

7.2. Complejo Quebradagrande

El término “Complejo Quebradagrande” fue definido por Maya & González (1995), describiendo una unidad de extensión regional y presente en la mayoría del área de estudio. Localizada en el noroeste de Colombia en el flanco occidental de la cordillera central. Se presenta como un conjunto de bloques estructurales orientados N-S y separados por límites tectónicos, hacia el occidente con la falla Silvia Pijao (N-S) y que lo separa con el Complejo Arquía, por otra parte, hacia el oriente con la falla San Jerónimo (NNE-SSW) y que lo separa con el Complejo Cajamarca.

Constituido por unidades litodémicas con afinidad de rocas volcánicas y sedimentarias. Las rocas sedimentarias se encuentran intercaladas concordantemente con las rocas volcánicas y también por contactos tectónicos.

7.2.1. Miembro Volcánico.

Unidad constituida por algunas brechas de flujo y tobas que se presentan alargadas en sentido N-S; También por rocas andesíticas y basálticas, según Rodríguez & Cetina (2016) provienen de tres ambientes, el primero, rocas de arco que se formaron en un ambiente de subducción, otras de un ambiente divergente probablemente de extensión de una cuenca *back-arc*, y otras formadas de un ambiente de pluma derivadas del plateau oceánico.

7.2.2. Miembro Sedimentario.

Se reconocen lutitas carbonosas, lilitas, lutitas con lentes de cuarzo lechoso que tiende a ser paralelo a la foliación y a los planos de estratificación, arenitas, arenitas conglomeráticas, conglomerados con líticos volcánicos y/o clastos de cuarzo y feldespato potásico. Una característica litológica propuesta por Gómez et al. (1995) y Moreno et al. (2008) es material clástico con afinidad volcánica (andesita, gabros, microgabros, tobas) y rocas sedimentarias inmaduras hacia el occidente de la ciudad de Manizales, y al oriente conformada por metasedimentitas siliciclasticas formadas en una margen continental.

Se observa a escala microscópica minerales indicadores de metamorfismo de bajo grado, según Nivia, Gizelle, & Andrew (1996) el Complejo Quebradagrande está afectado por metamorfismo de facies zeolita, prhenita pumpellita y esquistos verdes. Además, se identifica metamorfismo dinámico, se observa minerales y rocas deformadas, orientación mineral y conservación mineralógica y textural de la roca parental. Indicando rocas metasedimentarias de protolito: conglomerados con líticos volcánicos y lodolitas con lentes de cuarzo.

Moreno et al., (2008) basado de Etayo-Serna (1985) y Gómez-Cruz *et al.*, (1995), indican la edad por medio de fósiles correspondientes a restos de plantas y amonites, un rango entre Berriasiano y Albiano medio; posteriormente, Villagomez *et al.*, (2011) a partir de una toba y en circones, por el método de datación U/Pb indica una edad de 114.3 ± 3.8 Ma (Aptiano).

7.3. Complejo Arquía

Según Maya y Gonzales (1995), Mario et al., (2008) y Rodríguez & Arango (2013), es el conjunto litológico más heterogéneo del occidente colombiano constituido por rocas de distinta composición, origen y edad. De extensión regional y forma alargada y discontinua; presenta límites tectónicos al occidente por la falla Cauca-Almaguer (N-S) que la separa de la Formación Barroso, Diabasas de San José de Urama y al oriente por la Falla Silvia Pijao (N-S) que la separa del complejo Quebradagrande. Al ser una unidad que se encuentra en el Sistema de Fallas de Romeral, las rocas presentan alta deformación dinámica y disposición estructural complicada (Hincapié & Moreno, 2001).

Conformada por esquistos anfibólicos, sericíticos, cuarcitas y neises, junto a anfibolitas y metagabros asociados a cuerpos ultramáficos que se extienden desde Santafé de Antioquia en Colombia hasta Ecuador (Maya y Gonzales, 1995).

Las rocas metamórficas son de distintos grados metamórficos Moreno & Pardo (2002), y sometidas a condiciones de presiones baja, media y alta. De protolito ígneo, metamórfico y sedimentario de diversa composición.

Son bastantes las unidades litológicas que conforman el complejo Arquía, como son Metabásitas del Grupo Arquía (Toussaint & Restrepo, 1974), los Esquistos de Sabaletas (Restrepo J. , 1986) y otras.

Su origen se interpreta por la colisión entre el basamento oceánico de la cordillera occidental y el basamento metamórfico de la cordillera central, con base en dataciones radiométricas por el método K/Ar establecieron un intervalo de tiempo de 100 a 113 Ma coincidiendo con el inicio del arco volcánico (Fm Barroso- Sabanalarga) (Rodríguez & Arango, 2013).

7.4. Migmatita de Manizales

Definida por Idárraga & Martínez (2005), ubicada en el flanco occidental de la cordillera central al oeste de Manizales entre cerro Morrogordo y el río Chinchiná presentándose como un cuerpo alargado con sentido N-NE y emplazado tectónicamente con límites al occidente por la falla Filandia-Stock Metagabroico de Chinchiná-Santa Rosa y al oriente por la falla Silvia Pijao- Complejo Quebradagrande, indicándose en los bordes de los límites fajas centimétricas de milonitas.

Se distingue leucosomas de composición granodiorítica-tonalítica texturalmente masivo de tamaño de grano medio a grueso y asociación mineral de oligoclasa-andesina, cuarzo, ortoclasa y/o microclina, biotita, moscovita y granate; El mesosoma es de aspecto gnéisico con bandeamiento milimétrico a centimétrico de forma irregular y discontinua, contiene concentraciones de minerales máficos residuales (principalmente biotita) y una asociación mineral de plagioclasa, cuarzo, biotita moscovita, granate, sillimanita y localmente cordierita por último el melanosoma está conformado por concentración de minerales residuales oscuros(90-80%) principalmente biotita.

El principal mecanismo de formación es de fusión parcial y en condiciones de P-T de (650-850) °C, facies granulita. Por relaciones tectónico-estratigráficas la ubican en el intervalo Campaniano-Maastrichtiano como probablemente un microterreno de afinidad continental que quedo unido a los Complejos Quebradagrande y Arquía, el protolito de esta roca es sedimentario tipo grauvaca.

Por último, se supone por comparación de dataciones radiométricas propuestas con otras migmatitas de Colombia y lugares del mundo, que es de edad Paleozoica-Precámbrica.

7.5. Tonalita-Granodiorita de Manizales

Cuerpo intrusivo definido por Mosquera (1978) y posteriormente López & Aguirre (2005) propone el nombre de Tonalita-Granodiorita de Manizales, nombre propuesto con base en cambios composicionales del intrusivo. La unidad se encuentra localizada en el flanco occidental de la cordillera central al este del municipio de Manizales y aflora entre quebrada Romerales al sur y quebrada Martinica al norte. Intruye rocas metamórficas del Complejo Cajamarca y rocas de la milonita Granítica del Guacaica; su asociación mineral está dada por cuarzo, Plagioclasa, Feldespato K, biotita y +/- hornblenda. La roca presenta alto grado de meteorización, siendo normal encontrar saprolito con estructura, material conformado por arcilla y micas alteradas y cuarzo, comúnmente se encuentra en este estado en laderas o taludes ejemplo Vía Magdalena.

McCourt et al., (1984), reportan dataciones hechas por el método K/Ar en biotita de 57 ± 2 Ma y 56 ± 3 Ma, Villagómez & Spikings (2013) reportan una edad de enfriamiento de 43.9 ± 4.2 Ma usando huellas de fisión, entre otras. Ubicando a la a Tonalita-Granodiorita De Manizales en el Paleoceno.

7.6. Formación Manizales

Propuesta por Flórez (1986) y descrita por Naranjo & Ríos (1989), conjunto de rocas sedimentarias volcanogénicas derivadas del complejo volcánico Ruiz-Tolima, y depositadas en un intervalo de tiempo de 8 a 4 Ma, aflora en la carretera que de Manizales conduce al pueblo de Arauca, así como también en el cauce del río Chinchiná, cerca al pueblo del mismo nombre.

Presenta un contacto discordante con el Complejo Quebradagrande y un contacto erosivo con Formación Casabianca, depósitos de lluvia piroclástica y flujos de escombros de la Enea. Tiene un espesor promedio de 260 m, en los primeros 30 m es material correspondiente a una terraza aluvial, constituida de conglomerado poligomictico con matriz de arcilla, limo, arena y grava, poco litificado y compuesto por fragmentos redondeados y mal seleccionados de anfibolita, brechas sedimentarias, esquistos micacéos, grauvacas, gneis biotítico, cuarzo ahumado, cuarzo lechoso, cuarzodioritas entre otras, se caracteriza porque no presenta material volcánico; Suprayacente a la base presenta un contacto erosivo con rocas volcanoclásticas, conglomerados tobaceos o lapillstone y areniscas tobáceas o conglomeráticas Fisher,1961 en (Naranjo & Ríos, 1989) las estructuras sedimentarias son masivas y sin estratificación, estratificación cruzada, gradación normal e inversa. Composicionalmente está conformada por dacitas y andesitas porfiriticas, rocas metamórficas, cuarzodioritas, cuarzo lechoso, chert y pómez de color blanco; por último, los fragmentos de pómez están interestratificados con depósitos de flujo de escombros.

Las rocas sedimentarias de esta formación representan el primer registro de actividad volcánica en el flanco centro-occidental de la Cordillera Central.

Van Houten (1976) en (Naranjo & Ríos, 1989) indica una edad entre final del oligoceno para el inicio de la actividad volcánica y Flórez (1986) indica una edad de $3,6 \pm 0,36$ M.a por el método K/Ar para una lava del estrato volcán Romeral que es suprayacente a la Formación Manizales.

7.7. Formación Casabianca

Formación geológica descrita por Naranjo & Ríos (1989), Secuencia Volcanoclástica con espesor promedio de 50 m y localizada al occidente y oriente de la parte media de la Cordillera Central y en la cuenca del río Chinchiná, se presenta una zona de control de depositación. A la latitud de Manizales la Formación Casabianca tiene contacto discordante sobre la formación Manizales y es suprayacente de los depósitos de lluvia piroclástica.

La unidad litológica está constituida por agrupaciones de sedimentos volcanogénicos de grano grueso, ignimbritas, tobas y sedimentos volcánicos de grano fino meteorizados y retrabajados por la actividad fluvial.

Son depósitos de flujos de escombros que se formaron debido a la poca capacidad de transporte de material en los ríos, material producido de las erupciones y/o actividad volcánica de la cadena Ruiz-Cerro Bravo entre el Plioceno temprano- Pleistoceno (Thouret et al. 1985). Los clastos volcánicos de los flujos de escombros son en su mayoría andesíticos-dacíticos con matriz de color rojo a gris, y en menor porcentaje los clastos corresponden a fragmentos la Tonalita-Granodiorita De Manizales y esquistos micáceos del grupo Cajamarca.

7.8. Domo Sancancio

Descrito por Naranjo & Ríos (1989), localizado a la latitud de Manizales y cerca del antiguo barrio de la playita y Aranjuez. Es de carácter intrusivo sobre complejo Quebradagrande, Fm Manizales y Fm Casabianca. Su forma es de criptodomo conformado por la inyección de magma basáltico a lo largo de un control estructural del sistema de fallas Manizales- Villamaría. La litología corresponde a un basalto hipersténico altamente diaclasado con fenocristales de hipersteno y augita, con matriz de vidrio básico y microlitos de sanidina. Thouret et al., (1985) y Thouret et al., (1990) determinó por el método Ar/K en roca total una edad de $1,2 \pm 0,08$ M.a.

Botero et al., (2018) asocian el domo Sancancio con el Campo Monogenético Villamaría-Termales (CVMVT), estudios geoquímicos indican una firma adakitica y proponen un modelo geológico-estructural basado en el

fracturamiento conjugado y presión de fluidos (sobrepresión magmática) sugiriendo un emplazamiento controlado tectónicamente (Borrero et al., 2009).

7.9. Depósitos de Lluvia Piroclástica

Descrita por Naranjo & Ríos (1989), son depósitos de capas delgadas con espesores de 10-20 m y conformados por fragmentos rotos de pómez y escoria de composición dacítica, también se presentan niveles de ceniza y lapilli de fragmentos de roca de composición dacita-andesita porfirítica. Los depósitos se encuentran interestratificados con depósitos de piedemonte de la Enea y Maltería.

Por paleogeografía se indica que los depósitos son la representación de las últimas manifestaciones de actividad volcánica explosiva del complejo volcánico Ruiz-Tolima.

7.10. Depósitos Aluviales

Depósitos conglomeráticos clasto-soportados poco consolidado, clastos que varían desde guijos a bloques, redondeados de alta a baja esfericidad y angulosos de baja esfericidad, composicionalmente son pórfidos andesíticos y dacíticos, pizarras, filitas, chert y cuarzo; La matriz es arenosa conformada por cuarzo, hornblenda, micas, pumita y líticos pertenecientes del Complejo Quebradagrande y Granodiorita de Manizales, se identifican estructuras sedimentarias propias de corrientes como clastos imbricados, laminaciones y paleocanales (Parra & Quintero, 2016).

8. MARCO TECTÓNICO REGIONAL

A escala regional y continental las placas con las cuales se relaciona e interactúa la placa tectónica Sur Americana son: la placa Subcontinental Caribe al norte y la Placa Nazca al oeste, siendo quizás esta última, la placa con mayor influencia, causante de la génesis de la Cordillera Central y los Sistemas de Fallas conocidas como el Sistema de Fallas Romeral sugerida por Page, 1986 (González, 2001). Ya que la placa Nazca se desplaza con un vector de movimiento hacia el este o NE con una velocidad de 7 cm/año, subduce y se destruye fundiéndose por debajo de la placa Sur Americana, en consecuencia, el material fundido asciende a través de las principales fallas y fracturas generadas anteriormente por el levantamiento de la Cordillera Central, explicando así la evolución de volcanes, tal como El Nevado del Ruiz (Acosta-A, 1976).

Según Taboada, et al. (1998) la Placa del Caribe converge bajo la placa Sur Americana al norte, con un vector de movimiento hacia el SEE desplazándose a una velocidad de 1-2 cm/año. “La convergencia relativa entre estas placas es responsable de la deformación observada en el norte del territorio colombiano. En este sector se destacan algunas cadenas intra-continetales de dirección sub-perpendicular al vector de convergencia relativa (Serranía de Perijá, Andes de Mérida en Venezuela y la parte norte de la Cordillera Oriental Colombiana). A diferencia de la convergencia entre Nazca y Sudamérica, el movimiento de la placa Caribe no tiene una expresión sísmológica contundente, probablemente por tratarse de un proceso de subducción incipiente y con una tasa de convergencia mucho menor”.

No obstante, actualmente se cuenta con múltiples herramientas tecnológicas para estudiar y analizar la generación de los complejos estructurales al NW de Sur América, por lo que surgen nuevas teorías, tales como:

Giunta et al. (2002) enfoca su atención a la acción y reacción que tiene la placa Caribe sobre la Placa Sur Americana y propone que esta se creó en la posición actual, sin embargo, esto no explica la complejidad estructural y geoquímica presente al oeste colombiano. Moreno Sánchez y Pardo Trujillo en 2003 realizaron un estudio para la Asociación Americana de Petróleo en el cual concluyen que el complejo Quebradagrande es una cuenca *Back Arc Basin* o cuenca tras-arco formada en el Cretácico inferior registrada en el occidente de Colombia y Ecuador. Según Pindell (1993; 1994; 1997), Pindell et al. (1998) y Pindell and Kennan (2009), en el Cretácico tardío la Placa Caribe se origina en el Océano Pacífico y se desplaza hacia el NE colisionando lateralmente con el margen occidental colombiano causando el cierre de esta cuenca tras-arco desplazando y levantando el complejo Quebradagrande contra el oriente Colombiano permitiendo así las condiciones para la generación del primer valle intra-cordillerano, en lo que actualmente es el Valle del Magdalena (Tomado de Moreno-Sánchez et al. 2016).

A escala local el Sistema de Fallas Romeral tiene su límite occidental con la Falla Silvia-Pijao y al oriente con la Falla San Jerónimo, dentro de los cuales se levanta el Complejo Quebradagrande dividido en dos miembros: uno volcánico y otro sedimentario según Moreno-Sánchez & Pardo-González (1980), entre otras unidades que no son de la misma categoría, sin embargo hay una imposibilidad de establecer unidades litoestratigráficas formales, dado que la mayor parte de los contactos entre unidades estratigráficas son tectónicos, indujo a que Maya y Gonzales (1995) adoptara el uso de unidades litodémicas para la cartografía en el occidente Colombiano (Moreno-Sánchez, et al. 2008).

En este trabajo se pretende investigar un posible evento tectónico en sentido N45°-55°E ocurrido entre la Falla Silvia-Pijao y la Falla San Jerónimo a la latitud de Manizales. En la Figura 5 se observan las fallas documentadas en la zona de estudio, con sus respectivos comportamientos cinemáticos, además de la relación que pueden tener con los diferentes litodemas presentes en la zona, con lo que respecta a la geología, ésta se tomó de la plancha 206 del servicio geológico (González, 2001) y se modificó según la observación realizada en campo.

9. GEOLOGÍA LOCAL

Las unidades que afloran en la zona de estudio son: Complejo Quebradagrande – Miembro Sedimentario, están constituidas por shale, lodolitas masivas, lodolitas silíceas, lodolitas con lentes de cuarzo, lodolitas carbonosas, arenitas y conglomerados. El Complejo Quebradagrande – Miembro Volcánico, se encuentra conformado por volcanosedimentarias, basaltos y andesitas, e intrusivos básicos como microgabros y metagabros. El Complejo Arquía por la migmatita de Manizales. Por último, se encuentran rocas procedentes de unidades recientes como son la Formación Casabianca y depósitos aluviales.

El Complejo Quebradagrande se encuentra en la parte occidental de la cordillera central del territorio colombiano, está conformado por bloques estructurales orientados en sentido N-S y se encuentra entre límites tectónicos al oriente por la falla San Jerónimo con el Complejo Cajamarca y al occidente por la falla Silvia-Pijao con el Complejo Arquía, esta unidad es de edad cretácica según Gómez-Cruz *et al.*, (1995) y Villagomez *et al.*, (2011). La descripción litológica es un factor que subdivide al complejo en miembro sedimentario y miembro volcánico, también hay rocas que se asocian con el basamento oceánico. Las rocas sedimentarias son de origen marino encontrándose en toda la zona de estudio, según Gómez-Cruz *et al.*, (1995) y Moreno-Sánchez *et al.*, (2007) el complejo es de carácter bimodal siendo el material clástico en la parte oriente de Manizales de afinidad continental. El miembro volcánico está conformado por rocas volcánicas de ambiente de arco como son andesitas y basaltos, identificadas en la parte más occidental de la zona de estudio, entre San peregrino y las quebradas: Norte y Cárcava Alto tablazo. Por último, se identifican rocas procedentes del basamento oceánico como son intrusivos básicos indicados en la parte occidental entre San Peregrino y la quebrada Norte, y parte oriental sector Río Blanco. Según Nivia *et al.*, (1996) este complejo está afectado por metamorfismo de muy bajo a bajo grado como es facies zeolita, prhenita pumpellita, y esquistos verdes, según Gómez-Cruz *et al.*, (1995) y Moreno-Sánchez *et al.*, (2016) hay presencia de zonas de cizalla indicando franjas de rocas afectadas por metamorfismo dinámico.

La migmatita de Manizales se encuentra al occidente de la cordillera central, según Idarraga & Martínez (2005) esta unidad geológica la ubican dentro del complejo Arquía por relaciones netamente tectonoestratigráficas y es de posible edad paleozoica precámbrica, se encuentra emplazada tectónicamente en el Sistema de Fallas de Romeral, limita al oriente con el Complejo Quebradagrande y al occidente con Stock Metagabroico de Chinchiná-Santa Rosa, en este trabajo se identifica la migmatita de Manizales en la parte occidental de la zona de estudio entre San peregrino y próximo a la quebrada Norte.

Por último, se reportan unidades recientes como son afloramientos de la formación Casabianca siendo depósitos de flujo constituidos de material volcánico ubicados en el sector Río Blanco y depósitos aluviales ubicados en el trayecto Universidad de Caldas- Barrio Fátima.

9.1. Complejo Quebradagrande – Miembro Sedimentario

9.1.1. *Lodolitas con Lentes de Cuarzo.*

Los afloramientos representativos de esta roca se encuentran en la Quebrada Olivares sector La Sultana, siguiendo el cauce en dirección a la Reserva Río Blanco (Figura 6.A), y en la microcuenca de la quebrada la Siria, parte media-superior (6.B).

Las lodolitas son de color negro y contienen material orgánico (carbonosas), tienen foliación anastomosada y en ocasiones son masivas y moderadamente diaclasadas. El cuarzo es de aspecto lechoso, se presenta en fajas continuas o discontinuas en forma de lentes, los espesores son de milímetros a centímetros. La roca se presenta de dos maneras, con alta consistencia y el cuarzo con pocas fracturas, o deleznable con bastante contenido de material carbonoso y el cuarzo bastante fracturado.

Se resaltan diferentes tipos de contactos observados, como son: Suprayacen con superficies de erosión, colocándolas en contacto con depósitos recientes de conglomerados; Transicionales y tectónicos con distintas litologías, como son lodolitas negras, lodolitas silíceas, shale y arenitas.

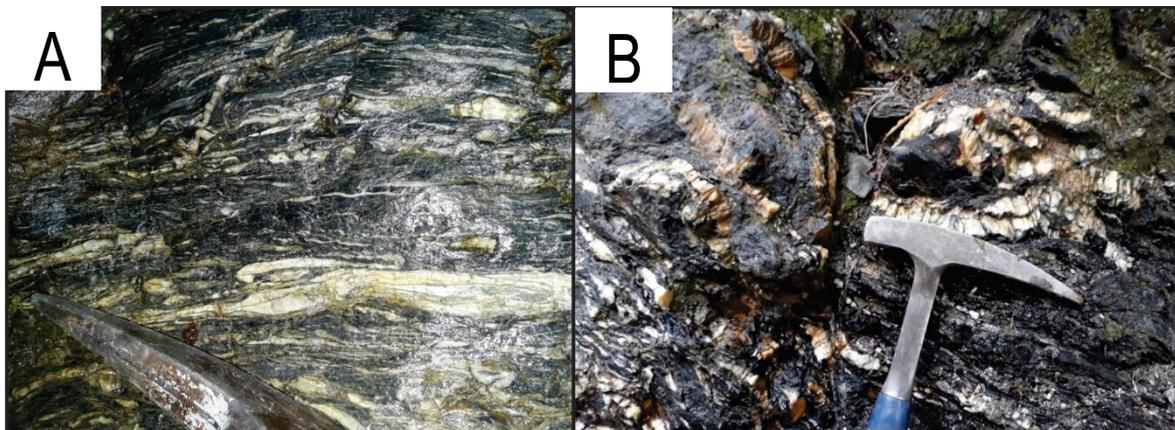


Figura 6. A. Afloramiento característico de lodolitas con lentes de cuarzo *deformado*. B. Correspondiente a lodolitas carbonosas, con lentes de cuarzo bastante fracturados.

9.1.2. Shale.

En la parte de la Sultana y adyacente de la quebrada Olivares, se encuentran afloramientos conformados por shale de color gris, con pliegues y bastante meteorizados, de color amarillo (Figura 7. A y B).

En el sector San Peregrino- Arenillo, se presentan paquetes de shale con material carbonoso, intercalaciones de shale de color negro y gris, con presencia de diaclasas y fallas locales (Figura 7. C y D).

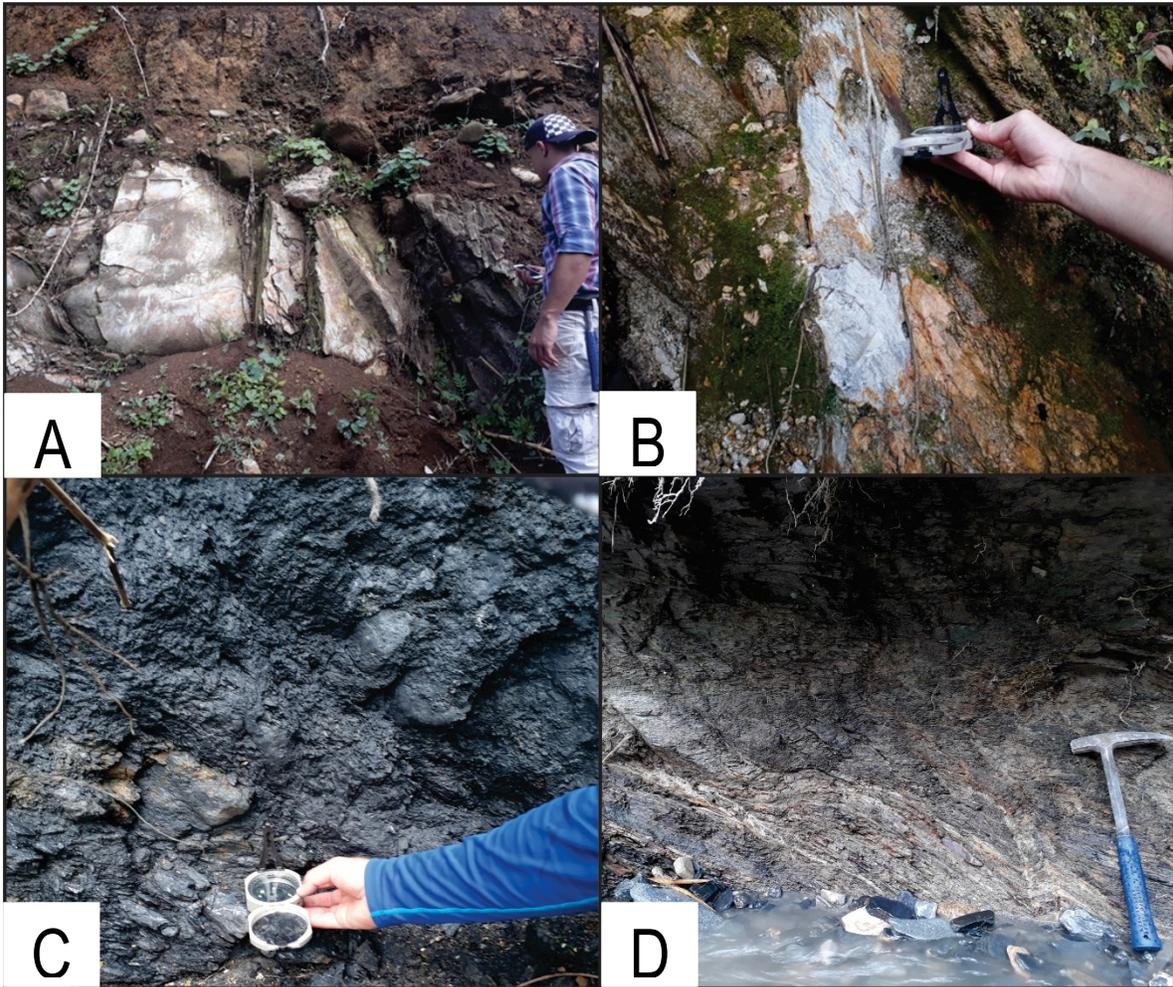


Figura 7. A y B. Shale gris plegado, con meteorización moderada. C. Shale negro. D. Intercalación de shale pardo y gris.

9.1.3. Lodolita.

En la quebrada Olivares y en dirección a la Reserva Río Blanco, se encuentran distintos afloramientos de lodolita negra, en general es masiva, se presenta estratificada en capas y láminas, las capas son de espesores

de decenas de centímetros a metros (Figura 8), es común observarla con estrías producto del deslizamiento de una capa con respecto a otra (Figura 9).

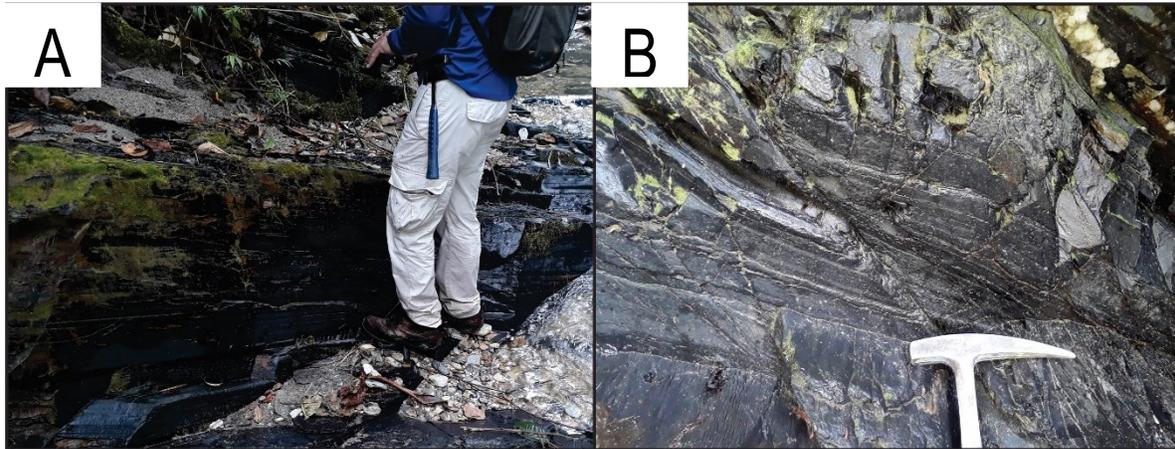


Figura 8. A y B. Capas de lodolita negra masiva, intercalada con laminaciones de lodolita.



Figura 9. Foto de planta. Capas de lodolita negra, con superficie estriada producto del deslizamiento por gravedad de una capa con respecto a otra.

9.1.4. *Lodolitas Silíceas.*

Los afloramientos de esta roca se presentan en el sector de la quebrada La Siria – Bajo Tablazo, parte alta (Figura 10. B y C) y quebrada Guacas- Alto Tablazo (Figura 10. A y D). La roca es criptocristalina de alta consistencia, de color gris y negro, producto del contenido de materia carbonosa, en ocasiones exhibe formas

ovaladas, se presenta en estratos sub verticales con espesores variables, intercalada con lodolitas carbonosas, arenitas y shale.

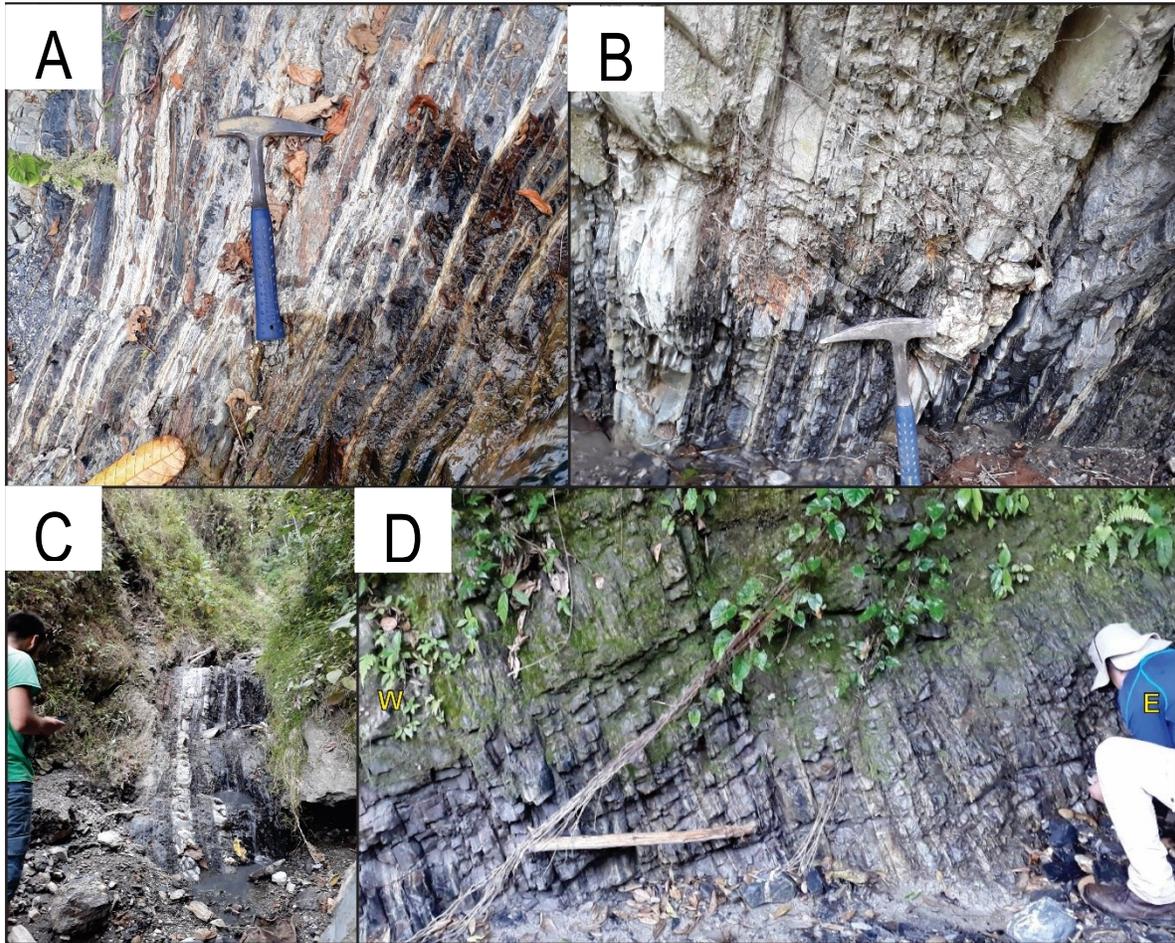


Figura 10. A. Foto de perfil. Lodolitas silíceas intercaladas con lodolitas negras y arenitas. B. Lodolitas silíceas intercaladas con lodolitas carbonosas. C. Lodolitas silíceas intercaladas con lodolitas carbonosas y arenitas. D. Intercalaciones de lodolitas silíceas, lodolitas negras y arenitas.

9.1.5. Arenitas- *Grauwacas feldespáticas pertenecientes a una sucesión Turbidítica.*

Arenitas de color gris, de grano fino a medio, composicionalmente es de plagioclasa y cuarzo, presenta gradación normal con una 40% matriz de tamaño limo y sin porosidad (Figura 11,D), se encuentra en estratos sub verticales, intercalada con lodolita carbonosa con lentes de cuarzo, espesores de centímetros a decenas de centímetros, está moderadamente fracturada (Figura 11 A, B, C). Esta roca aflora en la parte alta de la microcuenca del Alto Tablazo y en la microcuenca quebrada La Siria - Bajo Tablazo, parte alta.

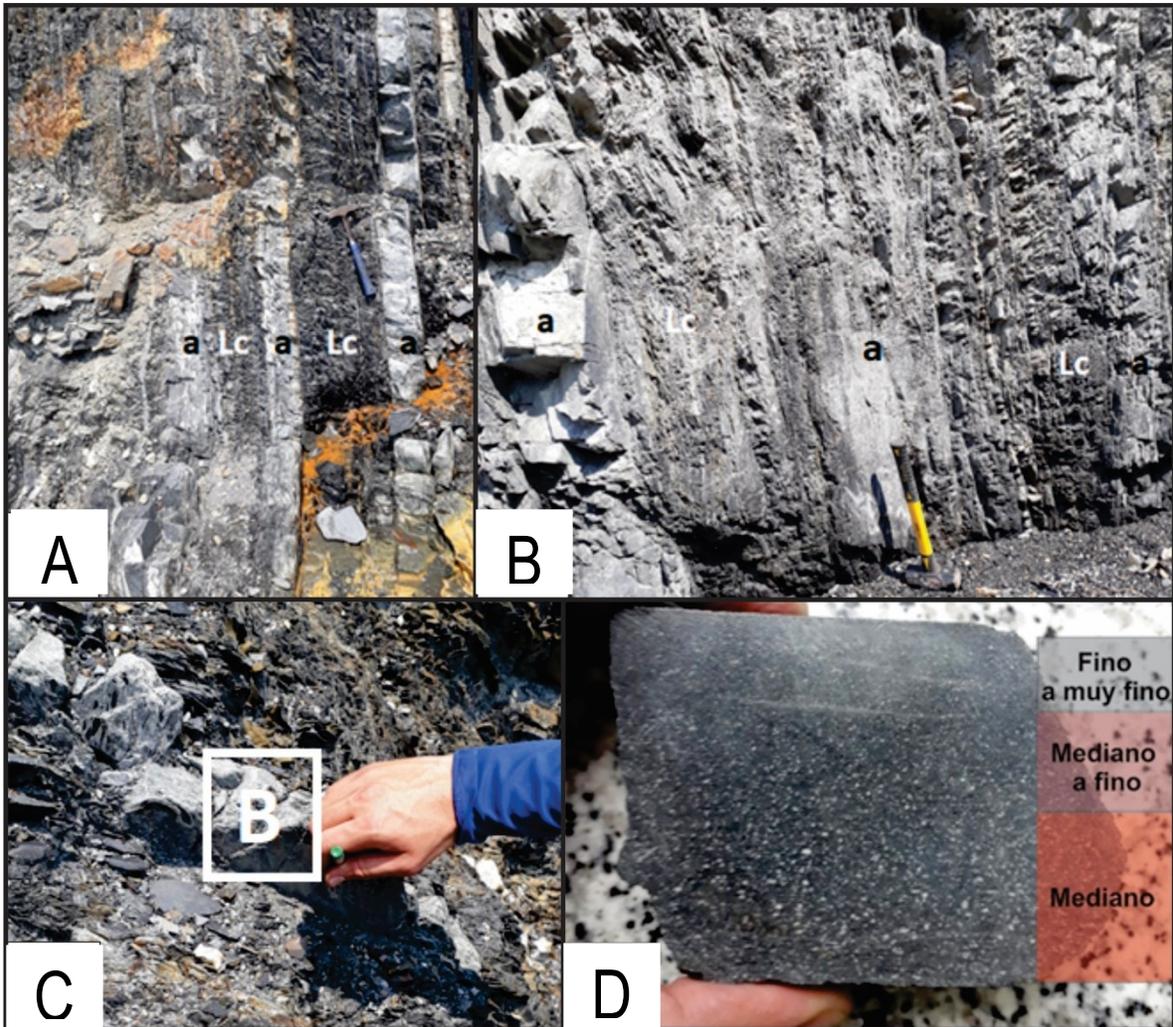


Figura 11. Nótese que tanto en A y B se presentan intercalaciones de lodolita carbonosa (Lc) y turbiditas (a). C. toma de muestra en una capa de sucesión turbidítica. D. corte de muestra y descripción de la estratificación, gradación normal.

9.1.5.1. Petrografía JD-122

Reconocimiento de la composición mineral a nivel microscópico (sección delgada) de la muestra de mano JD-122. Presenta la siguiente asociación mineral: Carbonato (Ca) 50%, cuarzo monocristalino (Qz) 15%, plagioclasa (Plg) 30%, y un 5% en otros minerales: opacos (Op), óxidos de hierro (OH), apatito (Ap) y zeolita (Ze) (Figura 12). La matriz es del 50% y está constituida por carbonatos, la clasificación según Folk (1974) es una Grauwaca feldespática.

Nombre De Roca: El material limo de la descripción de la roca a nivel mesoscópico, se indica como material cementante y por descripción microscópica se sabe que está constituido por carbonatos, el nombre de la roca es Grauwaca feldespática perteneciente a una sucesión turbidítica.

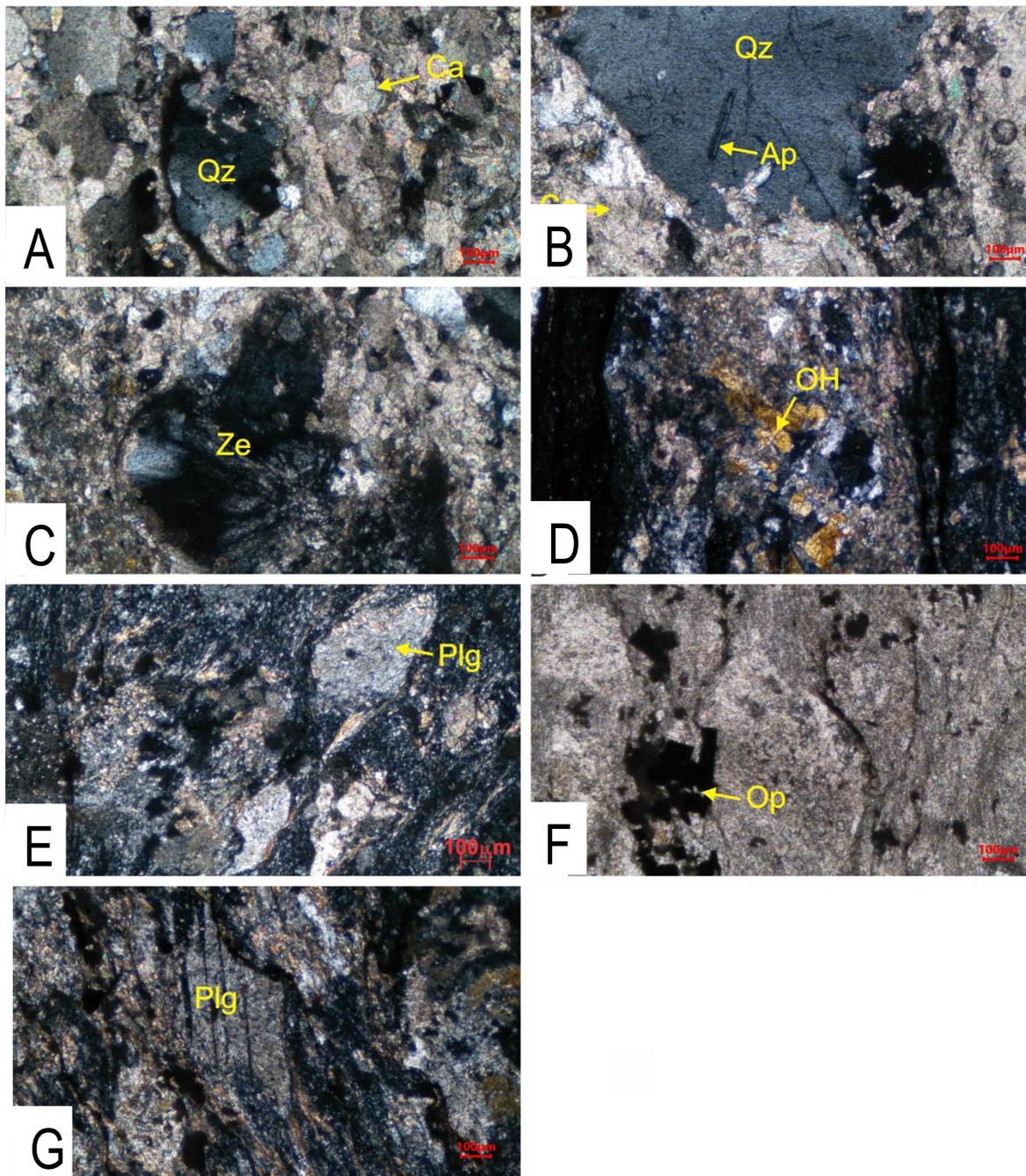


Figura 12. Sección JD-122. Identificación mineral a nivel microscópico. A, cuarzo (Qz) y calcita (Ca). B, cuarzo (Qz), calcita (Ca) y apatito (Ap). C, zeolita (Ze). F, opacos (Op). G, plagioclasa (Plg)

9.1.6. Conglomerados.

Se encuentra en la zona de la Sultana- Reserva Río Blanco, parte alta, la descripción a escala de afloramiento es de conglomerados de alta consistencia, los clastos son de cuarzo con tamaño canto, subangulares a subredondeados y redondeados, de media a alta esfericidad, la matriz está constituida de cuarzo tamaño arena, moscovita y material microcristalino, sin porosidad, el cemento es de composición silíceo. (Figura 13). La roca se presenta segmentada por un conjunto de fajas de espesor variable y con porcentajes muy variados entre matriz y clastos, en un mismo afloramiento se puede presentar la roca con un contenido de clastos del 80% y variar hasta un 10%. También, por parte del estudio a escala microscópica se observa el cuarzo tanto de manera policristalina y monocristalina, la matriz descrita a escala mesoscópica es cuarzosa con moscovita y prehnita, sin embargo, presenta un contenido mínimo de otros minerales como epidota, óxidos de hierro, grafito, turmalina y carbonatos. Concluyendo que la fuente de los minerales que constituyen el conglomerado es de procedencia de rocas ígneas y sedimentarias.



Figura 13. Foto a nivel de perfil. Afloramiento en la quebrada Olivares-Río Blanco, parte alta, porcentaje de matriz 65% y agregados de cuarzo 35%.

9.1.6.1. Petrografía JD 159 – JD 153

Se realiza el reconocimiento de la composición mineral a nivel microscópico (sección delgada) de la muestra de mano JD-159 y JD-153, representativa de afloramiento ubicado en la parte nororiental de la zona de estudio Reserva Río Blanco.

Sección delgada JD-159

Presenta la siguiente paragénesis: Cuarzo (Qz)50%, moscovita (Ms)30%, prehnita (Pr)10% variedad corbatín, epidota (Ept)02%, óxidos de hierro (OH)02%, grafito (Gf) 02%, olivino (Ol) 02% y apatito (Apt) 02% (Figura 14, Figura 15 y Figura 16).

Orientación de minerales definida por moscovita, porfiroclastos de cuarzo(monocristalino), minerales de alteración como epidota y metamórficos como prehnita variedad corbatín; la matriz está constituida en general por cuarzo monocristalino y policristalino con moscovita, la sección presenta dos texturas notorias, la primera está conformada por una relación de porfiroclastos y matriz(clasto soportada), los porfiroclastos son en general de cuarzo (monocristalino) y moscovita, 15% matriz y 85% porfiroclastos; la segunda presentación está conformada por la asociación de cuarzo (poli y mono) de tamaños alrededor de (50-100) μm con prehnita variedad corbatín y franjas de moscovita orientada.

Nombre De Roca Según Sección Delgada: Conglomerado oligomítico clastosoportado constituido por clastos de cuarzo y moscovita, matriz de cuarzo, moscovita y prehnita, cemento silíceo sin porosidad y presencia de metamorfismo dinámico, otros minerales: óxidos de hierro producto de biotita, apatito, grafito y epidota.

Nombre De Roca Según Muestra De Mano: Conglomerado monomítico deformado matriz soportado con clastos de cuarzo subredondeados, tamaño canto y mal seleccionado. matriz compuesta por moscovita, cuarzo de tamaño arena y material microcristalino, cemento silíceo y sin porosidad, relación matriz 30% y clastos 70%.

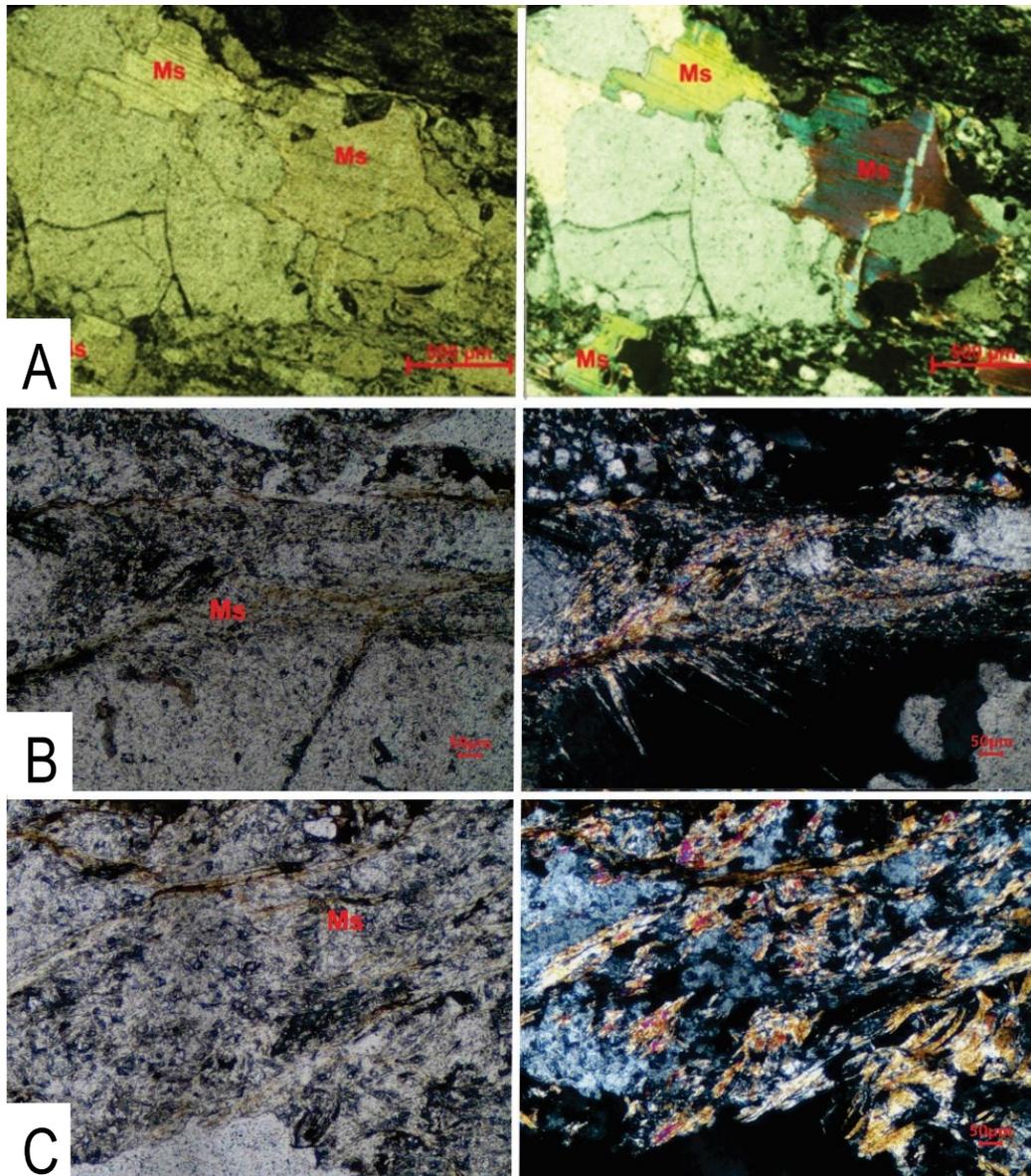


Figura 14. Sección JD-159. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). Moscovita (Ms) en diferentes presentaciones. A, moscovita corte longitudinal y no presenta alargamiento. B, moscovita alargada y en sus laterales tiene un hábito acicular dentro de cuarzo. C, moscovita alargada.

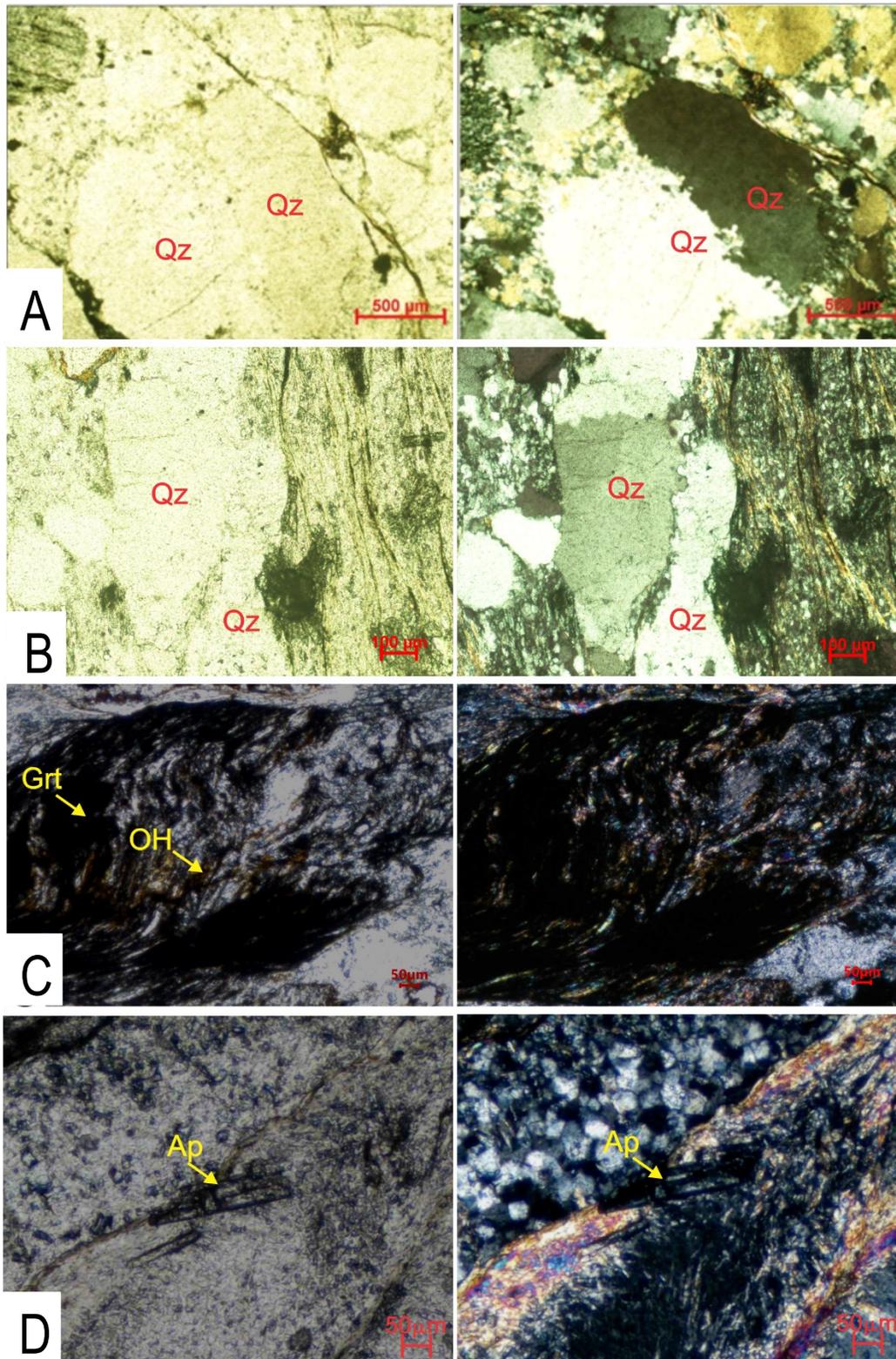


Figura 15. Sección JD-159. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A y B cuarzo en diferentes presentaciones. A, cuarzo (Qz) con forma anhedral. B, cuarzo con forma anhedral alargado. C, óxidos de hierro con grafito (OH y Grt). D, apatito (Ap).

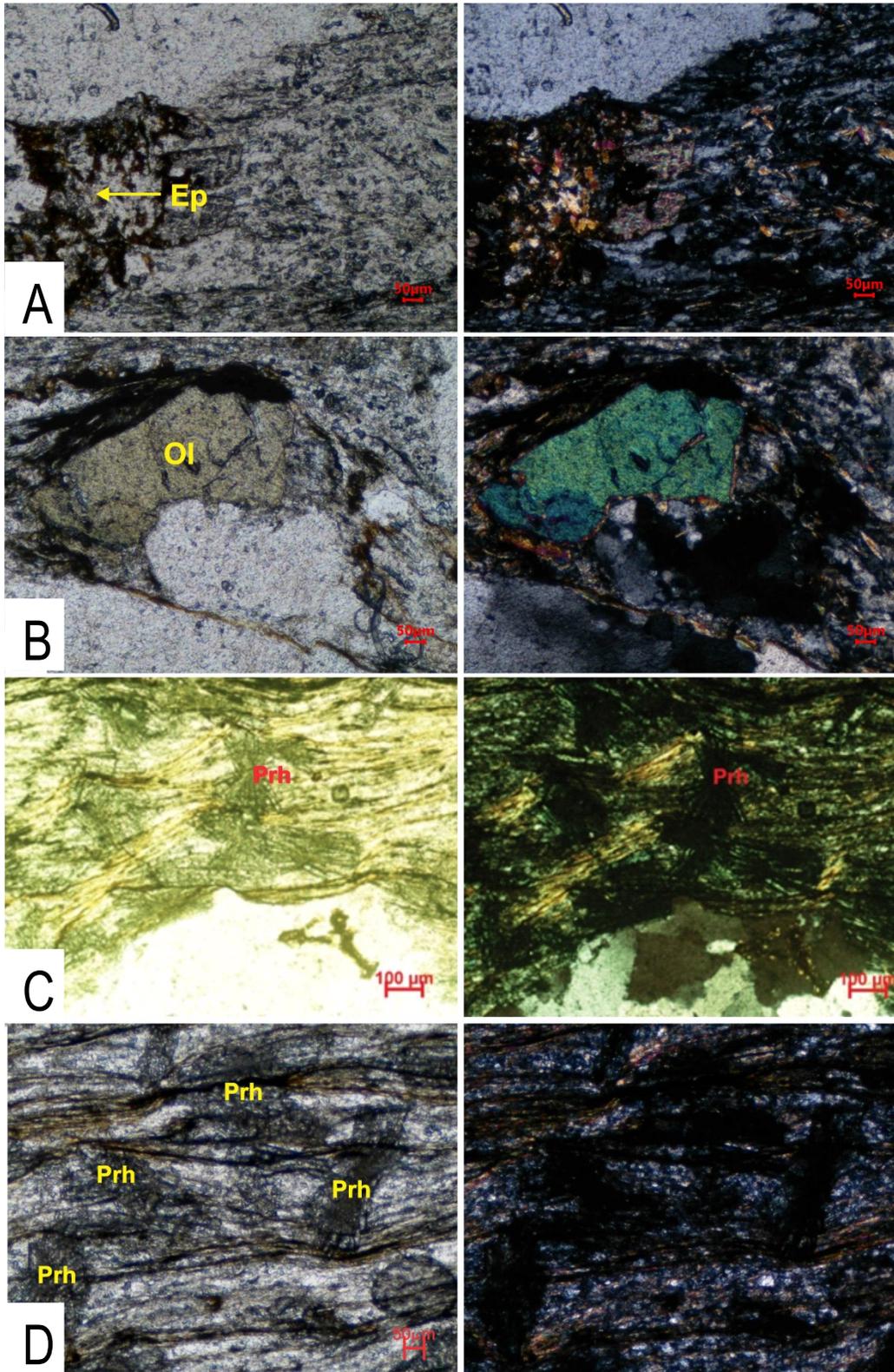


Figura 16. Sección JD-159. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, epidota (Ep). B, olivino (Ol). C y D prhenita variedad corbatín (Prh).

8.1.6.1.2. Sección delgada JD-153

Presenta la siguiente paragénesis: Cuarzo (Qz)50%, moscovita (Ms)20%, carbonatos (Ca)15%, prehnita variedad corbatín (Prh) 10% y otros minerales como turmalina (Tr), grafito (Gf), óxidos de hierro (OH) y material titanífero (Tf).

Orientación de minerales definida por moscovita, porfiroclastos de cuarzo (monocristalino), turmalina y carbonatos, minerales de alteración como epidota y metamórficos como prehnita variedad corbatín; la matriz está constituida en general por cuarzo monocristalino y policristalino con moscovita, la sección se presenta clasto soportada con 70% porfiroclastos y 30% matriz (Figura 17, Figura 18 y Figura 19).

Nombre De Roca Según Sección Delgada: Conglomerado oligomítico clastosoportado constituido por clastos de cuarzo y moscovita con matriz de cuarzo, moscovita, carbonatos y prehnita, cemento silíceo sin porosidad y presencia de metamorfismo dinámico, otros minerales: óxidos de hierro producto de biotita, grafito y turmalina.

Nombre De Roca Según Muestra De Mano: Conglomerado monomítico clasto soportado y matriz soportado deformado con clastos de cuarzo subredondeados, tamaño canto y mal seleccionado. Matriz compuesta por moscovita, cuarzo de tamaño arena y material microcristalino, cemento silíceo y sin porosidad, relación matriz 30% y clastos 70%.

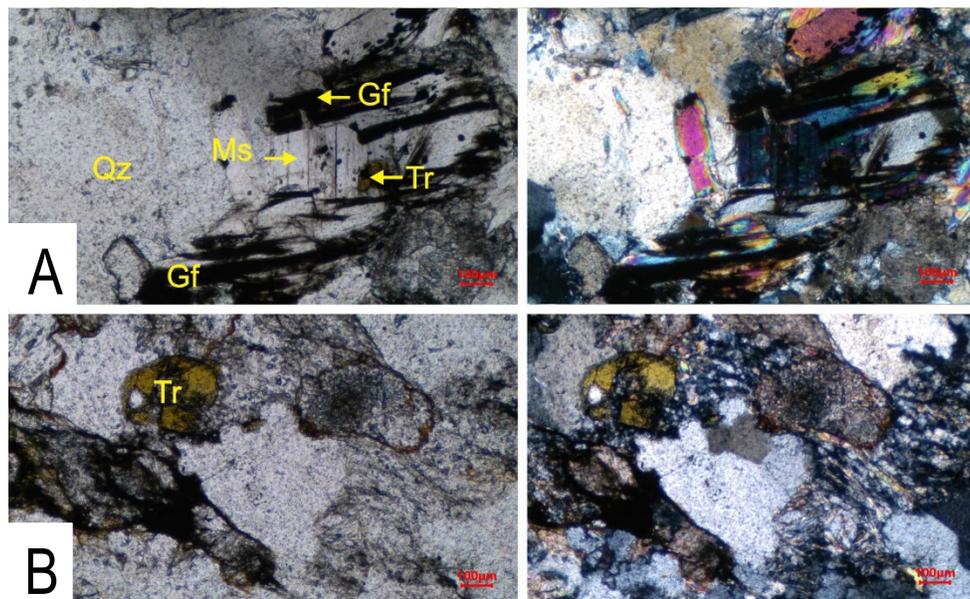


Figura 17. Sección JD-153. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, cuarzo (Qz), grafito (Gf), moscovita (Ms) y turmalina (Tr). B, turmalina (Tr).

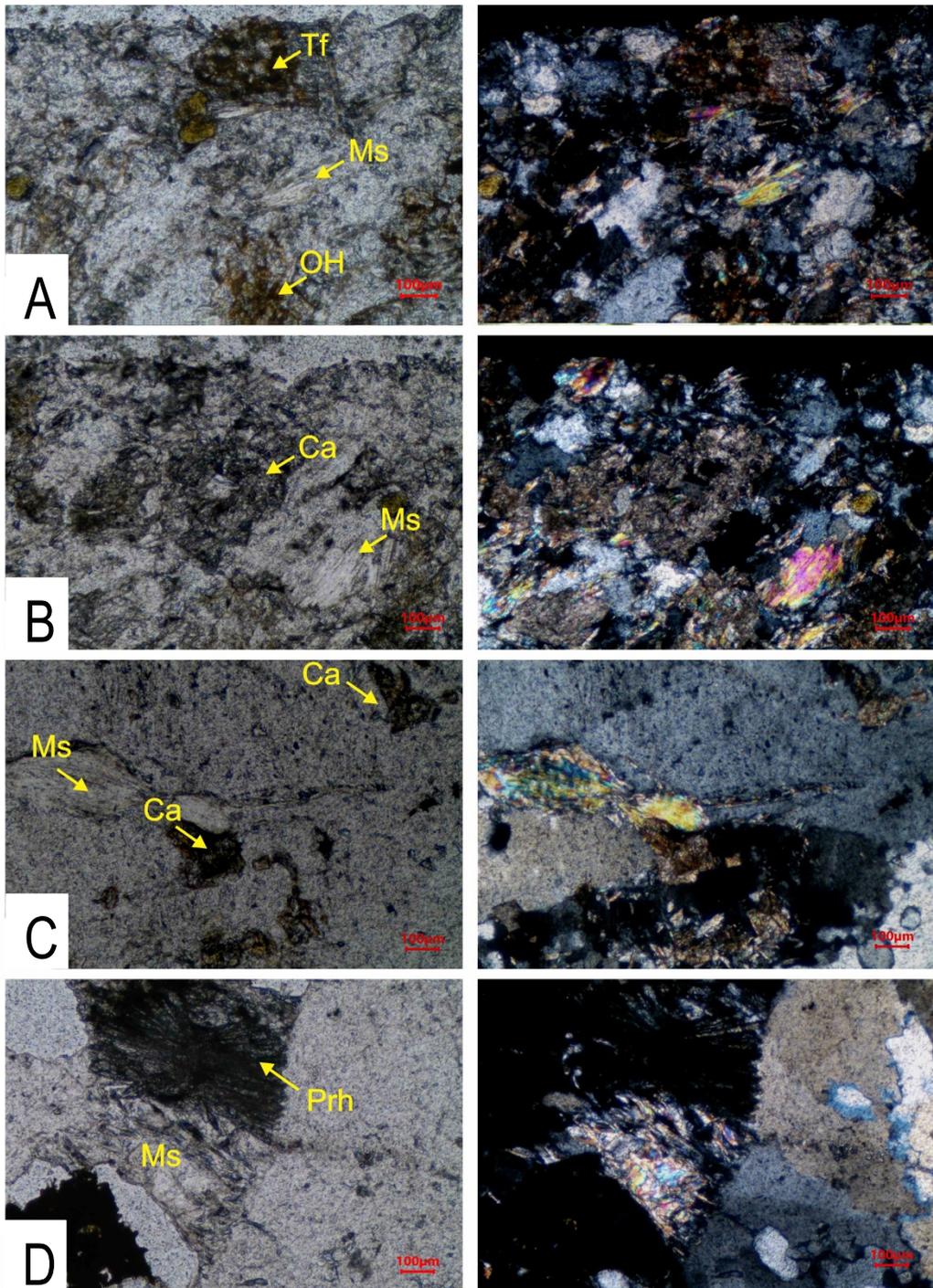


Figura 18. Sección JD-153. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, material titanífero (Tf), óxidos de hierro (OH) con moscovita (Ms). B, carbonatos (Ca) y moscovita (Ms). C, carbonatos (Ca) con moscovita alterada (Ms). D, es prehnita (Prh) y moscovita (Ms).

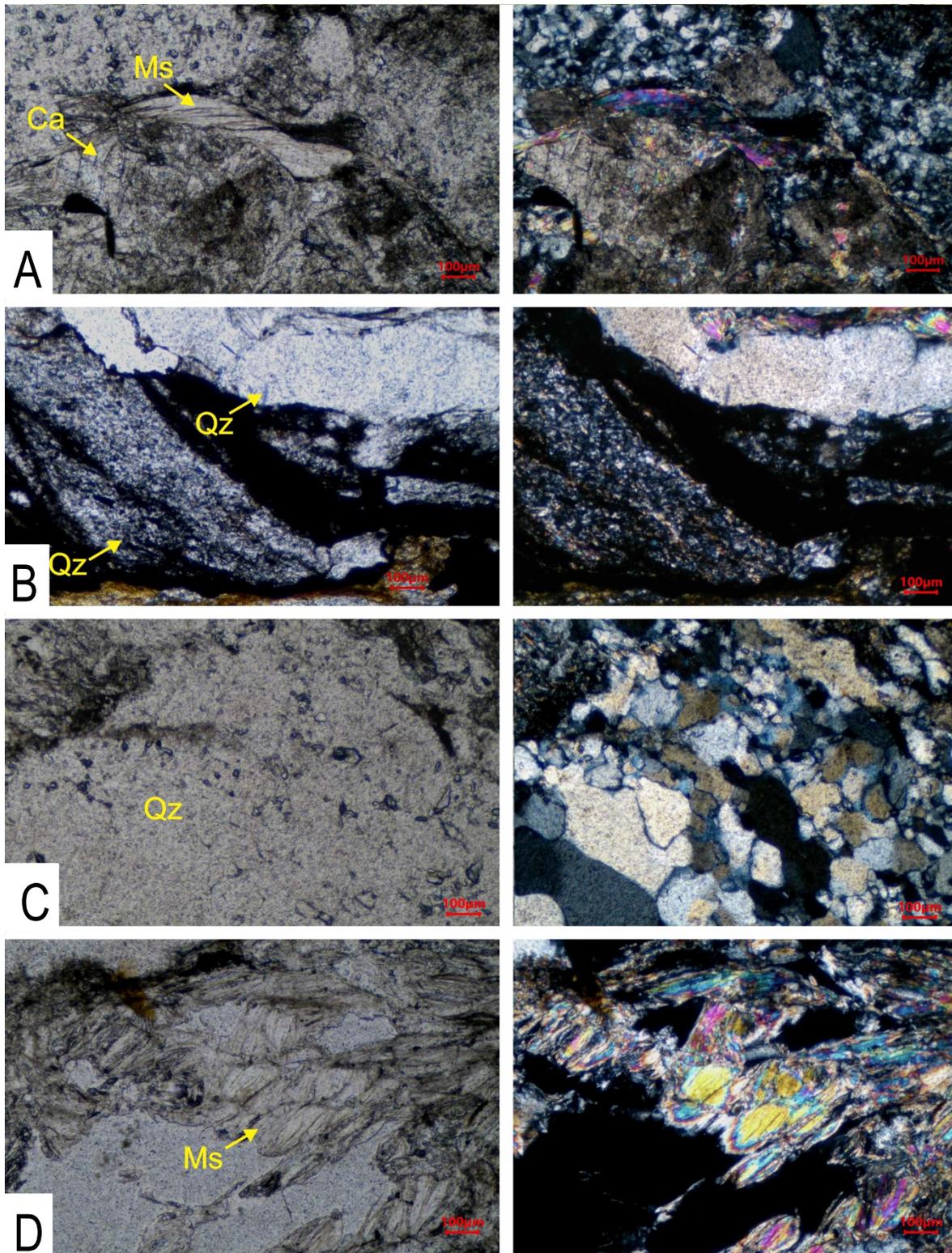


Figura 19. Sección JD-153. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de luz (PPL) y Der (XPL). A, moscovita (Ms) y carbonatos (Ca) B, cuarzo (Qz) monocristalino alargado y policristalino deformado. C, cuarzo (Qz) monocristalino en mosaico. D, moscovita orientada (Ms).

La asociación mineral presentada en las secciones delgadas JD-159 y JD-153 indican una fuente volcanosedimentaria, por minerales asociados a rocas ígneas como prehnita, olivino y apatito; también, se presenta fuente pelítica indicada por moscovita, grafito, cuarzo y turmalina.

La roca presenta polimetamorfismo, metamorfismo regional facies de bajo grado definida por prhenita-epidota, y metamorfismo dinámico definido por microestructuras de deformación.

Metamorfismo de bajo grado, se relaciona con un ambiente tectónico de enterramiento, y el metamorfismo dinámico es causado por actividad de la falla Río Blanco.

9.2. Complejo Quebradagrande – Miembro Volcánico

9.2.1. Rocas Volcanosedimentarias.

En el sector de La Sultana en la quebrada Olivares y en dirección a la Reserva Ecológica Río Blanco, a nivel de piso y sobre el cauce de uno de los afluentes de la quebrada, afloran franjas de tobas, los agregados son de material volcánico de tamaño gránulos a guijos, se presenta alargados y de color amarillo producto de la avanzada meteorización, también se encuentra material sedimentario indicado por pequeños fragmentos de cuarzo con forma redondeada a subredondeada, la matriz es de color amarillo y bastante meteorizada, En general los clastos se encuentran fracturados y una relación del 70% frente a un 30% de la matriz(Figura 20).



Figura 20. Toba con deformación frágil, presenta una matriz triturada con remanentes de Líticos Volcánicos fracturados, expresando formas angulares. Sector de la Sultana-Río Olivares, cerca de la reserva Río Blanco.

En el sector de San peregrino y próximo a la quebrada Norte ubicada en dirección al Arenillo, se identifican rocas volcanosedimentarias. El material de origen volcánico se presenta con textura de flujo y es material vítreo de color gris y verde oscuro, embebiendo material sedimentario indicado por intraclastos de lodolita, el cual se describe con formas elongadas o pequeñas fajas discontinuas con espesor de mm a cm y de color negro, la roca en general se presenta con bastante consistencia (Figura 21).



Figura 21. Roca Volcanosedimentaria, intraclastos de lodolita con forma elongada y discontinua, quebrada Norte dirección al Arenillo

Entre el sector de Villamaría y Manizales, cerca del río Chinchina y por la vía de la antigua carrilera, se encuentran afloramientos de rocas volcanosedimentarias deformadas, clasificadas como Ignimbritas, de textura piroclástica, grado de selección pobre, conformada por fragmentos de cristales de cuarzo de tamaño de grano de ceniza de grano grueso a lapilli, se presentan fiamas, matriz tobácea de color gris, sin porosidad, relación de 50% fragmentos de cristales, 10% fiamas y 40% matriz tobácea (Figura 22).

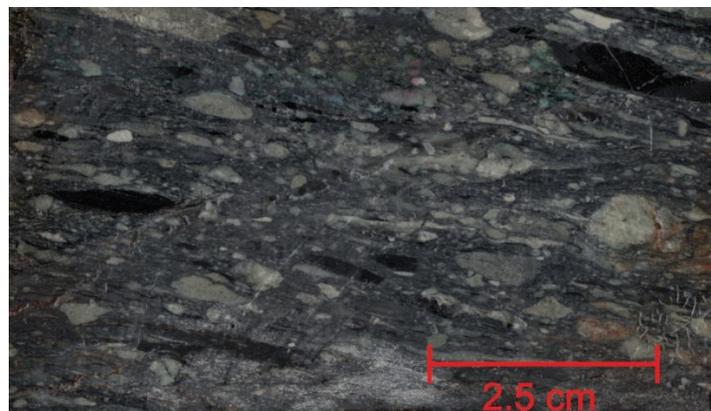


Figura 22. Ignimbrita, parte central de la zona de estudio en dirección a la vía de la antigua carrilera, Villamaría

9.2.1.1. Petrografía- Sección delgada JD-01

Se realiza el reconocimiento de la composición mineral a nivel microscópico (sección delgada) de la muestra de mano JD-01, representativa de afloramiento ubicado en la parte central de la zona de estudio, río Chinchiná entre los límites de los municipios de Villamaría y Manizales.

Material volcanoclástico: Cuarzo (Qz) 40%, sericita (Se) 40%, clorita 10 (Cl)% y 10 % en otros: hornblenda (Hb), epidota (Ep), opacos (Op), óxidos de hierro (OH), zoicita-clinozoisita (ZC), y líticos volcánicos (LV) (Figura 23 y Figura 24).

Se presenta textura piroclástica definida por cuarzo (Qz), líticos volcánicos (LV), clorita (Cl), hornblenda (Hb), zoicita-clinozoisita (ZC) y matriz arcillosa definida por sericita (Se).

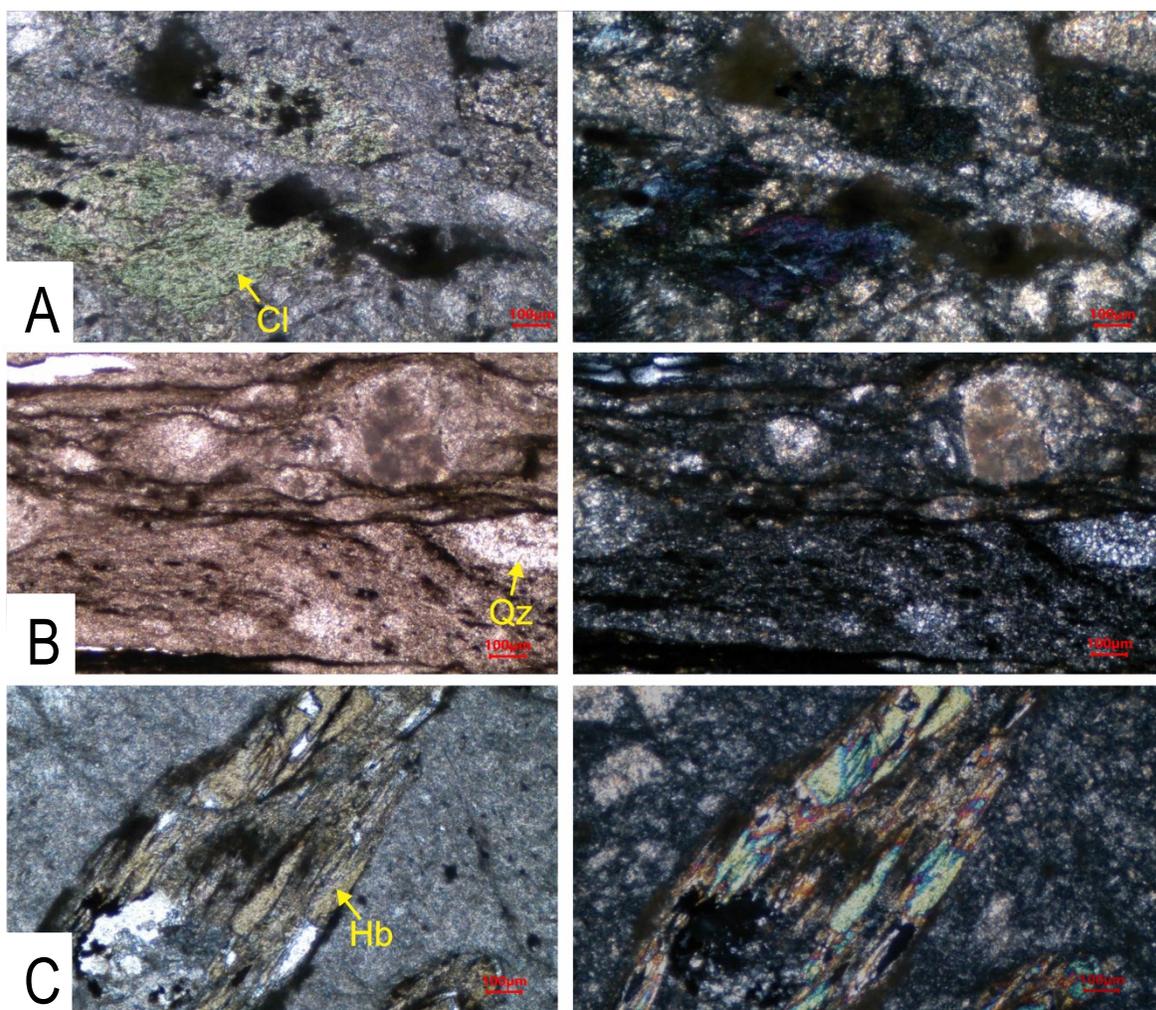


Figura 23. Sección JD-01. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, clorita (Cl). B, cuarzo (Qz) policristalino. C, hornblenda alterada (Hb).

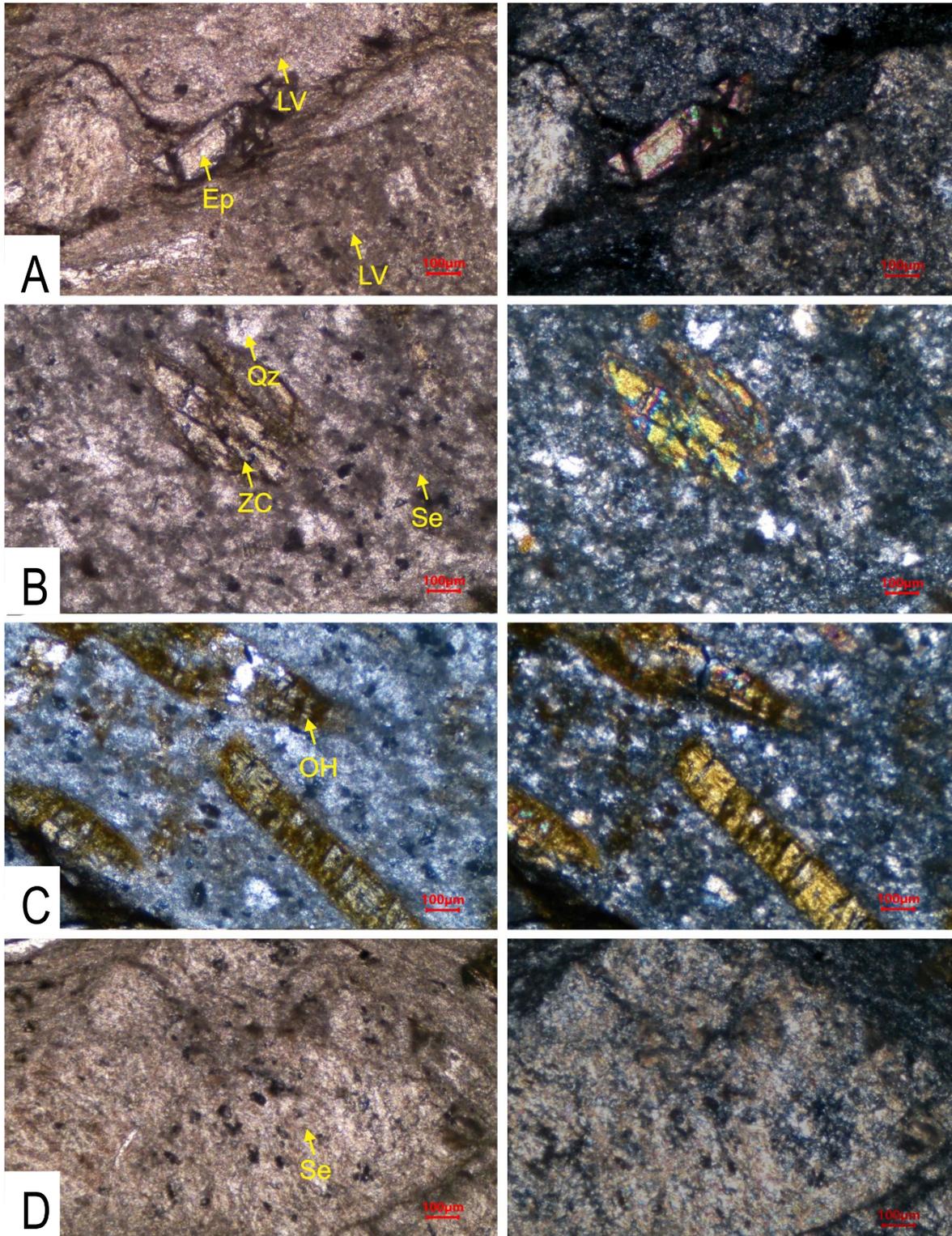


Figura 24. Sección JD-01. Identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, epidota (Ep) y líticos volcánicos alterados (LV). B, zoicita-clinozoisita (ZC) y sericita (Se). C, óxidos de hierro (OH) no se puede identificar el mineral. D, sericita (Se).

Nombre De Roca Según Sección Delgada: Toba andesítica, clastos definidos por cuarzo, clorita y líticos volcánicos, matriz definida por sericita, relación 60% clastos y 40% matriz.

9.2.2. *Basaltos.*

En la quebrada Rosario, en ruta a la microcuenca que se comunica con el Arenillo (Figura 25,A) y en la quebrada Guacas - Alto Tablazo (Figura 25,B) se presentan basaltos moderadamente fracturados, producto de familias de diaclasas y fallas locales, en ocasiones hay presencia de venas de cuarzo. Los basaltos son afaníticos, color verde oliva y de consistencia alta.

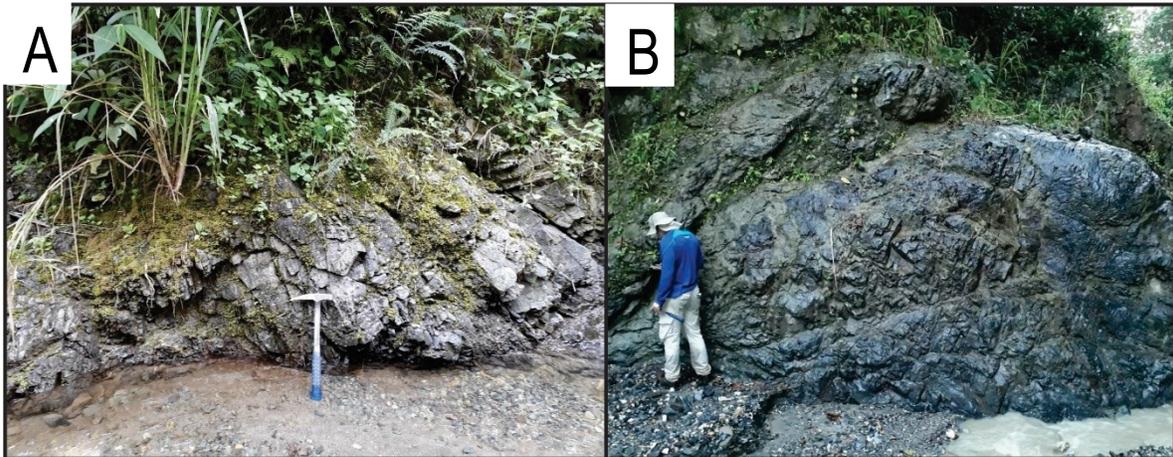


Figura 25. Basaltos, altamente diaclasados. Sector próximo a la quebrada el Rosario en A es cerca al Arenillo y en B sector quebrada Guacas-Alto Tablazo.

9.2.3. *Andesita porfirítica*

Presenta la siguiente asociación mineral: Plagioclasa (Plg) 40%, cuarzo (Qz)10%, piroxeno (Px)25%, clorita (Cl)5%, sericita (Se) 10% y otros minerales como hornblenda (Hb) 10%.

Textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y piroxeno con alteración a hornblendas; matriz afanítica conformada por vidrio y sericita (Figura 26 y Figura 27).

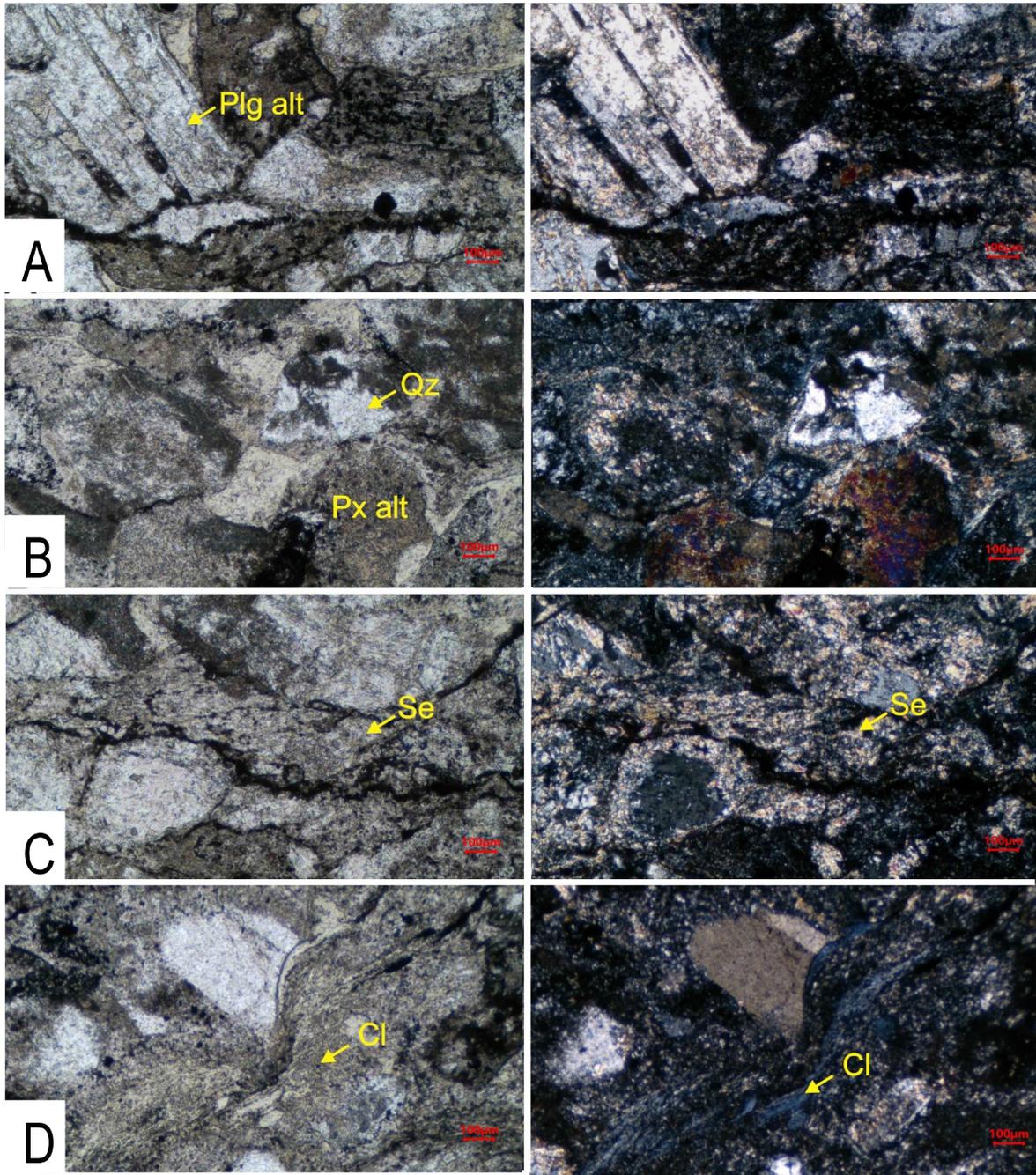


Figura 26. Andesita porfírica, identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, Plagioclasa alterada (Plg alt). B, cuarzo (Qz) monocristalino y plagioclasa alterada (Plg alt). C, sericita (Se). D, clorita (Cl).

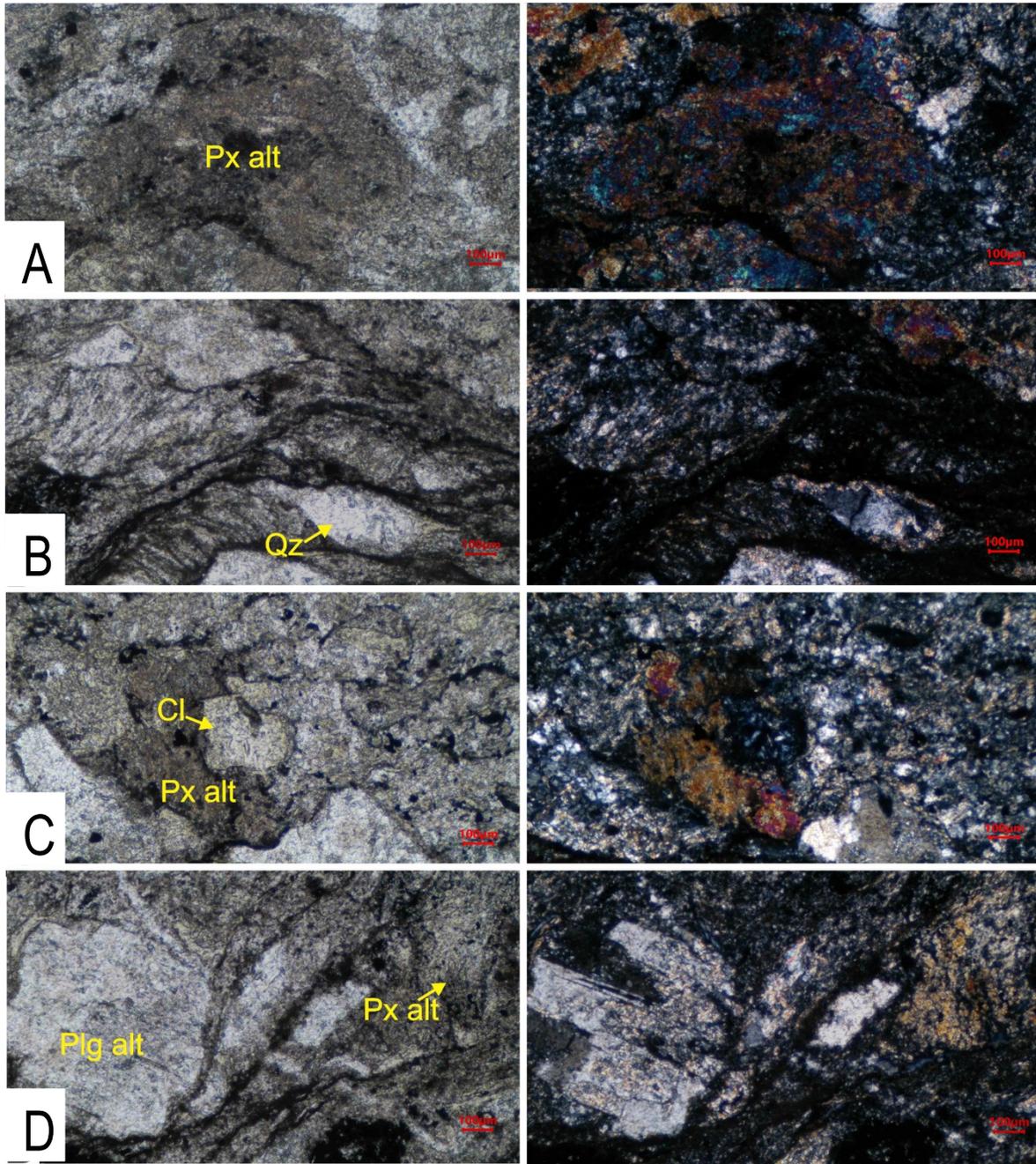


Figura 27. Andesita porfírica, identificación mineral a nivel microscópico, imagen de Izq (PPL) y Der (XPL). A, piroxenos alterados (Px alt). B, cuarzo (Qz) monocristalino. C, piroxenos alterados (Px alt) y clorita (Cl). D, plagioclasa alterada (Plg alt) y piroxenos alterados (Px).

9.3. Complejo Quebradagrande – Intrusivos Básicos

9.3.1. *Microgabros.*

Entre San Peregrino y la quebrada Rosales, se encuentran cuerpos de microgabro que está en contacto fallado con las migmatitas de Manizales. También, y en dirección al Arenillo se encuentra microgabro en contacto fallado con rocas volcanosedimentarias (Figura 28 A). El microgabro en este sector se reconoce por minerales máficos como hornblenda, cristales euhédricos a subhédricos de tamaño milimétrico, la matriz es afanítica y de color verde oliva, con relación de 10% minerales y 90 % matriz.

En el río olivares sector Río Blanco se encuentra un intrusivo básico con minerales de cuarzo y plagioclasa de grano grueso, la matriz es color verdoso, relación de 60% minerales félsicos y 40% matriz, en ocasiones la matriz es totalmente dominante en área y se presenta de textura afanítica y de color verde oliva, esta unidad corresponde al metagabro reportado al nororiente de Manizales (Figura 28 B).

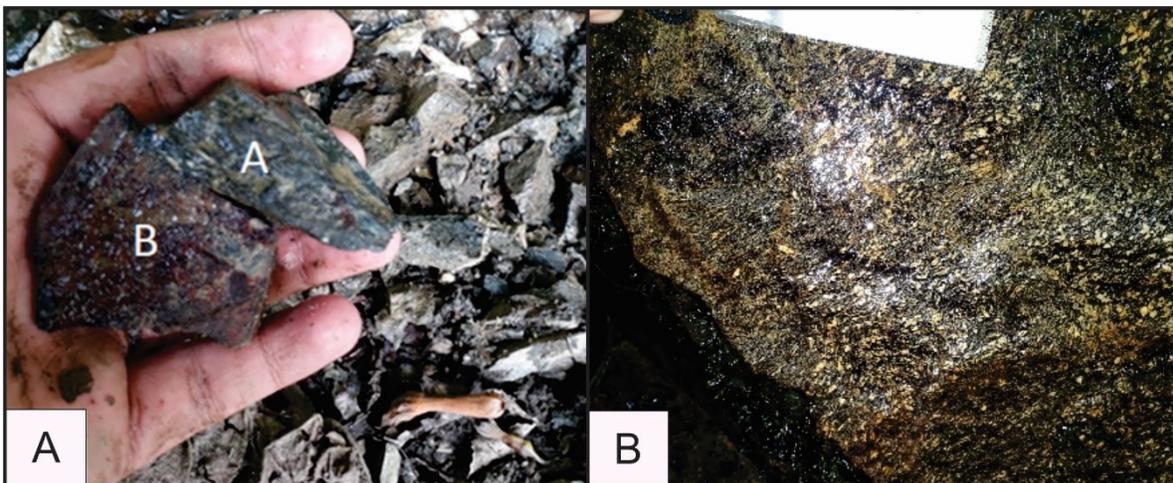


Figura 28. A. Toma de muestras de mano, microgabro (A) y volcanosedimentaria (B). B. Metagabro- Sector Río Blanco.

9.4. Migmatita De Manizales

Afloramiento a nivel de piso (Figura 29), constituida por leucosomas de cuarzo y plagioclasas, mesosoma de cuarzo-plagioclasa, biotita y moscovita, y parte melanocrática de concentraciones de minerales residuales principalmente biotita. Los minerales félsicos se presentan en mosaico, forma redondeada, la biotita y moscovita se presentan como laminas orientadas y de tamaño medio. La mineralogía en porcentajes es 80% cuarzo y plagioclasa, 20% de biotita y moscovita principalmente, acompañado de minerales oscuros moderadamente meteorizados.



Figura 29. Foto a nivel de piso, Migmatita de Manizales.

9.5. Formación Casabianca

En la parte oriental de la quebrada Olivares, en dirección a la reserva ecológica Río Blanco, aflora material conglomerático bastante deleznable, se observa proceso de meteorización moderada. Los clastos son subangulares a subredondeados de baja esfericidad, tamaño granulos a guijos, composicionalmente se indica que son líticos volcánicos, la matriz es arcillosa de color amarillo. Se indica, que es material proveniente de la Tonalita-Granodiorita de Manizales y rocas volcanosedimentarias (Figura 30).



Figura 30. Rocas procedentes de la Formación Casabianca.

En el segmento del río Chinchiná, se identifica rocas conglomeráticas con clastos de tamaño gránulos a guijo, variada composición, entre líticos volcánicos y fragmentos de cuarzo, se encuentran orientados, la roca es clasto-soportado y matriz-soportado, los clastos son subangulares, subredondeados y redondeados, de baja a media esfericidad.

9.6. Depósitos Aluviales

Desde la Universidad de Caldas y el río que cruza el barrio Fátima, las rocas que afloran son depósitos recientes conformados por conglomerados de tamaños guijo a bloque, redondeados y baja esfericidad, no cementados y poco consolidados, se asume que son depósitos aluviales recientes que se encuentran como una cubierta extensa de depósitos aluviales que suprayacen las unidades de interés.

10. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

10.1. Sistema de Fallas Romeral

El Sistema de Fallas Romeral está formado por las fallas San Jerónimo, Silvia-Pijao y Cauca Almaguer, las cuales son las fallas principales del Sistema de Fallas Romeral nombradas de E a W respectivamente.

El Sistema de Fallas Romeral en Colombia se extiende por más de 1.200 Km en dirección N-S y la deformación se manifiesta a lo largo de toda la traza del sistema; constituye una zona de debilidad reactiva en el cenozoico (Page, 1986, de Gonzáles, 2001).

10.1.1. *Falla Silvia-Pijao.*

Definida por Maya & González, 1995 pone en contacto el Complejo Quebradagrande al este, con el Complejo Arquía al oeste, específicamente con la Migmatita de Manizales propuesta por Idárraga-García & Martínez-Urbe, 2005, anteriormente descrita como Intrusivo Gnéisico de Chinchiná (Mosquera, 1978) y Granito de Chinchiná (Naranjo J. L., 2001) tomado de Idárraga-García & Martínez-Urbe, 2005. La Falla Silvia Pijao tiene rumbo NNE en la zona de estudio, su evidencia geomorfológica contempla silletas de falla y hombreras con un patrón reiterativo hacia el NNE, escarpes de falla y valles rectilíneos, su carácter cinemático fue descrito por Guzmán & Ochoa (2000), observa que al SW el Sistema de Fallas Romeral presenta componente dextral, mientras que al N de Colombia presenta carácter sinistral.

10.1.2. *Falla San Jerónimo.*

La Falla San Jerónimo definida por Grosse (1926) y luego cartografiada por Mosquera (1978), es el extremo oriental del Sistema de Fallas Romeral desplazando y levantando el basamento de la cordillera central compuesta por rocas metamórficas de edad paleozoica al este (Complejo Cajamarca), situándolo en contacto con el Complejo Quebradagrande de edad Cretácica (Maya & González, 1995). Actualmente existen dos estilos estructurales sugeridos por Cuellar, Sánchez, & Valencia (2003) a la latitud de Manizales, el primero lo describe como movimientos de rumbo, dextral y el segundo por movimientos de buzamiento inversos. Mejía-Toro (2012) describe la falla con una dirección general de rumbo NNE-SSW y de carácter sinistral inverso. Al extremo NE de la zona de estudio se evidencian rocas miloníticas pertenecientes al Complejo Cajamarca al este, en contacto con amplios estratos de lodolita pertenecientes al Complejo Quebradagrande.

10.2. Falla La Siria

La Falla Siria se localiza al SW de la zona de estudio controlando la quebrada La Siria que nace en el barrio Bajo Tablazo, definida por Naranjo & Ríos, (1989) presenta una tendencia NW contactando los miembros volcánico y sedimentario del Complejo Quebradagrande, generando deformación frágil sobre estas rocas (Tomado de Idárraga-García & Martínez-Uribe, 2005).

10.3. Falla Villamaria – Termales

Esta falla se localiza en la parte central con rumbo NWW-SEE según González & Jaramillo (2002), la dividieron en 7 partes teniendo en cuenta su manifestación geomorfológica limitadas por barreras estructurales y lineamientos en dirección N-S y NE-SW, esta falla fue descrita primeramente por Thouret (1988) con carácter sinistral normal evidenciado por depresiones lineales, escarpes de falla, trincheras, *sag-ponds*, drenajes rectilíneos, silletas y el emplazamiento de los domos Sancancio, Tesorito y Gallinazo, sin embargo Botero-Gómez et al. (2018) proponen que hay al menos 14 domos o volcanes “antiguos” de la misma afinidad geoquímica hacia el SE de la zona de estudio que se relacionan directamente con el trazo del sistema de fallas Villamaria-Termale, y volcanes “recientes” los cuales están asociados con el cruce ortogonal de fallas con tendencia NNE-SSW. Según Mejía-Toro (2012) esta falla tiene rumbo N50°-65°W con buzamiento SW, fallando rocas del Stock de Manizales y Lavas Antiguas.

10.4. Falla Manizales

Se localiza en la parte central de la zona de estudio con rumbo N15°E de tipo sinistral inverso según James (1986). En 1989 fue denominada por Naranjo y Ríos como Falla Manizales describiéndola como una falla de carácter inverso dextral de alto ángulo la cual afecta la Formación Manizales. Esta falla presenta dirección general de N8°E y una prolongación de su trazo aproximadamente de 110 Km el cual se manifiesta desde el municipio de Villamaría hasta el municipio de Aguadas, Caldas (Tomado de Parra & Quintero, 2016).

10.5. Falla Mangabonita

Se localiza en la parte centro este de la zona de estudio, generalmente con rumbo aproximado a la N-S, es de carácter inverso limitando el Complejo Cajamarca y la milonita Granítica del Guacaica, se evidencian rasgos geomorfológicos de su trazo tales como hombreras, silletas de falla y fracturación / cizallamiento sobrepuesto en algunos sectores afectando los esquistos del Complejo Cajamarca (Aguirre & López, 2003 en Parra & Quintero, 2016)

10.6. Falla el Perro

Se localiza en la parte centro oriente de la zona de estudio, paralela a la Falla Mangabonita presentando una dirección de rumbo N-S contralando de forma rectilínea una sección de la Quebrada El Perro, expresando así, geomorfológicamente silletas de falla y facetas triangulares alineadas (Naranjo y Ríos, 1989). Al NE del barrio La Sultana Guzmán G. J., (1991) describe niveles de ceniza y depósitos de flujo piroclástico afectadas por esta falla con desplazamientos menores a 5 cm, reportando así actividad neotectónica. Montaña y Morales (2000) proponen que no existe tal actividad neotectónica argumentando que no hay evidencia de ello y, al no observar el trazo de la falla proponen que la Falla El Perro es un sistema discontinuo de fallas y lineamientos.

10.7. Falla Chipre

Se localiza en la parte centro occidente de la zona de estudio, Naranjo y Ríos (1989) describen el trazo de esta falla con tendencia N-S generando un escarpe de falla de varias decenas de metros en el sector del barrio Chipre y La Francia con dirección de pendiente hacia el oeste, formando un escalonamiento topográfico, siendo la parte más baja en el barrio La Francia.

11. ANÁLISIS ESTRUCTURAL A NIVEL MACROSCÓPICO Y MESOSCÓPICO

En esta sección se agruparán y analizarán todos los datos obtenidos en campo, tanto datos estructurales como datos descriptivos de indicadores cinemáticos obtenidos en afloramientos de roca.

Como se ha escrito en capítulos anteriores, las rocas se caracterizan por estar fracturadas y con foliación, producto de la deformación frágil y dúctil a la cual se ha sometido la roca, siendo su orientación y lineaciones, representativas de controles estructurales de fallas, como la propuesta en este trabajo y otras indicadas en el marco regional.

11.1. Análisis Estereográfico

Los datos estructurales recolectados en campo fueron separados por datos de falla, foliación y diaclasas convertidos al sistema *Dip Direction / Dire* para luego procesarlos en el *software Openstereo 0.1.2* configurado para mostrar diagramas equiareales de los arcos meridionales y polos en la falsilla de *Wulff*.

La zona de estudio se divide en 5 zonas de análisis, la primera es la zona entre el barrio La Sultana y la Reserva Río Blanco en el extremo NE de la falla Río Blanco (SRRB), la segunda es la zona de la antigua carrilera ubicada en la zona central de la zona de estudio (AC), zona de difícil muestreo debido al casco urbano que impide ubicar afloramientos de roca para la toma de datos; la zona tres sobre la quebrada al norte del Alto Tablazo (QN), zona cuatro sobre la quebrada Guacas - Alto Tablazo (QAT) y zona cinco sobre la quebrada La Siria (QS) ubicadas en el extremo SW de la zona de estudio, entre el corregimiento San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná, en este tramo se realiza la agrupación de datos por cada una de las quebradas recorrida.

Para la descripción y análisis estereográfico se realizan diferentes mapas, situando los arcos meridionales en caso de haber pocos datos o polos en caso de tener gran volumen de datos, con información de diaclasas (Figura 33), foliación (Figura 32) y fallas (Figura 31), los cuales se pueden visualizar de manera local. También se realiza una previa descripción global de cada zona.

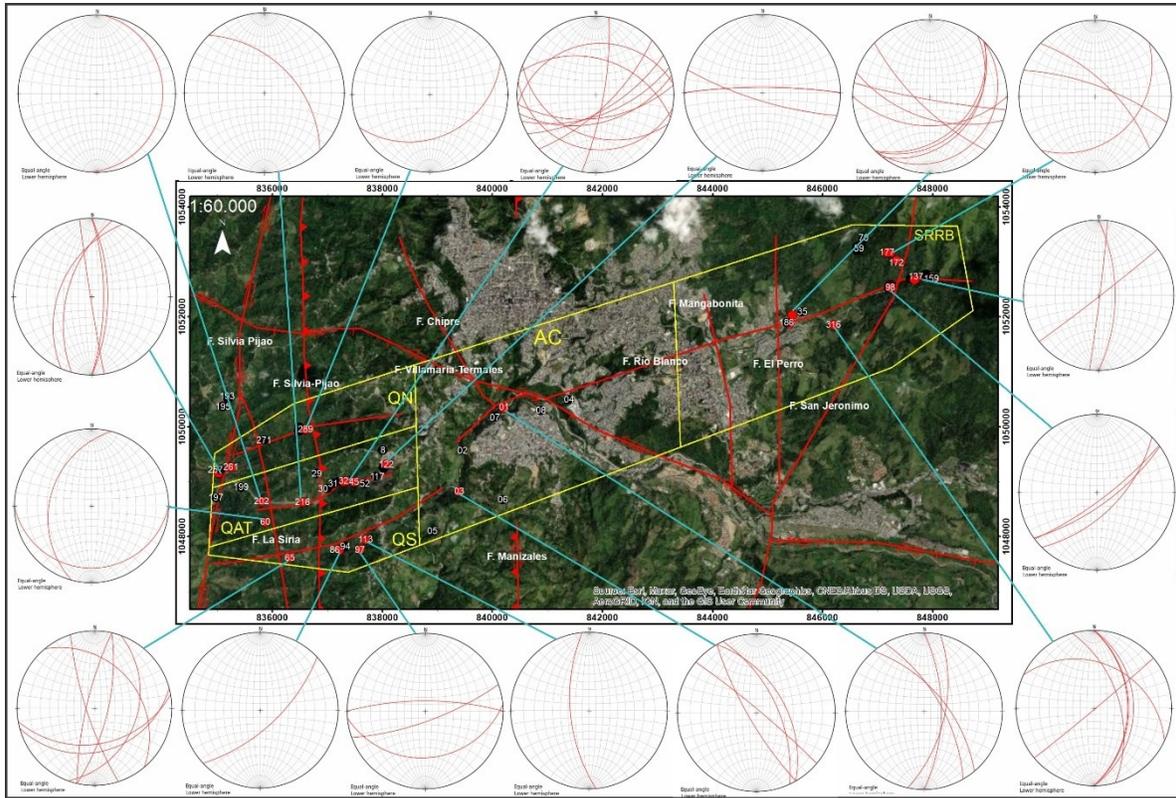


Figura 31. Mapa con los arcos meridionales correspondientes a las fallas localizadas por las diferentes zonas.

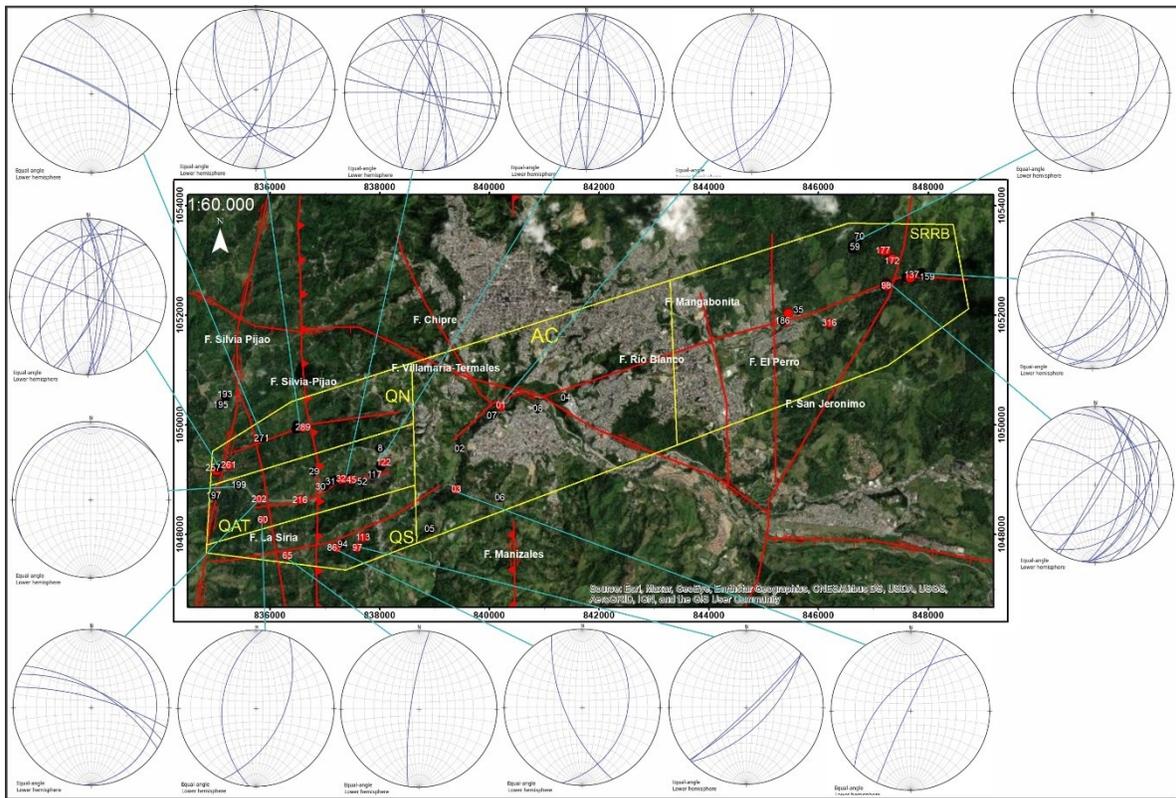


Figura 32. Mapa con los arcos meridionales correspondientes a la foliación, localizadas en las diferentes zonas.

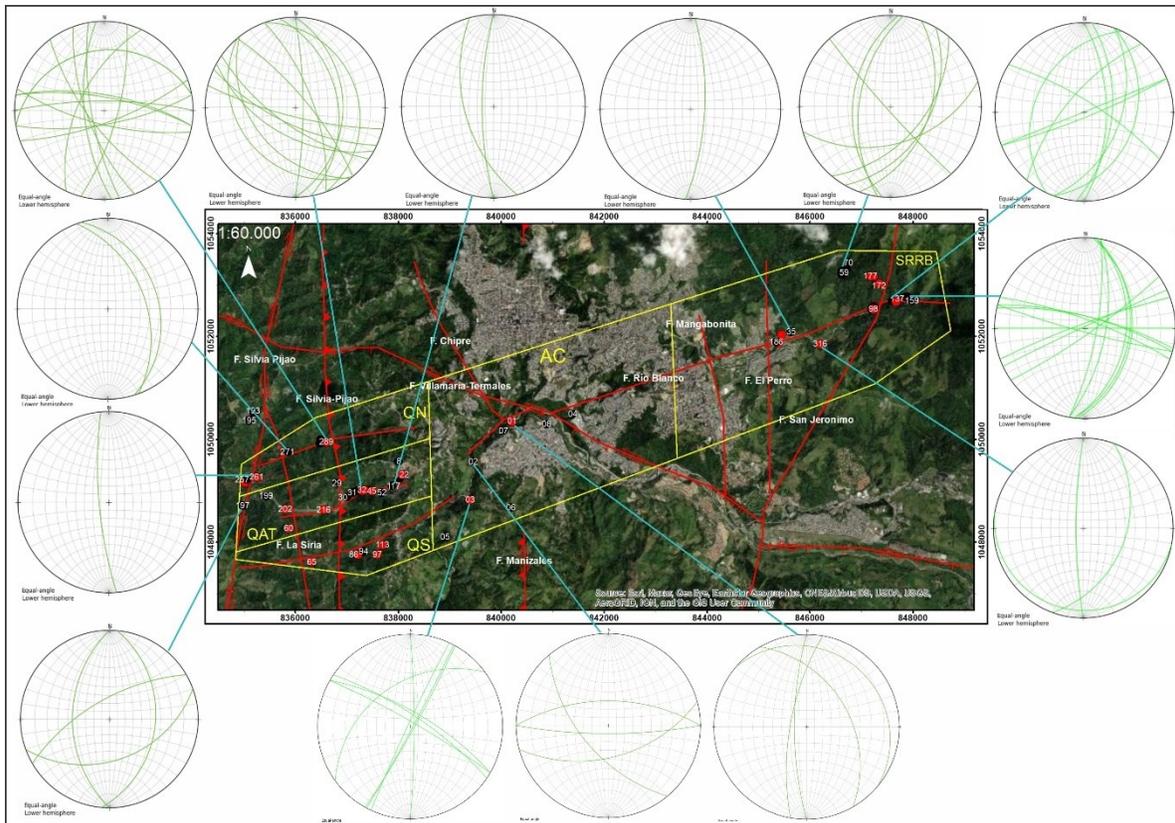


Figura 33. Mapa con los arcos meridianales correspondientes a diaclasas, localizadas en las diferentes zonas.

11.1.1. Zona entre La Sultana y Reserva Río Blanco (SRRB).

En esta zona los datos fueron recolectados en la vía hacia la Reserva Río Blanco, la quebrada Olivares y algunos de sus afluentes más cercanos a la reserva. Los 23 datos de cizalla procesados en la falsilla de *Wulff* (Figura 34) permiten observar tres grupos principales diferentes de datos, el primer grupo con planos de rumbo NS con alto ángulo de buzamiento hacia el Este, evidenciando las estructuras formadas por los esfuerzos principales localizados a nivel regional hacia el Este, que generaron la falla Silvia Pijao y la falla San Jerónimo (Sistema de Fallas Romeral), los otros dos grupos de datos se encuentran en el cuadrante NW evidenciando planos de falla con rumbo N40-60E buzando hacia el SE, un grupo con alto ángulo de buzamiento ($65^\circ - 88^\circ$) y otro con bajo ángulo indicando fallas de cabalgamiento ($5^\circ - 30^\circ$).

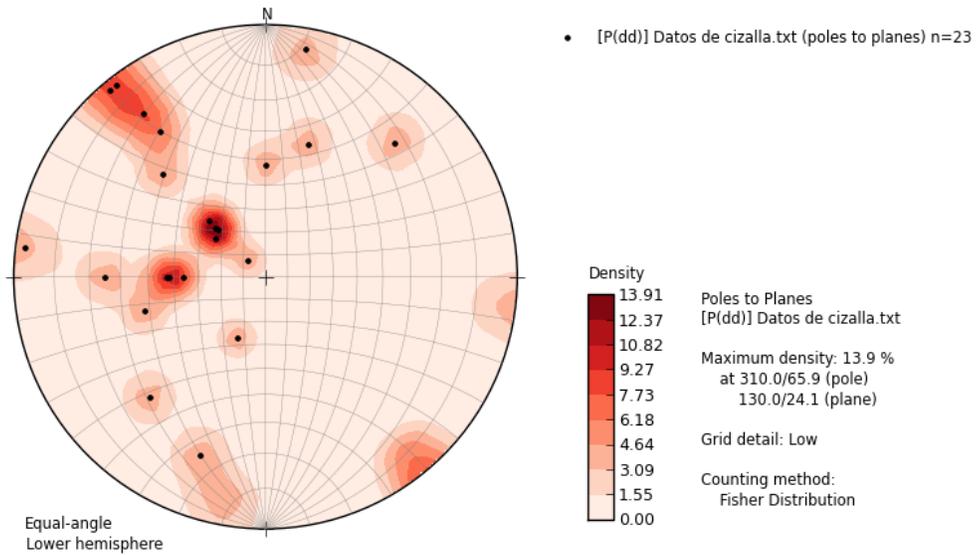


Figura 34. Polos de los planos de fallas localizados en la zona SRRB

Los datos de foliación expuestos en la Figura 35 permiten observar que hay un gran grupo de datos con rumbo NS y N10E, generalmente con bajo ángulo de buzamiento hacia el Este y SE.

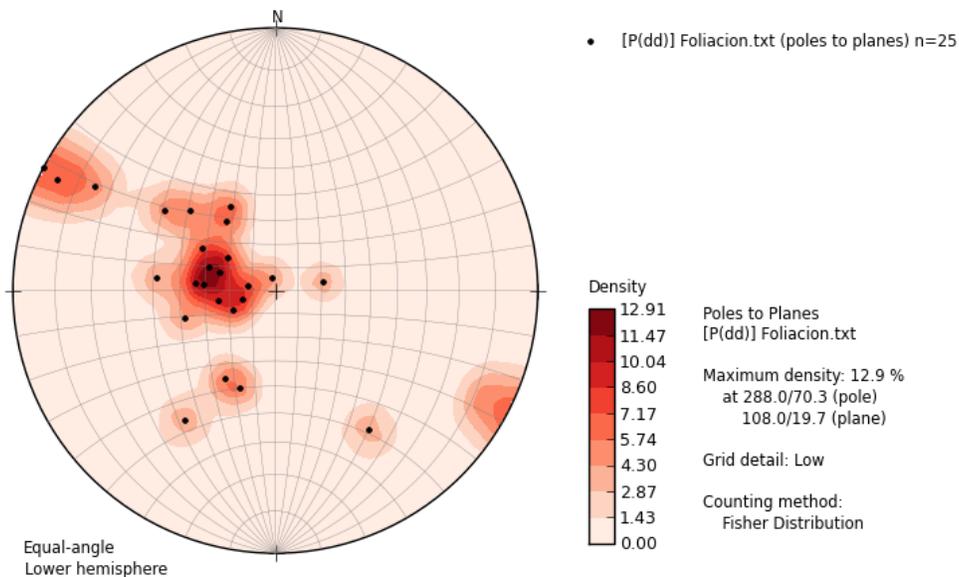


Figura 35. Polos de planos de foliación localizados en la zona SRRB.

Los datos de diaclasa se pueden diferenciar en 5 grupos, el primero y segundo evidenciando una fuerte tendencia NS buzando hacia el Este, el tercero, cuarto y quinto se ubican cerca a los extremos Norte y Sur indicando una fuerte tendencia de rumbo cercano a la EW con alto grado de buzamiento hacia el SE, NW y NE (Figura 36).

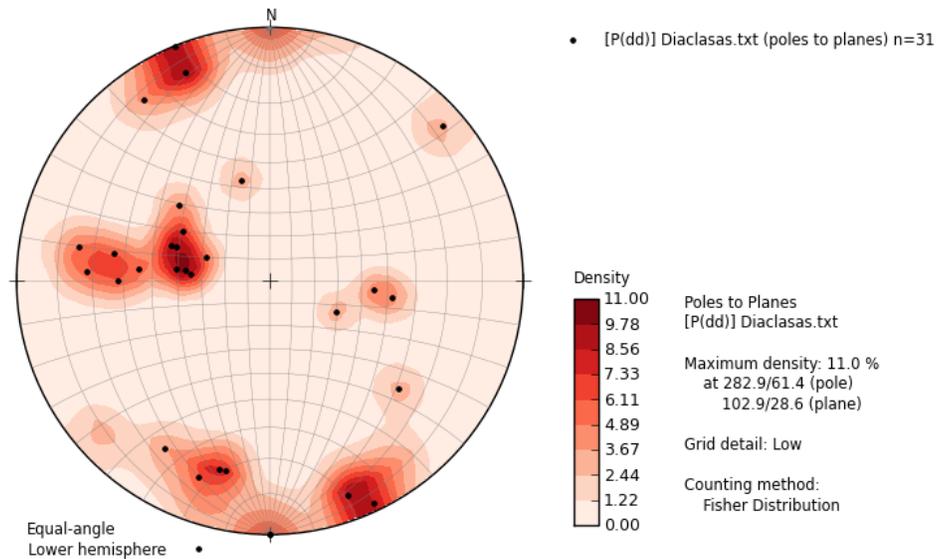


Figura 36. Polos de los planos de diaclasa localizados en la zona S-RRB.

11.1.2. Zona de la Antigua Carrilera (AC)

En la zona intermedia del área de estudio se recolectaron pocos datos estructurales ya que la urbanización el municipio de Manizales y Villamaría no permite hallar afloramientos de roca fresca, la mayor parte de los drenajes son vertederos inaccesibles. En la carretera de la antigua carrilera en el municipio de Villamaría se encontraron pocos afloramientos en los cuales fue posible observar y medir algunos datos estructurales, los cuales serán representados con arcos meridionales en el caso de fallas y foliación, en el caso de las diaclasas se representarán con la densidad espacial de los polos ya que son más datos medidos.

Las fallas medidas en esta zona evidencian, un grupo de fallas con tendencia cercana a la N-S, siendo relacionable con fallas paralelas a la falla Silvia Pijao (Sistema de fallas Romeral) y otro grupo más grande de fallas con tendencia NW-SE, los cuales se pueden relacionar con la falla Chipre (Figura 37).

Según el procesamiento de los datos de foliación en la Figura 38, se identifica un grupo de arcos meridionales con tendencia entre N04E y N45E.

Los polos que representan los planos de diaclasa medidas en esta zona (Figura 39) se concentran en tres grupos, el primero representando planos con tendencia NNE-SSW, el segundo representa planos con tendencia NW-SE y el tercero evidencia planos con tendencia NE-SW.

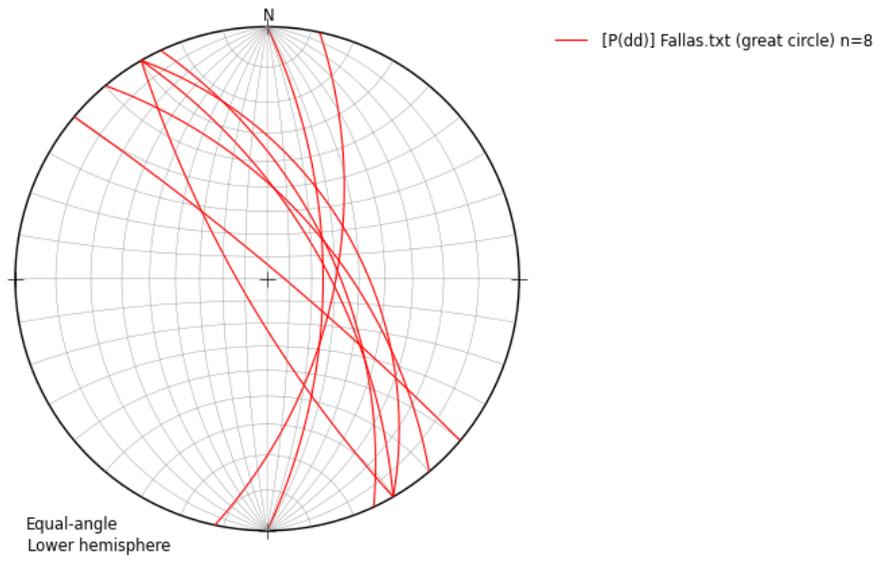


Figura 37. Arcos meridionales de fallas localizadas en la carretera de la antigua carrilera.

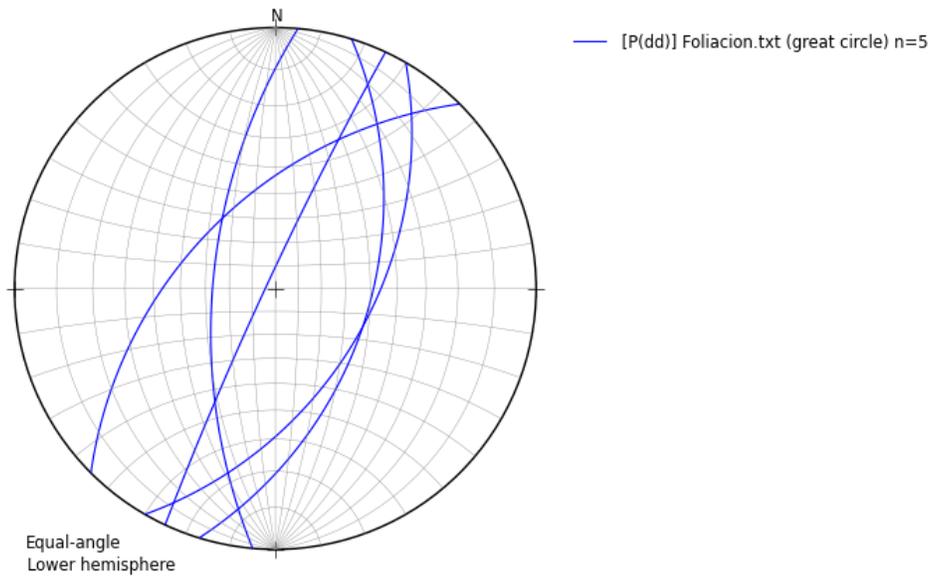


Figura 38. Arcos meridionales de foliación localizados en la carretera de la antigua carrilera.

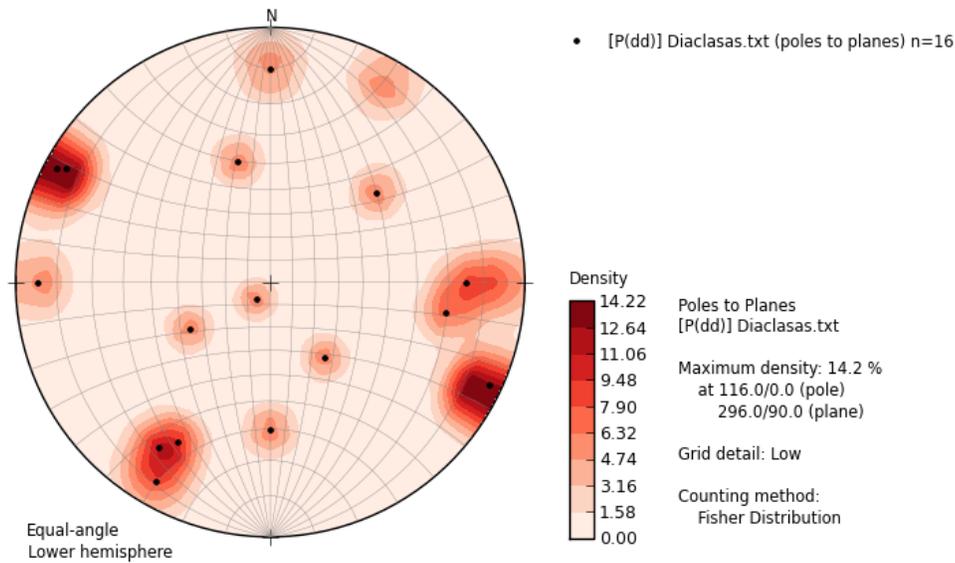


Figura 39. Polos de planos de diaclasa localizados en la carretera de la antigua carrilera.

11.1.3. Zona entre San Peregrino y Antigua Vía a Chinchiná.

Para los datos tomados en esta zona se realiza el análisis de datos de falla, foliación y diaclasas del conjunto en total y luego se realiza el análisis para cada una de las quebradas recorridas (QN, QAT y QS) con el fin de identificar por cuál de ellas sigue el trazo del lineamiento, ya que geomorfológicamente son convergentes y paralelas al lineamiento de la falla en cuestión.

Se procesan 36 datos de falla, los cuales se diferencian en 4 grupos, el primero cerca al extremo Oeste de la falsilla identificando planos en sentido NS y N10E con alto grado de buzamiento hacia el Este y SE relacionados con el Sistema de Fallas Romeral, el segundo grupo cercano al extremo sur de la falsilla, indicando planos con rumbo EW con alto grado de buzamiento hacia el Norte, y el tercer grupo se encuentra en el cuadrante NW de la falsilla, indicando planos con rumbos entre N40-60E con buzamiento intermedio hacia el SE, y el cuarto grupo se ubica en el cuadrante NW entre el círculo mayor de 70° y 90° y el círculo menor de 40° y 80° indicando planos de falla con rumbo N70-90E con bajo ángulo de buzamiento hacia el SE (Figura 40).

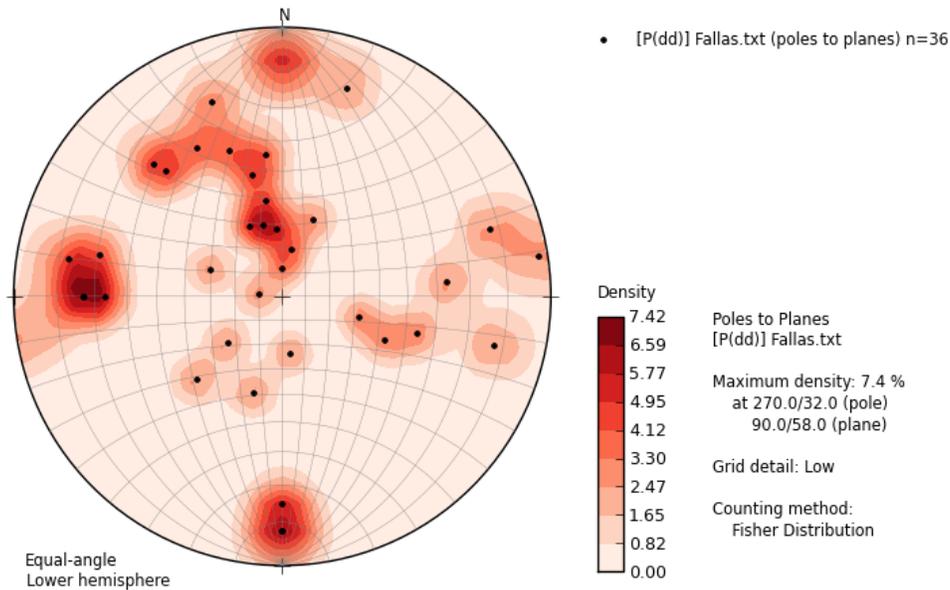


Figura 40. Polos de los planos de falla localizados entre San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná.

Se procesan 60 datos estructurales de foliación los cuales se agrupan en 6 grupos principales. En el cuadrante NW se pueden identificar dos grupos que indican planos de foliación con rumbo N20-50E y ángulo de buzamiento intermedia a alto hacia el SE. Sobre la línea E-W se diferencia dos grupos principales cercanos al lado W de la falsilla y distribuidos desde el W hasta el punto cero de la falsilla, indicando planos en sentido NS con ángulo de buzamiento entre sub-verticales a sub-horizontales hacia el Este. En el cuadrante SW se diferencian dos grupos indicando rumbos entre N40-70W con ángulo intermedio de buzamiento hacia el NE (Figura 41).

Con respecto a los planos de diaclasa se analizan 35 datos entre los cuales se diferencia 4 grupos. En el cuadrante NE se identifica el primer grupo indicando planos de diaclasa con rumbo N75-8W con ángulo de buzamiento intermedio hacia el SW, el segundo grupo se ubica en el cuadrante NE de la falsilla cercano a la línea E-W al extremo Este, indicando planos con rumbo cercanos a la NS buzando hacia el W. El tercer grupo se encuentra cerca al extremo W sobre la línea W-E indicando planos con rumbo NS buzando hacia el Este, y el cuarto grupo se ubica en la parte inferior cerca al Sur de la falsilla, indicando planos cercanos al rumbo E-W buzando sub-verticalmente hacia el N (Figura 42).

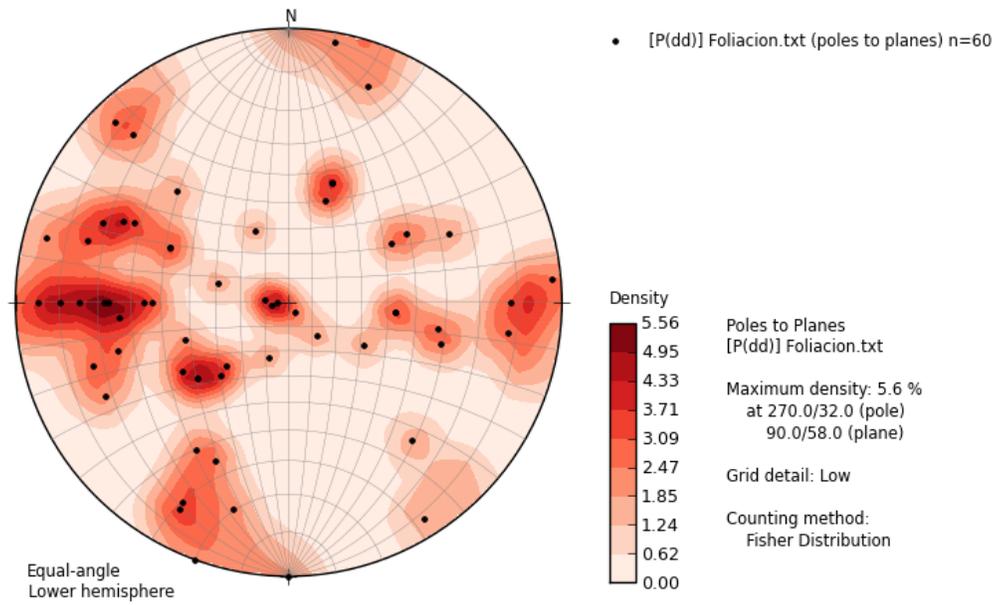


Figura 41. Polos de planos de foliación localizados entre San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná.

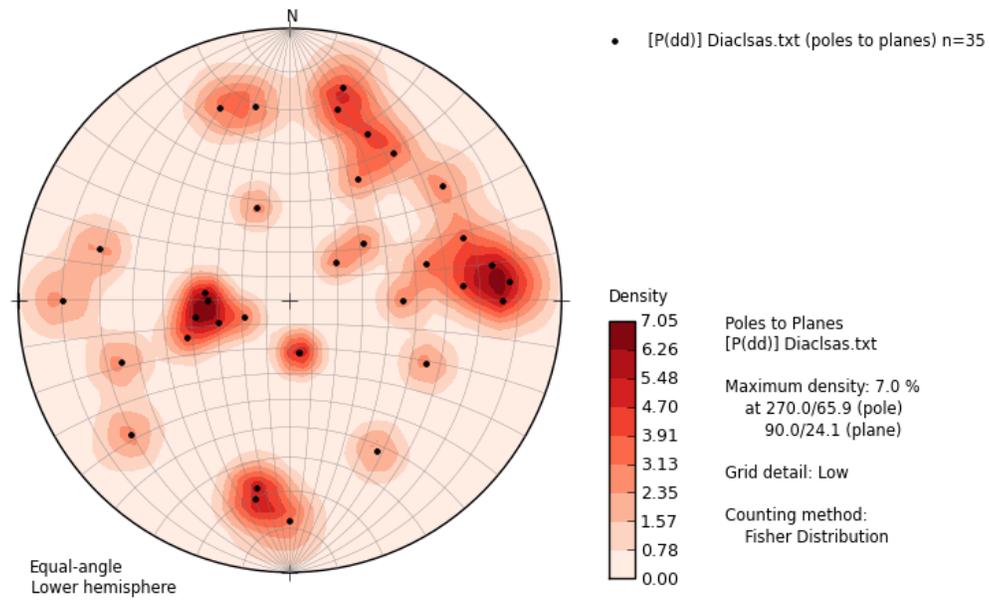


Figura 42. Polos de planos de diaclasas localizados entre San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná.

11.1.3.1. Quebrada al Norte de la Divisoria de Drenajes del Alto Tablazo (QN).

En esta quebrada se recolectaron 6 datos de falla, de los cuales se puede evidenciar los planos de falla relacionados con el Sistema de Fallas Romeral con rumbo cercano a la NS y con buzamientos hacia el Este y Oeste, también, hay un dato en el cuadrante NW que indica un plano de falla con rumbo N65E/32SE, y en el tercer grupo se evidencian dos planos con rumbo N15-23E con ángulo intermedio de buzamiento hacia el NW (Figura 43).

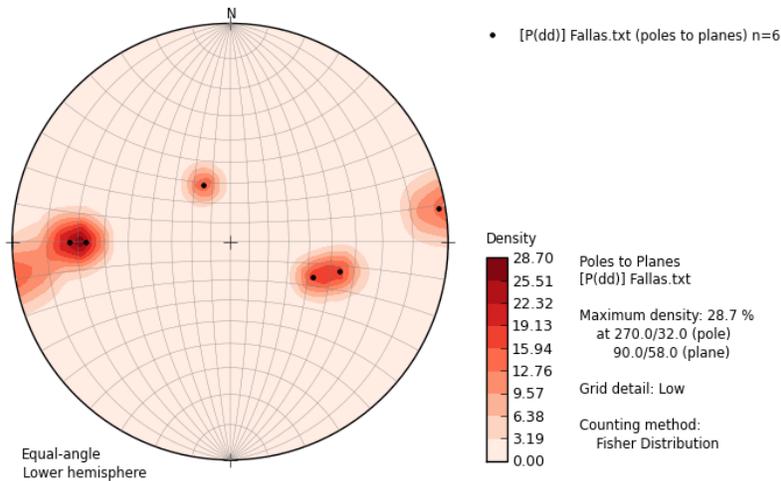


Figura 43. Polos de los planos de falla localizados en QN.

Se analizan 28 datos estructurales de foliación entre los cuales se identifica un gran grupo de datos marcando planos en sentido NS y rumbos cercanos variando hacia el N20E y ángulo de buzamiento intermedio hacia el Este y SE, los cuales se pueden relacionar con los esfuerzos compresivos que formaron la falla Silvia Pijao (Figura 4444).

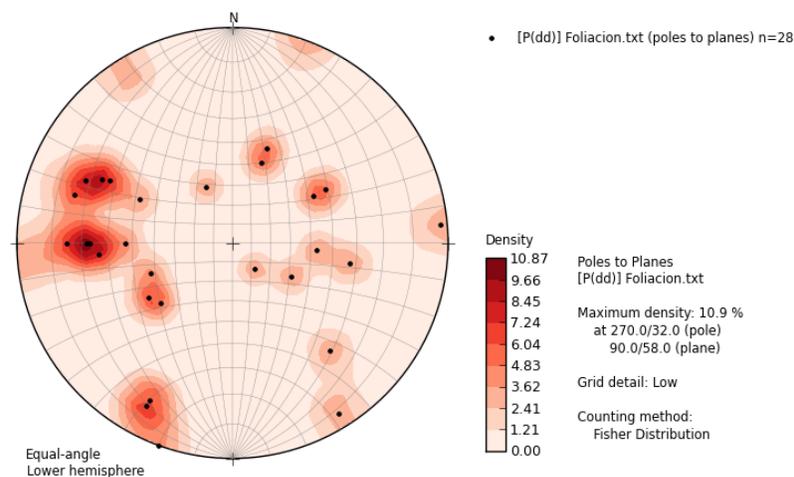


Figura 44. Polos de planos de foliación localizados en QN.

Se analizan 17 datos de diaclasas entre los cuales se diferencia 2 grupos importantes, un grupo cerca al punto Sur de la falsilla indicando planos con rumbo cercano al E-W y buzando hacia el N, el otro grupo se encuentra cerca al punto Este de la falsilla indicando planos con rumbo aproximado a la NS con alto grado de buzamiento hacia el SW (Figura 45).

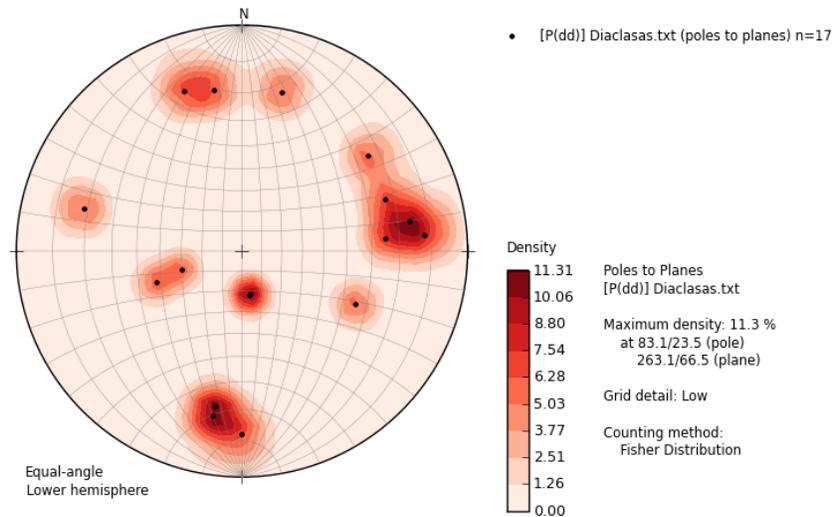


Figura 45. Polos de los planos de diaclasa localizados en la QN.

11.1.3.2. Quebrada Guacas (QAT).

A lo largo de esta quebrada se recolectaron 17 datos de fallas los cuales tienen tres grupos principales de datos, dos a sus extremos Norte y Sur indican planos en sentido E-W buzando hacia el Norte y hacia el Sur subverticalmente, el tercer grupo se encuentra en el cuadrante NW de la falsilla, indicando planos correlacionables con la falla Río Blanco con rumbo entre N46-83E y ángulos intermedios a altos de buzamiento hacia el SE (Figura 46).

Se recolectaron 23 datos estructurales de foliación los cuales generalmente se organizan en el cuadrante SW de la falsilla, indicando planos con rumbo variable entre la NS, NW y E-W con ángulo de buzamiento subvertical a subhorizontal hacia el NE y Este (Figura 47).

También se recolectaron 18 datos de diaclasas de los cuales se reconoce mayor densidad de estos sobre la línea E-W de la falsilla, en el cuadrante W, lo que indica planos en sentido NS subhorizontales buzando hacia el Este (Figura 48).

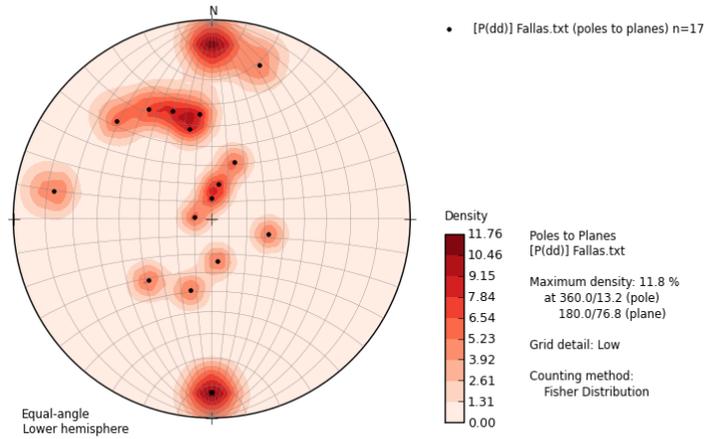


Figura 46. Polos de planos de falla localizados en QAT.

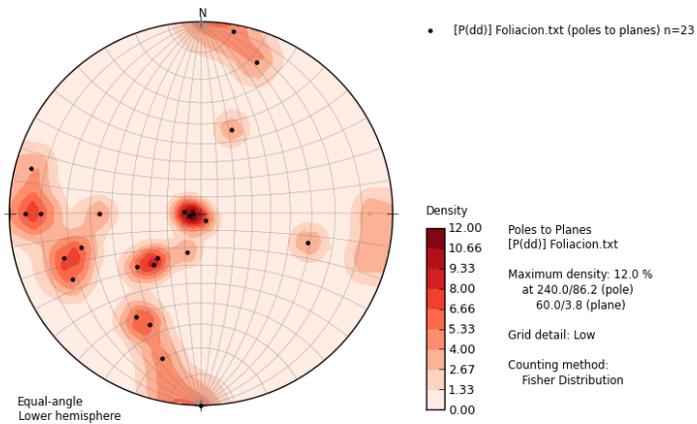


Figura 47. Polos de planos de foliación localizados en la QAT.

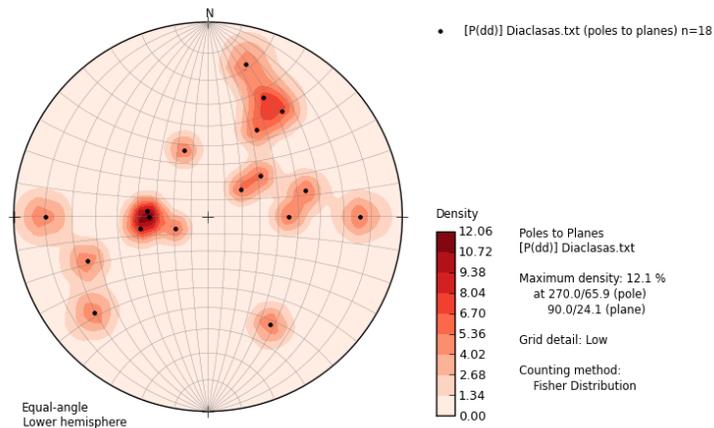


Figura 48. Polos de planos de diaclasa localizados en la QAT.

11.1.3.3. Quebrada La Siria (QS).

En el trayecto de esta quebrada se recolectaron 12 datos estructurales de fallas los cuales más de la mitad están en el cuadrante NW de la falsilla evidenciando planos de fallas con rumbo variable entre N10-70E con ángulo de buzamiento intermedio hacia el SE (Figura 49).

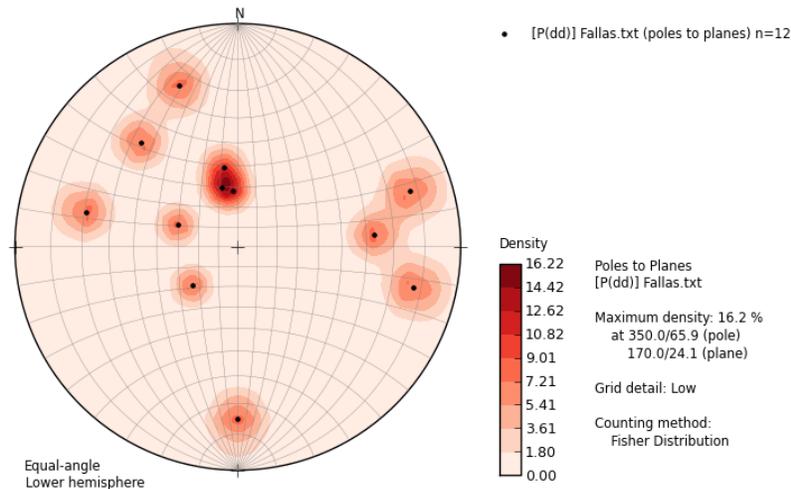


Figura 49. Polos de los planos de falla localizados en el trayecto de la QS.

También se recolectaron 8 datos de foliación los cuales tienen una tendencia de sus planos entre N10-50E con buzamientos variables entre subvertical a subhorizontal hacia el SE, esto evidencia los esfuerzos en dirección NW-SE generando planos con rumbo NE correlacionables al lineamiento de la falla en cuestión (Figura 50).

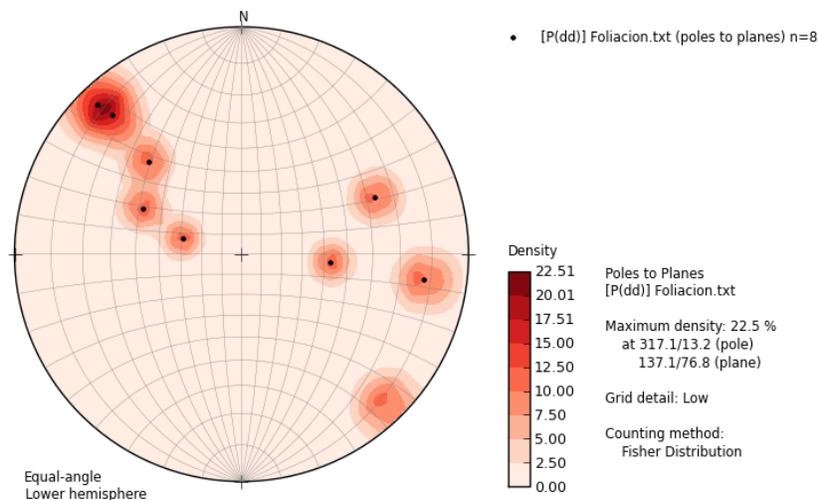


Figura 50. Polos de los planos de foliación localizados en el trayecto de la QS.

11.2. Análisis Cinemático

Las fallas observadas en campo a las cuales fue posible realizar un análisis cinemático, muestran desplazamiento de rumbo y buzamiento.

En la zona de estudio, afloran rocas deformadas de manera dúctil y frágil. La deformación dúctil está presente en lodolitas con lentes de cuarzo y conglomerados; las lodolitas con lentes de cuarzo y conglomerados tienen bandas de cizalla sinistral, algunas lodolitas con lentes de cuarzo cizalla dextral. La deformación frágil se presenta en conglomerados y tobas, desarrollando fracturamiento (trituration) de los componentes de la roca y con movimiento inverso y dextral (Figura 51).

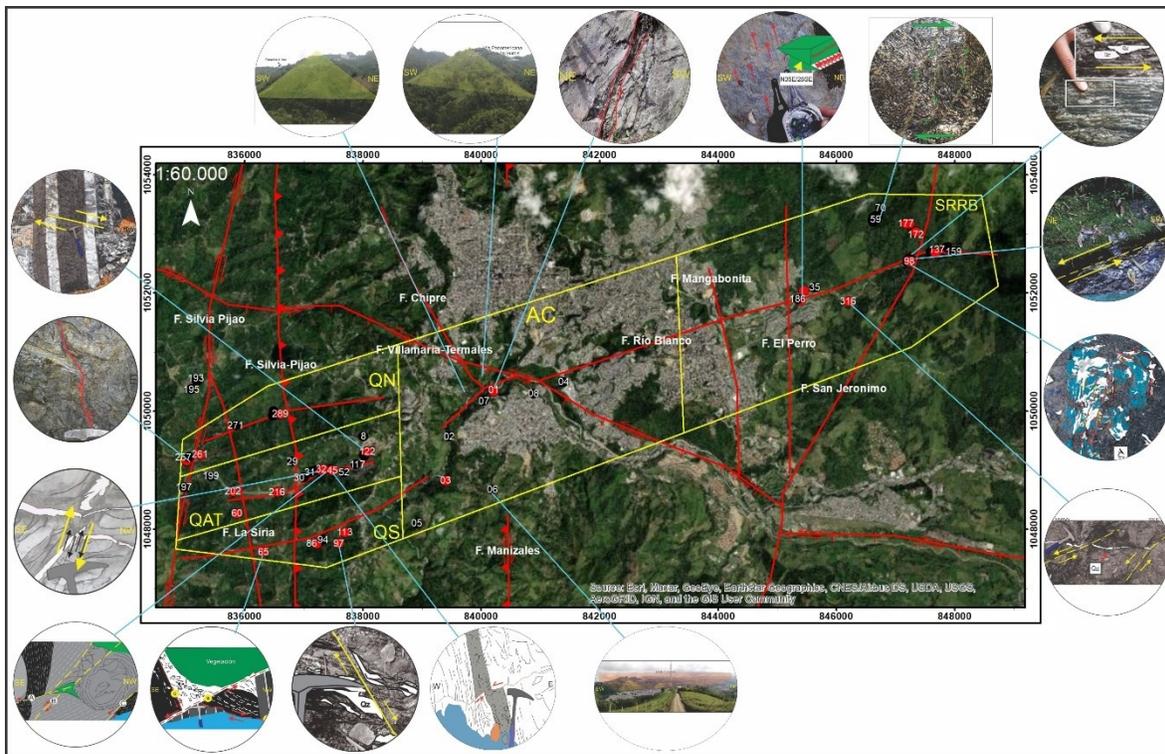


Figura 51. Estructuras cinemáticas georeferenciadas espacialmente en la zona de estudio.

11.2.1. Estructuras de Rocas Deformadas Dúctilmente

Las rocas deformadas presentan en general bandas de cizalla sinistral, espesores de milímetros a centímetros, generalmente con tendencia paralela al rumbo de la foliación y está definida por una orientación preferente de minerales o agregados de roca y/o minerales, formas geométricamente lenticulares se presentan como lineaciones aparentemente sub-horizontal. Se observan estructuras tipo θ y tipo Φ las cuales no aportan gran

información sobre el movimiento de los bloques o fajas, también se observan estructuras tipo σ , estructuras S-C y foliación sigmoidal que son de gran importancia para el análisis cinemático de la zona.

En el segmento de Río blanco- Sultana se presentan lodolitas con lentes de cuarzo deformados, los lentes de cuarzo se presentan de manera simétrica (tipo Φ) y asimétricos (tipo σ), con indicador cinemático sinestral. (Figura 75), en el mismo sector se indican lodolitas deformadas de manera dúctil, los elementos guía que indican el movimiento son lentes de cuarzo asimétricos y bandas de cizalla con movimiento dextral normal, tipo S-C' y S-C (Figura 76 y Figura 77).

11.2.1.1. *Milonitas a Partir de Conglomerados*

La roca, se caracteriza por tener un bandeado muy marcado, debido a la variación de la magnitud de la deformación y composición, con porcentajes variables de matriz y agregados. Las franjas con poca deformación se caracterizan por tener clastos de tamaño granulos a guijos y composicionalmente contiene cuarzo en dos presentaciones: la primera, sin orientación y forma de ovoides; la segunda, es de agregados orientados, con forma lenticular y cizalla sinestral.

En zonas adyacentes, se observan fajas o regiones estrechas sumamente deformadas, donde la matriz es mayor al 90% con textura de flujo, y los clastos se encuentran alargados y de tamaño reducido (mm-cm), orientados, de forma lenticular simétrico con lineación paralela a la orientación de la foliación, por lo tanto, estas fajas se clasifican a nivel mesoscópico como rocas presentes en la serie de milonitas(Figura 53A).



Figura 52. Conjunto de fajas continuas y discontinuas de espesor variable y con porcentajes distintos entre matriz y clastos, las fajas se presentan de manera simétrica. Reserva Río Blanco.

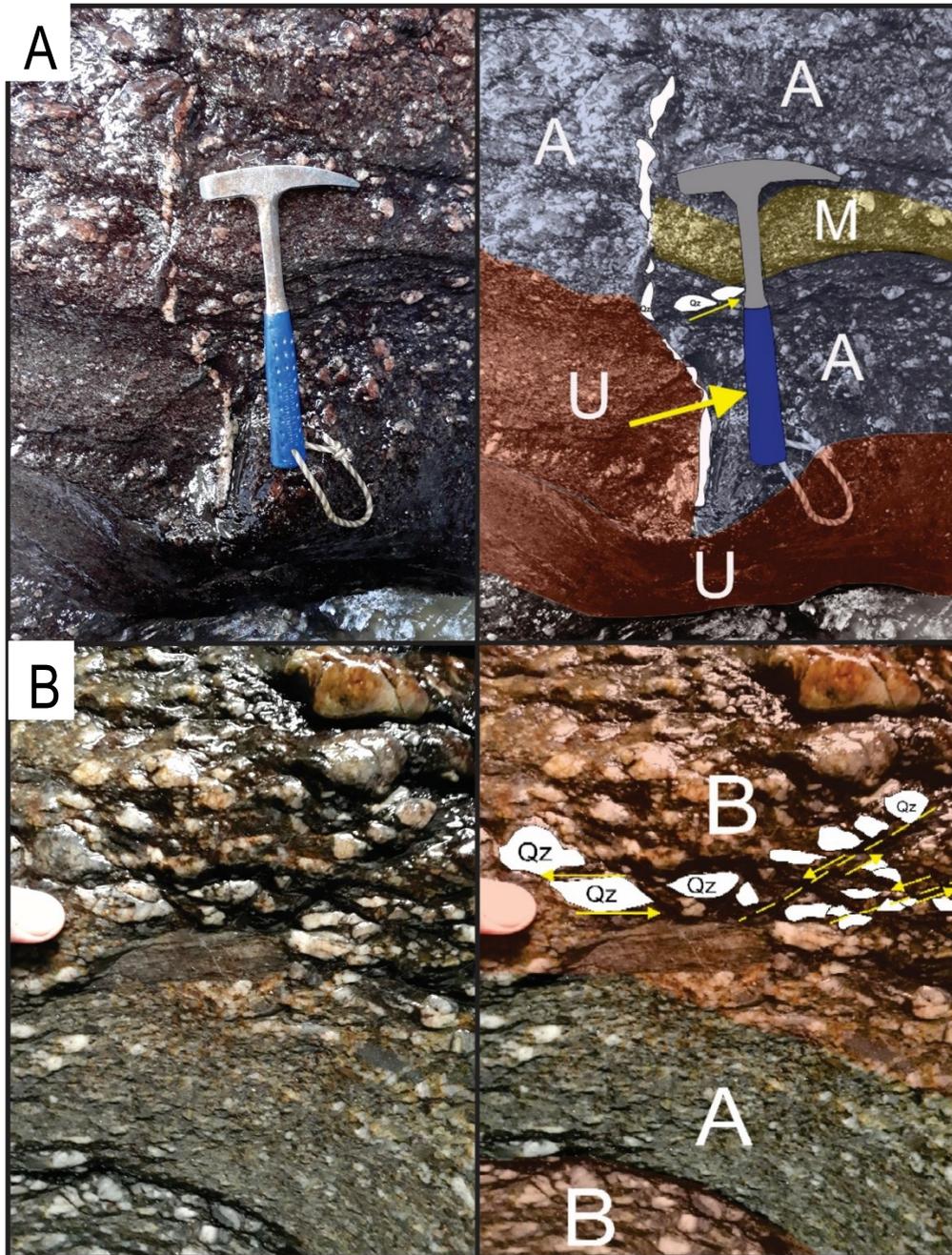


Figura 53. A, Foto de perfil. Ultramilonita (U), porcentajes similares entre clastos y matriz (M), clastos de Qz poco deformados rodeado de material fuertemente deformado (A). B, Foto de perfil. Nótese la relación de matriz y clastos tanto en A y B. Qz, con sentido de cizalla sinistral, presenta zona de cizalla con movimiento normal. Reserva Río Blanco.

11.2.1.2. *Protomilonita a Partir de Rocas Ígneas (Metagabro).*

En la parte alta de uno de los afluentes de la quebrada Olivares, cerca de la Reserva Río Blanco se observa un afloramiento de rocas ígneas, que al menos han sufrido recristalización de sus cristales, respaldado por su alto

contenido en cuarzo y feldespatos, en algunas zonas aparentemente siendo intruido por un cuerpo ígneo máfico con poco contenido de cuarzo o minerales félsicos. La roca granítica presenta desarrollo de foliación sigmoidal de los cristales más cercanos al plano de falla (Figura 54A) con dato estructural de foliación 120/36, 260/21 y 152/40. Cerca al afloramiento anterior se puede observar un afloramiento de la misma composición, deformado dúctilmente presentando estructuras S-C' (Figura 54B).

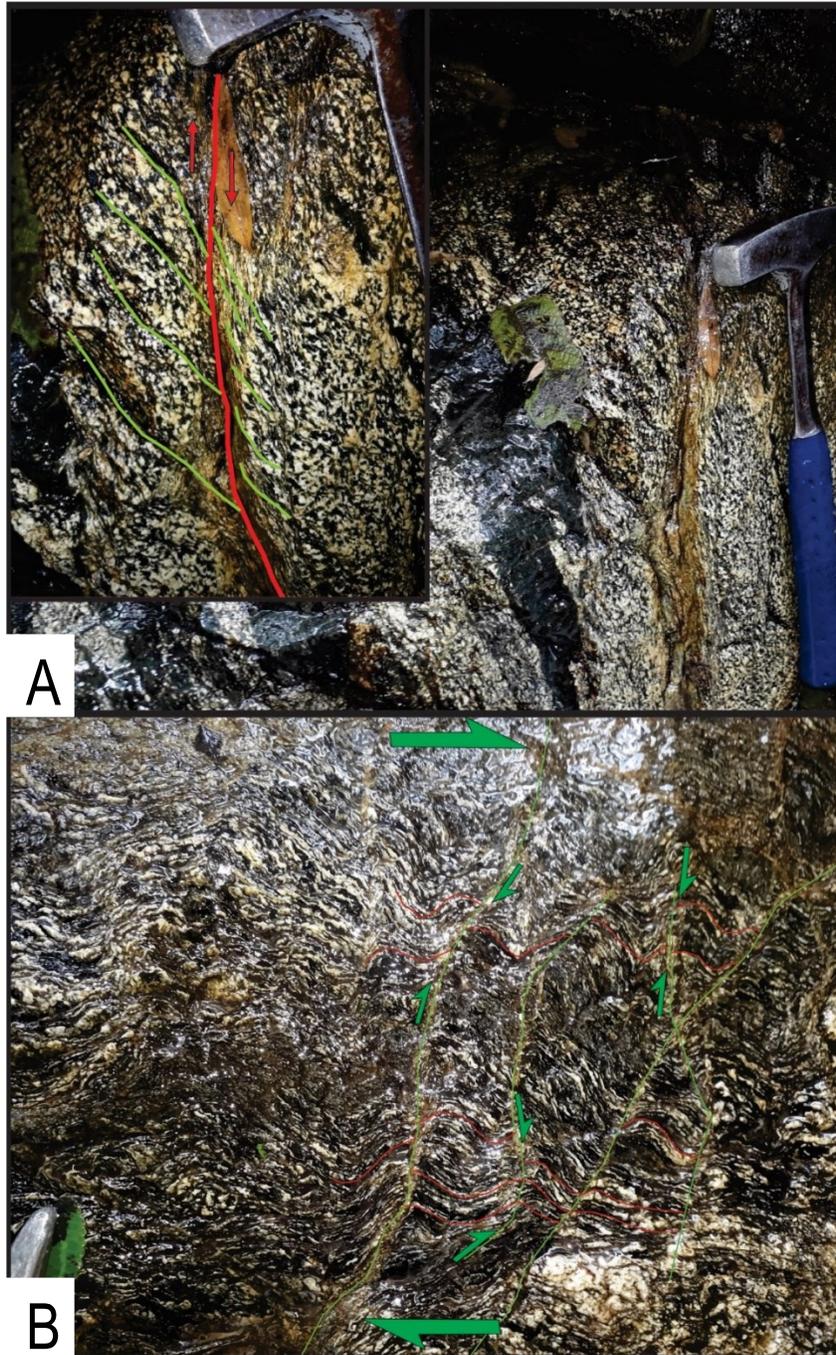


Figura 54. A. Metagabro deformado dúctilmente presentando foliación sigmoidal con cinemática normal. B. Protomilonita con estructura S-C' y con cinemática dextral. Reserva Río Blanco.

11.2.2. Estructuras de Rocas Deformadas Fráglmente

Se observa material fragmentado y triturado por deformación en el régimen frágil, afectando rocas como tobas y conglomerados y desarrollando bandas de cataclasita. En tobas se presenta con movimiento dextral, en superficies de escalones de falla en conglomerados con componente inverso-dextral. También se presentan fallas y zonas de fallas locales afectando a rocas correspondientes del miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande, se indica el movimiento por medio de elementos guía deformados como pliegues de arrastre, movimiento de bloques, desplazamientos de segmentos de vetas de cuarzo y escalones de falla.

11.2.2.1. Brecha de Falla a Partir de un Conglomerado.

Brecha de falla presenta agregados triturados correspondientes a rocas conglomeraticas (Figura 55A). La roca se encuentra en contacto fallado con lodolita silicea (Figura 55B).

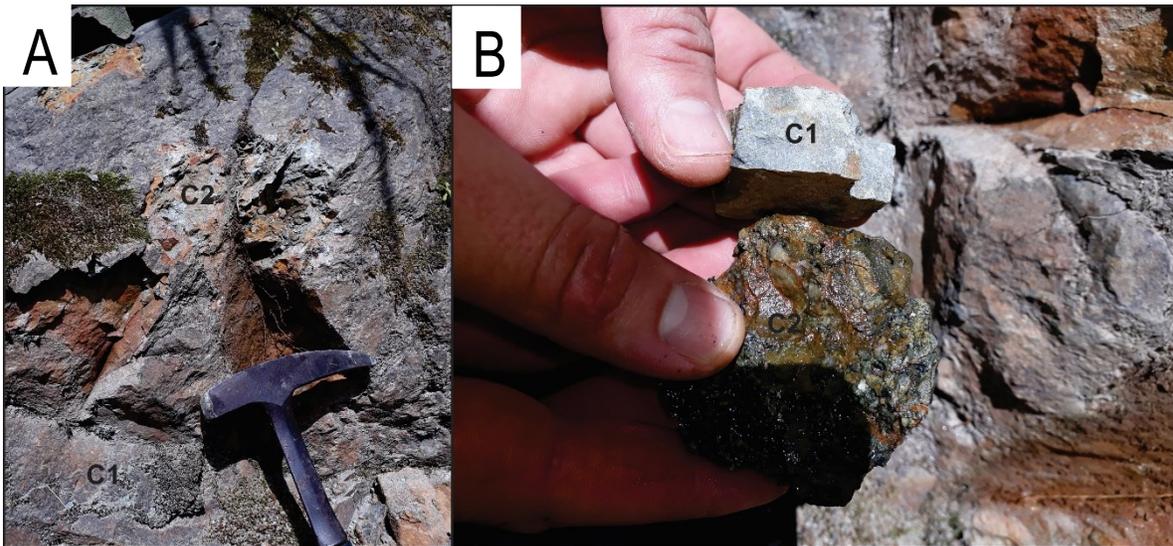


Figura 55. A, es Afloramiento constituido por brecha de falla. B, son muestras representativas de lodolita silicea (C1) y brecha de falla(C2).

11.2.2.2. Cataclasita a Partir de Toba.

Agregados triturados por deformación, se presentan agregados volcánicos alargados por la deformación, la matriz está constituida de material triturado correspondiente a los agregados y a también se presenta cuarzo fragmentado con formas angulares. (Figura 56)

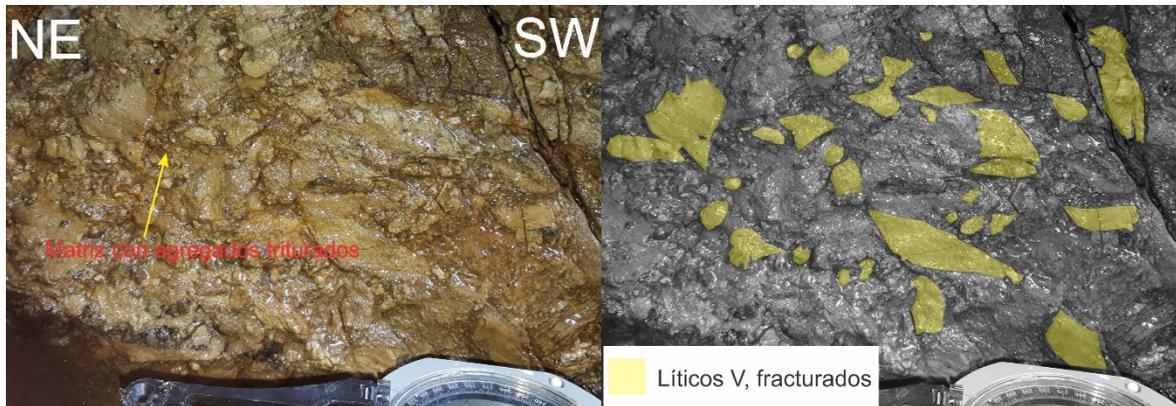


Figura 56. Cataclasita a partir de una toba.

11.2.2.3. Fallas Locales

10.2.2.3.1. Fallas de Rumbo, Sentido Sinestral.

Se localiza en el sector quebrada Olivares-Reserva Ecológica Río, a escala local se presentan escalones de falla con plano de falla N70W/74NE. En la quebrada de la cárcava del Alto Tablazo se encuentran lodolitas sílices intercaladas con arenitas de grano fino a medio, las cuales están afectadas por una falla con dato estructural N82E/24NW y N35E/43NW que desplaza lateralmente la continuidad de estos estratos (Figura 57).



Figura 57. Falla con componente de rumbo sinestral, desplazando paquetes de intercalaciones entre lodolita sílicea y arenitas. Nótese que la parte derecha se encuentra la roca triturada, en la parte izquierda se presenta con foliación anastomosada. Qbda. Cárcava del Alto Tablazo.

10.2.2.3.2. Fallas de Rumbo, Sentido Dextral.

En la cárcava del sector Alto Tablazo se recolectaron datos de falla, de ángulo alto que desplazan estratos de lodolitas silíceas, lodolitas negras y arenitas (Figura 58).



Figura 58. Falla con buzamiento de alto ángulo (78°- 84°) con componente dextral ya que el bloque yacente se desplaza hacia el NW. Cárcava Alto Tablazo.

10.2.2.3.3. Falla de Buzamiento, Componente Normal.

Se presentan afectando rocas de la Formación Casabianca en el tramo La Sultana – Reserva Río Blanco evidenciado en el desplazamiento de bloques y de una veta de cuarzo, con dato estructural en los planos de falla de NS/36-43E y N16-65W/3-53NE (Figura 59.A). En la quebrada La Siria, afectando lodolitas negras con lentes de cuarzo pertenecientes al Complejo Quebradagrande se presentan pliegues de arrastre con datos de foliación N46E/ 85SE y dato de fallas N70E/ 80SE (Figura 59 B y C). Se evidencia también escalones de falla al lado de una zona de fallas inversas (Figura 60) con dato del plano de falla N670E/ 60SE y pitch de 90°. Otra falla a nivel local con sentido normal presenta dato estructural N77E/35SE (Figura 60B). Sobre la quebrada La Siria afloran rocas como, lodolitas negras, grises y pardas intercaladas con arenita, se genera una zona de extensión, compuesta por una falla inversa y otra normal en la cual los bloques presentan relleno de cuarzo.

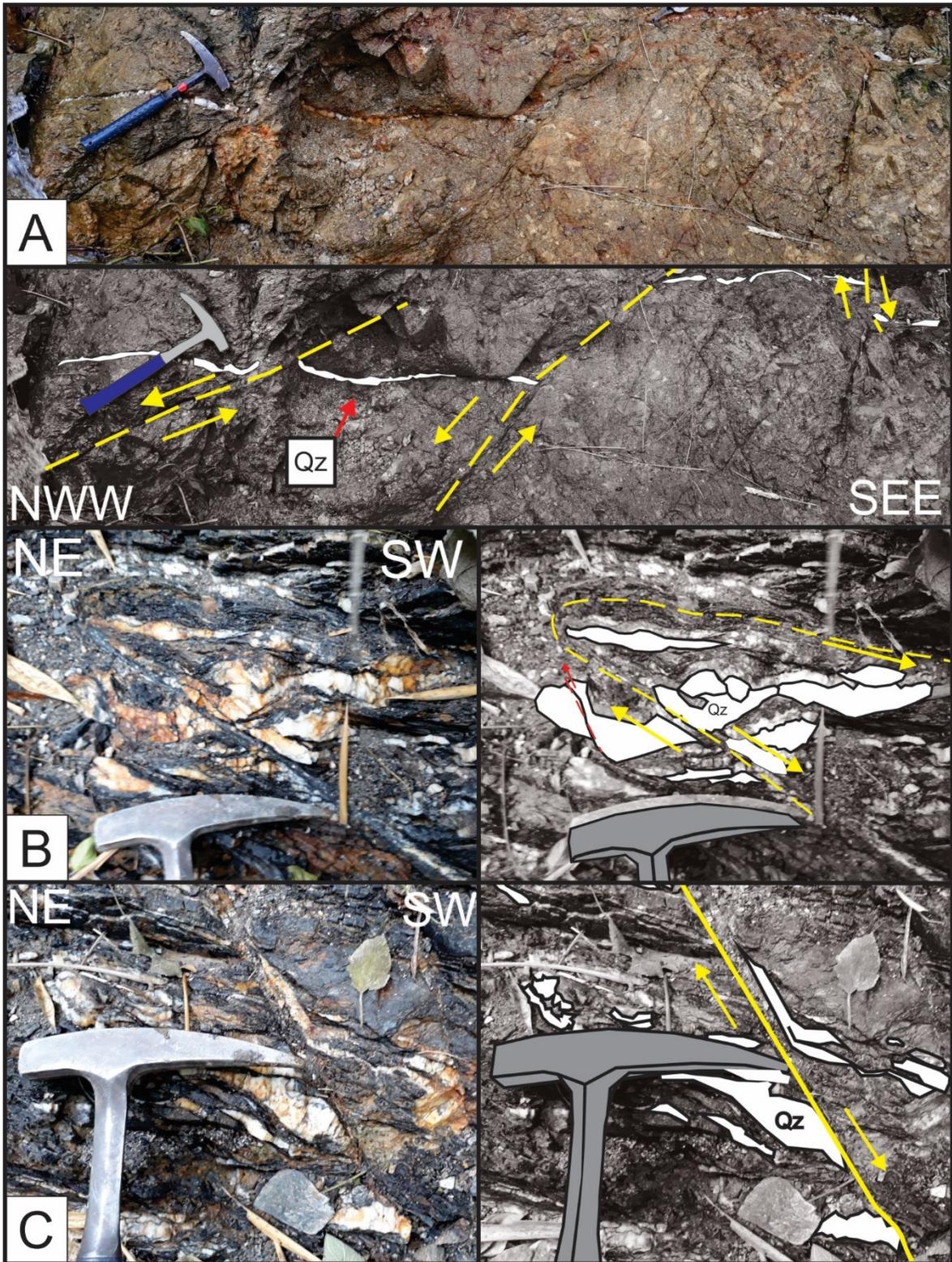


Figura 59. A. Zona de fallas normales, quebrada Olivares - La sultana. B. Falla normal. Quebrada La Siria. C. Falla normal. Quebrada La Siria.



Figura 60 (A) Falla inversa, nótese que el bloque yacente se desplaza hacia el occidente. (B) Falla normal. (C) falla subvertical inversa. Quebrada La Siria.

10.2.2.3.4. Falla de Buzamiento, Componente Inverso.

En la zona QN, al extremo SW de la zona de estudio, en inmediación con la falla Silvia Pijao se identifican estructuras de componente inverso, generando pliegues de arrastre. El plano tiene dato estructural N5W/64NE (Figura 61).

En el sector San Peregrino- Alto Tablazo en la quebrada Guacas se presentan vetas de cuarzo desplazadas sobre uno o varios planos con dato estructural NS/80E (Figura 62.A) y N76E/56SE (Figura 62B).

En la sección Sultana- Reserva Río Blanco, se presenta estrías y escalones de falla a nivel de piso y deformando una roca conglomerática, con dato estructural del plano de falla, N44E/11SE-N45E/28SE y dirección de estrías hacia al N56-65W y pitch de 84°, movimiento inverso-destral (Figura 63). En la quebrada Guacas, se describen dos fallas con dato para A, N70W/36SW, y para B, N60E/65SE, estos planos desplazan estratos de lodolitas, arenitas y venas de cuarzo (Figura 64).

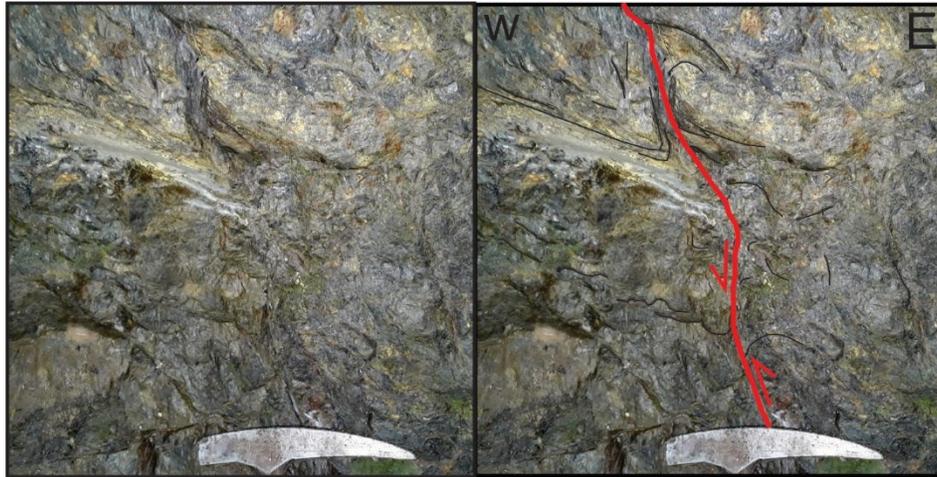


Figura 61. Falla inversa a escala local. Tomada al SW de la zona de estudio, sobre el Río Rosario.

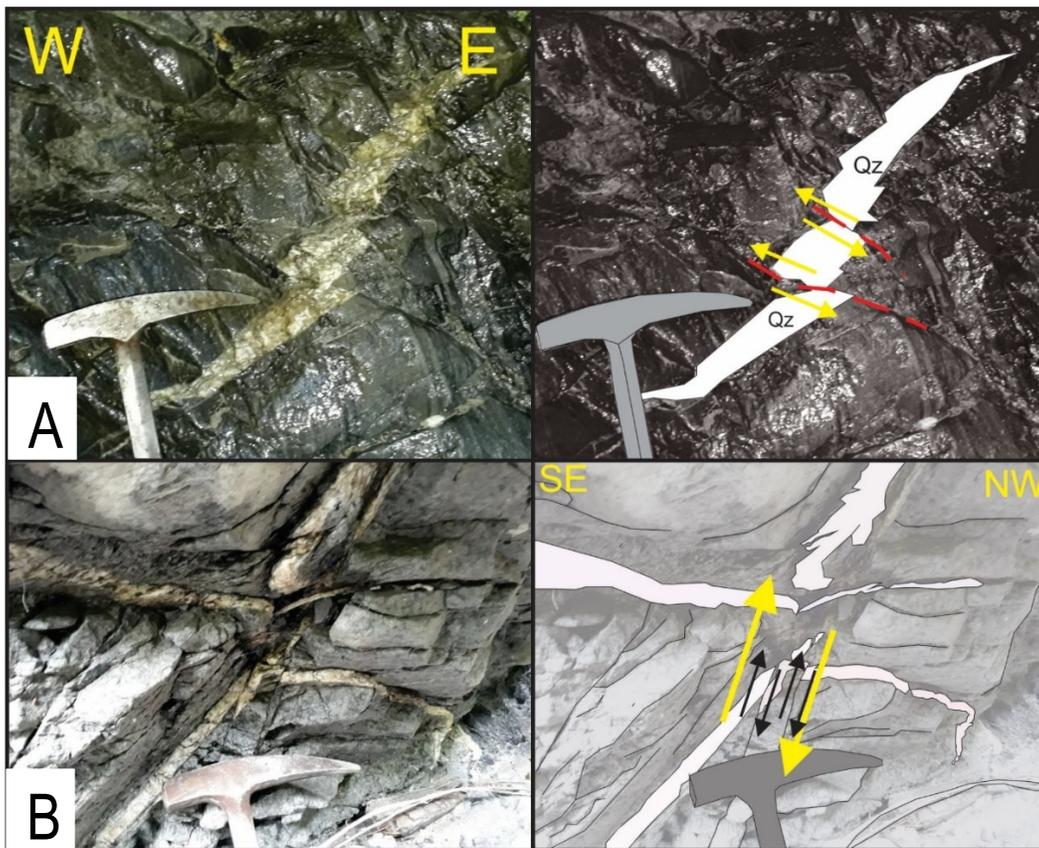


Figura 62. A. Fallas inversas desplazando segmentos de una veta de Qz. Quebrada Guacas. B. Zona de fallas inversas y vetas de Qz desplazadas. Quebrada Guacas.

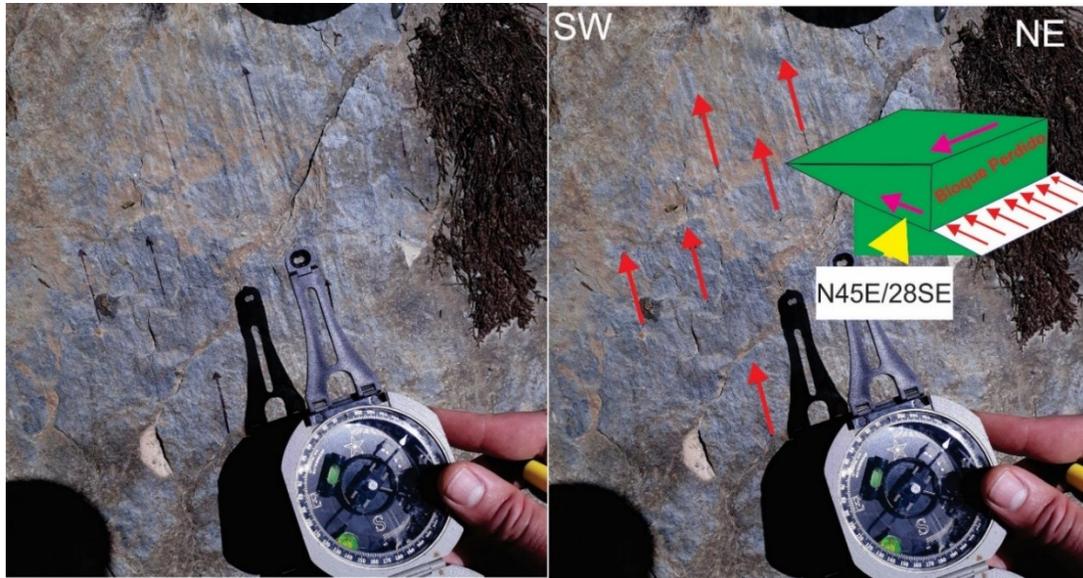


Figura 63. Escalones de falla con componente inverso-destal de bajo ángulo. Quebrada Olivares-Sultana

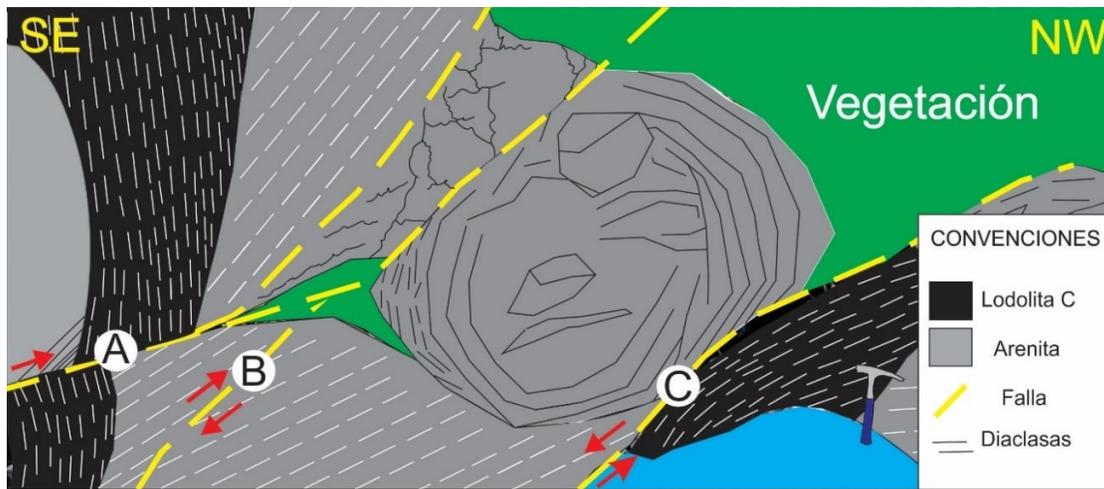


Figura 64. Conjunto de fallas. A y B, fallas inversas desplazando arenitas y lodolitas. C, falla normal. Quebrada Guacas.

12. MECANISMOS DE DEFORMACIÓN

El siguiente estudio se realiza a escala microscópica por medio de secciones delgadas obtenidas de muestras de mano debidamente rotuladas y orientadas, son representativas de afloramientos de roca ubicadas en los flancos que limitan la falla de estudio, se realiza el análisis de un conjunto de procesos de deformación exhibidos en los minerales a escala microscópica y expresa factores externos de la deformación de la roca, el análisis de microestructuras provee evidencias de mecanismos y procesos de deformación, ayudando a revelar el comportamiento y condiciones en las que se encontró la roca respecto a ciertos esfuerzos generados por la tectónica (falla de estudio)(Figura 65).

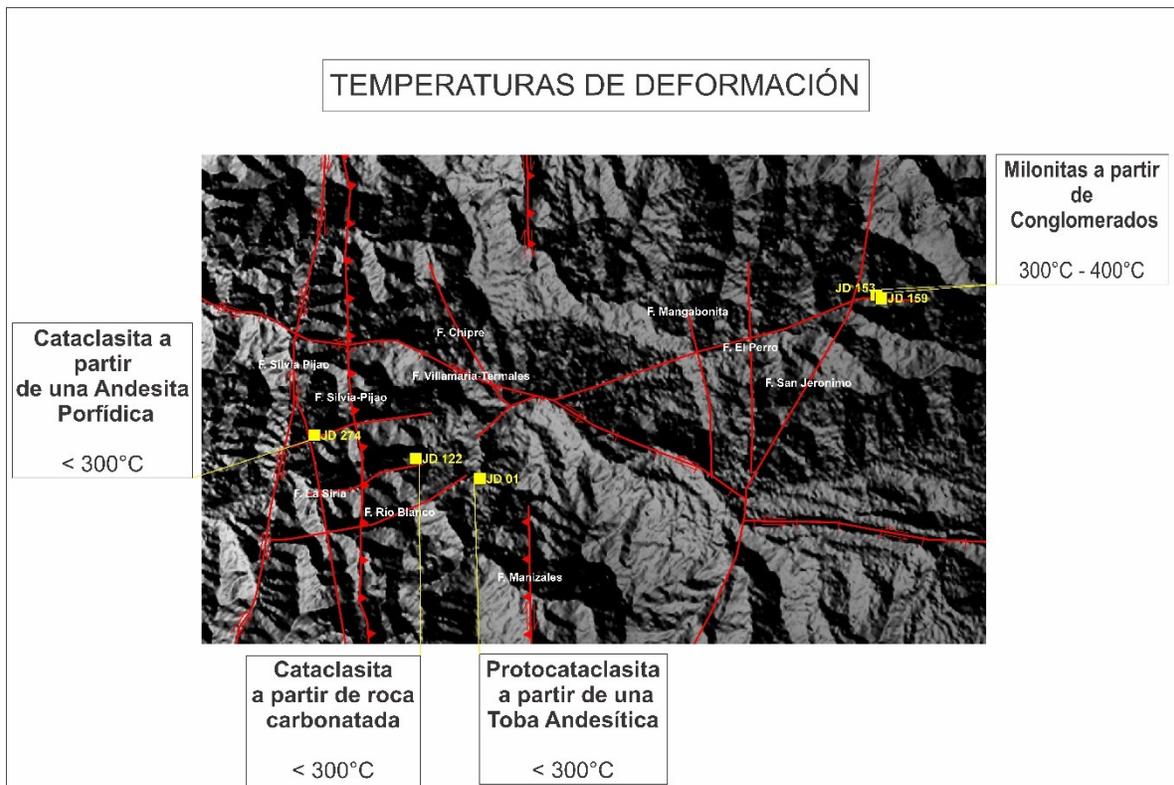


Figura 65. Geolocalización de los resultados de mecanismos de deformación de las secciones delgadas obtenidas.

Las condiciones de deformación, están relacionadas con parámetros como esfuerzos, tasa de deformación, temperatura, fluidos, microestructuras y mineralogía. Cada especie mineral se puede analizar con base en microestructuras que indican el comportamiento frágil o plástico frente a un esfuerzo, pudiendo ubicarlos en procesos fisicoquímicos indicados por cataclasis o recristalización, estos procesos son activados térmicamente, por lo mismo se puede deducir la temperatura de deformación (Fossen, 2010).

Teniendo en cuenta lo anterior se puede conocer la temperatura estimada de deformación presente en la roca. Régimen frágil, mecanismos de baja temperatura entre 100-250°C para el cuarzo, clasificado como serie de cataclasis; régimen dúctil, mecanismos de intermedia a altas temperaturas, mayores a 250°C y clasificados como serie de milonitas (Tabla 1).

Cataclasis, está descrito por microestructuras que se encuentran dentro de la mecánica de deformación de un comportamiento rígido y frágil, indicado por deslizamientos friccionales a lo largo entre contactos entre granos, rotación de granos y fracturamiento de granos (Fossen, 2010).

Serie de milonitas, ubicada en zona o franjas de cizalla, deformación dúctil, al aumentar la deformación y con base en la reología de las rocas los minerales pasan de un comportamiento frágil a plástico, teniendo en cuenta los mecanismos de deformación y microestructuras se clasifican de bajo, medio y alto grado (Trouw, R. et al., 2010)(Tabla 2), en paralelo se puede dar otra clasificación designada por el régimen de recrystalización dinámica del cuarzo, indicada como Régimen 1,2 y 3 Hirth and Tullis (1992) en (Blenkinsop, 2000) (Tabla 3). Las anteriores clasificaciones son parecidas, pero tienen variaciones de acuerdo a microestructuras presentes.

Tabla 1. Clasificaciones de rocas de falla según Sibson, (1997). Modificado según Wise et al. (1984) y Snoke et al. (1998).

No cohesiva/Cohesiva	Fábrica aleatoria	Fábrica Foliada	
No cohesiva	Harina de falla (<30% de fragmentos visibles) Brecha de falla (>30% de fragmentos visibles)	Harina foliada	
Cohesiva	Serie de las Cataclasitas	Serie de las Milonitas	Porcentaje de Matriz (material menor a 50µm)
	Protocataclasitas	Protomilonita	(10-50) % de matriz
	Cataclasitas	Milonita	(50-90) % de matriz
	Ultracataclasitas	Ultramilonita	(90-100) % de matriz

Tabla 2. Clasificación de milonitas Bajo, Medio y Alto grado. Tomado y modificado de (Parra & Quintero, 2016) basado de (Trouw & Passchier, 2010).

Milonitas de Grado Bajo	Milonitas de Grado Medio	Milonitas de Grado Alto
<ul style="list-style-type: none"> Rango de T° (250 - 500) °C. Transición gradual entre cataclasitas y milonitas de grado bajo. Los cristales de cuarzo presentan extinción ondulatoria. 	<ul style="list-style-type: none"> Rango de T° (500 – 650) °C. Cristales de cuarzo totalmente recrystalizado por rotación de subgranos presentando una fábrica granoblástica poligonal. 	<ul style="list-style-type: none"> Rango de T° > 650°C. Son poco comunes ya que la preservación de la estructura milonítica no se identifica plenamente, se presenta recrystalización que en ocasiones destruye y

<ul style="list-style-type: none"> Al aumentar la T° se presenta recristalización por Bulging (contactos lobulados) y rotación de subgranos. El tamaño de grano es menor a 50 micrómetros. Son muy comunes la presencia de peces de porfidoclastos (cristales de cuarzo y moscovita), indicadores de sentido de cizalla. 	<ul style="list-style-type: none"> El tamaño de grano es menor a 50 micrómetros. cristales de cuarzo y feldespato presentan extinción ondulatoria y estructuras núcleo manto por recristalización parcial. 	<ul style="list-style-type: none"> enmascara la estructura milonítica. Son comunes Ribbons monocristalinos de Cuarzo recristalizado, formado por migración de límite de grano. Presencia de fábrica granoblástica poligonal de feldespatos. Rara vez se presenta indicadores de sentido de cizalla.
---	--	---

Tabla 3. Recristalización dinámica del cuarzo. Tomado de (Parra & Quintero, 2016) basado de Hirth and Tullis (1992) en Blenkinsop, (2000).

	Régimen 1	Régimen 2	Régimen 3
Microestructuras	<ul style="list-style-type: none"> Baja T° y alto estrés diferencial. Granos originales heterogéneamente deformados. Extinción ondulatoria irregular. Granos recristalizados de tamaño muy fino. Alta densidad de dislocación en granos originales. Variada densidad de dislocación en granos recristalizados 	<ul style="list-style-type: none"> Moderada T° y estrés diferencial. Granos originales altamente alargados. Extinción ondulatoria de barrido. Presencia de subgranos y estructura núcleo-manto. Granos recristalizados. Baja densidad de dislocaciones en granos originales y en granos recristalizados. 	<ul style="list-style-type: none"> Alta T° y bajo estrés diferencial. Presencia de subgranos y estructura núcleo-manto. Granos recristalizados y mayor tamaño de subgranos. Granos recristalizados definen una fábrica planar. Alta proporción de granos recristalizados.
Mecanismos	Migración de límites de grano por Bulging	Rotación de subgranos	Rotación de subgranos y migración de límites de grano.

12.1. Análisis de Microestructuras

Teniendo en cuenta lo planteado en este capítulo, se indican las microestructuras identificadas en las secciones representativas de la zona de estudio, deduciendo temperatura y grado de deformación.

12.1.1. *Milonita a partir de un Conglomerado.*

Milonita correspondiente al conglomerado de la parte alta de la reserva Río Blanco, análisis realizado en la placa JD-159 y JD-153.

12.1.1.1. *Microestructuras en sección delgada JD-159*

Se identifican microestructuras relacionadas con plasticidad intracristalina y recristalización en especies minerales de cuarzo (Qz) y moscovita (Ms). Extinción ondulatoria en Qz y Ms, cristales de Ms flexionados, Bulging (BLG), y subgranos con ligeras rotaciones internas en la red cristalina (menores a 5°) en Qz.(Figura 66 y Figura 67).

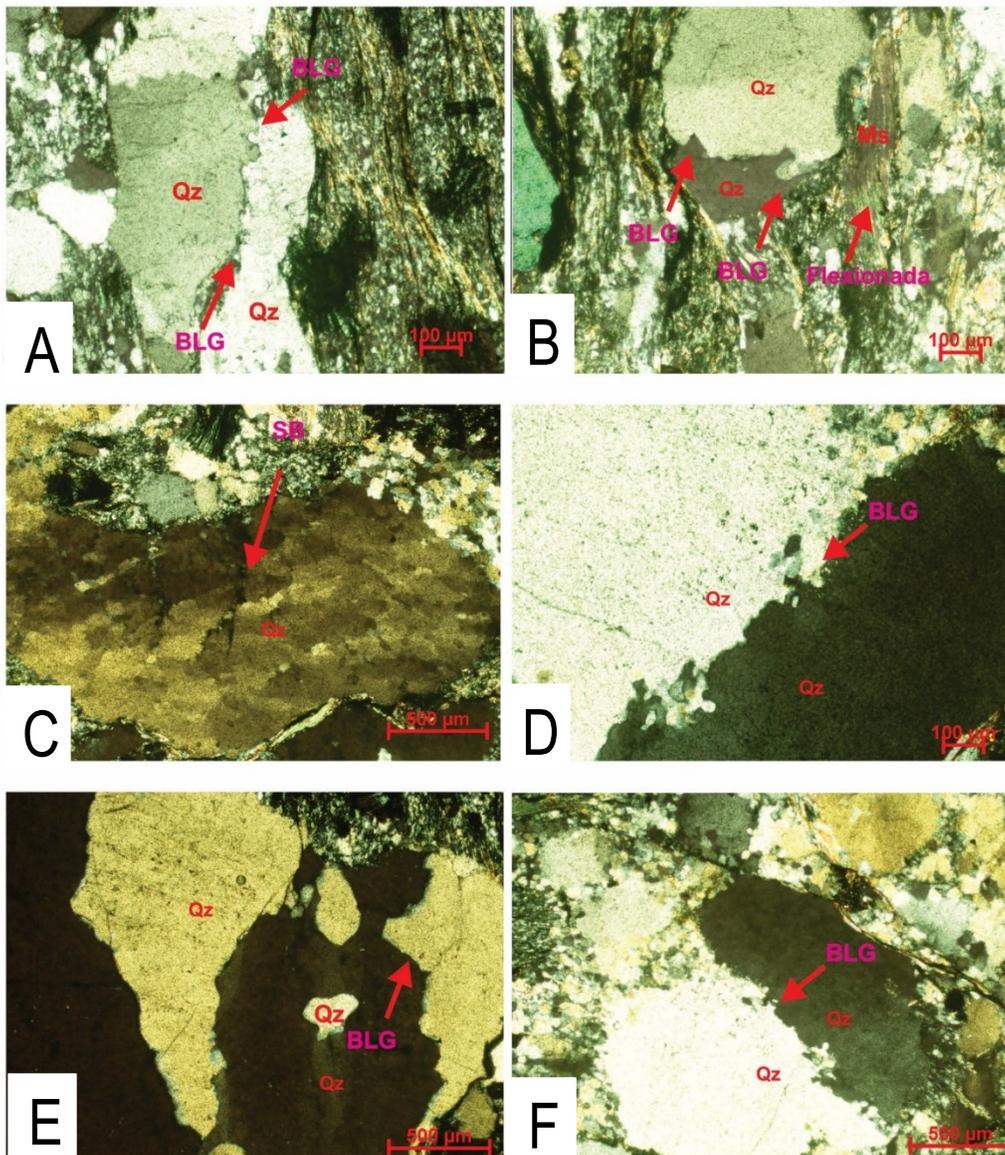


Figura 66. Mecanismos de deformación presentes en la sección JD 159. A, B, D, E, F, presentan cuarzo con extinción ondulatoria y Bulging (BLG). C, es cuarzo con extinción ondulatoria y se presenta como (SB) subgranos separados por subgrain boundaries. B, presenta moscovita con extinción ondulatoria y flexionada.

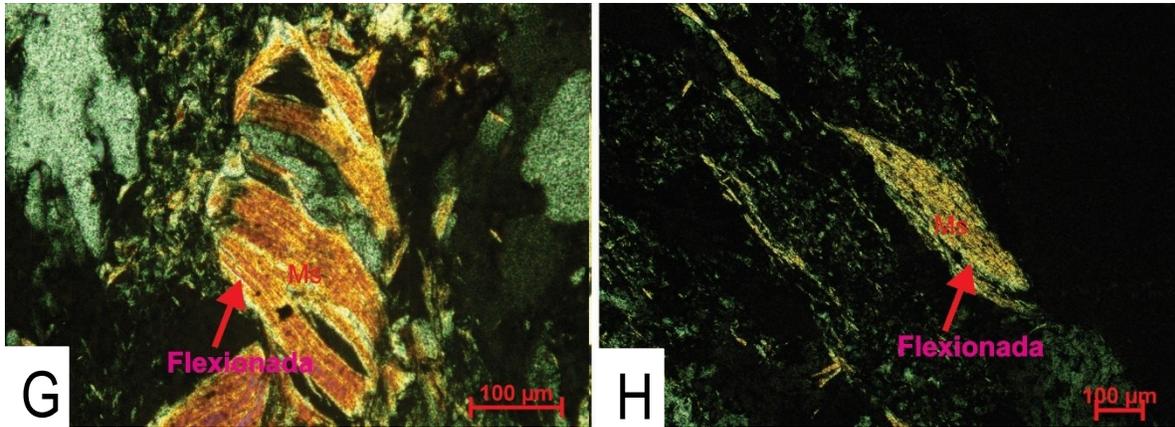


Figura 67. G, H, Cristales de moscovita (Ms) con extinción ondulante y se presentan flexionadas.

Tabla 4. Temperatura de deformación por mineral y roca de sección JD-159.

MECANISMOS DE DEFORMACIÓN-JD159			
	Temperatura °C-Mineral		Espectro-Temperatura de la roca
Estructura	Cuarzo	Moscovita	
Extinción Ondulante	Deformación plástica	Deformación plástica	Intervalo de T° para Qz es desde (300-400) °C
Bulging (BLG)	(300-400) °C	----- -	Intervalo de T° para Ms es >250 °C
Mineral flexionado	-----	>250°C	Temperatura de deformación de la roca JD-159 es de (300-400) °C

12.1.1.2. *Microestructuras en sección delgada JD-153*

Microestructuras relacionadas con plasticidad intracristalina y recristalización en especies minerales de cuarzo (Qz) y moscovita (Ms). Extinción ondulatoria en Qz y Ms, cristales de Ms flexionados, en Qz se identifica Bulging (BLG), en carbonatos (Ca) se presentan fracturamiento de granos (Figura 68 y Figura 69).

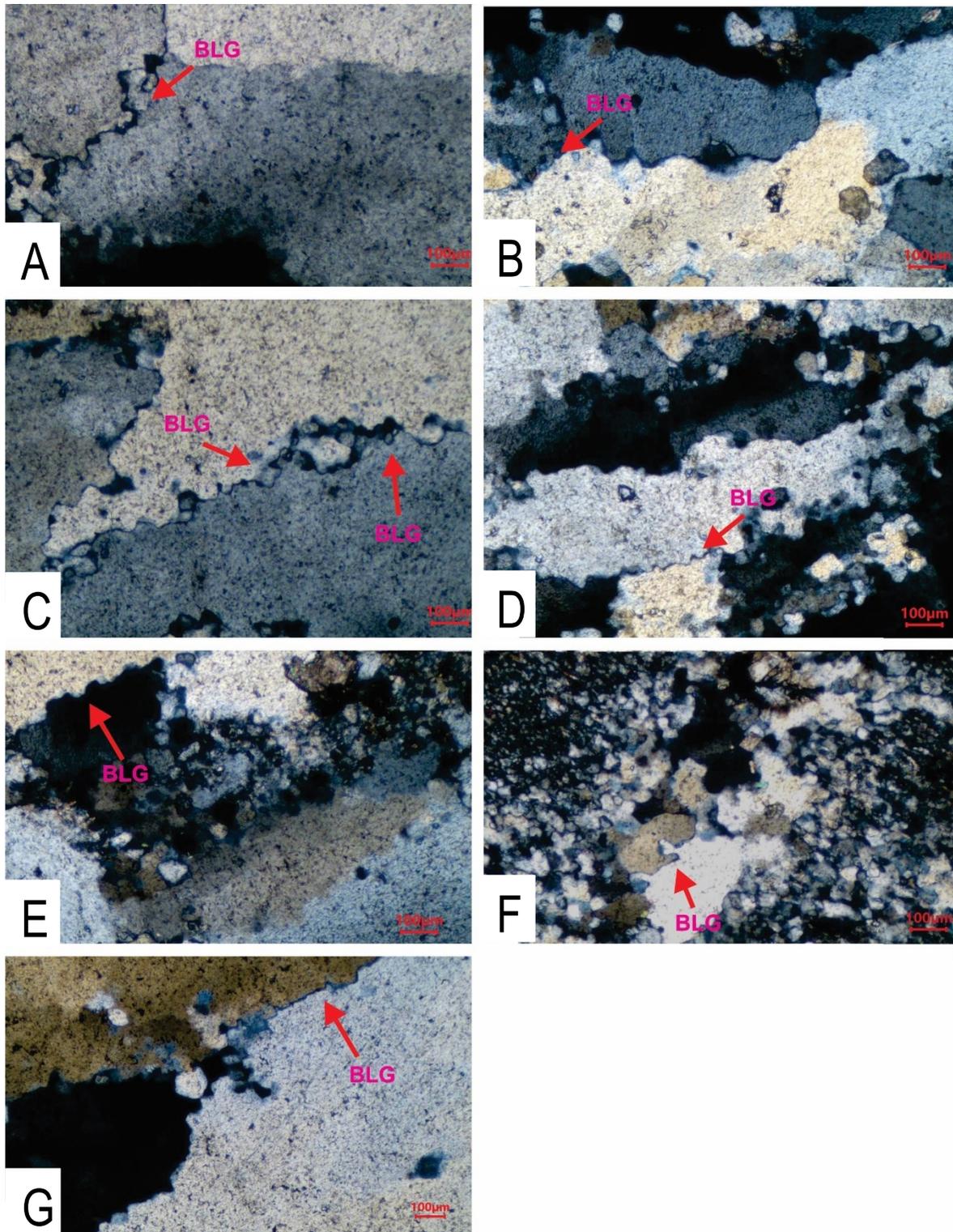


Figura 68. Mecanismos de deformación presentes en la sección JD 153. A, B, D, E, F, G presentan cuarzo con extinción ondulante y Bulging (BLG).

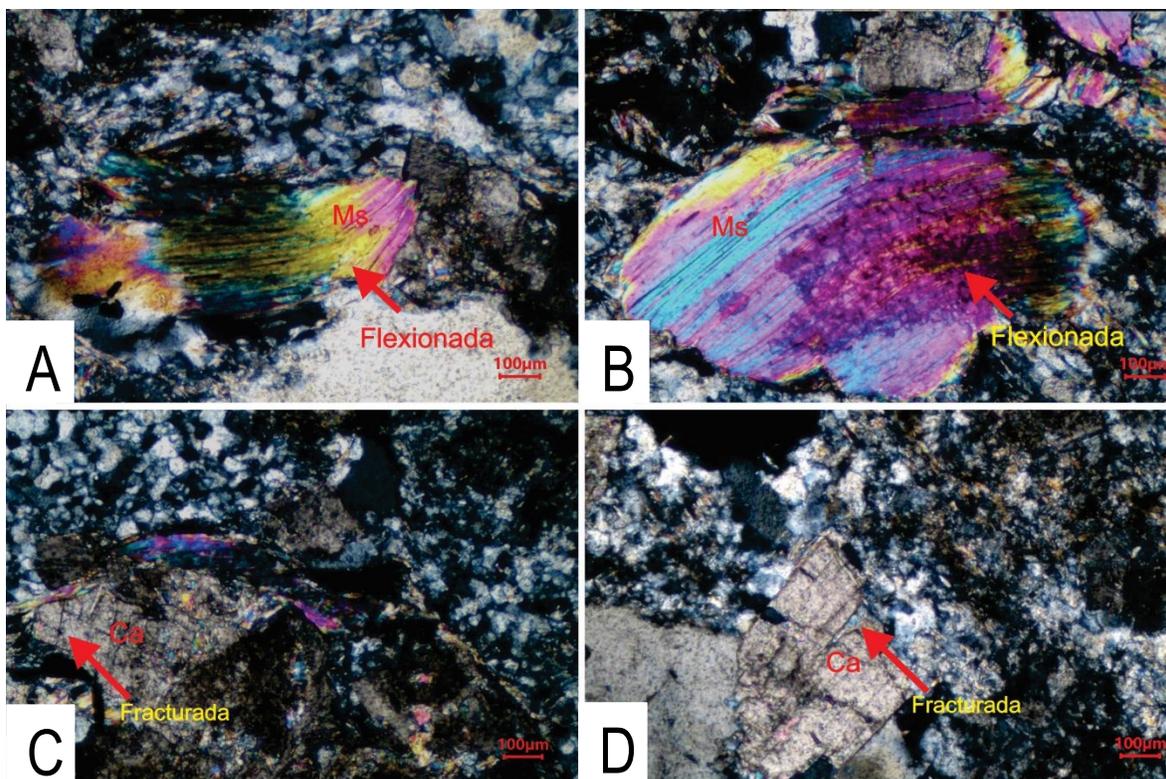


Figura 69. Mecanismos de deformación presentes en la sección JD 153. A y B presentan moscovita con extinción ondulante y flexionadas. C y D, Son carbonatos con fracturamiento de granos.

Tabla 5. Temperatura de deformación por mineral y roca de sección JD-153.

MECANISMOS DE DEFORMACIÓN-JD153				
Estructura	Temperatura °C-Mineral			Espectro-Temperatura de la roca
	Cuarzo	Moscovita	Carbonatos	
Extinción Ondulante	Deformación plástica	Deformación plástica	-----	Intervalo de T° para Qz es desde (300-400) °C
Bulging (BLG)	(300-400) °C	-----	-----	Intervalo de T° para Ms es >250 °C
Mineral flexionado	-----	>250°C	-----	Temperatura de deformación de la roca JD-153 es de (300-400) °C
Fracturamiento de granos	-----	-----	Bajas temperaturas	

Para las secciones delgadas JD-159 y JD153, el rango de temperatura de deformación es de (300-400) °C (W.Passchier & A.J.Trouw, 2005)(Tabla 4 y Tabla 5). milonita de grado bajo (Trouw & Passchier, 2010) definida por temperatura de deformación y presencia de peces de porfiroclastos (Qz y Ms); Régimen 01 de recristalización dinámica del cuarzo, definida por T° bajas y estrés diferencial alto.

12.1.2. *Protocataclasita a Partir de una Toba Andesítica JD-01*

Se identifican microestructuras relacionadas con flujos cataclásticos, deslizamientos friccionales entre clastos y plasticidad intracristalina.

Se presentan en minerales como la hornblenda (Hb), plagioclasas alteradas (Plg alt), cuarzo(Qz), zoisita clinozoisita (ZC) y epidota (Ep) un comportamiento dinámico correspondiente a deformación frágil representado por microgrietas, especies minerales totalmente fracturados, deslizamientos y rotaciones entre fragmentos de minerales, el cuarzo (Qz) se presenta con extinción ondulante; también, la matriz se describe como un flujo cataclástico indicado por granos triturados de un tamaño menor a 20 µm (Figura 70).

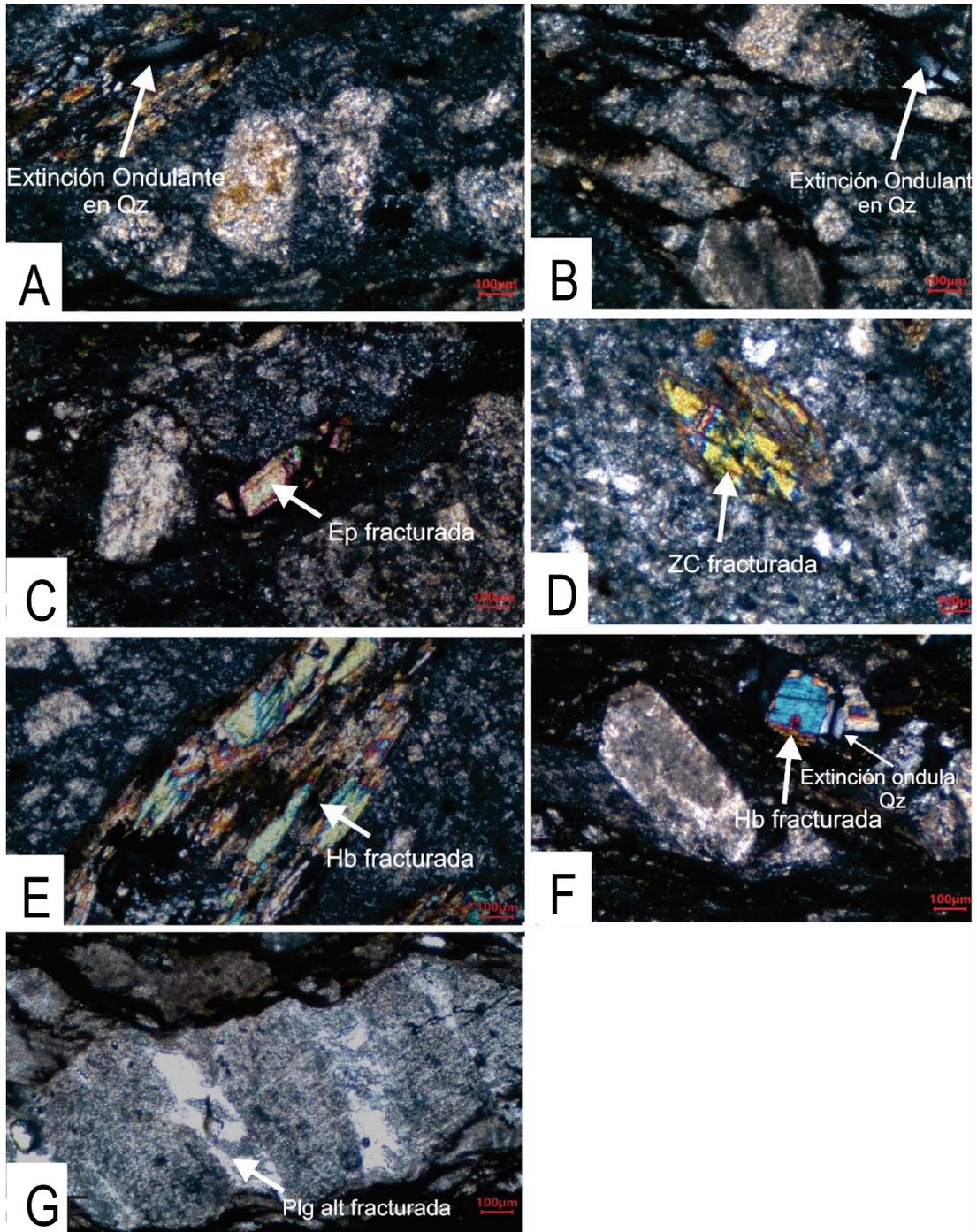


Figura 70. Mecanismos de deformación presentes en la sección JD-01. A, B y F, cuarzo (Qz) con extinción ondulante. C y D, cristales de epidota (Ep) y zoisita-clinozoisita (ZC) fracturados. E y F, hornblenda (Hb) fracturada. G, plagioclasa alterada (Plg alt) fracturada.

Tabla 6. Temperatura de deformación por mineral y roca de sección JD-01.

MECANISMOS DE DEFORMACIÓN-JD01				
Estructura	Temperatura °C-Mineral			Espectro-Temperatura de la roca
	Cuarzo	Plagioclasa	Hornblenda	
Fracturamiento de granos	< 300°	Deformación frágil	< 650°	Intervalo de T° para Qz es <300 °C Intervalo de T° para Plg es <400 °C
Extinción Ondulante		-----	-----	Intervalo de T° para Hb es <650 °C, mineral que pudo haber tenido deformación previa.
Microfallas	-----	< 400°	-----	
Temperatura de deformación de la roca JD-01 es < 300 °C				

El rango de temperatura de deformación para la sección delgada JD 01 es < 300°C (W.Passchier & A.J.Trouw, 2005)(Tabla 6). Protocataclasita (Trouw & Passchier, 2010) definida por presencia de flujo cataclástico descrito en la matriz y fracturamiento de granos como microgrietas y microfallas presentes en Qz y Plg. La hornblenda presenta temperaturas menores a 650°C pero es posible que haya tenido una deformación heredada, pues es un mineral que se presenta bastante fracturado y no está completo, se encuentra fragmentado, en comparación con el Qz y Plg que se encuentran completos pero fracturados. Por lo mismo no es equivalente la magnitud de la deformación con estos tres minerales y se indica que la Hb presenta una deformación previa.

12.1.3. *Cataclasita a partir de una Grauwaca feldespática JD-122*

Se identifican microestructuras relacionadas con flujos cataclásticos, deslizamientos friccionales entre clastos, plasticidad intracrystalina y textura de pseudotaquilitas.

Se presentan en minerales como plagioclasas alteradas (Plg) y cuarzo (Qz), un comportamiento dinámico correspondiente a deformación frágil representado por microgrietas, especies minerales totalmente fracturados, el cuarzo (Qz) se presenta con extinción ondulante; también, se observa venas de vidrio con textura de flujo indicado por material triturado con tamaños menores a 25 µm (Figura 71 y Figura 72).

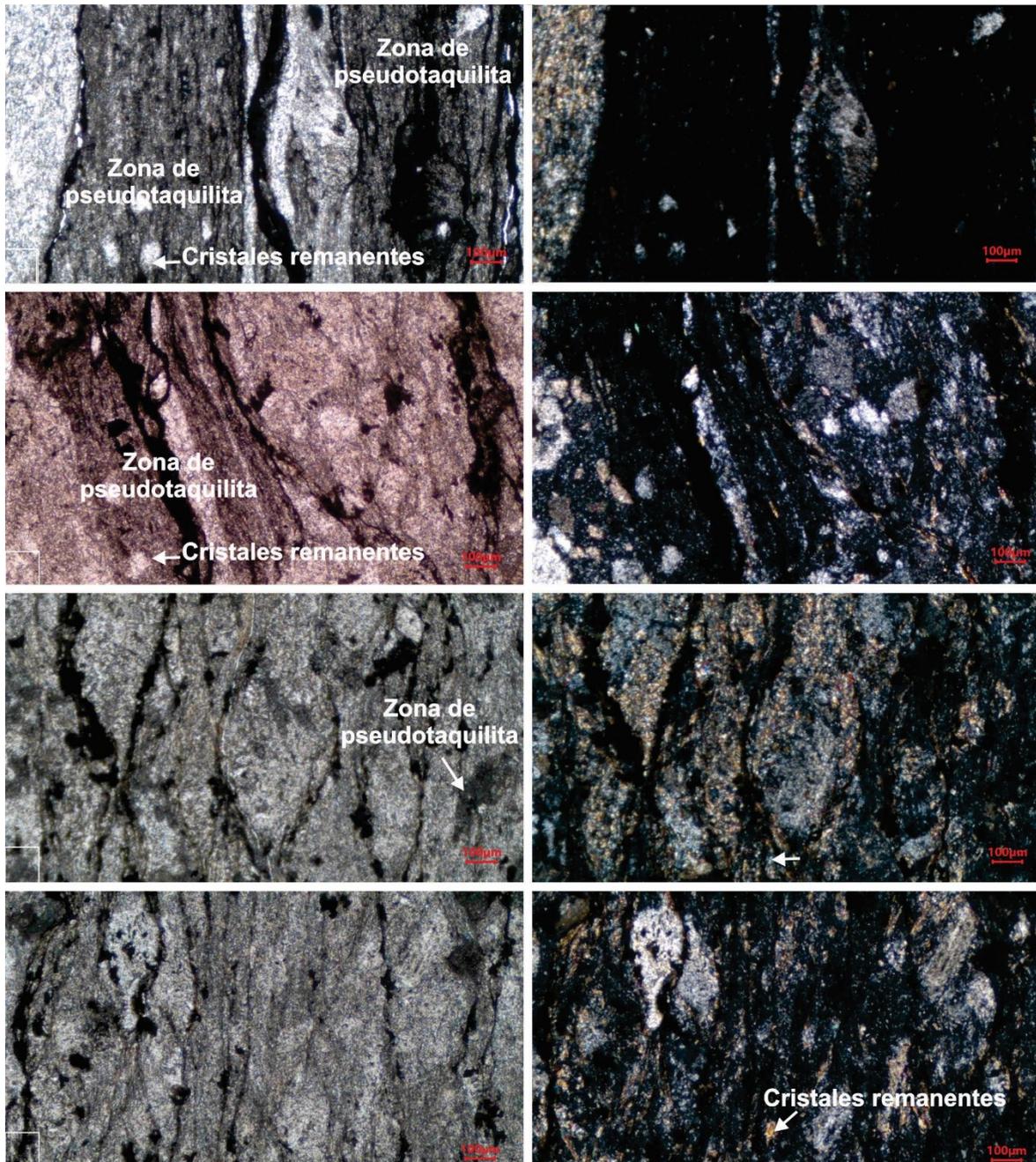


Figura 71. Sección JD-122. Imagen de Izq (PPL) y Der (XPL) distintas presentaciones de textura pseudotaquilita, se observan venas de vidrio con textura de flujo, presentan fragmentos angulares remanentes de Qz y Plg

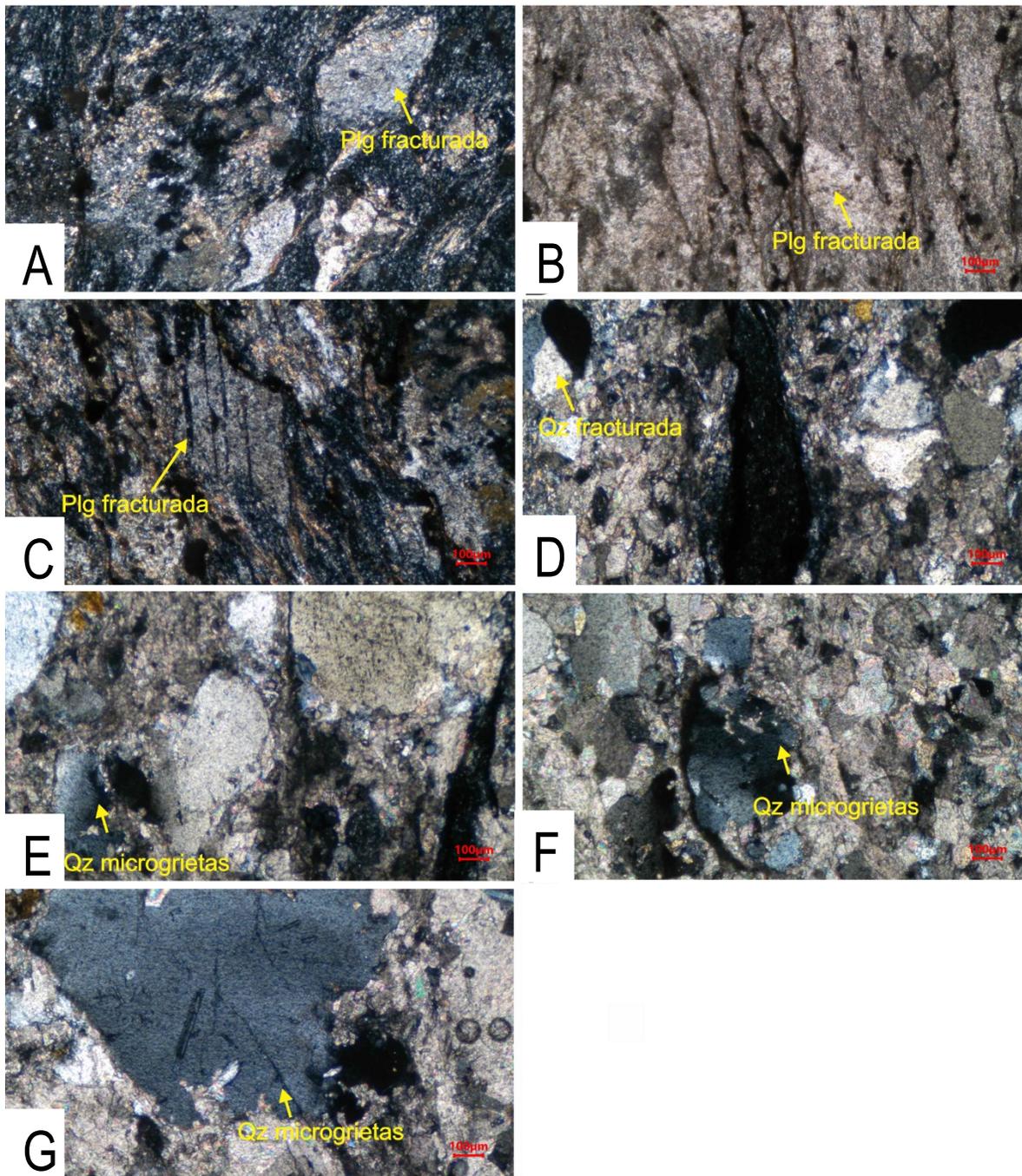


Figura 72. Sección JD-122. Microestructuras. A, B y C, plagioclasa (Plg) fractura. D, E, F y G, cuarzo (Qz) con microgrietas.

Tabla 7. Temperatura de deformación por mineral y roca, sección JD-122

MECANISMOS DE DEFORMACIÓN-JD122			
Estructura	Temperatura °C-Mineral		Espectro-Temperatura de la roca
	Cuarzo	Plagioclasa	
Fracturamiento de granos	< 300°	Deformación frágil	Intervalo de T° para Qz es <300 °C Temperatura de deformación roca JD-122 es < 300 °C
Extinción Ondulante		-----	

Secciones delgadas JD-274, el rango de temperatura de deformación es < 300°C (W.Passchier & A.J.Trouw, 2005)(Tabla 7). Protocataclásita (Trouw & Passchier, 2010) definida por presencia de un flujo cataclástico presente en franjas conformadas por vidrio y material triturado, también fracturamiento de granos como microgrietas y microfallas presentes en Qz y Plg.

12.1.4. Cataclasita a partir de una Andesita Porfírica. JD-274

Se identifican microestructuras relacionadas con flujos cataclásticos y deslizamientos friccionales entre clastos, se presentan en cuarzo (Qz), un comportamiento dinámico correspondiente a deformación frágil representado por microgrietas, especies minerales totalmente fracturados y con extinción ondulante (Figura 73).

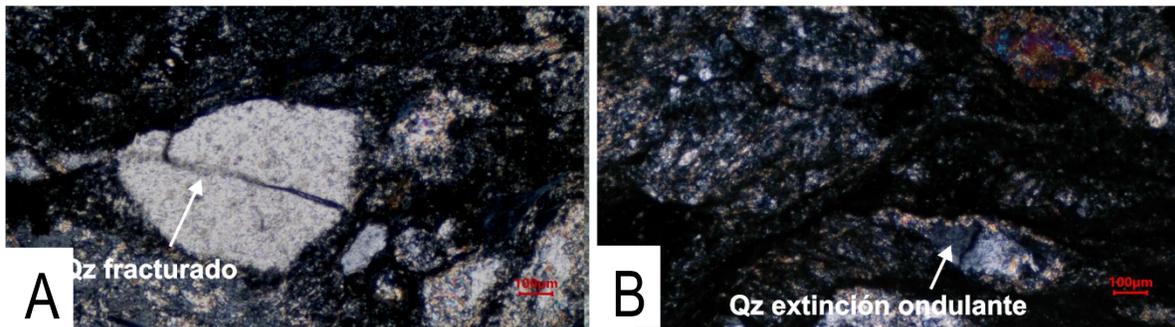


Figura 73. Sección JD-274. Microestructuras. A, cuarzo (Qz) fracturado. B, cuarzo (Qz) con extinción ondulante.

Tabla 8. Temperatura de deformación por mineral y roca, sección JD-274

MECANISMOS DE DEFORMACIÓN JD-274			
	Temperatura °C-Mineral		Espectro-Temperatura de la roca
Estructura	Cuarzo	Plagioclasa	
Fracturamiento de granos	< 300°	Deformación frágil	Intervalo de T° para Qz es <300 °C Temperatura de deformación roca JD-274 es < 300 °C
Extinción Ondulante		-----	

Secciones delgadas JD-122, el rango de temperatura de deformación es < 300°C (W.Passchier & A.J.Trouw, 2005) (Tabla 8). Protocataclasita (Trouw & Passchier, 2010) definida por fracturamiento en cuarzo.

Se obtuvieron 5 secciones delgadas de afloramientos representativos de distintos lugares de la zona de estudio para conocer las temperaturas de deformación y la deformación presente en el campo frágil o dúctil.

Las secciones se rotularon como JD-153, JD-159, JD-01, JD-122 y JD-274. Las secciones JD-153 y JD-159 indicaron microestructuras presentes en deformación dúctil, las otras secciones JD-01, JD-122 y JD-274 se analizaron y por sus microestructuras pertenecen en el campo frágil de deformación.

Las secciones JD-153 y JD-159 corresponden a la parte nororiente sector Río Blanco y la Sultana, se clasificaron como milonitas de grado bajo a partir de conglomerados, se identifican microestructuras relacionadas con plasticidad intracristalina y recristalización en cuarzo y moscovita, extinción ondulatoria en cuarzo y moscovita, cristales de moscovita flexionada, Bulging (BLG) y subgranos con ligeras rotaciones internas en cuarzo. Indicando temperaturas de deformación de 300-400°C en régimen 01 de recristalización dinámica del cuarzo definida por bajas temperaturas y estrés diferencial alto.

La sección JD-01 corresponde a la parte central de la zona de estudio entre los municipios de Manizales y Villamaría cerca al río Chinchiná y a la antigua carrilera, la roca se clasificó como una protocataclasita a partir de una toba andesítica, se identificaron microestructuras con flujos cataclásticos, deslizamientos friccionales entre clastos, fracturamiento de granos de cuarzo y plagioclasa, microfallas en plagioclasa y extinción ondulante en cuarzo. El rango de temperatura de deformación es < 300°C.

La sección JD-122 está localizada en la parte baja del escarpe del Alto Tablazo, se clasificó como una cataclasita a partir de una Grauwaca feldespática, se identifican microestructuras relacionadas con flujos cataclásticos, deslizamientos friccionales entre clastos, plasticidad intracristalina y textura de pseudotaquilitas con material triturado de tamaño menores a 25 μm , el cuarzo y plagioclasa se encuentran con microgrietas y fracturados, el cuarzo presenta extinción ondulante. El rango de temperatura de deformación es $< 300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La sección JD-274 corresponde a la parte suroccidental de la zona de estudio cerca de San Peregrino, se clasificó como una cataclasita a partir de una andesita porfírica, se identifican microestructuras relacionadas con flujos cataclásticos y deslizamientos friccionales entre clastos, el cuarzo presenta extinción ondulante con microgrietas y especies minerales totalmente fracturados. El rango de temperaturas de deformación es $<300^{\circ}\text{C}$.

13. EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA DE LA FALLA RÍO BLANCO

El siguiente capítulo corresponde a las evidencias obtenidas a distintas escalas de la falla estudiada, se recolectó y filtró información tomada en campo como evidencias del control estructural de la falla Río Blanco. En primer lugar, se tendrá en cuenta el alineamiento y estructuras geomorfológicas que se manifiestan a escala macroscópica, a escala mesoscópica se presenta orientación de minerales, fallas locales, familias de diaclasas y zonas de cizalla.

La falla Río Blanco, se localiza en la ciudad de Manizales (Caldas, Colombia), la descripción de los caracteres físicos tuvo como punto de inicio la reserva ecológica Río Blanco ubicada cerca del barrio la Sultana, nororiente de Manizales, y como punto final la locación de San Peregrino- Vía Chinchiná, suroccidente de Manizales. El estudio de campo se realizó en afloramientos encontrados a nivel de distintas líneas de drenaje, mencionadas a continuación (Figura 74).

Comenzando en la parte nororiente de la zona de estudio, quebrada Olivares-Río Blanco, la falla sigue en dirección suroccidente pasando por La Sultana, la Universidad de Caldas, barrio Fátima, río Chinchiná entre los límites de los municipios de Manizales y Villamaría, por último, se ramifica en tres microcuencas representadas por las siguientes líneas de drenaje: quebrada Norte (QN), Quebrada Guacas (QAT) y quebrada La Siria (QS).

Por lo dicho anteriormente, la zona de estudio se encuentra estructurada en tres sectores principales: Sultana-Reserva Río Blanco (SRRB), Río Chinchiná – Zona de la antigua Carrilera (AC) y San peregrino - Antigua vía a Chinchiná (QN, QAT, QS).

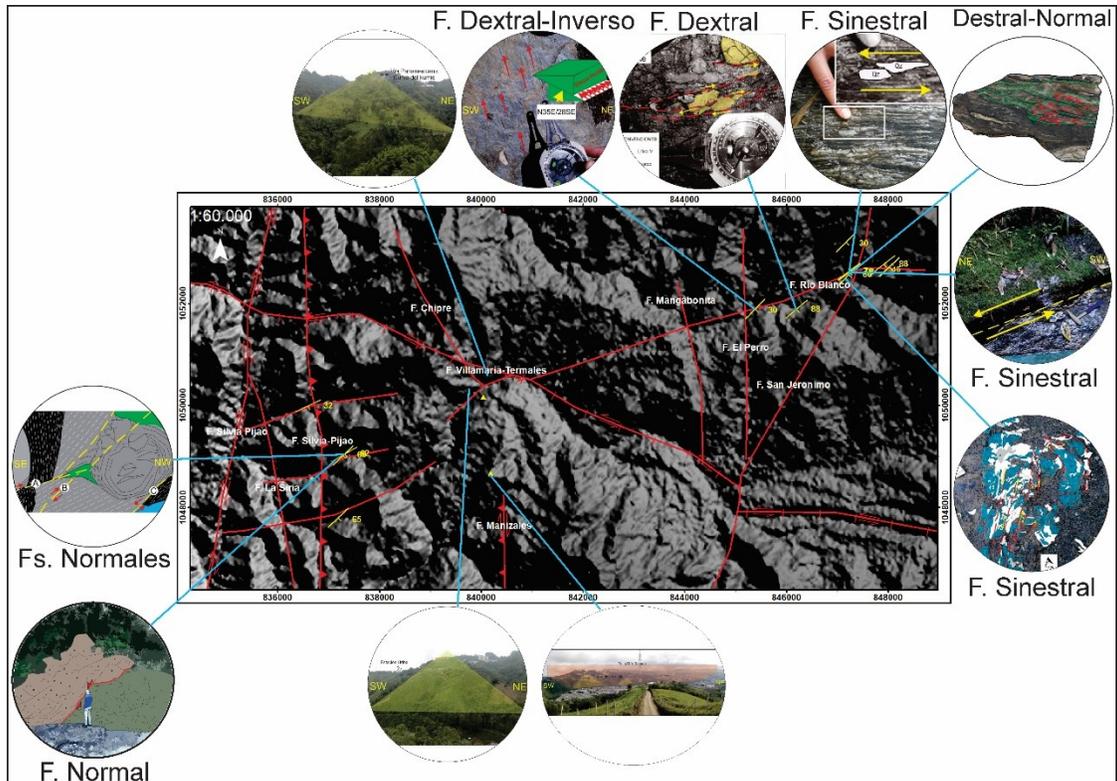


Figura 74. Mapa con las evidencias de falla encontradas en campo a nivel mesoscópico y macroscópico de la falla Río Blanco.

13.1. Zona entre La Sultana y Reserva Río Blanco (SRRB)

Las evidencias de la falla se indican a nivel mesoscópico y en distintas litologías, como lodolitas con lentes de cuarzo, conglomerados y tobas. Se presentan rasgos estructurales como orientación de la foliación, zonas de cizalla, fallas locales y familias de diaclasas; las rocas se presentan en el régimen dúctil y frágil, en este sector se indican dos movimientos, sinistral y dextral.

13.1.1. Régimen Dúctil

13.1.1.1. Lodolitas con Lentes de Cuarzo Deformados

Los lentes de cuarzo se presentan con forma lenticular o fajas discontinuas y alcanzan espesores de mm a cm, los lentes son simétricos (tipo Φ) y asimétricos (tipo σ) con indicadores cinemáticos sinistral dato estructural de la orientación N55E/36SE y foliación anastomosada (Figura 75 y Figura 76 A), en el mismo afloramiento pero más cerca de la reserva Río Blanco se presenta en la roca estructura S-C' con movimiento dextral (Figura 76B).

La muestra de mano JD-113 fue tomada en afloramiento cercano al río Olivares, sector Río Blanco parte baja. Clasificada como lodolita con lentes de cuarzo, presenta deformación dúctil, estructura tipo S-C donde los lentes de cuarzo están con forma sigmoideal indicando movimiento dextral en muestra de mano, foliación con orientación N35E/ 23SE (Figura 77) movimiento en afloramiento es dextral-normal (Figura 78).

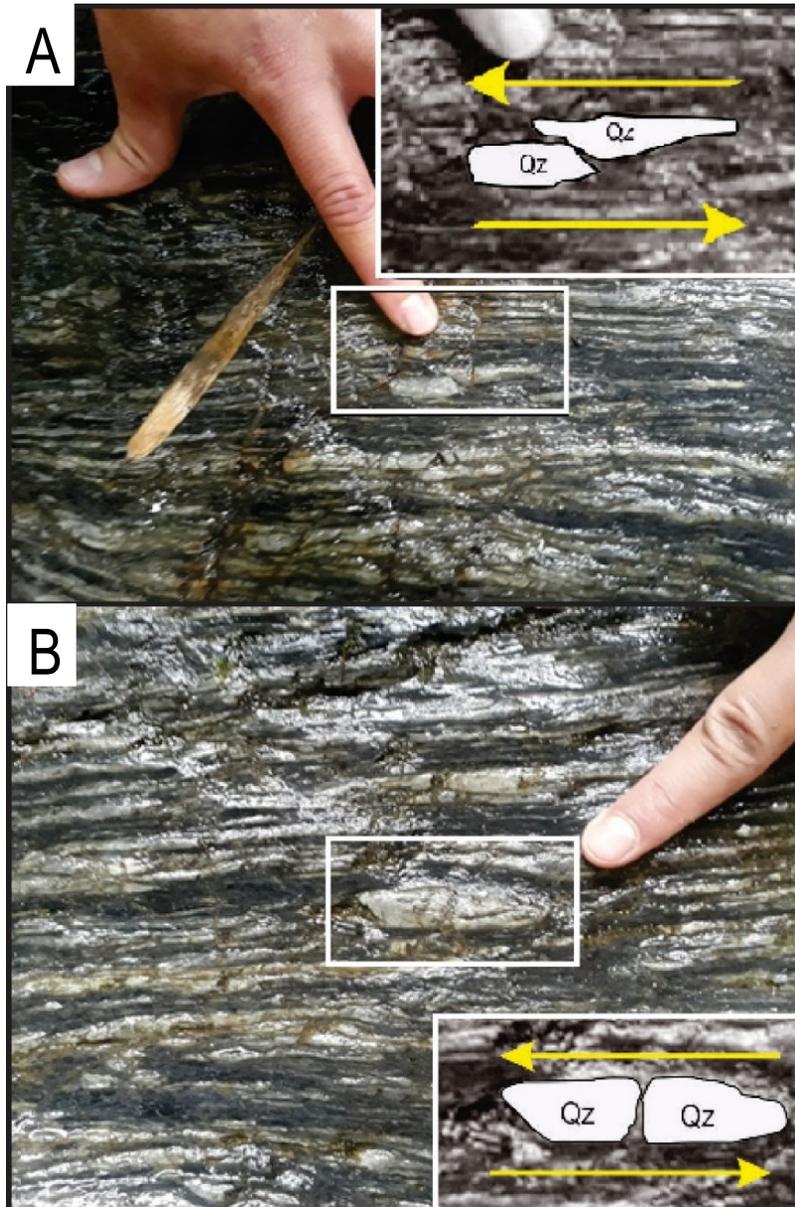


Figura 75. A. Lente de cuarzo deformado asimétricamente tipo σ (lente superior) y tipo sigmoideo (lente inferior) indicando componente de rumbo sinistral. B. Lente de cuarzo deformado asimétricamente tipo sigmoideo indicando cinemática sinistral. Reserva Río Blanco.

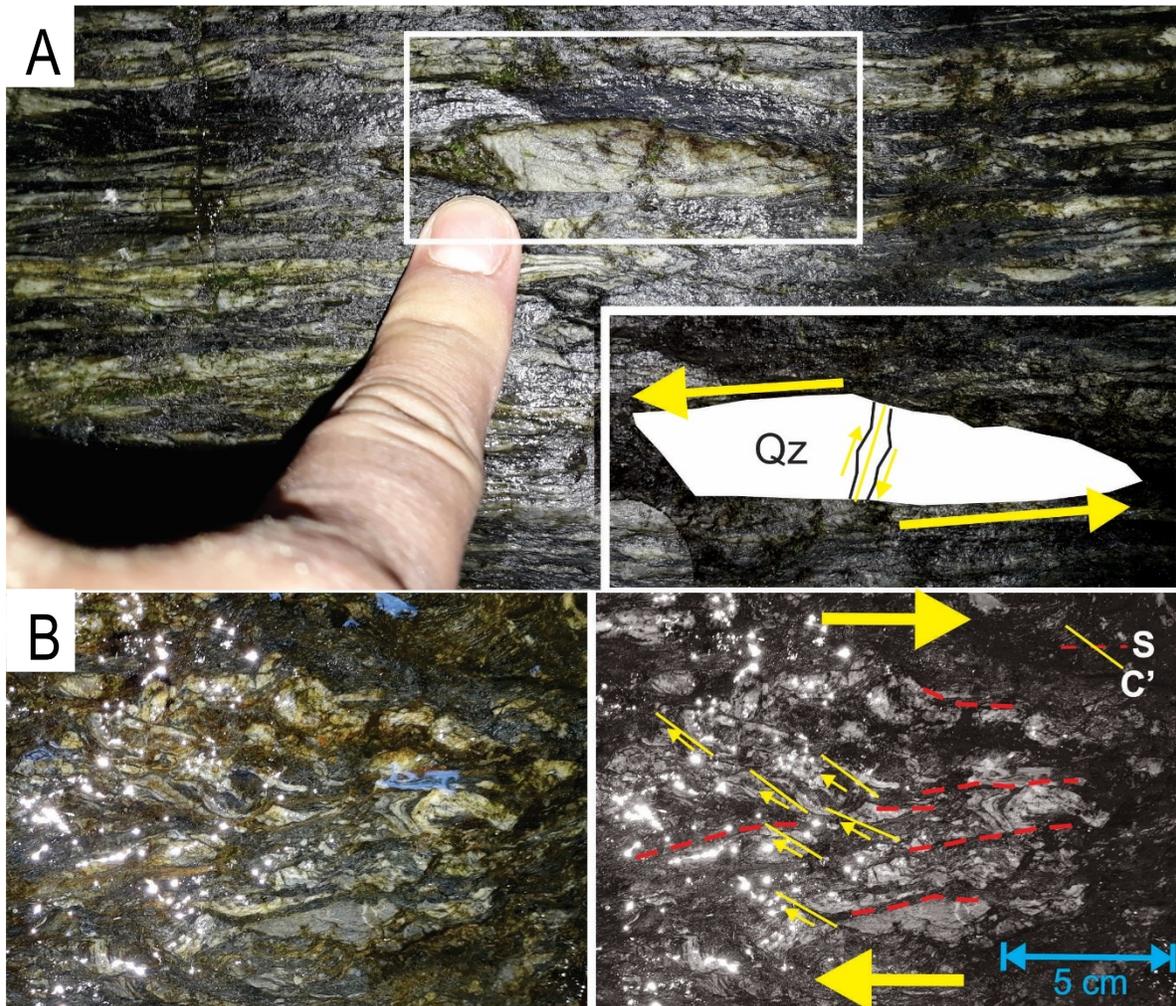


Figura 76. A. Lente de cuarzo deformado asimétricamente, tipo Sigmoideo indicando cinemática sinistral. B. Lentes de cuarzo deformados, estructura S-C', cizalla destal .quebrada Olivares- Río Blanco.

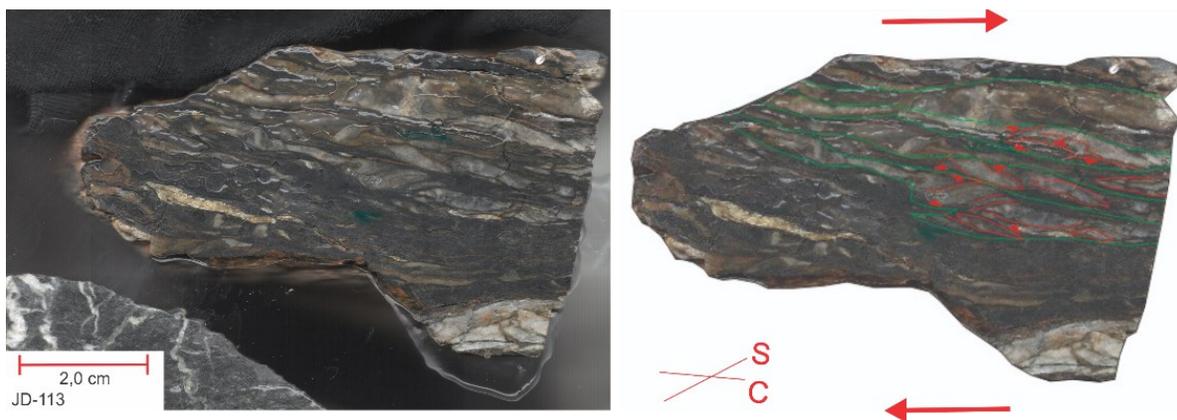


Figura 77. Muestra de mano JD-113, lodolita con lentes de cuarzo con estructura S-C indicando movimiento destal paralelo a la foliación. Sector Río Blanco parte baja, próximo al río Olivares y sector la sultana,

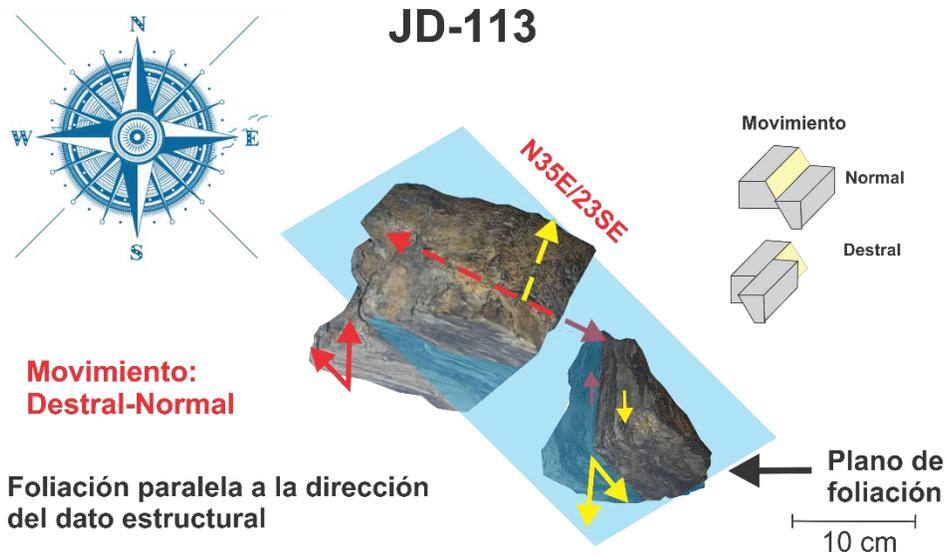


Figura 78. JD113, movimiento en muestra de mano destral, trasladado a muestra de mano orientada. Cinemática en el afloramiento, Destral-Normal.

13.1.1.2. Cizalla Presente en Lodolitas con Lentes de Cuarzo

A nivel de piso en la carretera que conduce a la reserva Río Blanco, se presenta deformación dúctil en lodolitas con lentes de cuarzo, hay pliegues de arrastre con indicadores cinemáticos sinestrales, dato estructural N45E/60SE (Figura 79).

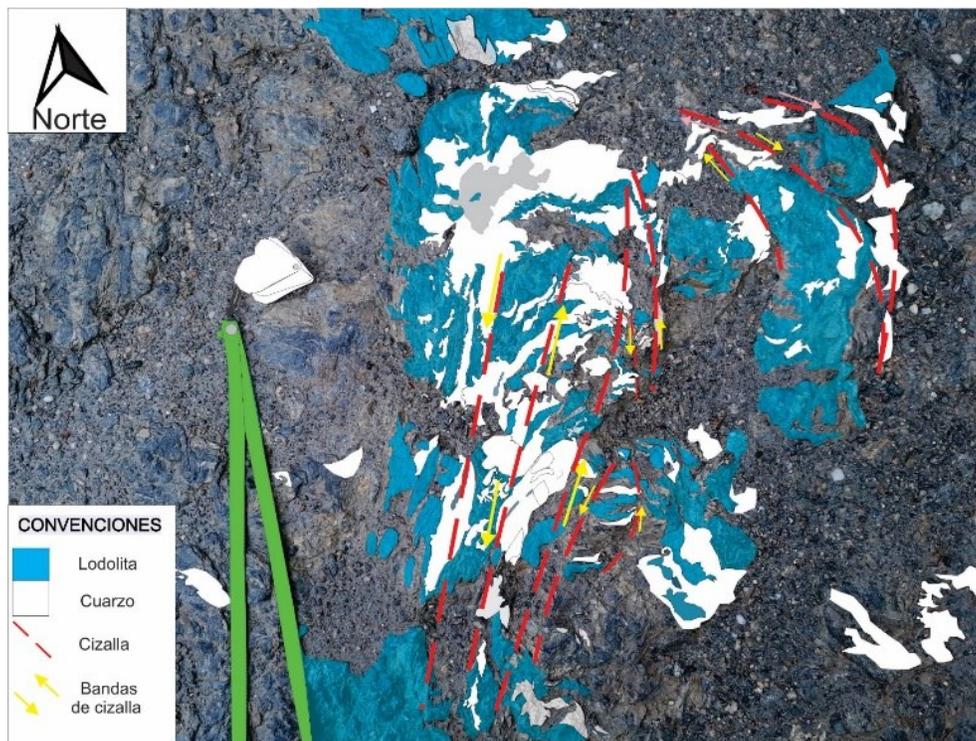


Figura 79. Foto a nivel de piso, lodolita con cuarzo, cizalla sinistral- cerca de la Reserva Río Blanco.

13.1.1.3. Microestructuras e Indicadores Cinemáticos

Las secciones delgadas JD-159 y JD-153, representan afloramientos constituidos por conglomerados con deformación dúctil y movimiento normal-sinistral en afloramiento; la sección delgada JD-01 representa afloramiento de tobas andesíticas con deformación frágil y movimiento normal sinistral (Figura 80).

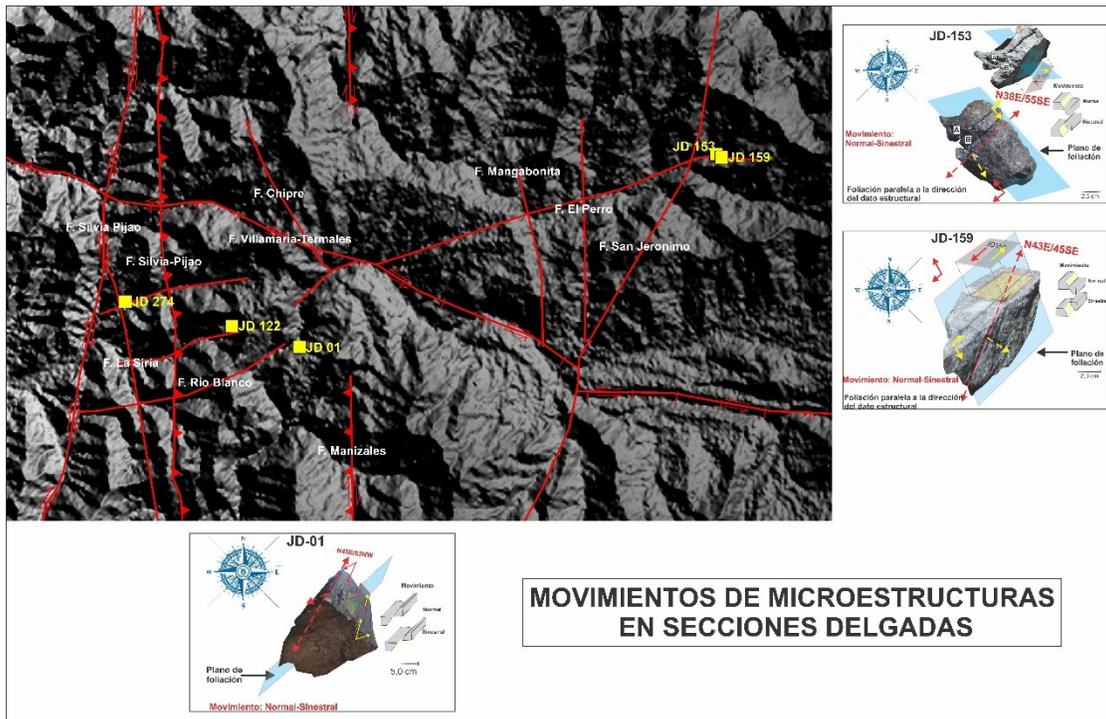


Figura 80. Geolocalización de las secciones delgadas orientadas en campo para la interpretación de microestructuras cinemáticas.

12.1.1.3.1. Sección Delgada JD-159

Dato estructural de la orientación de los clastos N42E/45SE. Se concluye en sección delgada un movimiento sinistral indicado por microestructuras tipo pez en cristales de moscovita (Ms) (Figura 81y Figura 82), el movimiento proyectado de la sección delgada al afloramiento indica un sentido normal-sinistral (Figura 83).

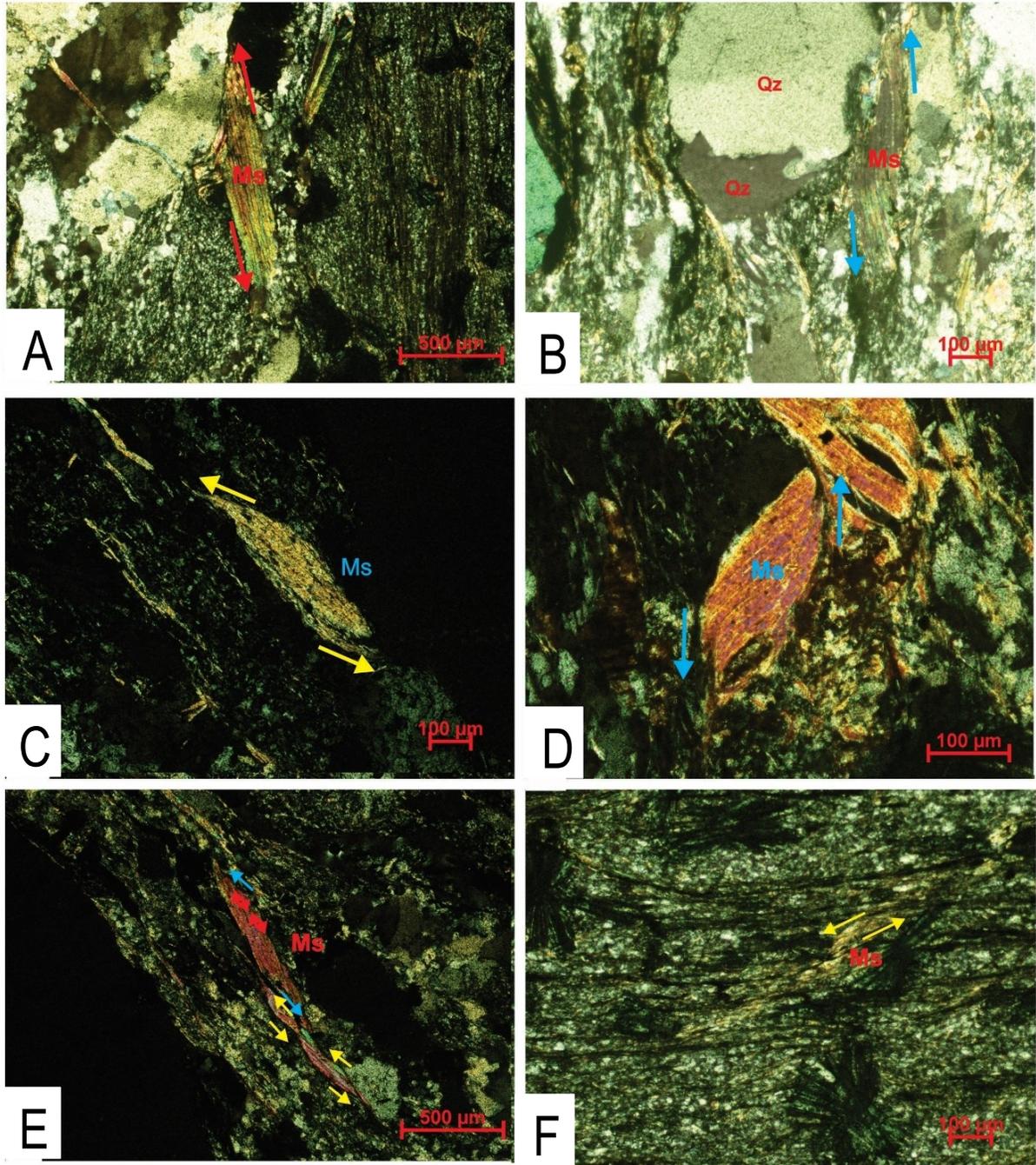


Figura 81. Imágenes microscópicas de muestra JD159(XPL), puede observarse en términos generales que en sección delgada se presenta cinemática sinistral y es paralelo a la foliación. A, B, C, D, E, F Pez de moscovita con sentido de cizalla sinistral. E, se observa tipo domino con movimiento Destral y antitéticas al sentido de la foliación.

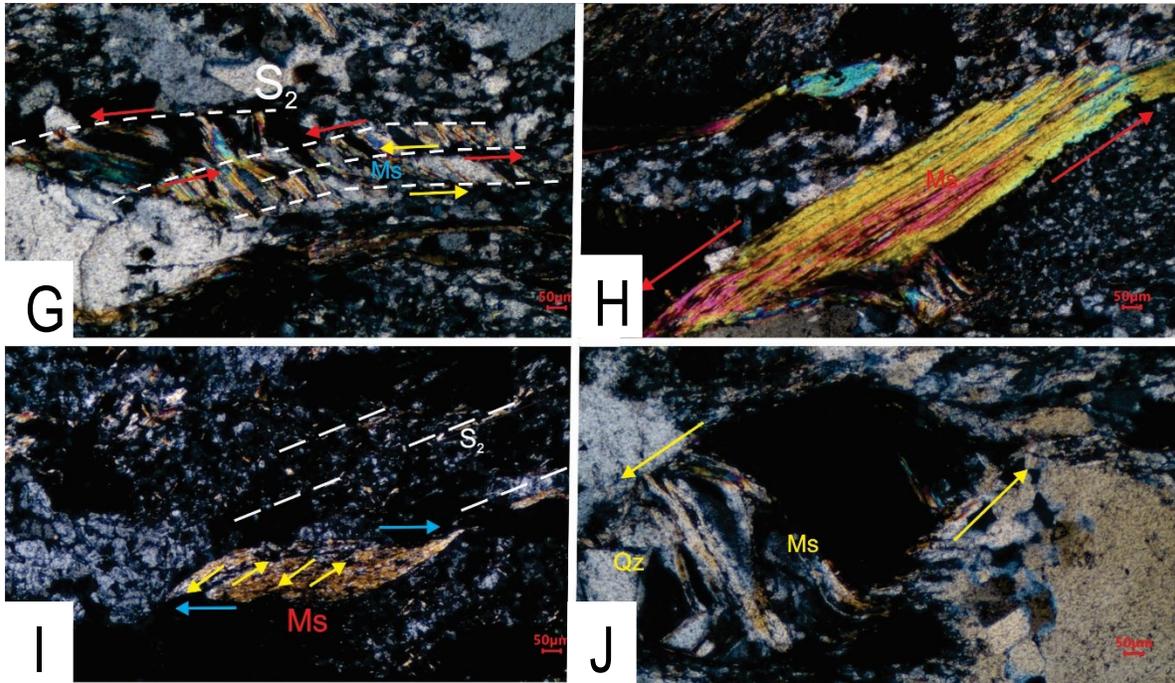


Figura 82. Imágenes microscópicas de muestra JD159 con movimiento sinistral. G, H, I, J, Pez de moscovita. I, tipo domo con movimiento sinistral con respecto al sentido de la foliación y dextral de manera antitética a la foliación. J, se observa un lente conformado por Qz y Ms en donde la Ms en sus extremos presenta microplegues de arrastre e indica un movimiento sinistral.

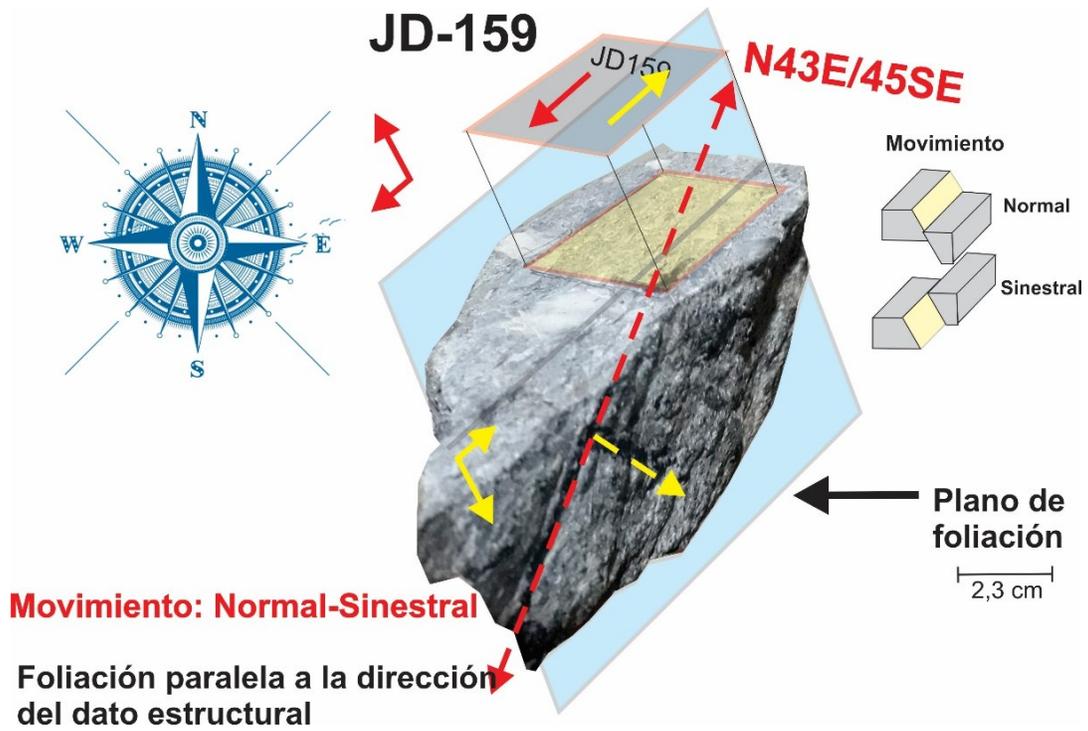


Figura 83. JD159, movimiento en sección delgada (sinistral) trasladado a muestra de mano orientada. Cinemática en el afloramiento, normal-sinistral.

12.1.1.3.2. Sección Delgada JD-153

Dato estructural de la orientación de los clastos N38E/55SE. Se concluye en sección delgada un movimiento dextral (Figura 84 y Figura 85), indicado por microestructuras tipo pez en cristales de moscovita (Ms), la sección presenta otro evento deformativo (S3) cortante con la foliación, indicado por microfallas y crenulación (Figura 86). El movimiento proyectado de la sección delgada al afloramiento indica un sentido normal-sinistral (Figura 87).

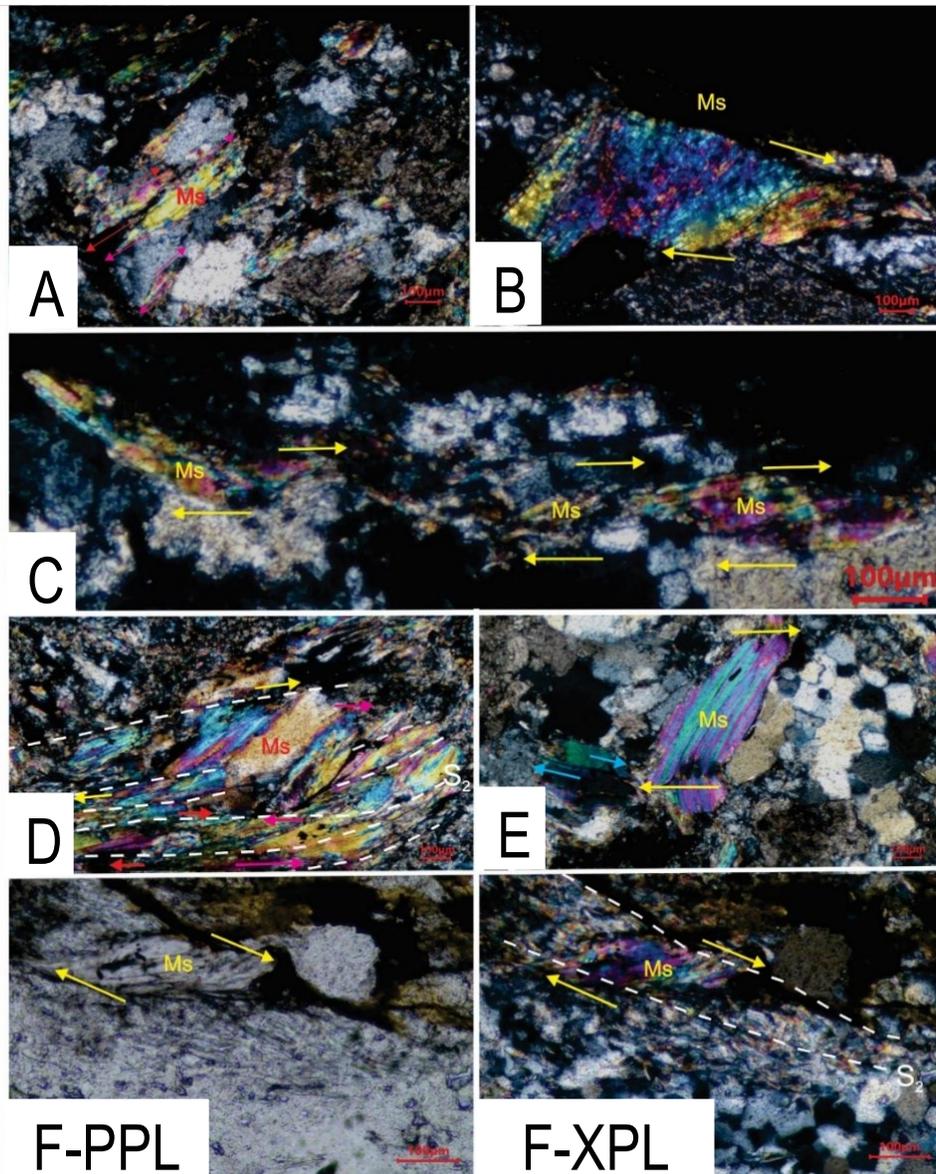


Figura 84. Imágenes microscópicas de muestra JD153 con movimiento dextral. A, pez de moscovita. B, se observa micropliegues de arrastre en moscovita con movimiento dextral. C y D, tipo pez en foliación (S₂). E, moscovita flexionada con sentido dextral en sus extremos. F, moscovita tipo σ .

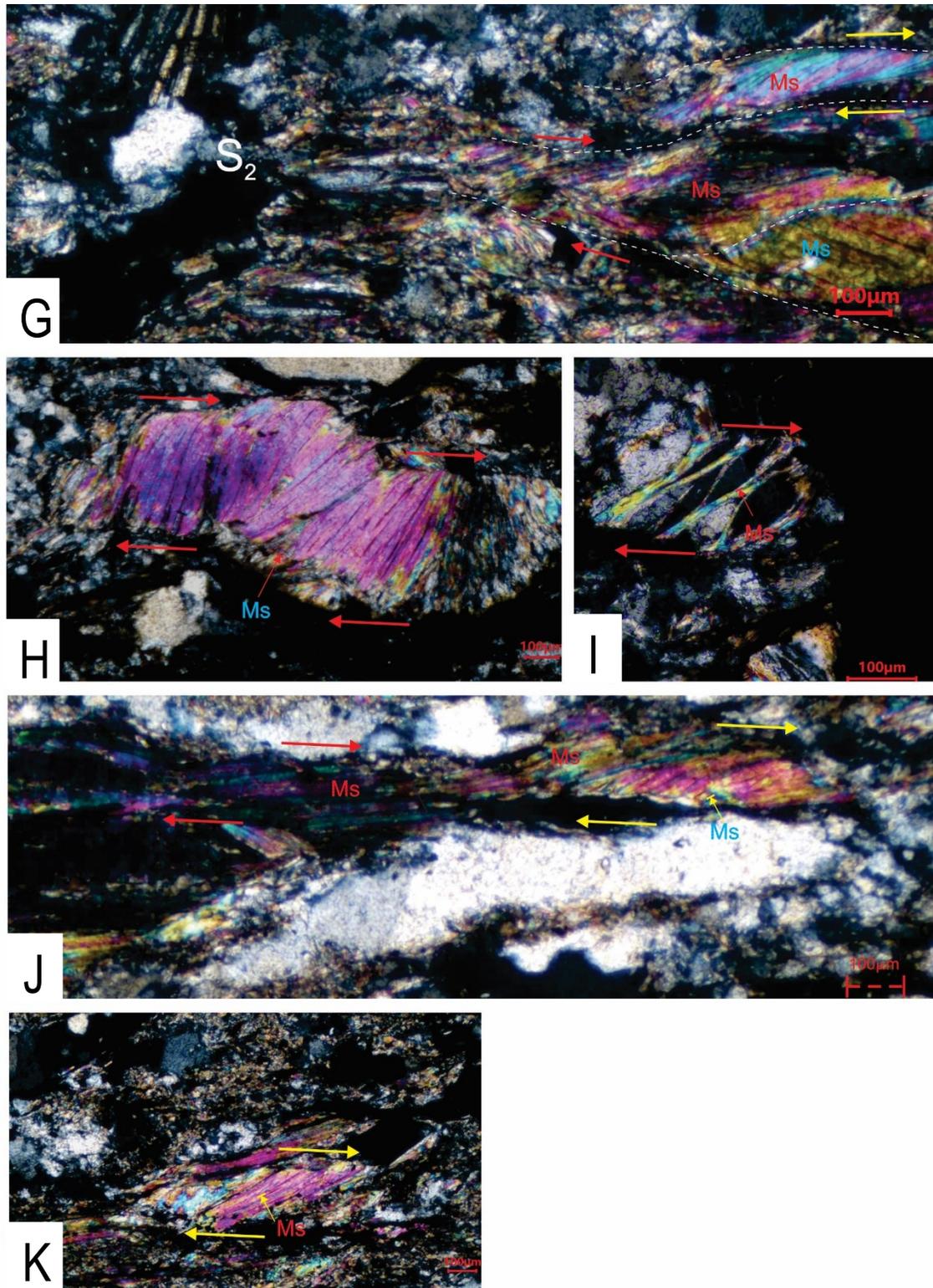


Figura 85. Imágenes microscópicas de muestra JD153 con movimiento distal. G, se observan tipo pez en foliación (S_2). H, moscovita con micropliegues de arrastre. I, filamentos de moscovita flexionados con movimiento distal. J y K, moscovita tipo domino.

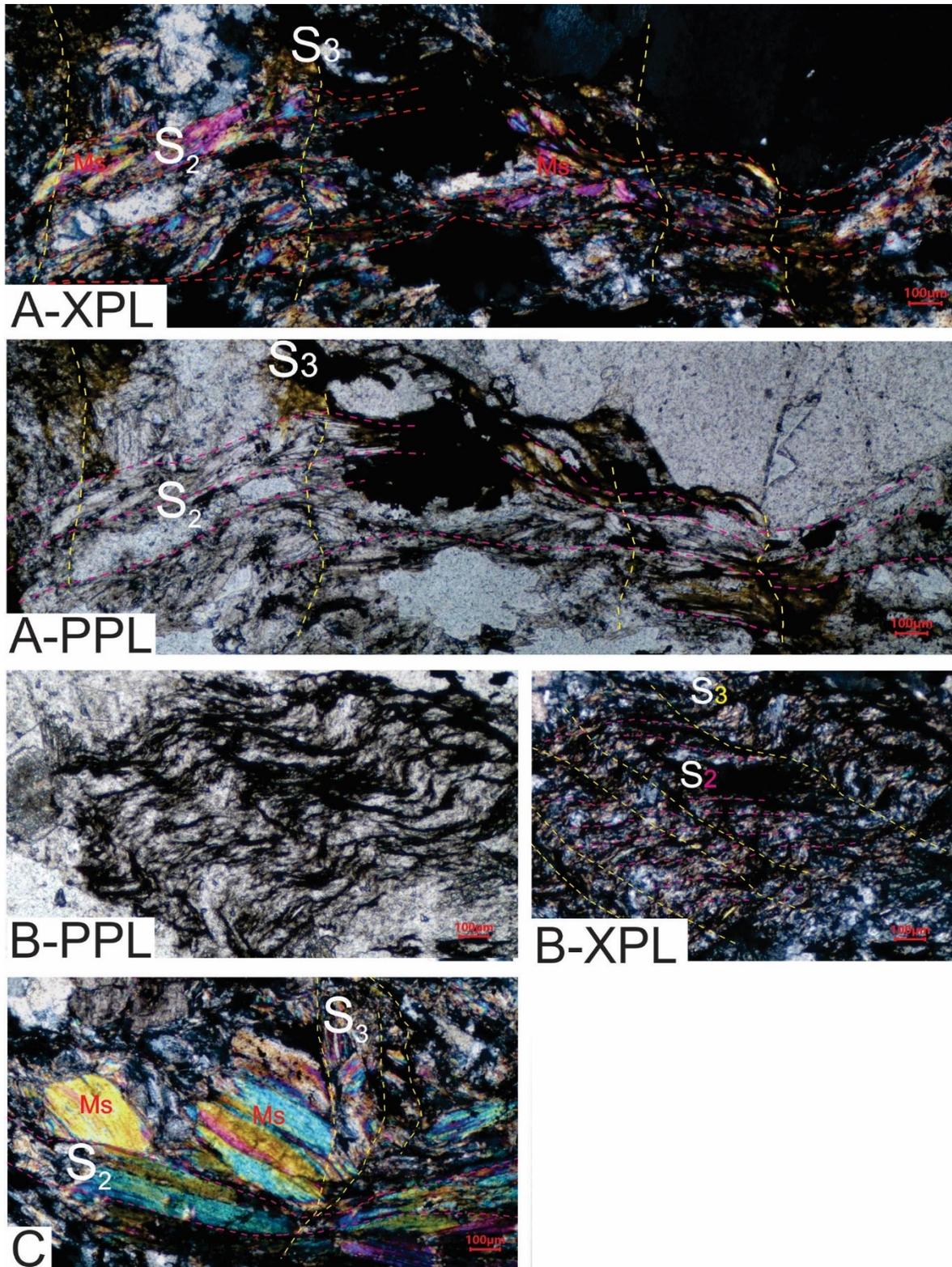


Figura 86. Imágenes microscópicas de muestra JD153. A, B y C, se presenta un evento deformativo (S_3) cortante con la foliación (S_2). A y C, microfallas con orientación (S_3), B, crenulación.



Figura 87. JD153, movimiento en sección delgada (destral) trasladado a muestra de mano orientada. Cinemática en el afloramiento, normal-sinistral.

13.1.2. Régimen Frágil

13.1.2.1. Fallas Presentes en Tobas

Afloramiento localizado en la quebrada Olivares, entre La Sultana y la reserva Río Blanco, los líticos volcánicos tienen forma lenticular y son asimétricos, presentan espesores de centímetros, el cuarzo se presenta fracturado y también de forma lenticular asimétrico, alcanza espesores de milímetros a centímetros, se observa una matriz de material triturado entre los agregados. Se exhiben fallas con movimiento destral, la foliación de la roca es anastomosada con rumbo N 58 E (Figura 88).

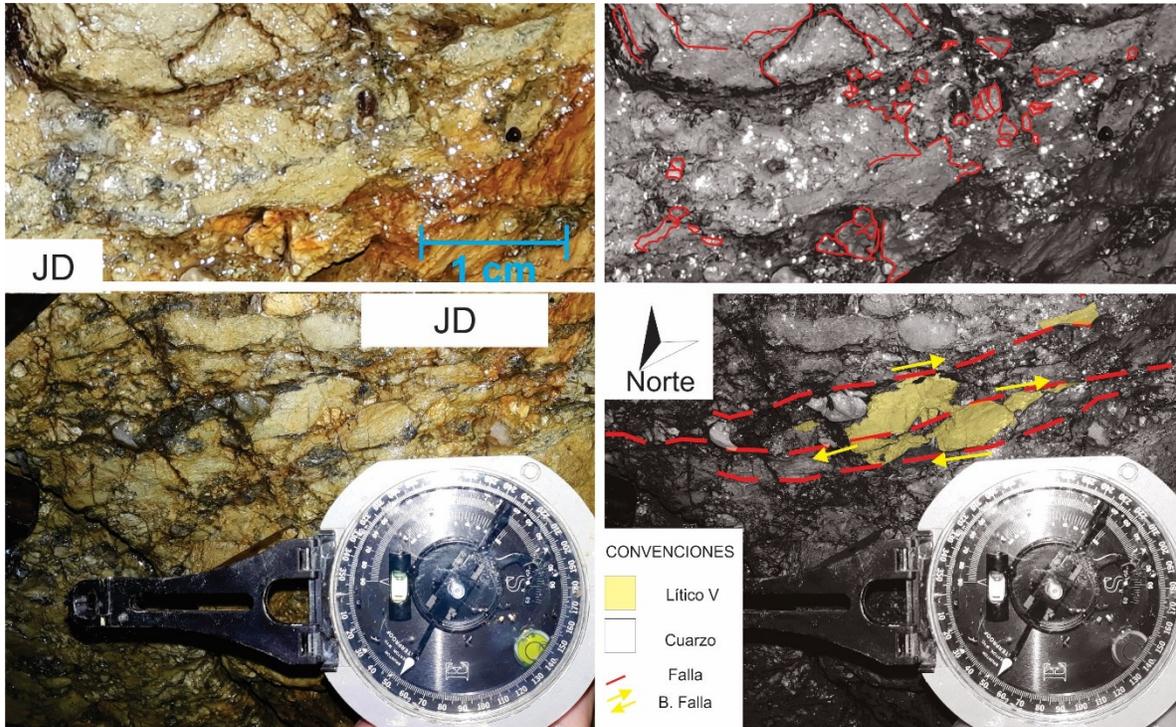


Figura 88 Foto a nivel de piso, Quebrada Olivares. Toba, agregados deformados y triturados, fallas con cinemática dextral. JD, indica cómo se encuentran los agregados, están triturados y fracturados.

13.1.2.2. Falla Presente en Lodolitas

Se presenta en lodolitas negras con deformación en régimen frágil, dato estructural del plano de falla N54E/71SE (Figura 89).

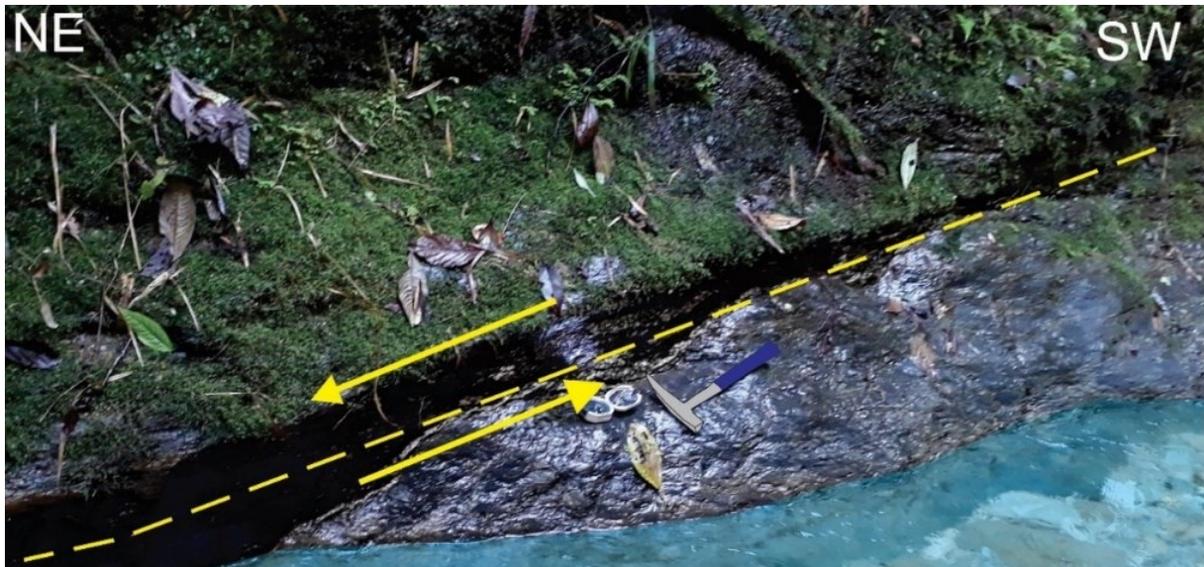


Figura 89. Lodolita, falla sinistral-Quebrada olivares-Reserva Río Blanco. Foto de perfil.

13.1.3. Interpretación de Eventos Deformativos

La interpretación propuesta para esta zona se indica por medio de la reología y régimen de deformación relacionado tanto a un comportamiento dúctil como a otro frágil-dúctil. En primer lugar, las rocas que indican una cinemática en general sinestral, están constituidas por lodolitas con lentes de cuarzo y conglomerados clasto soportados deformados dúctilmente, por análisis hechos a nivel microscópico de las microestructuras presentes en los conglomerados, se determinó una temperatura de deformación entre (300-400) °C, clasificando la roca como milonita de grado bajo, teniendo en cuenta la reología de las rocas, este comportamiento dúctil se presenta dominante en la corteza media. Las rocas que indican un movimiento dextral, fueron clasificadas como lodolitas con lentes de cuarzo deformados dúctilmente, tobas deformadas frágilmente y brecha de falla a partir de conglomerados, aunque no haya mecanismos de deformación analizados, se puede señalar que estas rocas expresan procesos de deformación dúctil y cataclasis, por lo mismo, las estructuras son una expresión de la deformación en el régimen frágil y dúctil, se entiende que se presenta en la zona intermedia entre la parte superior de la corteza y parte media.

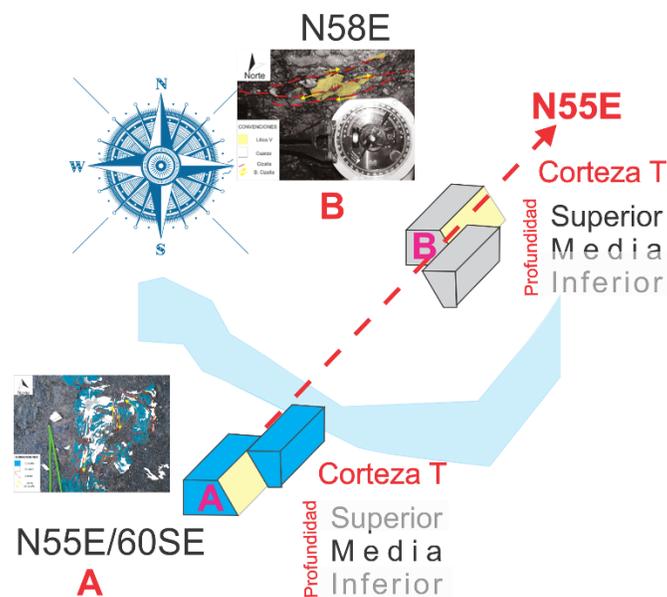


Figura 90. Interpretación gráfica del comportamiento cinemático de la Falla Río Blanco en la zona SRRB.

Teniendo en cuenta la reología de las rocas y la relación del campo dúctil y frágil con respecto a la profundidad, se puede indicar una edad relativa para los dos movimientos. El movimiento sinestral por encontrarse en el campo dúctil, se debe presentar a mayor profundidad y es más antiguo con respecto al movimiento dextral que se indica en el campo frágil.

13.1.4. Diaclasas y Folioaciones

La zona se encuentra en su mayoría conformada por lodolitas negras, lodolitas con lentes de cuarzo y conglomerados, presentan planos de diaclasas y orientación de la foliación con dato estructural N(40-65)E buzando al NW y SE(Tabla 9).

Tabla 9. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector de Río Blanco

LUGAR	TACIÓN(FOT)	COORDENADAS			DATOS ESTRUCTURALES			
		N	W	h (m)	DIACLASAS	FOLIACIÓN	FALLAS	MOV
Sultana Reserva R.Blco	92	5,0703	75,455	2184,34	-	N55E/36SE		
Sultana Reserva R.Blco	88	5,0704	75,4549	2188,3	-	-	N54E/71SE	F.SINISTRAL
Sultana Reserva R.Blco	98	5,0698	75,455	2184,3	-		N45E/60SE	F.SINISTRAL
Sultana Reserva R.Blco	110	5,0703	75,4548	2173	-		N53E/78SE	F.SINISTRAL
Sultana Reserva R.Blco	110	5,0703	75,4548	2173	-	N56E/65NW	-	
Sultana Reserva R.Blco	119	5,0713	75,4517	2218	N40E/67NW	-	-	
Sultana Reserva R.Blco	137	5,0717	75,4496	-	N65E/88NW	-	-	
Sultana Reserva R.Blco	151	5,0717	75,4487	2389,3	-	-	N52E/88SE	F.INVERSA
Sultana Reserva R.Blco	152	5,0719	75,4492	2223	N55E/82SE	-	-	
Sultana Reserva R.Blco	159	5,0713	75,4482	2239	-	N43E/48SE	-	
Sultana Reserva R.Blco	177	5,0756	75,4555	-	-	-	N45E/30SE	
Sultana Reserva R.Blco	312	5,0638	75,4716	-	-	-	N44E/31SE	F. CABALGAMIENTO
Sultana Reserva R.Blco	312	5,0638	75,4716	-	-	-	N45E/35SE	F. CABALGAMIENTO
Sultana Reserva R.Blco	312	5,0638	75,4716	-	-	-	N44E/11SE	
Sultana Reserva R.Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5	-	-	N50E/88SE	F.NORMAL

13.2. Zona de la Antigua Carrilera (AC)

Las evidencias de la falla para este sector son indicadas a escala macroscópica por rasgos geomorfológicos como facetas triangulares, escarpes de falla, hombreras de falla y silletas de falla (Figura 91, Figura 92 y Figura 93). Se obtuvo poca información a escala mesoscópica, se realizó un estudio en afloramientos muy limitado, ya que se encontraron muy pocos, la mayoría de afloramientos se presentan conformados por depósitos aluviales y zonas antrópicas sin accesibilidad a afloramientos de roca.



Figura 91. Foto tomada en el lado sureste del Río Chinchiná en Villamaría (estación 07). Se observan dos triángulos de falla ubicados en el costado noroccidente de la falla Río Blanco en cercanías al barrio Estambul (izquierda) y a la Curva del Kumis (derecha).



Figura 92. Foto tomada en el sector Torres RCN, Villamaría (estación 06). Proyección de la falla Río Blanco desde la Av. Santander hasta el sector de la Estación Uribe con triángulos de falla localizados en el sector de Estambul la Curva del Kumis.



Figura 93.Foto tomada entre el Barrio Colombia y Bajo Prado, indicando el Alto y Bajo tablazo, flanco limitado por el río Chinchiná y municipio de Villamaria - Geformas relacionadas con la falla Río Blanco.

Los rasgos mesoscópicos relevantes son representados por datos estructurales indicados por la orientación de la foliación y diaclasas, los cuales se presentan en dos afloramientos de roca conformados por Ignimbritas deformadas, uno de ellos presenta dato estructural de la foliación N45E/ 53NW (Tabla 10) de la cual se obtuvo la muestra de mano JD-01.

13.2.1. Microestructuras-Indicadores Cinemáticos

Sección delgada JD-01 representa afloramiento constituido por toba andesítica, localizada en la parte central de la zona de estudio, entre los municipios de Villamaría y Manizales, cerca del río Chinchiná y en dirección a la antigua carrilera (Figura 80).

Dato estructural de muestra N20E/87NW (Techo), dato estructural de la foliación N45E/53 NW, en sección delgada se indica movimiento sinistral por estructuras tipo σ , domino, pez y micropliegues de arrastre (Figura 94, Figura 95 y Figura 96), proyectando el movimiento en sección delgada en la muestra de mano orientada espacialmente, indica un movimiento normal-sinistral (Figura 97).

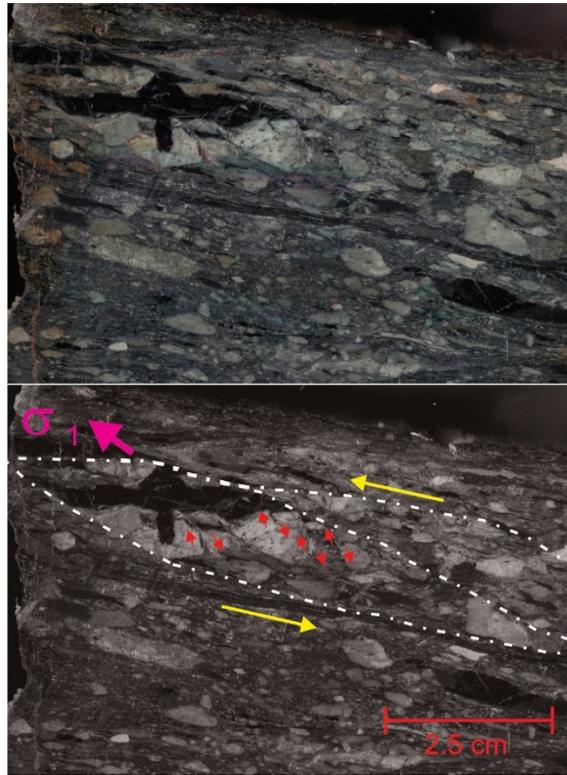


Figura 94. Muestra de mano de sección delgada JD-01, lentes estructurales, conformados por porfiroclastos rotos, tipo domino y con movimiento sinistral, paralelo a la foliación.

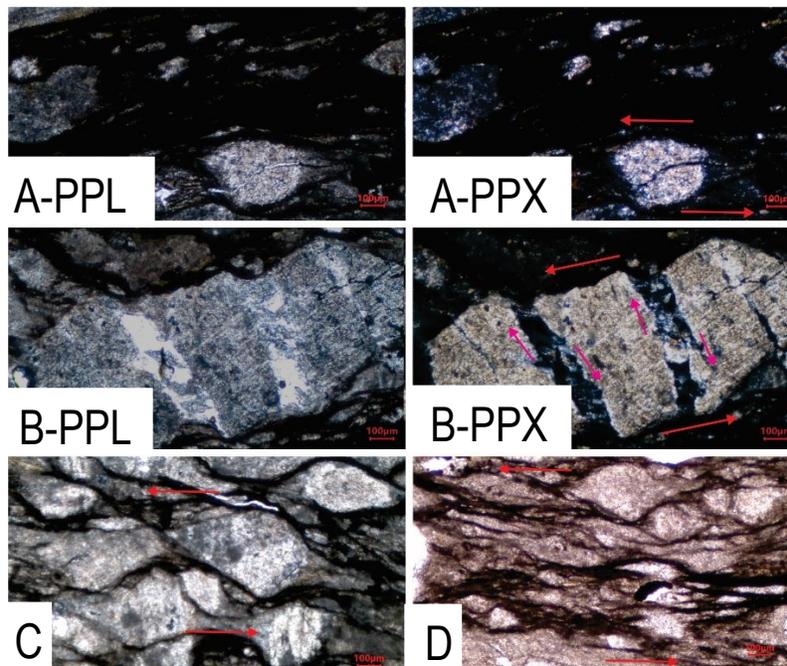


Figura 95. Imágenes microscópicas de muestra JD-01 indicado movimiento sinistral. A y D, tipo σ en porfiroclastos de cuarzo. B, tipo domino en porfiroclasto roto de plagioclasas alteradas.

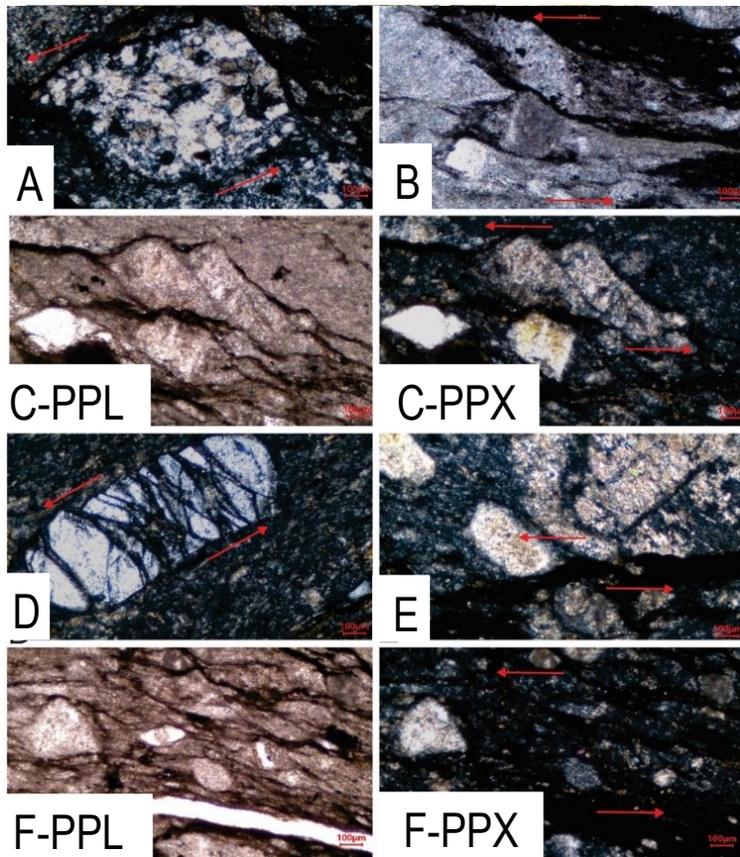
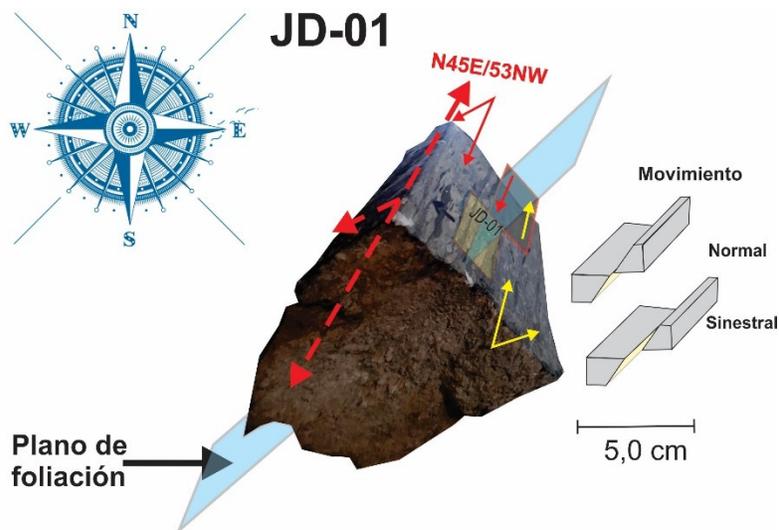


Figura 96. Imágenes microscópicas de muestra JD-01 indicando movimiento sinistral. A y B, tipo σ en porfiroclastos de Líticos de roca volcánica. C, tipo domino en porfiroclastos de minerales alterados a sericita. D, tipo domino en zoisita-clinozoisita. E, micropliegue de arrastre. F, tipo pez en porfiroclastos de cuarzo y sericita.



Movimiento: Normal-Sinistral

Figura 97. JD-01, movimiento en sección delgada (sinistral) trasladado a muestra de mano orientada. Cinemática en el afloramiento, normal-sinistral.

Tabla 10. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector de Río Chinchiná

LUGAR	ESTACIÓN	COORDENADAS			DATOS ESTRUCTURALES			
		N	W	h (m)	DIACLASAS	FOLIACIÓN	FALLAS	MOV
Villamaria (Carrilera)	JD-03	5,0361	75,5256	-	N54E/40NW	-	-	
Villamaria (Carrilera)	JD-03	5,0361	75,5256	-	-	N45E/53NW	-	

13.3. Zona entre San Peregrino y Antigua Vía a Chinchiná

Este sector se localiza en el extremo suroccidente de la zona de estudio, conformado por tres microcuencas que se encuentran en paralelo y desembocan en la quebrada Rosales, por lo mismo es conveniente indicar los datos representativos de la falla por separado para cada microcuenca y en el siguiente orden: Quebrada al Norte de la microcuenca del Alto Tablazo (QN), quebrada Alto Tablazo (QAT) y quebrada La Siria (QS).

En general, el cauce principal de cada una de las microcuencas se presenta controlado estructuralmente por distintas fallas de diferentes magnitudes con respecto a la falla Río Blanco, Es importante aclarar que las rocas en esta zona no se encuentran aisladas del control estructural de la región, Sistema de Fallas de Romeral (SFR) ya que se localizan muy cerca del trazado de la falla regional, convirtiéndose lo anterior en un limitante para la obtención de datos de la falla estudiada, pues la geometría del SFR se impone y enmascara los datos de la falla Río Blanco.

13.3.1. Quebrada al Norte de la Divisoria de Drenajes del Alto Tablazo (QN)

La zona es pobre en recolección de datos, se presenta una cobertura vegetal que enmascara la roca, el suelo está bastante desarrollado y no se encuentran datos estructurales confiables que hayan sido heredados de la roca, en los flancos del río donde no hay cobertura vegetal, estos se encuentran enmascarados por movimientos en masa. Sin embargo, hay afloramientos de roca donde se encuentran los siguientes datos estructurales (Tabla 11).

Tabla 11. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector quebrada Norte-quebrada Rosales

LUGAR	ESTACIÓN	COORDENADAS			DATOS ESTRUCTURALES			
		N	W	h (m)	DIACLASAS	FOLIACIÓN	FALLAS	MOV
Qbda. Norte	250	5,039	75,565	1297	-	N50E/18NW	-	
Qbda. Norte	261	5,04	75,563	1321	-	N48E/68NW	-	
Qbda. Norte	280	5,046	75,7519	1460	-	N58E/86NW	-	
Qbda. Norte	289	5,0463	75,5508	1482,3	-	-	N65E/32SE	
Qbda. Norte	289	5,0463	75,5508	1482,3	-	N65E/32SE	-	

De los datos recolectados en fallas locales, se resalta un plano de falla con rumbo N65E/32SE, no se pudo indicar el movimiento. Los datos que se obtuvieron de la orientación de la foliación se encuentran en el intervalo de N (48-65) E y buzan al NW y SE.

13.3.2. Quebrada Guacas (QAT)

En esta parte del sector suroccidente la roca se presenta bastante fracturada, con presencia de diaclasas, foliaciones de clivaje y fallas locales. Por una parte, se resalta una falla con dato estructural que varía de N82E/24NW a N35E/43NW (Figura 98). Por otra parte, hay diaclasas y foliaciones con dato estructural N60E/65NW, por último, fallas locales con dato estructural del plano de falla N46E/69SE y N60E/65SE (Tabla 12).

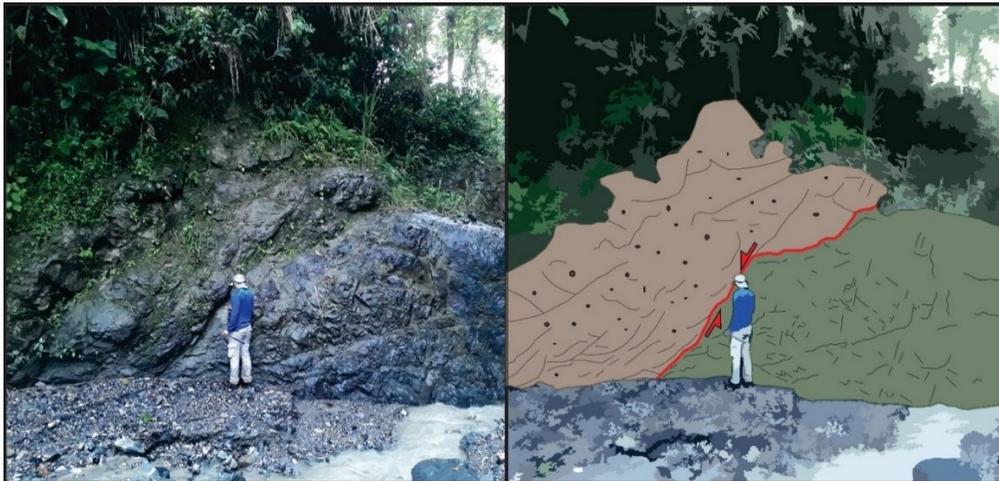


Figura 98. Se observan rocas volcanosedimentarias (lado izquierdo de la foto) en contacto fallado normal con rocas basálticas verdosas (derecha) altamente fracturada en patrones diédricos. Estación 226.

Tabla 12. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector Alto tablazo-quebrada Rosales

		COORDENADAS			DATOS ESTRUCTURALES			
LUGAR	ESTACIÓN	N	W	h (m)	DIACLASAS	FOLIACIÓN	FALLAS	MOV
Q. Carcava A.Tablazo	197	5,035	75,5655	1291,7	N60E/65NW	-	-	
Q. Carcava A.Tablazo	199	5,0367	75,5614	1336,3	-	N60E/65NW	-	
Q. Carcava A.Tablazo	226	5,0376	75,5445	1544,34	-	-	N46E/69SE	
Q. Carcava A.Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54	-	-	N60E/65SE	

13.3.3. Quebrada La Siria (QS)

Los afloramientos de roca se encuentran fuertemente fracturados, conformados por arenitas, liditas, lodolitas negras y lodolitas con lentes de cuarzo, la última, presenta foliación con orientación N45E/60SE, en rocas como lodolitas y liditas se encuentra plano de falla con dato estructural N47E/65SE y movimiento normal (Tabla 13).

Tabla 13. Datos estructurales correspondientes a la falla Río Blanco-Sector Bajo tablazo-quebrada Rosales

		COORDENADAS			DATOS ESTRUCTURALES			
LUGAR	ESTACIÓN(FOT)	N	W	h (m)	DIACLASAS	FOLIACIÓN	FALLAS	MOV
Qba. La Siria	86	5,0265	75,5453	1614,75	-	-	N47E/65SE	F. NORMAL
Qba. La Siria	95	5,0265	75,5419	1418,5	-	N45E/60SE	-	
Qba. La Siria	95	5,0265	75,5419	1418,5	-	N46E/85SE	-	
Qba. La Siria	95	5,0265	75,5419	1418,5	-	N47E/80SE	-	

La carencia de información en el sector suroccidente es posible que sea producto de un control estructural dominante y de mayor magnitud en esta zona, correspondiente al Sistema de Fallas de Romeral (SFR) falla Silvia-Pijao y la falla Villamaría-Termale. Siendo los rumbos NS y EW de mayor presencia en la recolección de datos, pues este sector se encuentra bastante cerca del núcleo de la falla Silvia-Pijao, estas rocas al presentarse de manera deleznable por el fuerte fracturamiento, y la constitución de las rocas sedimentarias como lodolitas con lentes de cuarzo, hace muy difícil la permanencia de una roca con distintos eventos de deformación, por lo mismo se indica que la falla Río Blanco tiene control en este sector pero no es la única falla presente y que influye en el control estructural y marcador geomorfológico lineal de las microcuencas que conforman el sector Alto tablazo-San Peregrino.

Las evidencias de la actividad tectónica de la falla se indica teniendo en cuenta un orden por sectores de la zona de estudio. Entre la zona de la Sultana y reserva Río Blanco se estructura las evidencias teniendo en cuenta un régimen dúctil y frágil presente en las rocas de este sector, por parte del régimen dúctil, en la parte baja de la reserva Río Blanco y cerca del río Olivares se evidenció lodolitas con lentes de cuarzo deformados en donde se encuentran estructuras tipo σ en lentes de cuarzo y con indicadores sinistral, en la misma roca se presentan estructuras tipo S-C' indicando movimiento dextral, en este sector y en la parte baja se toma una muestra de mano de la roca donde se indica estructura tipo S-C en lentes de cuarzo y con forma sigmoidal indicando un movimiento dextral normal en el afloramiento. A nivel de piso y un poco más cerca de la reserva Río Blanco se encuentra una zona de cizalla con indicadores cinemáticos sinistral, en la parte alta de la reserva se toman dos muestras de roca correspondientes a un conglomerado monomítico deformado constituidos por clastos de cuarzo, se analizan microestructuras e indicadores cinemáticos como tipo pez, micropliegues de arrastre, tipo domino y minerales flexionados concluyendo un movimiento en afloramiento normal sinistral. Con respecto al régimen frágil presente en este sector, se evidencian a nivel mesoscópico, fallas presentes en tobas y líticos volcánicos con forma sigmoidal indicando una cinemática dextral y una falla presente en lodolitas deformadas dúctilmente con movimiento sinistral. Los datos estructurales presentes en las anteriores interpretaciones fueron de un rumbo entre norte 35 a 55 este y buzando al sureste. La interpretación de los eventos deformativos en el sector de la reserva Río Blanco, es decir la parte nororiental de la zona de estudio se explica cómo superposición de dos eventos deformativos. El primer movimiento asociado a comportamiento dúctil en rocas constituidas por lodolitas con lentes de cuarzo y conglomerados y en donde se indicaron anteriormente como protomilonitas y milonitas de bajo grado con temperaturas de deformación entre 300-400°C y con una cinemática sinistral y normal sinistral, se asocian por medio de la reología de las rocas en la parte media de la corteza; el segundo movimiento asociado a una cinemática dextral y dextral normal, movimientos encontrados a nivel mesoscópico y en rocas que expresaban una deformación tanto dúctil como frágil, la deformación dúctil se presenta en lodolitas con lentes de cuarzo deformados, la deformación frágil se presenta

como cataclasitas a partir de una toba y brechas de falla a partir de conglomerados. Por lo anterior el segundo movimiento se indica en el régimen frágil y dúctil y por la reología de las rocas se entiende que se presenta en la zona intermedia entre la parte superior y media de la corteza.

En la parte central de la zona de estudio nombrada zona de la antigua carrilera, ubicada entre los municipios de Manizales y Villamaría y cerca del río Chinchiná, se obtuvieron evidencias de la falla a escala macroscópica y mesoscópica, por rasgos geomorfológicos se indican facetas triangulares, escarpes de falla, hombreras de falla y silletas de falla, en afloramientos de roca, se obtiene una muestra de mano correspondiente a una ignimbrita con microestructuras que indican un movimiento en afloramiento normal sinistral el control estructural de este sector es N45E buzando al noroeste, por estudios anteriores de mecanismos de deformación se indicó como una protocataclasita con temperaturas de deformación menores a 300 °C.

Por último, el sector suroccidente de la zona de estudio carece de información de la falla Río Blanco, posiblemente producto de un control estructural dominante correspondiente al Sistema de Fallas de Romeral la falla Silvia-Pijao y a la falla Villamaria- Tarmales. El sector se nombra como San Peregrino y Antigua vía a Chinchiná, se segmenta en tres partes: Quebrada al Norte de la microcuenca del Alto Tablazo (QN), quebrada Guacas (QAT) y quebrada La Siria (QS). Por parte de la Quebrada Norte (QN) y Quebrada Alto Tablazo (QAT) se obtiene evidencia de la falla por datos estructurales correspondientes a la foliación de la roca y fallas locales, los cuales en general tiene un dato estructural con orientación de rumbo entre N 45 a 60 E y buzando tanto para el noroeste y sureste. No obstante, la Quebrada la Siria (QS) presenta evidencias de la falla por datos estructurales de foliación y fallas locales con movimiento normal de la roca, en general son datos estructurales con orientación N45E buzando hacia el sureste. En el suroccidente de la falla, la roca en general tiene un comportamiento frágil asociado a diaclasas y roca fracturada.

14. DISCUSIÓN

La zona de estudio de la falla Río Blanco se puede describir teniendo en cuenta tres sectores, sector nororiental indicado por la Reserva Río Blanco y la Sultana, sector central indicado por la antigua carrilera entre los municipios de Manizales - Villamaria, y sector suroccidental localizado entre San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná.

En los lugares mencionados se hicieron estudios de indicadores cinemáticos y mecanismos de deformación. En el sector nororiental se indican dos movimientos. El primero, es sinistral y normal sinistral, se encuentra en general en rocas deformadas dúctilmente, clasificadas como protomilonitas y milonitas de bajo grado a partir de lodolitas con lentes de cuarzo y conglomerados, con temperaturas de deformación entre 300-400°C en régimen 01 de recristalización dinámica del cuarzo definida por bajas temperaturas y estrés diferencial alto. El segundo movimiento es de cinemática dextral y normal dextral, expresada en rocas con deformación dúctil-frágil, las rocas de deformación dúctil son representadas por lodolitas con lentes de cuarzo y las rocas que exponen la deformación frágil están indicadas por cataclasitas a partir de tobos y brechas de falla a partir de conglomerados. Los dos movimientos se asocian con superposición de deformaciones, teniendo en cuenta la reología de las rocas, se interpreta que el movimiento sinistral y normal sinistral se encuentra en la parte media de la corteza y el movimiento dextral y dextral normal se encuentra en la parte tanto superior como media de la corteza. El control estructural dominante del sector fue N (35-55) ° E. El movimiento normal sinistral no se relaciona con ninguna falla estudiada de la región, no hay manera de relacionarlo con otras estructuras, el movimiento dextral y dextral normal se relaciona con movimientos de rumbo paralelos a la falla de estudio, de fallas que presentan lineamientos NE-SW presentes en la región como la falla Santa Rosa, la falla La Telaraña, la falla Ibagué, la falla Palestina y la falla Samaná Sur, las anteriores presentan un movimiento de rumbo dextral.

El sector central, indica un movimiento normal sinistral con temperaturas de deformación < 300 °C en rocas clasificadas como protocataclasitas a partir de una Ignimbrita, el control estructural es de N 45° E. Correspondiendo por la reología de las rocas a la parte superior de la corteza y no es correlacionable con ninguna falla estudiada de la región.

Por último, el sector suroccidental, es donde se presenta la menor información de la falla Río Blanco, posiblemente porque se encuentra enmascarada por fallas regionales como es el Sistema de Fallas de Romeral cerca de la falla Silvia-Pijao y la falla Villamaria – Termales. El sector presenta de manera general un comportamiento de deformación frágil en rocas procedentes del Complejo Quebradagrande, Miembro Sedimentario, Miembro Volcánico e intrusivos. La evidencia de la falla se presenta en foliaciones y fallas locales con controles estructurales de N (45-60)° E buzando tanto al sureste como noroeste. Por estudios de

microestructuras indicadas en rocas del alto tablazo como son grauwacas feldespáticas y en la parte de San Peregrino en andesitas porfíricas, se determinó temperaturas de deformación menores a 300 °C y rocas clasificadas como protocataclasitas y cataclasitas. Por la reología se indica que fueron deformaciones presentes en la parte superior de la corteza.

15. CONCLUSIONES

- Las unidades geológicas presentes en la zona de estudio corresponden a unidades regionales como son los Complejo Quebradagande y Arquía, también unidades recientes como la Formación Casabianca y depósitos aluviales.
- Las rocas que conforman el Complejo Quebradagande están indicadas en tres miembros, miembro sedimentario, miembro volcánico e intrusivos gabroicos. El miembro sedimentario está constituido por shale, lodolitas masivas, lodolitas silíceas, lodolitas con lentes de cuarzo, lodolitas carbonosas, arenitas y conglomerados; El miembro Volcánico por volcanosedimentarias, basaltos y andesitas, se encuentran intrusivos básicos como metagabros y microgabros. Es preciso comentar que la Migmatita de Manizales, parte suroccidente, se ubica en el Complejo Arquía, netamente por relaciones Tectonoestratigráficas.
- Las rocas deformadas dúctilmente se caracterizan porque la fábrica de la roca está conformada por foliación anastomosada, no hay una estructura penetrativa, los planos de foliación no están bien definidos y tampoco son paralelos entre ellos y la roca se presenta con alta consistencia. Por parte de las rocas que presentan un comportamiento en el campo frágil, se observan bastante fracturadas, la foliación es anastomosada, la roca conserva muy bien las estructuras primarias ya sean sedimentarias como es la estratificación planar paralela y presentan en el caso de las lodolitas carbonosas esa propiedad deleznable. En todas las locaciones, se observa que las rocas presentan rasgos físicos procedentes de deformación.
- Por medio del análisis estereográfico se identifican tendencias y patrones estructurales asociados a las siguientes fallas: Sistema de fallas de Romeral (NNW-SSE), Villamaría-Termales (NWW-SEE) y El Perro (N-S). Por parámetros estadísticos, agrupación de datos estructurales por similitud y cantidad, se concluye que la parte suroccidente tiene un control estructural dominante por el Sistema de Fallas Romeral (SFR), presentándose paquetes de rocas sedimentarias basculadas, con rumbo N-S y espacialmente bastante cercanas a la falla Silvia Pijao.
- Dentro de la zona de estudio y según el análisis estereográfico, los planos de las estructuras de cizalla encontradas en la zona entre La Sultana y la Reserva Río Blanco tienen rumbo predominante NE-SW, la gran mayoría buzando hacia el SE. En la zona de la antigua Carrilera los datos encontrados tienen rumbo predominante hacia el NNW, buzando hacia el SW. En la zona entre la antigua vía a Chinchiná y San Peregrino predominan las estructuras con rumbo N-S y W-E y NW-SE.
- El análisis cinemático a nivel mesoscópico permite determinar, en la parte suroccidental de la zona de estudio, es decir, cerca de la falla Silvia-Pijao, predominan estilos estructurales de buzamiento en general normal y también se presentan unos datos con movimiento inverso. En la parte nororiente de la zona de estudio, predominan movimientos de rumbo, sinistral y dextral.

- Es el primer trabajo de geología estructural reportado en la zona Sultana-Reserva Río Blanco (SRRB), la falla Río Blanco evidencia deformación dúctil en rocas del complejo Quebradagrande como lodolitas con lentes de cuarzo deformados y conglomerados, unidad sedimentaria, en los que se encontraron estructuras miloníticas simétricas y asimétricas, estructuras S-C', S-C, tipo θ , tipo Φ , tipo sigmoideo, y foliación sigmoidal. También presenta deformación frágil en tobas y rocas del Complejo Quebradagrande, miembro Sedimentario, Volcánico e intrusivos.
- En la zona entre San Peregrino y la antigua vía a Chinchiná predomina deformación frágil afectando rocas sedimentarias, como estratificaciones de lodolitas negras, grises, pardas, arenitas y lodolitas silíceas, que corresponden al complejo Quebradagrande Sedimentario.
- La interpretación de los eventos deformativos en el sector de la reserva Río Blanco, es decir la parte nororiental de la zona de estudio se explica cómo superposición de dos eventos deformativos. El primer movimiento asociado a un comportamiento dúctil en rocas constituidas por lodolitas con lentes de cuarzo y conglomerados, se indicaron como protomilonitas y milonitas de bajo grado con temperaturas de deformación entre 300-400°C y con una cinemática sinistral y normal sinistral, se asocian por medio de la reología de las rocas en la parte media de la corteza; el segundo movimiento asociado a una cinemática dextral y dextral normal, movimientos encontrados a nivel mesoscópico y en rocas que expresan una deformación tanto dúctil como frágil, la deformación dúctil se indicó en lodolitas con lentes de cuarzo deformados, la deformación frágil se expresó como cataclasitas a partir de tobas y en brechas de falla a partir de conglomerados. Por lo anterior, el segundo movimiento se asocia por medio a la reología de las rocas, entendiéndose que se presenta en la zona intermedia entre la parte superior y media de la corteza, El control estructural de este sector es N 35 a 55 E buzando al sureste.
- En la parte central, entre los municipios de Villamaria y Manizales cerca de la antigua carrilera, se encuentra tobas andesíticas con deformación frágil (< 300°C) y orientación N45E con buzamiento hacia el noroeste, indicando una cinemática normal-sinistral.
- El sector suroccidental es donde se presenta la menor información de la falla Río Blanco, posiblemente porque se encuentra enmascarada por fallas regionales como es el Sistema de Fallas de Romeral y la falla Villamaria – Termalés, no obstante, presenta evidencias de la falla por datos estructurales con orientación entre N 45 a 60 E con buzamientos tanto para el noroeste y sureste en deformación frágil (<300°C).

16. RECOMENDACIONES

- Hacer estudios más detallados de análisis de microestructuras en el tramo de la quebrada Olivares, sector Río Blanco, describiendo los eventos deformativos presentes con cinemática distinta, dextral y sinistral. Concluyendo las relaciones de estos eventos deformativos con respecto a edades relativas.
- Se sugiere realizar un estudio más detallado en las zonas de corte entre la falla estudiada y las fallas San Jerónimo, El Perro y Silvia-Pijao. Lo anterior para conocer las edades relativas de estas fallas con respecto a la Falla Río Blanco.
- Hacer estudios de estilos estructurales presentes en la zona de estudio.
- Realizar estudios más detallados de escalones de falla para realizar análisis sobre paleo esfuerzos ocurridos en la zona.
- Indicar con edades relativas de los eventos deformativos del Sistema de fallas de Romeral (SFR) y la falla Río Blanco (FRB), para asociar la falla Río Blanco en el comportamiento tectónico regional del bloque estructural asociado a la zona de estudio.

17. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, L., & Quintero, J. (2014). ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DEFORMATIVO DE LA FALLA SANTA ROSA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE SANTA ROSA DE CABAL (RISARALDA) Y VILLAMARIA (CALDAS). Pagina 26-48 . Manizales, Caldas.
- Acosta-A, C.-E. (1976). Deriva Continental y Tectonica de Placas. 2° Edición. Colombia y la Tectonica de Placas. Universidad Nacional. Bogotá: Blume.
- Aguirre, R., & López, J. (2003). Cartografía Geológica y Petrografía del Stock de Manizales y su relación con sus rocas encajantes. Manizales, Caldas.
- Barrero, D. (2000). Tectonostratigraphic sequences of Colombia origin and evolution of sedimentary basins. Curso preparado para INGEOMINAS. Bogotá, Cundinamarca.
- Blenkinsop, T. (2000). *Deformation microstructures and mechanisms in minerals and rocks*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Borrero, C., Toro, L., Alvarán, M., & Castillo, H. (2009). Geochemistry and tectonic controls of the effusive activity related with the ancestral Nevado del Ruiz volcano, Colombia. *Geofísica Internacional*, 48 (1), 149-169. Colombia.
- Botero-Gómez, L., Osorio, P., Murcia, H., Borrero, C., & Grajales, J. (2018). Campo Volcánico Monogenético Villamaria-Termal, Cordillera Central, Andes colombianos (Parte I): Características morfológicas y relaciones temporales. *Boletín de Geología*, 40(3), 85-102. DOI: 10.18273/revbol.v40n3-2018005. Manizales, Caldas.
- Calvache, M., & Monsalve, M. L. (1983). Evaluación de los recursos geotérmicos del área San Vicente – Manizales - Tolima. Investigación geotérmica macizo volcánico del Ruíz. Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. Manizales, Caldas.
- Cediel, F., Shaw, R., & Cáceres, C. (2002). Tectonic assembly of the Northern Andean Block. In C. Bartolini, R. T. Buffler y J. Blickwede (eds), *The Cicum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir*.

- Cuellar, M., Sánchez, C., & Valencia, M. (2003). Caracterización petrográfica y deformativa de las rocas aflorantes en los alrededores de la falla San Jerónimo, al este del municipio de Manizales. Tesis de Grado. Manizales, Caldas.
- Esquivel, J., Florez, D., & Núñez, A. (1981). Anfibolitas Granatíferas, Esquistos Anfibólicos y Rocas Máficas y Ultramáficas al Este de Buga-Palmira, Valle. Colombia.- Resúmenes Tercer Congreso Colombiano de Geología, pp. 40-41. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Estrada, J., & Viana, R. (2001). Geología de la plancha 205 Chinchiná, escala 1:10000: Memoria explicativa. INGEOMINAS. 87 p. Bogotá, Colombia.
- Etayo-Serna, F. (1985). Documentación paleontológica del infracretácico de San Félix y Valle Alto, Cordillera Central, in F. Etayo-Serna, and F. Laverde, eds. Proyecto Cretácico, V.16: Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas. Bogotá, Colombia.
- Feininger, T. (1970). The Palestina Fault, Colombia. Geological Society American, 81: 1201 – 1216.
- Florez, A. (1986). Geomorfología del área Manizales-Chinchiná, Cordillera Central, Colombia. Colombia.
- Giunta, G., Beccaluva, L., Coltorti, M., Siena, F., & Vaccaro, C. (2002). The southern margin of the Caribbean Plate in Venezuela: tectono-magmatic setting of the ophiolitic units and kinematic evolution. .
- Gómez, A. d., Ossa, C., & Toro, L. (2004). Geoquímica de las rocas del Stock Chinchiná – Santa Rosa. Boletín de Geología, UIS, 26 (42): 67 – 78. Colombia.
- Gómez-Cruz, A. J., Moreno, M., & Pardo, A. (1995). Edad y origen del complejo metasedimentario Aranzazu-Manizales en los alrededores de Manizales (departamento de Caldas, Colombia): Geología Colombiana, V. 19. Manizales, Caldas.
- González, H. (2001). Geología de las Planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruiz. Memoria Explicativa. Escala 1 :100.000. Colombia.
- González, L., & Jaramillo, C. (2002). Estudio neotectónico multidisciplinario aplicado a la Falla Villamaría Termales. Manizales, Caldas.
- Grosse, E. (1926). Estudio geológico del terciario carbonífero de Antioquia en la parte occidental de la Cordillera central de Colombia.

- Grotjohann, H., & McCourt, W. (1981). Resultados de los Trabajos Corrientes de la Cartografía Geológica Regional del Departamento del Valle (Cordillera Central).- III Congreso Colombiano de Geología, Resúmenes, 34p. Medellín, Colombia.
- Guzmán, G. J. (1991). Evidencia de Actividad Neotectónica en el área de Manizales, Colombia. Tesis de grado, Universidad de Caldas. Manizales, Caldas.
- Guzmán, G., Franco, G., & Ochoa, M. (1998). Proyecto para la Mitigación y el Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa. Evaluación Neotectónica. Pereira, Risaralda.
- Guzmán, J., & Ochoa, M. (2-3 de 11 de 2000). Evaluación de la Amenaza Sísmica del Eje Cafetero: una visión crítica del conocimiento. Jornadas Técnicas de Sismotectónica. Manizales, Caldas.
- Hincapié, G., & Moreno, M. (2001). Comparación entre las fases deformativas presentes en las metamorfitas del Complejo Cajamarca y en las metamorfitas del Complejo Arquía, en el departamento de Caldas: VIII Congreso Colombiano de Geología.
- Idárraga-García, J., & Martínez-Urbe, L. (2005). Petrografía y Geoquímica de la Migmatita de Manizales entre el Cerro Morro Gordo y el Río Chinchiná, al Occidente de Manizales (Caldas) Y GEOQUÍMICA DE LA MIGMATITA DE MANIZALES. Manizales, Caldas, Colombia.
- James, M. E. (1986). Estudio sismotectónico en el área del Viejo Caldas. Informe 2008. Ingeominas. Bogotá.
- López, J. A., & Aguirre, R. (2005). Tonalita Granodiorita de Manizales: Revisión formal de la nomenclatura litoestratigráfica de la Granodiorita de Manizales (Stock de Manizales). In Memorias X Congreso Colombiano de Geología. Bogotá, Colombia.
- Maya, M., & González, H. (1995). Unidades litodémicas de la Cordillera Central de Colombia. Boletín Geológico, Ingeominas, Vol. 35, No. 2-3. Santafé de Bogotá.
- McCOURT, W. J., & Feininger, T. (1984). High pressure metamorphic rocks in the Central Cordillera of Colombia. *High pressure metamorphic rocks in the Central Cordillera of Colombia*. British Geological Survey Reprint Series, Vol 84, N 1, p.28-35.
- McCourt, W., Aspden, J., & Brook, M. (1984). New geological and geochronological data from the Colombia Andes: continental growth by multiple accretion. *Journal Geological Society*. p 831-845. London.

- Mejía-Toro, E. L. (2012). Características Cinemáticas y Condiciones de Deformación de un Segmento de la Falla Palestina al NE del Volcán Nevado del Ruíz. Bogotá, Colombia.
- Montoya, M., & Torres, J. (2005). Cartografía, Análisis Metalográfico y Petrográfico de los Pórfidos ubicados al este del municipio de Manizales, sector de Gallinazo. Manizales, Caldas.
- Morales, J. A., & Palacio Bedoya, C. S. (2015). *ANÁLISIS CINEMÁTICO Y DE MECANISMOS DE DEFORMACIÓN PRESENTES EN ROCAS DEL COMPLEJO QUEBRADAGRANDE, A LA LATITUD DEL MUNICIPIO DE VILLAMARIA, CALDAS.* MANIZALES.
- Moreno, M., & Pardo, A. (2002). Historia geológica del Occidente Colombiano: *GeoEcoTrop*, V. 26, pp. 91-113.
- Moreno-Sánchez, M., & Pardo-González, H. (1980). Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina): *Boletín Geológico, Ingeominas*, V. 23. Medellín, Colombia.
- Moreno-Sánchez, M., GómezCruz, A.-d. J., & Toro, L. (22 de Marzo de 2008). Proveniencia del Material Clástico del Complejo Quebradagrande y su Relación con los Complejos Estructurales Adyacentes. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, núm. 22. Medellín, Colombia.
- Moreno-Sánchez, M., Hincapié, G., Ossa, C., & Toro-Toro, L. (2016). Caracterización Geológico - Estructural de Algunas Zonas de Cizalla en el Complejo Quebradagrande en los Alrededores de Manizales y Villamaria. *Boletín de Geología*, 38(4): 15-27. Manizales, Caldas.
- Mosquera, D. (1978). Geología del cuadrángulo K-8. Informe preliminar. Ibagué, Tolima.
- Murcia, A., & Cepeda, H. (1991). Mapa geológico de la Plancha 410 – La Unión; Escala 1:100.000. INGEOMINAS.
- Naranjo, J. L. (2001). Modelo de Evolución Morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral entre Pereira (Risaralda) y Filadelfia (Caldas). VIII Congreso Colombiano de Geología (Memorias). Manizales, Caldas.
- Naranjo, J. L., & Ríos, P. A. (1989). Geología de los alrededores de Manizales y su influencia en los riesgos geológicos. *Revista Universidad de Caldas*, Vol. 10, No. 1-3. Pagina 113. Manizales, Caldas.

- Nivia, A., Gizelle, M., & Andrew, K. (1996). El Complejo Quebradagrande una posible cuenca marginal intracratónica del Cretáceo inferior en la Cordillera Central de los Andes Colombianos: VII Congreso Colombiano de geología.
- Page, W. (1986). Geología Sísmica y Sísmicidad al Noroeste de Colombia. Informe preparado para ISA. Medellín, Antioquia.
- Parra, A., & Quintero, J. (2016). Cartografía, Petrografía y Análisis Deformativo de las Unidades Aflorantes al SE de Manizales entre los Sectores de Maltería y Gallinazo. Pagina 33. Manizales, Caldas.
- Passier, C., & Trouw, R. (2005). Microtectonics. Berlin, Alemania.
- Restrepo, J. (1986). Metamorfismo en el sector nortede la Cordillera Central de Colombia. Universidad Nacional. Medellín, Colombia.
- Restrepo, J., Toussaint, J., Gonzalez, H., Cordani, U., Kawachita, K., Linares, E., & Parica, C. (1991). Precisiones geocronológicas sobre el Occidente colombiano. Simposio sobre magmatismo Andino y su marco tectónico, Memorias. Manizales Tomo I, p. 1-22. Manizales, Caldas.
- Rodríguez, G., & Arango, M. I. (2 de diciembre de 2013). Reinterpretación Geoquímica Y Radiométrica De Las Metabasitas Del Complejo Arquía. *Geochemistry And Radiometric Reinterpretation Of The Metabasites Of The Arquia Complex*. Colombia.
- Rodríguez, G., & Cetina, L. (2016). Caracterización petrográfica y química de rocas de corteza oceánica del Complejo Quebradagrande y comparación con rocas de unidad Diabasas de San José de Urama. *Boletín de Geología*, 38(3).
- Sánchez, L. G., & Sánchez, F. A. (2001). Estudio macrogeotécnico de los taludes asociados a la línea de conducción y estudio microgeotécnico de los nuevos taludes de los sifones entre las quebradas La Guerra, Boquerón y Pinares en la conducción de la bocatoma Rio Blanco, Mirador. Manizales, Caldas.
- Taboada, A., Dimaté, C., & Fuenzalida, A. (1998). Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción. Bogotá, Colombia.
- Thouret, J. (1988). Les Andes Centrales de Colombie et leurs bordures: morphogénèse plio-quadernaire et dynamique actuelle et récente d'une cordillère volcanique englacée. Thèse d'état, 3t., Univ. J. Fourier.

- Thouret, J., Cantagrel, J., Salinas, R., & Murcia, A. (1990). Quaternary eruptive history of Nevado del Ruiz (Colombia). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 41 (1-4), 225-251. Doi: 10.1016/0377-0273(90)90090-3.
- Thouret, J., Vatin-Perignon, N., Cantagrel, J., Salinas, R., & Murcia, A. (1985). Le Nevado el Ruiz (Cordillère Centrale des Andes de Colombie): Stratigraphie, structures et dynamisme d'un appareil volcanique andésitique, compose et polygénique. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 26, 257-2.
- Toussaint, J., & Restrepo, J. (1974). Algunas consideraciones sobre la evolución de los Andes Colombianos. *Publicación Especial Geológica, Facultad de Minas, No 4-12p. Medellín, Colombia.*
- Trouw, R., Passchier, C., & Wiersma, D. (2010). *Atlas of Mylonites and Related Microstructures*. New York: Springer.
- Villagómez, D., & Spikings, R. (2013). Thermochronology and tectonics of the Central and Western Cordilleras of Colombia: Early Cretaceous–Tertiary evolution of the northern Andes. *Lithos*, 160, 228-249. Colombia.
- Villagomez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., & Beltrán, A. (2011). Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the western and central cordilleras of Colombia. *Página 19.*
- W.Passchier, C., & A.J.Trouw, R. (2005). *Microtectonics*. Germany: Springer Science .

ANEXOS

TABLA DE DATOS ESTRUCTURALES RECOLECTADOS EN CAMPO

ZONA		COORDENADAS			DATOS ESTRUCTURALES		
LUGAR	ESTACIÓN (JD-DA)	N	W	h (m)	DIACLASAS	FOLIACIÓN	FALLAS
Q. Carcava A. Tablazo	53	5,0374	75,5412	1627		NS/05E	
Q. Carcava A. Tablazo	195	5,05	75,5644	1430,3		N70W/50SW	
Q. Carcava A. Tablazo	197	5,035	75,5655	1291,7	N60E/65NW		
Q. Carcava A. Tablazo	197	5,035	75,5655	1291,7	NS/W		
Q. Carcava A. Tablazo	197	5,035	75,5655	1291,7	N5E/SW		
Q. Carcava A. Tablazo	197	5,035	75,5655	1291,7	N70W/40NE		
Q. Carcava A. Tablazo	197	5,035	75,5655	1291,7	N5W/35NE		
Q. Carcava A. Tablazo	199	5,0367	75,5614	1336,3		N60E/5NW	
Q. Carcava A. Tablazo	205	5,0344	75,558	1373,3		N75W/76NE	
Q. Carcava A. Tablazo	205	5,0344	75,558	1373,3		N58W/65NE	
Q. Carcava A. Tablazo	205	5,0344	75,558	1373,3		N65W/65NE	
Q. Carcava A. Tablazo	205	5,0344	75,558	1373,3			N5E/10SE
Q. Carcava A. Tablazo	216	5,0343	75,5513	1439			N44W/48NE
Q. Carcava A. Tablazo	219	5,0376	75,5455	1538,47		N27W/74NE	
Q. Carcava A. Tablazo	219	5,0376	75,5455	1538,47		N18W/74NE	
Q. Carcava A. Tablazo	219	5,0376	75,5455	1538,47		N16W/66NE	
Q. Carcava A. Tablazo	226	5,0376	75,5445	1544,34		N70W/24NE	
Q. Carcava A. Tablazo	226	5,0376	75,5445	1544,34		N80W/88SW	
Q. Carcava A. Tablazo	226	5,0376	75,5445	1544,34			N46E/69SE
Q. Carcava A. Tablazo	226	5,0376	75,5445	1544,34		EW/90	
Q. Carcava A. Tablazo	228	5,0378	75,5442	1566,29	N40W/75NE		
Q. Carcava A. Tablazo	228	5,0378	75,5442	1566,29	N20W/20NE		
Q. Carcava A. Tablazo	228	5,0378	75,5442	1566,29	N10W/39NE		
Q. Carcava A. Tablazo	231	5,038	75,5441	1525,69	NS/80E	NS/80E	
Q. Carcava A. Tablazo	234	5,0378	75,7433	1554,7	N20W/67NE		

Q. Carcava A. Tablazo	234	5,0378	75,7433	1554,7	NS/34E	
Q. Carcava A. Tablazo	8	5,0428	75,5381	1894,3		N45W/36NE
Q. Carcava A. Tablazo	8	5,0428	75,5381	1894,3		N47W/40NE
Q. Carcava A. Tablazo	30	5,0365	75,5472	1536,51		N8W/7NE
Q. Carcava A. Tablazo	31	5,0374	75,5461	1513,86	N65W/68SW	
Q. Carcava A. Tablazo	31	5,0374	75,5461	1513,86	N55W/67SW	
Q. Carcava A. Tablazo	31	5,0374	75,5461	1513,86	N61W/54SW	
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N68W/34SW
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N73W/41NE
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N80W/20SW
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N10/78SE
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N60E/65SE
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N70E/60SE
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N83E/56SE
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N76E/50SE
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N15E/85SE
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54		N70W/80SW
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54	N76W/78SW	
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54	N40W/25SW	
Q. Carcava A. Tablazo	32	5,0378	75,5442	1472,54	N38W/38SW	
Q. Carcava A. Tablazo	45	5,0376	75,5429	1733,31		N82E/24NW
Q. Carcava A. Tablazo	52	5,0373	75,5411	1582,46		N15E/60NW
Q. Carcava A. Tablazo	52	5,0373	75,5411	1582,46		NS/56E
Q. Carcava A. Tablazo	117	5,0385	75,5393	1683,6251	166S/55 258W	
Q. Carcava A. Tablazo	117	5,0385	75,5393	1683,6251	181S/76 260W	
Q. Carcava A. Tablazo	117	5,0385	75,5393	1683,6251		292W/78 202S
Q. Carcava A. Tablazo	121	5,0399	75,538			359N/85 89E
Q. Carcava A. Tablazo	122	5,0054	75,5659			280W/82 350NW

Q. Carcava A. Tablazo	122	5,0054	75,5659	-----		N80W/10NW
Q. Carcava A. Tablazo	122	5,0054	75,5659	-----	10N/78 260W	
Qba. La Siria	65	5,0251	75,5534	1445,6		N18W/78SW
Qba. La Siria	65	5,0251	75,5534	1445,6		N80E/40SE
Qba. La Siria	65	5,0251	75,5534	1445,6		N75E/31SE
Qba. La Siria	65	5,0251	75,5534	1445,6		N13E/70SE
Qba. La Siria	65	5,0251	75,5534	1445,6		N40W/30NE
Qba. La Siria	65	5,0251	75,5534	1445,6		N13E/78NW
Qba. La Siria	65	5,0251	75,5534	1445,6	N8E/78NW	
Qba. La Siria	66	5,0253	75,5534	1494,69		N20E/32SE
Qba. La Siria	86	5,0265	75,5453	1614,75		N47E/65SE
Qba. La Siria	94	5,027	75,5443	1765,78	N23W/65SW	
Qba. La Siria	94	5,027	75,5443	1765,78	N15E/30SE	
Qba. La Siria	95	5,0265	75,5419	1418,5		N70E/75SE
Qba. La Siria	95	5,0265	75,5419	1418,5		N85E/28SE
Qba. La Siria	95	5,0265	75,5419	1418,5		EW/75N
Qba. La Siria	95	5,0265	75,5419	1418,5	N45E/60SE	
Qba. La Siria	95	5,0265	75,5419	1418,5	N46E/85SE	
Qba. La Siria	95	5,0265	75,5419	1418,5	N47E/80SE	
Qba. La Siria	113	5,0281	75,5409	1685,99		N5W/63SW
Qbda. Norte	243	5,039	75,5651	1299,2		NS/73E
Qbda. Norte	243	5,039	75,5651	1299,2		NS/67E
San peregrino	56	5,0513	75,5635	1459,6	N05E/43NW	
San peregrino	57	5,05	75,5644	1435,3	N25E/51SE	
San peregrino	60	5,031	75,5575	1388,74		N15E/33NW
San peregrino	60	5,031	75,5575	1388,74		EW/12S
San peregrino	193	5,0515	75,5637	1425,86	N40W/47NE	
San peregrino	195	5,05	75,5644	1430,3	N70W/50SW	
Qbda. Norte	242	5,039	75,5652	1299,3		NS/73E

Qbda. Norte	243	5,039	75,5651	1299		N5W/88SW	
Qbda. Norte	243	5,039	75,5651	1299		NS/75E	
Qbda. Norte	243	5,039	75,5651	1299		NS/67E	
Qbda. Norte	243	5,039	75,5651	1299		N10E/58NW	
Qbda. Norte	243	5,039	75,5651	1299		N23E/73SE	
Qbda. Norte	243	5,039	75,5651	1299		N5W/64NE	
Qbda. Norte	243	5,039	75,5651	1299		N26E/68SE	
Qbda. Norte	250	5,039	75,565	1297		N50E/18NW	
Qbda. Norte	250	5,039	75,565	1297		NS/53E	
Qbda. Norte	254	5,0391	75,5651	1297			N15E/55NW
Qbda. Norte	254	5,0391	75,5651	1297		N70W/90	
Qbda. Norte	254	5,0391	75,5651	1297			N23E/45NW
Qbda. Norte	257	5,0396	75,5647	1300		N30E/35NW	
Qbda. Norte	257	5,0396	75,5647	1300		N33W/50NE	
Qbda. Norte	261	5,04	75,563	1321			N9W/88SW
Qbda. Norte	261	5,04	75,563	1321	N5W/78SW		
Qbda. Norte	261	5,04	75,563	1321		N48E/68NW	
Qbda. Norte	271	5,0445	75,5576	1386	N20W/44NE		
Qbda. Norte	271	5,0445	75,5576	1386	N17W/31NE		
Qbda. Norte	271	5,0445	75,5576	1386		N20W/44NE	
Qbda. Norte	271	5,0445	75,5576	1386		N26W/79NE	
Qbda. Norte	271	5,0445	75,5576	1386		N26W/81NE	
Qbda. Norte	280	5,046	75,7519	1460		N70W/43SW	
Qbda. Norte	280	5,046	75,7519	1460		N30W/47SW	
Qbda. Norte	280	5,046	75,7519	1460		N30W/53SW	
Qbda. Norte	280	5,046	75,7519	1460		N58E/86NW	
Qbda. Norte	282	5,046	75,552	1436	N80E/72SE		
Qbda. Norte	282	5,046	75,552	1436	N70E/74SE		
Qbda. Norte	282	5,046	75,552	1436	N10W/74SW		

Qbda. Norte	282	5,046	75,552	1436	N5W/65SW	
Qbda. Norte	282	5,046	75,552	1436	N80W/70NE	
Qbda. Norte	282	5,046	75,552	1436	N80W/73NE	
Qbda. Norte	282	5,046	75,552	1436	N80E/22NW	
Qbda. Norte	282	5,046	75,552	1436	N80E/22NW	
Qbda. Norte	283	5,0467	75,5518	1748	WE/78N	
Qbda. Norte	283	5,0467	75,5518	1748	N15E/72SE	
Qbda. Norte	283	5,0467	75,5518	1748	N25E/58NW	
Qbda. Norte	284	5,0461	75,5511	1470	N76W/72SW	
Qbda. Norte	284	5,0461	75,5511	1470	N37W/70SW	
Qbda. Norte	284	5,0461	75,5511	1470	N20W/68SW	
Qbda. Norte	289	5,0463	75,5508	1482,3		N65E/32SE
Qbda. Norte	289	5,0463	75,5508	1482,3		N65E/32SE
Qbda. Norte	289	5,0463	75,5508	1482,3		N27E/65SE
Qbda. Norte	289	5,0463	75,5508	1482,3		N17E/75SE
Qbda. Norte	289	5,0463	75,5508	1482,3		NS/68E
R. Blco-Q Izq.	46	5,076	75,4606	2226,3	275/45	
R. Blco-Q Izq	46	5,076	75,4606	2226,3		120/36
R. Blco-Q Izq	48	5,0759	75,4605	2223,3	110/43	
R. Blco-Q Izq	49	5,0759	75,4605	2219,2		260/21
R. Blco-Q Izq	50	5,076	75,4605	2182,56	278/52	
R. Blco-Q Izq	51	5,0765	75,4605	2248,32	130/50	
R. Blco-Q Izq	53	5,0768	75,4597	2212,53		152/40
R. Blco-Q Izq	59	5,0767	75,4601		228/85	
R. Blco-Q Izq	59	5,0767	75,4601		164/45	
R. Blco-Q Izq	70	5,0779	75,4594	2281,26	120/43	
Sultana - Reserva R. Blco	35	5,0658	75,4695		N3E/72E	
Sultana - Reserva R. Blco	88	5,0704	75,4549	2188,3		N54E/71SE
Sultana - Reserva R. Blco	92	5,0703	75,455	2184,34		N55E/36SE

Sultana - Reserva R. Blco	98	5,0698	75,455	2184,3		N45E/60SE
Sultana - Reserva R. Blco	105	5,0653	75,4711	2106		N6E/49SE
Sultana - Reserva R. Blco	105	5,0653	75,4711	2106		N27E/86SE
Sultana - Reserva R. Blco	105	5,0653	75,4711	2106		N30E/77SE
Sultana - Reserva R. Blco	107	5,0697	75,4573	2178		N10W/25NE
Sultana - Reserva R. Blco	108	5,0701	75,4552	2195,25		N55W/62NE
Sultana - Reserva R. Blco	108	5,0701	75,4552	2195,25		N35E/25SE
Sultana - Reserva R. Blco	110	5,0703	75,4548	2173		N25W/20NE
Sultana - Reserva R. Blco	110	5,0703	75,4548	2173		N53E/78SE
Sultana - Reserva R. Blco	110	5,0703	75,4548	2173		N56E/65NW
Sultana - Reserva R. Blco	110	5,0703	75,4548	2173		N11E/12SE
Sultana - Reserva R. Blco	119	5,0713	75,4517	2218		N5E/31SE
Sultana - Reserva R. Blco	119	5,0713	75,4517	2218		N5E/34SE
Sultana - Reserva R. Blco	119	5,0713	75,4517	2218	N40E/67NW	
Sultana - Reserva R. Blco	122	5,0712	75,451	2219	N20E/45SE	
Sultana - Reserva R. Blco	122	5,0712	75,451	2219	N20E/30SE	
Sultana - Reserva R. Blco	122	5,0712	75,451	2219	N25E/32NW	
Sultana - Reserva R. Blco	122	5,0712	75,451	2219	N68E/83SE	
Sultana - Reserva R. Blco	122	5,0712	75,451	2219	N68E/90	
Sultana - Reserva R. Blco	122	5,0712	75,451	2219	N5E/55SE	
Sultana - Reserva R. Blco	122	5,0712	75,451	2219	N58W/76NE	
Sultana - Reserva R. Blco	122	5,0712	75,451	2219	NS/62E	
Sultana - Reserva R. Blco	128	5,0711	75,451	2216		NS/65E
Sultana - Reserva R. Blco	137	5,0717	75,4496		EW/90	
Sultana - Reserva R. Blco	137	5,0717	75,4496		N10E/64SE	
Sultana - Reserva R. Blco	137	5,0717	75,4496		N10E/75SE	
Sultana - Reserva R. Blco	137	5,0717	75,4496		N65E/88NW	
Sultana - Reserva R. Blco	137	5,0717	75,4496		N74W/65NW	
Sultana - Reserva R. Blco	137	5,0717	75,4496		N5E/35SE	

Sultana - Reserva R. Blco	137	5,0717	75,4496		N70E/84NW	
Sultana - Reserva R. Blco	137	5,0717	75,4496			N7E/88SE
Sultana - Reserva R. Blco	146	5,072	75,4493	2253	N75W/65NE	
Sultana - Reserva R. Blco	146	5,072	75,4493	2253	N77W/75NE	
Sultana - Reserva R. Blco	150	5,072	75,4491	2268		N17W/40NE
Sultana - Reserva R. Blco	150	5,072	75,4491	2268		N14W/15NE
Sultana - Reserva R. Blco	150	5,072	75,4491	2268		N18E/25SE
Sultana - Reserva R. Blco	150	5,072	75,4491	2268		N20E/30SE
Sultana - Reserva R. Blco	151	5,0717	75,4487	2389,3	EW/90	
Sultana - Reserva R. Blco	151	5,0717	75,4487	2389,3		N52E/88SE
Sultana - Reserva R. Blco	151	5,0717	75,4487	2389,3		N28E/90
Sultana - Reserva R. Blco	152	5,0719	75,4492	2223	N70W/79NE	
Sultana - Reserva R. Blco	152	5,0719	75,4492	2223	N7E/37SE	
Sultana - Reserva R. Blco	152	5,0719	75,4492	2223	N7E/41SE	
Sultana - Reserva R. Blco	152	5,0719	75,4492	2223	N55E/82SE	
Sultana - Reserva R. Blco	152	5,0719	75,4492	2223	N75W/75NE	
Sultana - Reserva R. Blco	153	5,0719	75,4492	2224		N75E/6SE
Sultana - Reserva R. Blco	153	5,0719	75,4492	2224		N36E/55SE
Sultana - Reserva R. Blco	159	5,0713	75,4482	2239		N43E/48SE
Sultana - Reserva R. Blco	159	5,0713	75,4482	2239		N60W/42NE
Sultana - Reserva R. Blco	159	5,0713	75,4482	2239		N70W/43NE
Sultana - Reserva R. Blco	172	5,0743	75,454			N70W/74NE
Sultana - Reserva R. Blco	174	5,0756	75,455			N46W/67NE
Sultana - Reserva R. Blco	177	5,0756	75,4555			N45E/30SE
Sultana - Reserva R. Blco	185	5,0653	75,4711	2149		
Sultana - Reserva R. Blco	307	5,0635	75,4708			N38E/28SE
Sultana - Reserva R. Blco	307	5,0635	75,4708			N46W/73SW
Sultana - Reserva R. Blco	309	5,0635	75,4709			N72W/58SW
Sultana - Reserva R. Blco	311	5,0638	75,4714			N80W/85SW

Sultana - Reserva R. Blco	312	5,0638	75,4716			N44E/31SE
Sultana - Reserva R. Blco	312	5,0638	75,4716			N90W/48SW
Sultana - Reserva R. Blco	312	5,0638	75,4716			N45E/35SE
Sultana - Reserva R. Blco	312	5,0638	75,4716			N44E/11SE
Sultana - Reserva R. Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5		NS/36E
Sultana - Reserva R. Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5		NS/42E
Sultana - Reserva R. Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5		N16W/53NE
Sultana - Reserva R. Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5		N65W/30NE
Sultana - Reserva R. Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5		NS/43E
Sultana - Reserva R. Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5		N50E/88SE
Sultana - Reserva R. Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5	N80W/5SW	
Sultana - Reserva R. Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5	NS/81W	
Sultana - Reserva R. Blco	316	5,0637	75,4642	2125,5	N20E/39SE	
Villamaría (Carrilera)	VJD-01	5,0498	75,5182		N50W/10NE	
Villamaria (Carrilera)	VJD-02	5,0498	75,5182		N30W/40NE	
Villamaria (Carrilera)	VJD-03	5,0498	75,5182		270/75	
Villamaria (Carrilera)	VJD-04	5,0498	75,5182		280/70	
Villamaria (Carrilera)	VJD-05	5,0498	75,5182			50/60
Villamaria (Carrilera)	VJD-06	5,0498	75,5182			60/65
Villamaria (Carrilera)	VJD-07	5,0498	75,5182			275/63
Villamaria (Carrilera)	VJD-08	5,0498	75,5182			107/50
Villamaria (Carrilera)	VJD-09	5,0498	75,5182			120/50
Villamaria (Carrilera)	VJD-10	5,0498	75,5182			
Villamaria (Carrilera)	VJD-11	5,0498	75,5182			NS/65E
Villamaria (Carrilera)	VJD-12	5,0428	75,5251		N40W/57SW	
Villamaria (Carrilera)	VJD-13	5,0428	75,5251		EW/80S	
Villamaria (Carrilera)	VJD-14	5,0428	75,5251		N75E/52SE	
Villamaria (Carrilera)	VJD-15	5,0428	75,5251		EW/60N	
Villamaria (Carrilera)	VJD-16	5,0361	75,5256			N50W/85NE

Villamaria (Carrilera)	VJD-17	5,0361	75,5256	N28E/87SE	
Villamaria (Carrilera)	VJD-18	5,0361	75,5256	NS/85E	
Villamaria (Carrilera)	VJD-19	5,0361	75,5256	N54E/40NW	
Villamaria (Carrilera)	VJD-20	5,0361	75,5256		N45E/53NW
Villamaria (Carrilera)	VJD-21	5,0361	75,5256	119/85	
Villamaria (Carrilera)	VJD-22	5,0361	75,5256	295/87	
Villamaria (Carrilera)	VJD-23	5,0361	75,5256	30/72	
Villamaria (Carrilera)	VJD-24	5,0361	75,5256	34/76	
Villamaria (Carrilera)	VJD-25	5,0361	75,5256	30/84	
Villamaria (Carrilera)	VJD-26	5,0361	75,5256		295/86

