

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL CAMPO COLORADO A ESCALA 1:25.000

ERWIN JOSE MANUEL ZAFRA TORRES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2013

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL CAMPO COLORADO A ESCALA 1:25.000

ERWIN JOSE MANUEL ZAFRA TORRES

Trabajo de Grado para optar al título de

Geólogo

Director

FRANCISCO VELANDIA PATIÑO

Geólogo. Msc.

Co-Director

SAIT KHURAMA VELASQUEZ

Geólogo. Msc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2013

Dedicada a Gloria mi madre.

“En la vida aprender es lo
único que no hay que dejar
de hacer”

Agradecimientos

A mi Madre, Gloria, y mis hermanas, Paola, Laura y a Betto, por la compañía y apoyo.

A la Universidad Industrial de Santander, especialmente a la Escuela de Geología quienes me acogieron en esta larga etapa y me ayudaron a la formación como profesional; especialmente al profesor Francisco Velandia Patiño, por la confianza, paciencia y por dirigirme en la realización de este proyecto, igualmente a los profesores Luis Carlos Mantilla, Jairo Clavijo, Carlos Ríos, Jorge Rubiano, Georgina Guzman, Luis Eduardo Moreno, Eliecer Uribe, Yasmin Pelayo y Lidy Osorio, por sus conocimientos y aportes a mi formación como geólogo.

A Lucho, técnico del laboratorio de secciones delgadas de la escuela de geología por la ayuda y compañía en la preparación de muestras.

A Campo Escuela Colorado, por el acogimiento y la ayuda prestada.

A las Ing. Scarleth Badillo y Carolina Correa, por el soporte operativo dentro de las instalaciones del Campo Escuela.

A Scarleth, Aleja F, Don Julio, la profe Gloria y Carito, por hacer acogedora la etapa de campo.

A Tita, Diana C, Ronald, Carito G Co, Kiki, Angie, Jhon, Diana Arenales, La negra, Toloza, Deisy, Alvaro M, El negro, Lady Jackie, Keki, andre matajira y elli, por su comprensión y amistad en el transcurso del pregrado.

A mi Triny, Alvarete y Montañito por ser un soporte, respaldo y principalmente por aguantarme todo este tiempo.

A Cangrejo, AnaMaCifuNa, Ini, Mochii, David, Joyita, Pérez, Flo, Julián y La Flaca, porque pasaron de ser compañeros a ser buenos amigos.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 21 |
| 1. OBJETIVOS | 23 |
| 1.1. Objetivo General | 23 |
| 1.2. Objetivos Específicos | 23 |
| 2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 24 |
| 3. METODOLOGÍA | 26 |
| 3.1. Fase I: Investigación previa..... | 27 |
| 3.1.1. Fotointerpretación: | 27 |
| 3.1.2. Modelo Digital de Elevaciones (MDE) | 30 |
| 3.1.3. Mapas preliminares: | 31 |
| 3.2. Fase II: Campo..... | 32 |
| 3.3. Fase III: Preparación y Análisis de Muestras | 33 |
| 3.4. Fase IV: Interpretación y Análisis de Resultados. | 35 |
| 3.5. Fase V: Fase Final. | 35 |
| 4. GEOLOGIA REGIONAL..... | 36 |
| 4.1. Estratigrafía | 38 |
| 4.1.1. Formación Mugrosa (Paleógeno) | 38 |
| 4.1.2. Formación Colorado (Paleógeno – Neógeno) | 40 |
| 4.1.3. Grupo Real (Neógeno) | 40 |
| 4.1.4. Formación Mesa (Cuaternario)..... | 41 |
| 4.2. Geología Estructural..... | 43 |
| 4.2.1. Falla la Salina | 43 |
| 4.2.2. Falla de Arrugas: | 43 |
| 4.2.3. Falla Infantas | 44 |
| 4.2.4. Anticlinal de San Luis | 44 |
| 5. MARCO TEORICO | 46 |

| | |
|---|-----|
| 5.1. Geomorfología..... | 46 |
| 5.2. Petrografía..... | 51 |
| 6. CARTOGRAFIA GEOLÓGICA..... | 61 |
| 6.1. Geomorfología..... | 64 |
| 6.2. Estratigrafía | 69 |
| 6.2.1. Formación Colorado (Toc)..... | 69 |
| 6.2.2. Grupo Real (Tmr) | 74 |
| 6.2.3. Depósitos Cuaternarios | 75 |
| 6.3. Petrografía..... | 78 |
| Descripción y clasificación de secciones delgadas | 78 |
| 6.3.1. Lodolitas Arenosas (Mz)..... | 79 |
| 6.3.2. Areniscas Lodosas (Sm) | 84 |
| 6.3.3. Areniscas Limosas (Sz)..... | 92 |
| 6.4. Geología Estructural..... | 95 |
| 6.4.1. Zona A..... | 98 |
| 6.4.2. Zona B..... | 98 |
| 6.4.3. Zona C..... | 98 |
| 6.5. Análisis Cinemático. | 100 |
| 7. DISCUSIÓN | 105 |
| CONCLUSIONES..... | 110 |
| RECOMENDACIONES | 112 |
| BIBLIOGRAFIA | 113 |
| ANEXOS | 118 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de localización del área de estudio (CEC), indicando la ubicación y localización en la cuenca del Valle Medio del Magdalena y el departamento de Santander (Colombia), junto con la localización del polígono definido como el Campo Colorado..... | 25 |
| Figura 2. Estereoscopio de Espejos. | 28 |
| Figura 3. Líneas de vuelo utilizadas para la foto-interpretación A. Vuelo C-2139, B. Vuelo C-2587, C. Vuelo C- 2700..... | 29 |
| Figura 4. Localización de las líneas de vuelo C-2587 (Verde), C-2700 (Anaranjado) y C-2139 (Azul) en el Polígono del Campo Colorado (Ciano)..... | 29 |
| Figura 5. Modelo Digital de Elevaciones (MDE). A y B. Vista Superior, C y D. Vistas laterales auxiliares. | 30 |
| Figura 6. Mapa preliminar, Integración entre mapa Litológico y mapa topográfico. | 31 |
| Figura 7. Mapa planteado para los recorridos en la fase de campo, de color amarillo el polígono que delimita el Campo Colorado, de color amarillo claro la vía principal y de color rojo las vías de acceso vehicular en la zona del trabajo. | 32 |
| Figura 8. Mufla (Elconap)..... | 34 |
| Figura 9. Cortadora de Rocas (Row-Ratheno)..... | 34 |
| Figura 10. Pulidora Para Abrasivo (Buehler). | 34 |
| Figura 11. Platina de Calentamiento (Buehler). | 34 |
| Figura 12. Microscopio de luz polarizada marca Nikon Eclipse E200..... | 34 |
| Figura 13. Microscopio Petrográfico (Carl Zeiss Jena) de luz polarizada. | 34 |
| Figura 14. Mapa físico de Colombia y las regiones cercanas que ilustran la configuración tectónica general y fisiográfica de la cuenca del VMM (en el polígono blanco) rodeada por la cordillera de los Andes en el noroeste de América del Sur (Gómez et al. 2005). | 36 |
| Figura 15. Columna Estratigráfica Generalizada del VMM, indicándose con cuadro de color rojo las unidades que afloran en el CEC (Modificada de Rolón, 2004). ... | 39 |

| | |
|--|----|
| Figura 16. A. Mapa de Terrenos B. Zoom, en el cual se indica el corte 3.11 en el mapa de terrenos C. corte 3.11 y D. Zoom del corte 3.11 de la zona de interés para el presente proyecto, en el cual se indican las estructuras de interés y el Campo Colorado (modificado de López, 2003)..... | 42 |
| Figura 17. A. Mapa de localización geográfica de las cuencas del Valle Medio y Valle Superior del Magdalena con ubicación de los principales yacimientos petrolíferos y ubicación de los cortes geológicos; B. zoom de esquema de cortes de interés en la zona de estudio; C. Cortes Geológicos (Q-Q'); D. Cortes Geológicos (R-R') E. Cortes Geológicos (W-W') (modificado de Mojica y Franco, 1990)..... | 45 |
| Figura 18. Patrones básicos de drenaje. Cada uno de ellos puede ocurrir a diferentes escalas e identificarse en fotografías aéreas. Tomado de A.D. Howard 1967..... | 50 |
| Figura 19. Tabla de tamaño de grano (textural) de Wentworth, tomada de Cruz et al, 2004, pág. 2. | 52 |
| Figura 20. Calibrado de las partículas según Pettijhon, en Boggs, Jr. 1987, Pág. 113..... | 53 |
| Figura 21. Forma de las partículas con base en el concepto de esfericidad o la uniformidad de los ejes mayor, intermedio y menor, perpendiculares entre sí. Friedman 1987..... | 54 |
| Figura 22. Termino de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Powers, 1953, en Compton 1962..... | 54 |
| Figura 23. Tipos de fábrica presente en los sedimentos y en las rocas sedimentarias (Cruz et al, 2004)..... | 55 |
| Figura 24. Tipos de matriz presente en los sedimentos y en las rocas sedimentarias (Cruz et al, 2004)..... | 55 |
| Figura 25. Tipos de contacto entre partículas en los sedimentos y en las rocas sedimentarias. (Cruz et al, 2004)..... | 56 |
| Figura 26. Diagrama con los procesos de compactación en las areniscas (a) Estructura con alta porosidad en la sedimentación, (b) Estructura después de la compactación mecánica, (c) Estructura después de la compactación mecánica y química. (Burley y Worden, 2003)..... | 58 |
| Figura 27. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente tamaño de grano para rocas siliciclásticas o terrígenas (Folk, 1974). | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 28. Tabla con la nomenclatura y terminología general y específica (de uso) para la clasificación textural de las rocas siliciclásticas y de sedimentos con base en el tamaño de grano (Folk, 1974). | 59 |
| Figura 29. Diagrama triangular para la clasificación textural (tamaño de grano) de las rocas terrígenas de grano fino, Modificado de Folk (1974). | 60 |
| Figura 30. Representación gráfica en la cual se observar la localización de las estaciones en las cuales se recolectaron datos geológicos en el presente trabajo, representadas con una X de color cian y su respectivo número de orden de clasificación, de color azul los ríos Cascajales, la Colorada y fuego y color rojo la vía principal y el corregimiento de Yarima. | 61 |
| Figura 31. Leyenda Mapa Geológico. | 62 |
| Figura 32. Mapa Geológico Campo Escuela Colorado. | 63 |
| Figura 33. Corte Geológico A-A' | 64 |
| Figura 34. Patrones de drenaje trazados en fotografías aéreas encontrados en el Campo Colorado. A. Fotografías aéreas del vuelo serie C-2139. B. y C. Patrón de drenaje tipo Dendrítico. D. Patrón de drenaje tipo Paralelo. | 65 |
| Figura 35. Mapa con unidades geomorfológicas definidas a partir del Modelo Digital de Elevaciones. | 67 |
| Figura 36. Fotografía en la cual se observan los depósitos acumulados en el margen del rio Cascajales (Zona B). | 68 |
| Figura 37. Fotografía en la cual se observa relieve suave poco quebrado en la zona central del Campo Colorado (Zona C). | 68 |
| Figura 38. Cuadro representativo con las unidades estratigráficas aflorantes en el Campo Escuela Colorado, la Formación Mugrosa no se encuentra aflorando en el sector del CEC. | 69 |
| Figura 39. Fotografía en la cual se observa en la parte inferior lodolitas rojizas de varias tonalidades pertenecientes a la Formación Colorado y en la parte superior depósitos conglomeráticos pertenecientes a los depósitos formados en los bordes del rio Cascajales. | 70 |
| Figura 40. Fotografías en las cuales se observa las diferentes tipos de tonalidades en un paquete de lodolitas perteneciente a la Formación Colorado junto con diaclasas cerradas y abiertas con transito de fluidos por presencia de óxidos. | 71 |

| | |
|---|----|
| Figura 41. Fotografía panorámica (A.) y de detalle (B.) de la Formación Colorado en las que se observan A. las intercalaciones entre las areniscas y las lodolitas rojizas y B. meteorización esferoidal en la capa de lodolitas y el alto fracturamiento. | 72 |
| Figura 42. Límite entre paquete de arenisca de grano fino y capa de arcillolita rojiza pertenecientes a la Formación Colorado..... | 73 |
| Figura 43. Paquete de arenisca de grano fino a medio perteneciente a la formación Colorado. | 73 |
| Figura 44. Arenisca cuarzosa de grano medio-grueso perteneciente al grupo Real. | 74 |
| Figura 45. A. Litoarenita con estratificación sub paralela perteneciente al grupo Real. B. Arenisca de grano fino límite con lodolita moteada de colores rojizos y morada perteneciente al grupo Real..... | 74 |
| Figura 46. Depósito aluvial formado por el río Cascajales hacia el NE del Campo. | 75 |
| Figura 47. Fotografía en la cual se observa la composición de la terraza aluvial sobre la vía la Llana hacia el casco urbano del corregimiento de Yarima. | 76 |
| Figura 48. Depósito aluvial al margen del río la Colorada conformado por gravas y turbas con matriz arcillosa. | 76 |
| Figura 49. Fotografía en la cual se observa al fondo el río La Colorada y el límite de la Formación Colorado (C) con el depósito del Cuaternario (Qt). | 77 |
| Figura 50. Fotografía en la que se observa la barra de punto generada por el río Cascajales en el punto la Llana. | 77 |
| Figura 51. Imagen tomada por Google Earth en la cual se observan los depósitos de canal, la barra de punto y zonas de inundación generada por el río Cascajales | 77 |
| Figura 52. Esquema de localización respecto al polígono del CEC de las muestras a las cuales se les realizaron sección delgada. | 78 |
| Figura 53. Fotografía de la muestra MZT-12 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicoles cruzados (Izquierda), nicoles paralelos (Derecha), en la cual se indica con círculos de color rojo cristales de moscovita (Ms) detrítica adyacentes a cristales de cuarzo (Qzt), cemento ferruginoso (CF), cristales de cuarzo, cristales de feldespatos (F), y minerales opacos | 79 |

- Figura 54. Fotografía de la muestra MZT-12 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicols cruzados (Izquierda), nicols paralelos (derecha), en la cual se indica con contornos y círculos de color amarillo la porosidad primaria en la muestra, con cuadrados de color rojo se indica el cemento silíceo bordeando un cristal de cuarzo (Qzt), cristales de moscovita (Ms) detrítica adyacentes a cristales de cuarzo (Qzt) , cemento ferruginoso (CF), cristales de cuarzo, cristales de feldspatos (F), líticos sedimentarios (LS) y minerales opacos (RT).....80
- Figura 55. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-12, por medio de petrografía en el presente estudio.80
- Figura 56. Fotografía de la muestra MZT-16 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B), nicols cruzados (A), nicols paralelos (B), en la cual se indica con rectángulos de color amarillo el cemento silíceo y en cuadrados de color rojo el contacto cóncavo convexo entre las partículas de Cuarzo (Qzt) en contacto con cemento ferruginoso (CF).81
- Figura 57. Fotografía de la muestra MZT-16 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B), nicols cruzados (A), nicols paralelos (B), en la cual se observan cristales de cuarzo (Qzt) fracturados y en contacto cóncavo convexo, cemento ferruginoso (CF) en la parte derecha y líticos sedimentarios (LS).82
- Figura 58. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-16, por medio de petrografía en el presente estudio.82
- Figura 59. Fotografía de la muestra MZT-21 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B), nicols cruzados (A), nicols paralelos (B) en la cual se puede observar la porosidad secundaria y los contactos flotantes gran abundancia en la muestra.83
- Figura 60. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-21, por medio de petrografía en el presente estudio.83
- Figura 61. Fotografías de la muestra MZT-6 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B, C, D, E, F), nicols cruzados (izquierda), nicols paralelos (derecha).84

| | |
|---|----|
| Figura 62. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-6, por medio de petrografía en el presente estudio. | 85 |
| Figura 63. Fotografías de la muestra MZT-6 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B, C, D, E, F), nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha). | 86 |
| Figura 64. Fotografías de la muestra MZT-9 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B, E, F), y 10x (C, D), nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha); en las cuales se evidencian cristales de cuarzo (Qtz) fracturados en abundancia y cristales tabulares de cuarzo (Qtz) presentes en segregación. | 87 |
| Figura 65. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-9, por medio de petrografía en el presente estudio. | 88 |
| Figura 66. Fotografías de la muestra MZT-10 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha), indicándose con los cuadros rojos el fracturamiento de los cristales de cuarzo, en los cuadros amarillos el contacto cóncavo convexo y cemento de sílice, y cirulo blanco minerales accesorios opacos. | 89 |
| Figura 67. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-10, por medio de petrografía en el presente estudio. | 90 |
| Figura 68. Fotografías de la muestra MZT-20 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B), 10x (C, D), nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha), en la cual se observa demarcado con cuadros de color amarillo la porosidad intrapartícula o secundaria, cuadros de color rojo la porosidad interpartícula o primaria y cuadros de color blanco el contacto cóncavo convexo con cemento de sílice entre dos cristales de cuarzo (Qtz), feldespato (F), líticas sedimentarios (LS), mineral accesorio zircón (Zr), matriz arcillosa (MT) y cemento ferruginoso (CF). | 91 |
| Figura 69. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-20, por medio de petrografía en el presente estudio. | 91 |

| | |
|---|-----|
| Figura 70. Fotografías de la muestra MZT-20 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 20x, nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha), en la cual se pueden observar cristales de cuarzo en contacto cóncavo convexo, líticos sedimentarios (LS) y fragmentos de roca sedimentarias compuesto principalmente por plagioclasas. | 92 |
| Figura 71. Fotografías de la muestra MZT-19 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha), en la cual se indica con flechas de color amarillo la porosidad primaria presente en la muestra y con flechas de color blanco la porosidad secundaria producto de la disolución de la matriz y de cristales de la matriz, cristales de Cuarzo (Qtz), Feldespato (F), Moscovita (Ms), cemento ferruginoso (CF), líticos sedimentarios (LS)..... | 93 |
| Figura 72. Fotografías de la muestra MZT-19 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 10x, nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha), en la cual se indica con flechas amarillas la porosidad primaria formada en el estado de depositación de los sedimentos, cristales alargados de moscovita (Ms) en la parte superior con poca deformación mecánica por los cristales colindantes, cristales de cuarzo (Qtz) y cemento ferruginoso abundante en la muestra. | 93 |
| Figura 73. Fotografías de la muestra MZT-19 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha), en la cual se indica con cuadro de color amarillo la disolución de la matriz formando porosidades secundarias, indicando con cuadros de color aciano disolución de cristales de Feldespatos y matriz arcillosa. | 94 |
| Figura 74. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-19, por medio de petrografía en el presente estudio. | 94 |
| Figura 75. Esquema de división por zonas delimitadas por las fallas Cascajales y la Colorada, para el desarrollo del análisis estructural y cinemático de la zona central del Campo Colorado, Zona A (Purpura), Zona B (verde), Zona C (Azul)... | 95 |
| Figura 76. Estereodiagramas para los datos estratigráficos de la zona A (1), zona B (2) y zona C (3), de izquierda a derecha, proyección estereográfica β y s-polos y proyección con plano axial, planos de flancos, dirección, cabeceo de la estructura presente en la zona. | 99 |
| Figura 77. Esquema estructural en base a la cartografía a escala 1:100.000, (Izquierda, mapa geológico planchas 134 y 119 (Gómez 2007, 2008); derecha esquema estructural. | 101 |

| | |
|---|-----|
| Figura 78. Método gráfico para la determinación del elipse de deformación para cizallamiento simple con generación de dilatancias (Grietas) (Rossello, 2001)... | 102 |
| Figura 79. Diagrama de elipse de deformación, realizado con datos de diaclasas abiertas presentes en la estación nueve..... | 102 |
| Figura 80. Orientación de las estructuras por cizalla simple sinestral (esquema de juego de Riedel)..... | 103 |
| Figura 81. Esquema estructural general para el CEC (Izquierda), elipse de deformación regional por cizalla simple (superior derecha) y elipse de deformación por cizalla simple al interior de la zona de limitada por las fallas Cascajales y la Colorada demarcando la zona central del campo (inferior derecha)..... | 103 |
| Figura 82. Mapa estructural integrado de la geología regional con el CEC. | 104 |
| Figura 83. Mapa estructural al tope de la Formación Mugrosa (Tomado de Ochoa, 2010)..... | 107 |
| Figura 84. Mapa estructural al tope de la Zona B (izquierda) y de la zona C (derecha) (Formación Mugrosa) (Tomado de GIGHC ,2013). | 108 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Tabla con las coordenadas que definen el polígono del Campo Colorado. | 24 |
| Tabla 2. Diagrama de la metodología a llevar a cabo en el presente trabajo | 26 |
| Tabla 3. Fotografías aéreas utilizadas para la fotointerpretación de la zona de estudio | 28 |
| Tabla 4. Formato para la libreta con la cual se realizo la toma de datos en el campo | 33 |
| Tabla 5. Muestras de este estudio a las cuales se les realizo sección delgada, para la clasificación por el método textural de Folk (1974) para sedimentos y rocas de grano intermedio: Arenas y areniscas..... | 78 |
| Tabla 6. Datos litológicos y estructurales por estación y zona tomados en campo, tenidos en cuenta para el análisis estructural. | 97 |

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Mapa Geológico

ANEXO B: Mapa Estructural

RESUMEN

TITULO: CARTOGRAFIA GEOLOGICA DEL CAMPO COLORADO A ESCALA 1:25.000*

AUTOR: ERWIN JOSE MANUEL ZAFRA TORRES**

PALABRAS CLAVES: Cartografía Geológica, Campo Escuela Colorado, Formación Colorado, Zona de Cizalla, Cizalla Simple.

El Campo Escuela Colorado (CEC) como motor para la investigación en la comunidad universitaria ofrece varias alternativas para el desarrollo del aprendizaje, una de estas es el aporte al conocimiento de las ciencias geológicas el cual se desarrolla de varias maneras, tal es el caso de la elaboración de la cartografía geológica en el CEC a escala 1:25.000, con el fin de aportar nueva información en la geología de la zona, con tal motivo se realizó la interpretación geomorfológica a partir de fotografías aéreas, estratigrafía, petrografía para muestras de arenisca de la Formación Colorado, análisis estructural y el análisis cinemático enfocado a la parte central del campo.

El entorno geológico en el campo se encuentran aflorando rocas pertenecientes a la Formación Colorado (Paleógeno - Neógeno), Grupo Real (Neógeno), terrazas aluviales y depósitos recientes (Cuaternario) junto con la presencia de una estructura anticlinal con dirección NNW (Anticlinal Colorado) y fallas que lo cortan de manera transversal, una de estas controlando el curso del río Cascajales (Falla Cascajales) y otra de manera paralela hacia la parte sur central (Falla La Colorada) ambas con componente normal y cinemática de rumbo sinistral, inferidas por características geomorfológicas y corroboradas con datos estructurales y estratigráficos de campo, las cuales delimitan una zona de cizalla con cizalla sinistral simple interna de dirección NW-SE en el esfuerzo principal y un ángulo de inflexión de 80° NE.

* Proyecto de Grado. Modalidad: Investigación.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: M. Sc. Francisco Velandia Patiño. Codirector: M. Sc. Sait Khurama Velasquez.

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGICAL CARTOGRAPHY OF COLORADO FIELD TO SCALE 1:25.000*

AUTHOR: ERWIN JOSE MANUEL ZAFRA TORRES**

KEY WORDS: Geological Cartography, Formation Colorado, Shears Zone, Simple Shears.

Colorado School Field (CSF) as an engine for research to the community university offers alternatives for development of learning , one of these is the contribution to knowledge of the geological science which develops from different ways, as example is the development of geological cartography of Colorado field to scale 1:25.000 CSF, to provide new information to geology science, for that reason it have realized geomorphological interpretation of aerial photographs , stratigraphy , petrography sandstone sample Colorado training , structural analysis of surface data and kinematic analysis focused on the center of the field.

In the geological area of the land outcrops rocks belonging to Colorado Formation (Paleogene - Neogene) Royal Group (Neogene) resent terraces and alluvial deposits (Quaternary) along with the presence of an anticlinal structure direction NNW (Colorado Anticlinal) and faults that cut it transversely, one of these is controlling the Cascajales river (Cascajales Fault) and another parallel to south central part (Colorada Fault) both faults with normal component and sinistral kinematics of course, inferred by geomorphological features and corroborated for structural data and stratigraphic field , which define a shear zone with domestic simple shear NW- SE direction in the main effort and turning angle of 80 ° SE.

* Degree Project, Modality Investigation.

** Faculty of Physical-chemistry. School of Geology. Director. M. Sc. Francisco Velandia Patiño. Codirector: M. Sc. Sait Khurama Velasquez.

INTRODUCCIÓN

La incertidumbre asociada a la geología de superficie a diferentes escalas, ha sido con frecuencia un interrogante en Colombia, debido a la falta de información para varias zonas. En el área de análisis de este proyecto se han realizado arduos estudios de geología aplicada al petróleo por la presencia de este en el campo; en las décadas de los años 20's se iniciaron las exploraciones en el Campo Colorado y aunque inicialmente no fue de gran aporte a la industria de los hidrocarburos del país, al continuar con las investigaciones se logro dar un gran avance en la explotación del georecurso, llegando a su máxima producción en el año de 1961 con 1765 BOPD; debido que fue en la época con mayor cantidad de pozos en funcionamiento, al llegar al año de 1966 la producción había caído hasta los 430 BOPD (Ecopetrol, 2003), por la complicada continuidad lateral del yacimiento y al poco espesor de la Formación Mugrosa (siendo esta la roca almacenadora).

En el año de 2006 el Campo Colorado fue entregado por Ecopetrol a la Universidad Industrial de Santander (UIS) con el fin de proporcionar una oportunidad de innovar en la investigación y el desarrollo tecnológico desde la academia, siendo en la actualidad uno de los mejores espacios para la investigación.

Debido a la gran demanda de información por ser una zona por excelencia productora de hidrocarburos, sus estudios geológicos han sido frecuentemente realizados con información de profundidad, dejando un vacío en la geología de superficie; en los años de 2008 y 2009 la empresa GRP (Geología Regional Y Prospección) junto con el Ingeominas publican un estudio titulado Cartografía Geológica y Muestreo Geoquímico a escala 1:100.000 para las planchas 119 y 134 (Gómez, et al, 2008 y 2009), en donde se encuentra comprendida la zona de este proyecto (Campo Escuela Colorado), siendo este el estudio cartográfico con mayor detalle realizado en este sector, es por ende que surgen la pregunta de investigación: ¿Cuál es la cartografía geológica del Campo Colorado, y cuáles son sus principales estructuras a escala 1:25.000?

En la actualidad el Campo Escuela Colorado (CEC) lleva a cabo varios proyectos de investigación, entre los cuales se encuentra la generación de un modelo geológico, por tal motivo es de importancia desarrollar modelos a partir de la geología de superficie; teniendo esta investigación como fin principal el aporte de información en geología de superficie.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Realizar la cartografía geológica, caracterización estratigráfica y análisis cinemático a escala 1:25.000 en un área de 70 km² del Campo Colorado

1.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características geomorfológicas basadas en la fotointerpretación del Campo Colorado.
- Describir las unidades litoestratigráficas presentes en el área del Campo Colorado.
- Determinar las características petrográficas de las litologías presentes en el Campo Colorado.
- Realizar el levantamiento de los datos estructurales y la definición de las estructuras (fallas y pliegues) presentes en el Campo Colorado.
- Realizar un análisis cinemático de las estructuras presentes, determinando las vergencias, relacionándolos con las estructuras regionales por medio del apoyo de los datos recolectados en campo.

2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es el Campo Colorado, ubicado en la Cuenca Valle del Medio del Magdalena (VMM), en la Provincia Estructural del Piedemonte Occidental de la Cordillera Oriental; al sureste de la ciudad de Barrancabermeja y al sur del Campo La Cira-Infantas. Geográficamente el Campo Colorado se encuentra localizado en el corregimiento de Yarima perteneciente al municipio de San Vicente de Chucuri – Departamento de Santander (Figura 1) limitado por el polígono compuesto por vértices descritos por los puntos de coordenadas (Tabla 1)

| Punto | Norte | Este |
|-------|--------------|--------------|
| 1 | 1'241.381.03 | 1'036.030.13 |
| 2 | 1'247.008.59 | 1'036.149.82 |
| 3 | 1'248.565.16 | 1'038.264.46 |
| 4 | 1'247.687.1 | 1'040.897.78 |
| 5 | 1'238.507.38 | 1'041.935.15 |
| 6 | 1'235.673.64 | 1'040.698.29 |
| 7 | 1'235.673.64 | 1'038.184.66 |

Tabla 1. Tabla con las coordenadas que definen el polígono del Campo Colorado.

Fuente: Autor

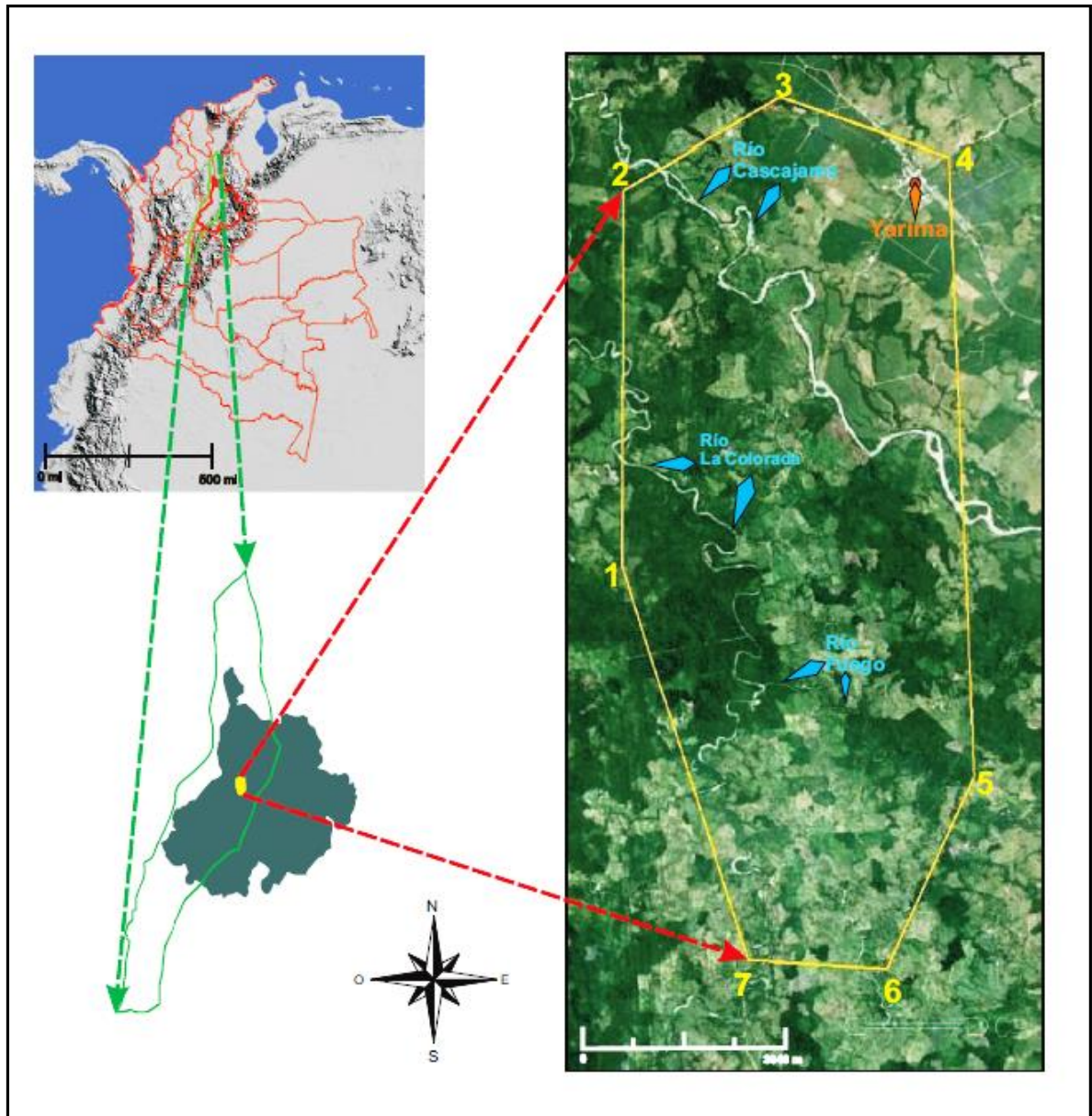


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio (CEC), indicando la ubicación y localización en la cuenca del Valle Medio del Magdalena y el departamento de Santander (Colombia), junto con la localización del polígono definido como el Campo Colorado.

3. METODOLOGÍA

La metodología a realizar en este proyecto de investigación se divide en cinco fases, investigación previa, campo, preparación de muestras, interpretación y análisis de resultados, y fase final (Tabla 2)

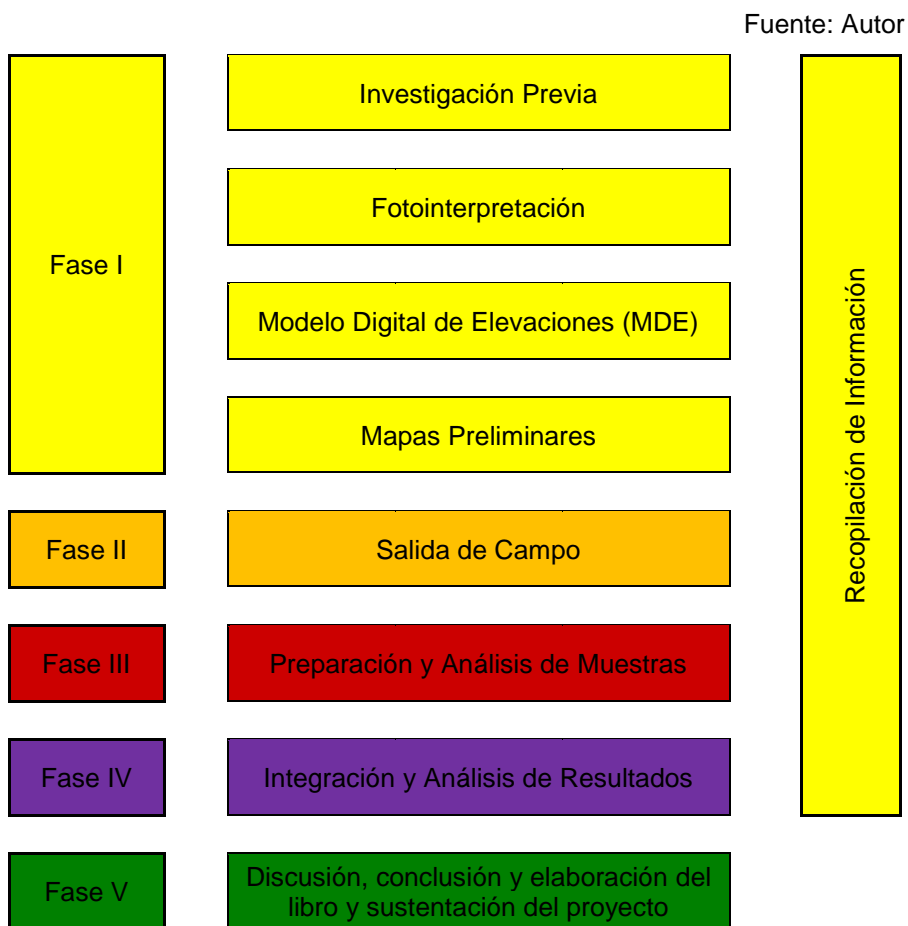


Tabla 2. Diagrama de la metodología a llevar a cabo en el presente trabajo

3.1. Fase I: Investigación previa.

- Esta fase Consiste principalmente en la recolección de los antecedentes; trabajos y estudios realizados en la zona de interés tales como, mapas topográficos, mapas y cortes geológicos a diferentes escalas, artículos, libros de texto, tesis, etc.

Para este proyecto se recopiló información de diferentes fuentes, entre estas se destacan, las publicaciones del INGEOMINAS, memorias explicativas del Cuadrángulo H13 y las planchas geológicas 119 y 134, en el boletín de geología – Revista UIS, tesis de pregrado UIS, Guías para la descripción de rocas sedimentarias (Cruz et al, 2004), Manual de Fotogeología (López, 1978), publicaciones Instituto Geográfico <Agustín Codazzi> Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de las Tierras (Villota, 1991) junto con las planchas topográficas 119-IV-C y 134-II-A.

Teniendo dicha información se procedió a la interpretación de esta, realizando un análisis foto-interpretativo, modelo digital de elevaciones y mapas preliminares.

3.1.1. Fotointerpretación:

El análisis foto-interpretativo se realizó con la ayuda de anáglifos de la zona, fotografías aéreas vuelos de la serie C-2139, C-2587 y C-2700 (Tabla 3), y un estereoscopio de espejos (Figura 2), suministrado por la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, con los cuales se trazando los posibles contactos y se establecieron posibles límites

litológicos en la geología aflorante en la zona al igual que se determinaron las principales características de los drenajes presentes en el área.

| Vuelo | Fotos | Escala | Año |
|---------------|-----------|----------|------|
| C-2139 | 185 a 186 | 1:43,000 | 1984 |
| C-2587 | 11 a 13 | 1:43,000 | 1996 |
| C-2700 | 4 a 10 | 1:19,800 | 2004 |

Tabla 3. Fotografías aéreas utilizadas para la fotointerpretación de la zona de estudio

Fuente: Autor



Figura 2. Estereoscopio de Espejos.

Para iniciar la foto-interpretación se realizó la integración y clasificación de los vuelos y fotografías aéreas (Figura 3) en el área del estudio y la respectiva localización de estas (Figura 4) siendo estas las mencionadas en la Tabla 3.

Al recolectar dicha información se procedió a realizar el análisis de los patrones de drenajes y los depósitos Cuaternarios, demarcando los límites entre estos y otras unidades, principalmente en los márgenes de los ríos Cascajales, La Colorada y río Fuego.

Fuente: Autor

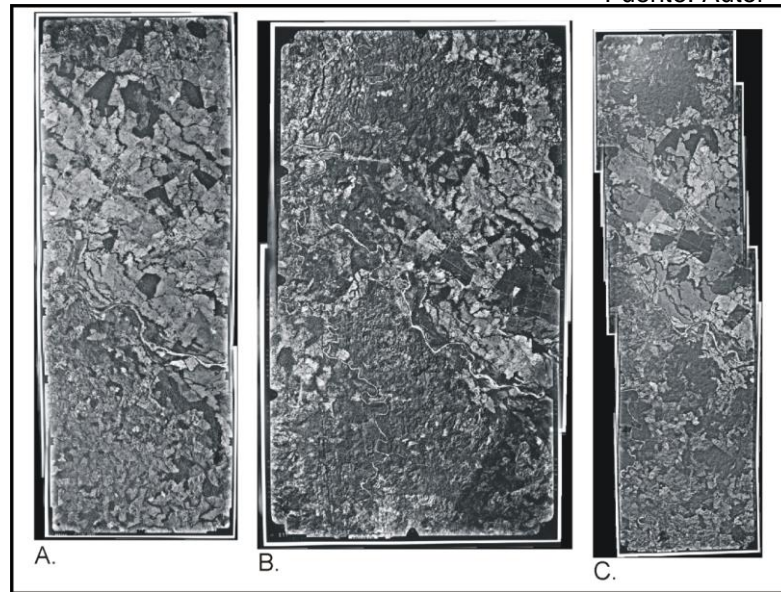


Figura 3. Líneas de vuelo utilizadas para la foto-interpretación
A. Vuelo C-2139, **B.** Vuelo C-2587, **C.** Vuelo C- 2700.

Fuente: Autor

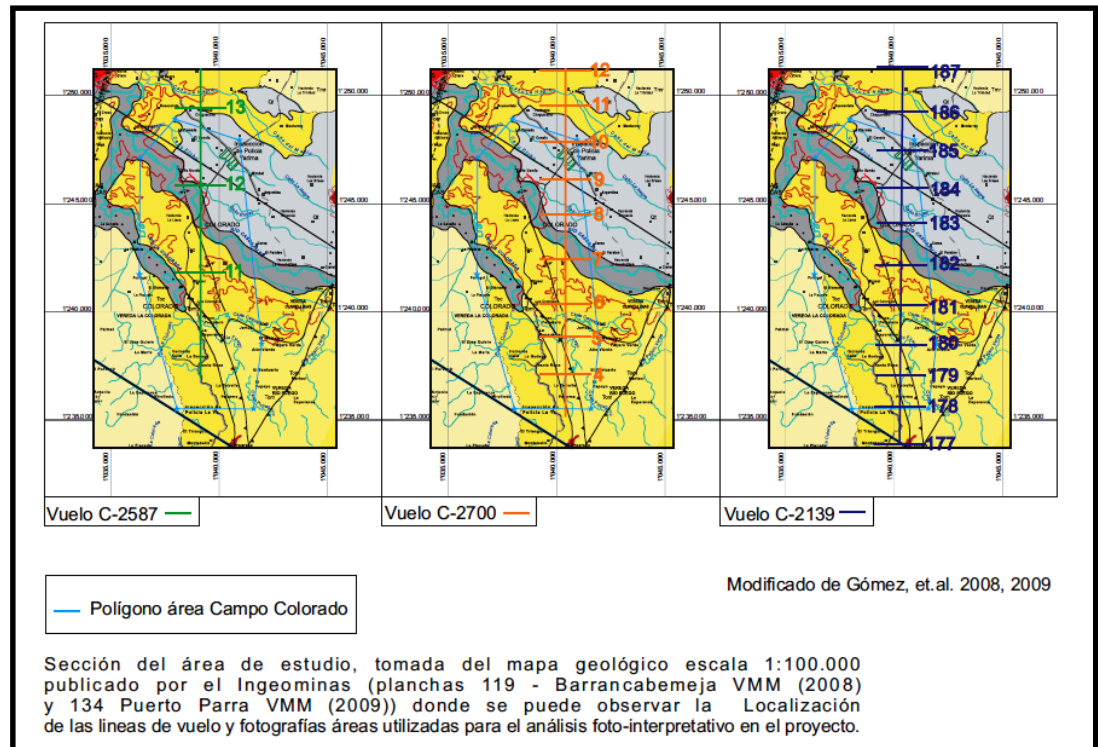


Figura 4. Localización de las líneas de vuelo C-2587 (Verde), C-2700 (Anaranjado) y C-2139 (Azul) en el Polígono del Campo Colorado (Ciano).

3.1.2. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, permitiendo caracterizar las formas del relieve y los elementos presentes en este.

Para el presente trabajo se realizó el modelo digital de elevaciones (Figura 5) con la ayuda un archivo SRTM Worlwide Elevation Data (3-arc-second Resolution) descargado de forma gratuita por internet (<http://srtm.csi.cgiar.org>) junto con la ayuda del software Global Mapper™

Fuente: Autor

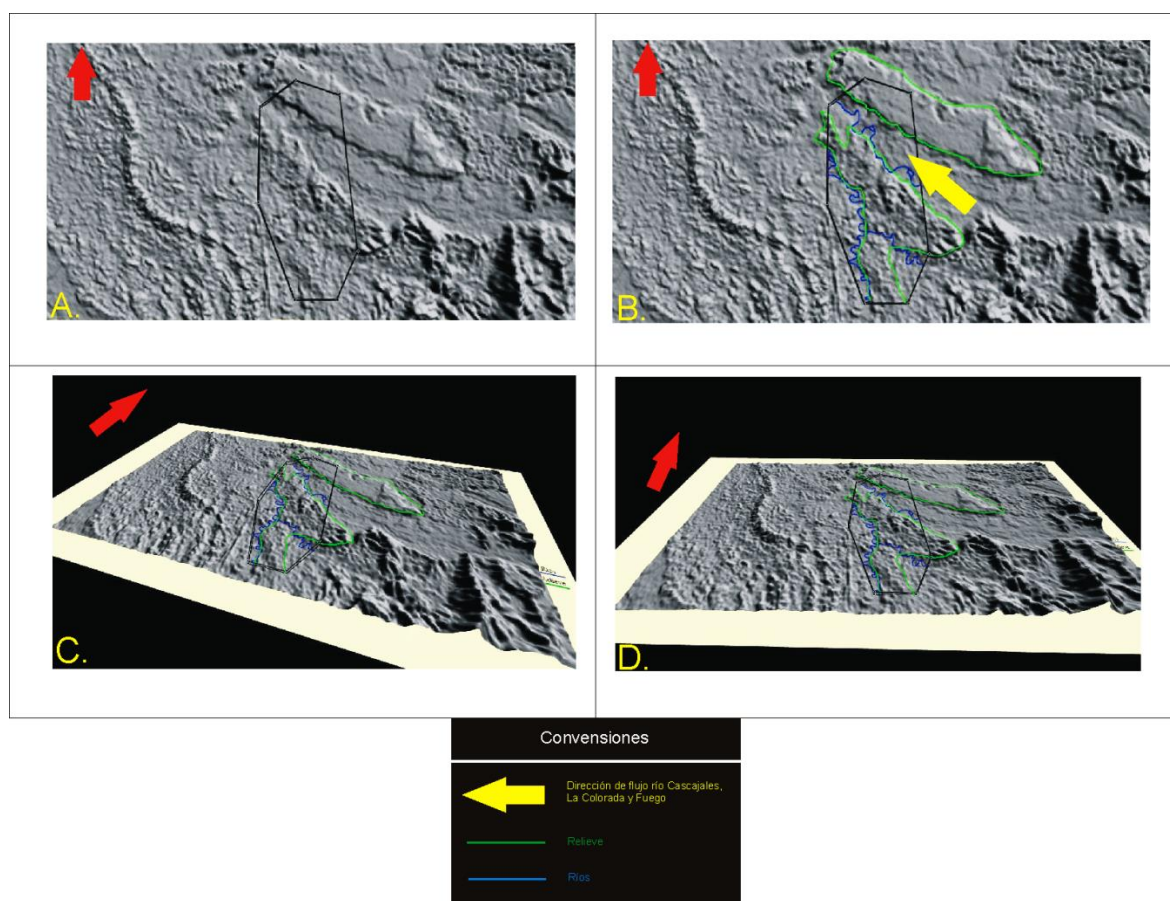


Figura 5. Modelo Digital de Elevaciones (MDE). **A y B.** Vista Superior, **C y D.** Vistas laterales auxiliares.

3.1.3. Mapas preliminares:

Se realizaron dos mapas preliminares, el primero fue un mapa geológico (Figura 6) realizado con el análisis foto-interpretativo y el Modelo Digital de Elevaciones mencionados previamente, planchas topográficas 119-IV-C y 134-II-A e información recolectada, principalmente el Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander a una escala 1:400.000 (Royero, Clavijo, 2001) y el mapa a escala 1:100.000 de la Cartografía Geológica y Muestreo Geoquímico de las planchas 119 y 134 (Gómez, et al, 2008) y el segundo fue un mapa de recorridos (Figura 7) realizado en el software GoogleEarth identificando las vías de acceso y zonas tentativas para el muestreo de datos.

Fuente: Autor

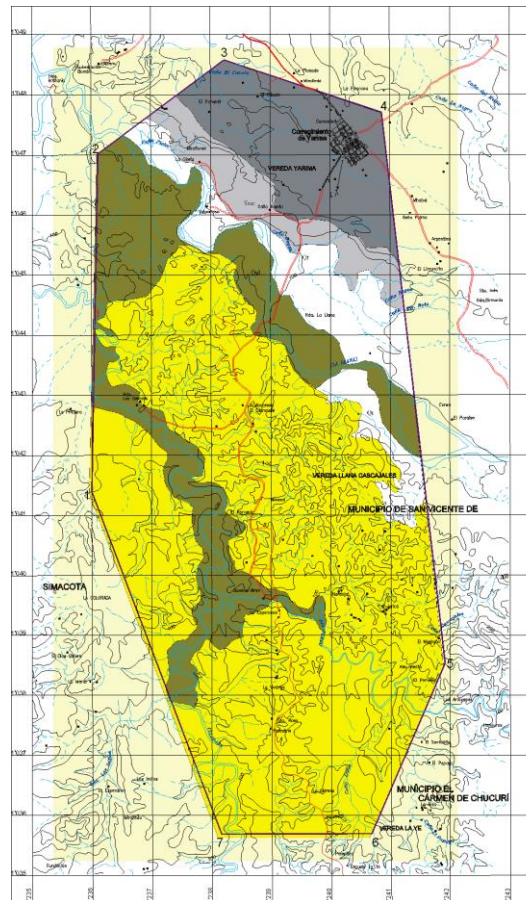


Figura 6. Mapa preliminar, Integración entre mapa Litológico y mapa topográfico.

Fuente: Autor

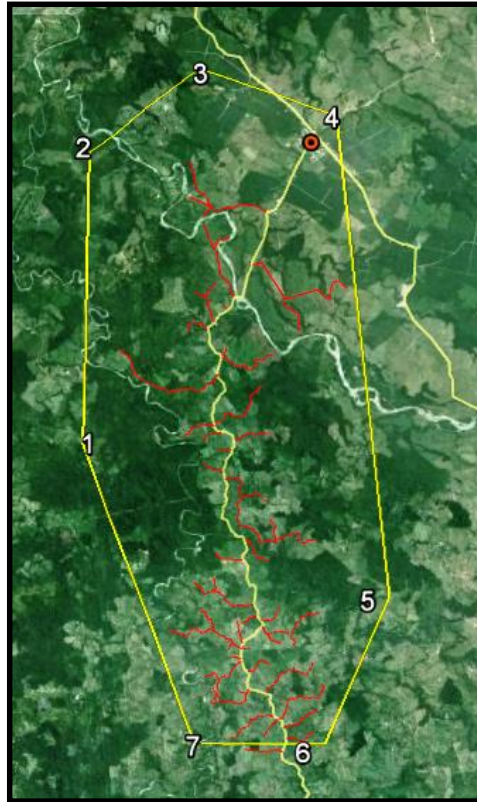


Figura 7. Mapa planteado para los recorridos en la fase de campo, de color amarillo el polígono que delimita el Campo Colorado, de color amarillo claro la vía principal y de color rojo las vías de acceso vehicular en la zona del trabajo.

3.2. Fase II: Campo.

Consiste en la realización de una campaña en donde se utilizaron los siguientes instrumentos: brújula para geología, ácido clorhídrico, lupa geológica 20x y 10x, martillo geológico, tablas de tamaño de granos, cámara fotográfica, bolsas plásticas, cinta de enmascarar y marcador indeleble; con la cual se realizó las siguientes actividades:

- Reconocimiento del área y reestructuración de recorridos y rutas para la toma de muestras y datos geológicos.
- Toma de datos geológicos (Datos de estratificaciones en diferentes puntos y diaclasas por estaciones, en las cuales sea veraz este).
- Toma y etiquetado de muestras litológicas.

- Toma de información relevante por estaciones (Tabla 4) indicando el numero de estación, coordenadas GPS, fecha, foto, dato litológico y estructural (diacclasas), descripción de afloramiento y numeración de muestra tomada
- Verificación de los contactos y estructuras demarcados en el mapa preliminar.
- Mapa de estaciones de control y de muestreo en la zona de estudio junto con descripción de esta en libreta de campo.

3.3. Fase III: Preparación y Análisis de Muestras

Consiste en el corte, impregnación con resina epóxica y pulido de laminas delgadas para algunas muestras de areniscas pertenecientes a la formación Colorado, las cuales se realizaron en el laboratorio de secciones delgadas y pulidas, perteneciente a la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, para lo cual se utilizaron los siguientes instrumentos: mufla Row-Ratheno (Figura 8), cortadora de rocas Row-Ratheno (Figura 9), pulidora para abrasivos Buehler (Figura 10), abrasivos de carburo de sílice con diferencia textural de grano 200, 400, 600 y 1000 Grit, platina de calentamiento Buehler (Figura 11) y Microscopio Petrográfico (Carl Zeiss Jena) de luz polarizada (Figura 12)

Fuente: Autor

| No. Estación | Día Mes Año | Coordenadas | | Altura | Error [+/- m] | Plancha 1 : 25.000 | Fotos | Azimuth Foto u orientación | Datos Diacclasas | Dato Litológico | Código Muestra | Descripción Estación | Observaciones |
|--------------|-------------------|-------------|------|--------|------------------|-----------------------|-------|----------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|---------------|
| | | Norte | Este | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 4. Formato para la libreta con la cual se realizo la toma de datos en el campo



Figura 8. Mufla (Elconap).



Figura 9. Cortadora de Rocas (Row-Ratheno).



Figura 10. Pulidora Para Abrasivo (Buehler).



Figura 11. Platina de Calentamiento (Buehler).



Figura 13. Microscopio Petrográfico (Carl Zeiss Jena) de luz polarizada.



Figura 12. Microscopio de luz polarizada marca Nikon Eclipse E200

La descripción, clasificación y fotografía de las muestras petrográficas se realizó en el laboratorio de microscopía de luz transmitida de la Escuela de Geología perteneciente a la Universidad Industrial de Santander con la ayuda de un microscopio de luz polarizada marca Nikon Eclipse E200 (Figura 13), basándose en el método para la clasificación textural según Folk (1974) para rocas sedimentaras (terrágenas), tomándose en cuenta las propiedades texturales: tamaño de grano según Folk (1974), redondeamiento y esfericidad de las partículas según Powers (1953), calibrado de las partículas según Pettijhon en Boggs, Jr (1987), fabrica de rocas (armazón, matriz y cemento) según Cruz et al (2004), poros y porosidad según Scrolle, (1979) y contacto entre partículas según Cruz et al (2004). Por medio de un microscopio petrográfico de luz polarizada.

3.4. Fase IV: Interpretación y Análisis de Resultados.

Consiste en realizar el análisis sistemático de la información recolectada en campo tanto datos estructurales como litológicos, terminación del mapa geológico a escala 1:25.000 de zona de estudio junto con su digitalización, integración del análisis de las muestras petrográficas y datos estructurales.

3.5. Fase V: Fase Final.

Consiste en la discusión, conclusión y elaboración del libro de tesis para la Universidad Industrial de Santander (UIS) y por último la sustentación del proyecto ante la escuela de Geología.

4. GEOLOGIA REGIONAL

La cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) separa las Cordilleras Central y Oriental; Cordilleras a las que se les ha asignado un significado muy diferente; mientras que la Cordillera Oriental se ha originado a partir de una estructura geosinclinal creada en el Mesozoico, la Central ha tendido a ser una región positiva separando los dos geosinclinales Occidental y Oriental. (Julivert, 1961). Siendo una cuenca intracordillerana basculada hacia el oriente, con tendencia homoclinal, ubicada entre las Cordilleras Central y Oriental; limitada al Norte por la falla de Bucaramanga, en cercanías de la población de El Banco, y al sur en inmediaciones de Jerusalén y la Falla de Cambao (Mojica, Franco, 1990), desde el arco formado por la localidad de Honda; hacia el este con las Fallas de la Salina, en la Cordillera Oriental y al Oeste por el Sistemas de Fallas de la Cordillera Central (Figura 14)

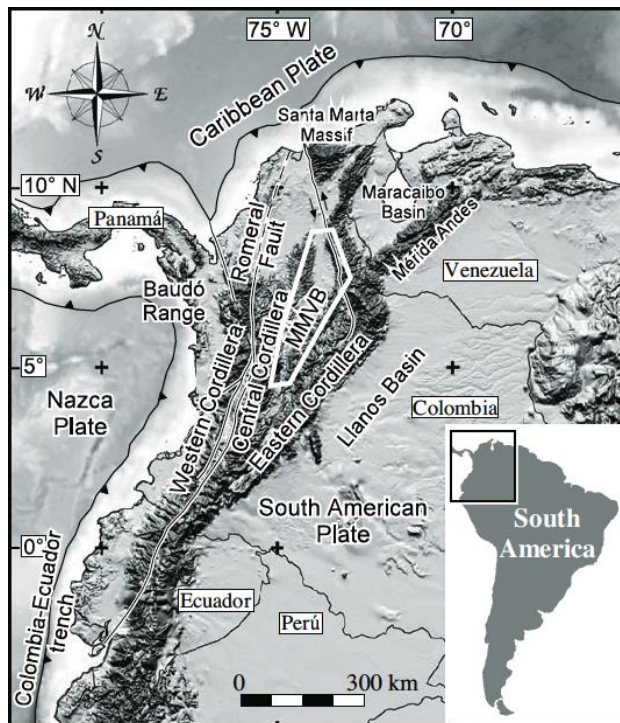


Figura 14. Mapa físico de Colombia y las regiones cercanas que ilustran la configuración tectónica general y fisiográfica de la cuenca del VMM (en el polígono blanco) rodeada por la cordillera de los Andes en el noroeste de América del Sur (Gómez et al. 2005).

La secuencia estratigráfica del VMM fue inicialmente descrita por *Morales et al. (1958)* y modificada por *Etayo et al. (1958)*. Abarca edades desde el Jurásico tardío hasta el Cuaternario.

Siendo esta cuenca una depresión tectónica asimétrica con dos márgenes bien diferentes, por el lado occidental de borde pasivo, descansando en parte sobre materiales de la Cordillera Central, con una geometría monoclinas con notables truncaciones de las formaciones cretácicas, que desaparecen en dirección a la cordillera bajo un progresivo recubrimiento “onlap” de los sedimentos terciarios, que preferencialmente buzcan hacia el oriente, pero con algunas interrupciones causadas por flexuras y fallas (Taborda, 1965), y por el otro lado, por la Cordillera Oriental la deformación se incrementa de manera continua y se pasa a un complicado margen compresional (Martínez et al., 1988)

La evolución tectónica la Cuenca del Valle Medio del Magdalena ha sido afectada por eventos tectónicos distensivos y compresivos; durante los eventos distensivos se formó un graben supracontinental, bordeado por paleofallas normales, con subsidencia por causa de una tectónica de bloques, permitiendo las acumulaciones de los sedimentos continentales que conforman las formaciones Bocas, Jordán, Girón y Santos; también en esta fase de eventos distensivos ocurre algún vulcanismo representado por intrusiones intermedias y básicas, e intercalaciones piroclásticas en la Formación Jordán, y depósitos dacíticos que cortan la Formación Tambor (Fabre, 1983).

Aunque la fase de eventos compresivos se inició en el Paleoceno y sigue efectuándose en la actualidad (Morales, 1958), la forma actual del VMM llegó a su geometría actual, por el proceso que se efectuó desde el Cretáceo hasta el Mioceno.

Desde el Eoceno hasta el Mioceno se depositaron en ambientes continentales las Formaciones La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, y Colorado; depositándose luego

desde el Mioceno Traído Pli-Pleistoceno la última secuencia molásica conformada por los Grupos Real y Mesa.

El VMM comprende rocas que abarcan el intervalo de tiempo entre el pre-Cretáceo como son la Formación Girón (Jurásico); sedimentos Cretáceos pertenecientes a las Formaciones Arcabuco - Los Santos (Jurásico – Cretácico), Formación Cumbre (Cretácico - Berriasiano), Formación Rosa Blanca (Valanginiano – Auteriano), Formación Paja (Auteriano – Aptiano), Formación Tablazo (Aptiano – Albiano), Formación Simiti (Albiano – Cenomaniano), Formación La Luna (Cenomaniano – Coniaciano), Formación Umir (Coniaciano – Matriashtiano), Formación Lisama (Matriashtiano – Paleógeno), Formación Esmeralda – La Paz, Formación Mugrosa (Paleógeno), Formación Colorado (Paleógeno – Neógeno), Grupo Real (Neógeno) y Formación Mesa (Cuaternario) (*Error! No se encuentra el origen de la referencia.*)

4.1. Estratigrafía

Siendo este trabajo un estudio de geología de superficie las unidades de interés (aflorantes) en la zona específicamente son las que van desde el Paleógeno tardío hasta el Cuaternario, siendo estas, la Formación Mugrosa, Formación Colorado, Grupo Real y Formación Mesa respectivamente (Figura 12)

4.1.1. Formación Mugrosa (Paleógeno)

Fue introducida con ese nombre por Gill *en Morales, et al., (1958)* Correspondiendo a la parte inferior del Grupo Chuspas; realizando su sección tipo en la Quebrada Mugrosa, siendo discordante en la parte inferior con la Formación Esmeraldas y en la parte superior concordante con la Formación Colorado; esta formación es considerada del Eoceno superior – Oligoceno inferior.

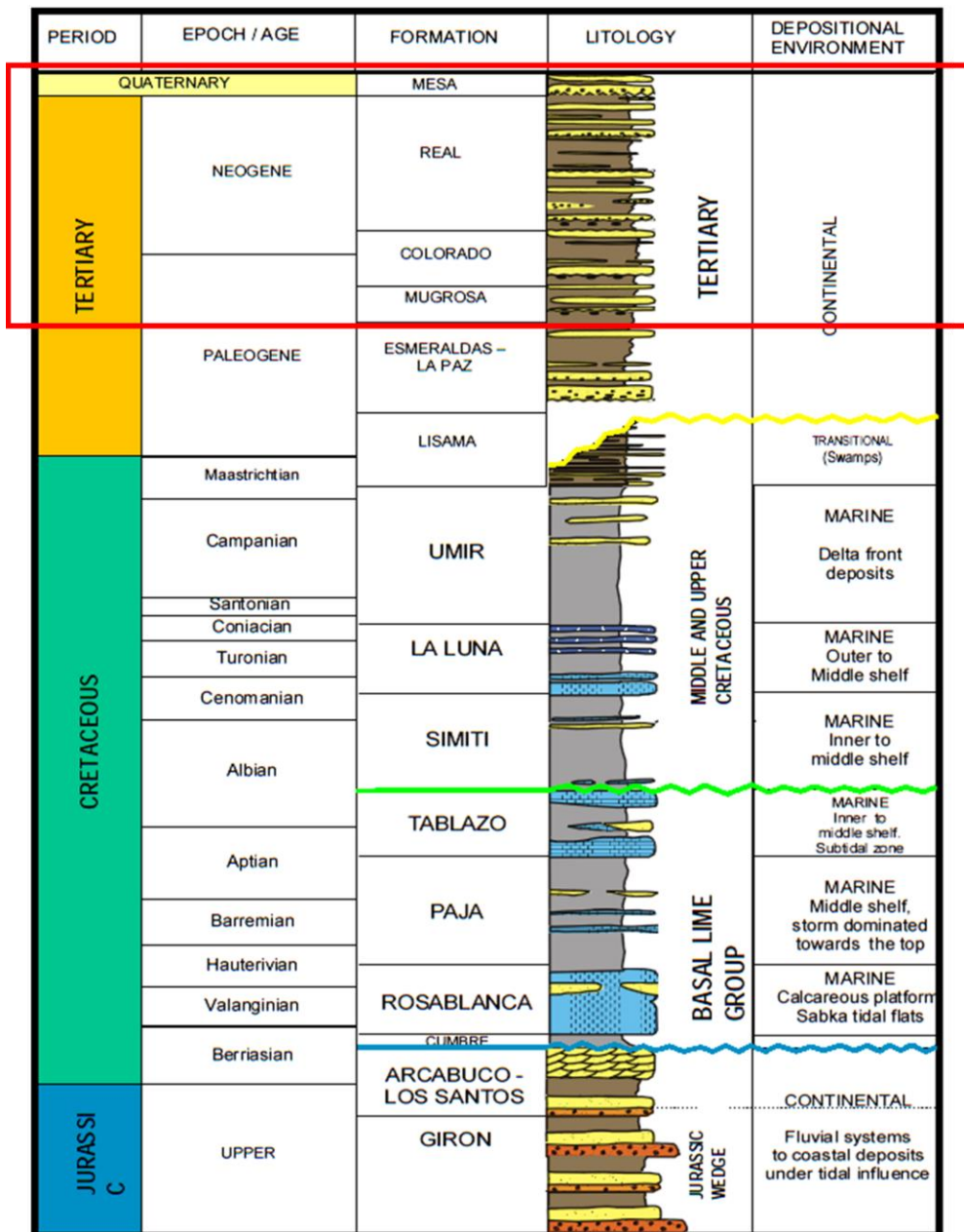


Figura 15. Columna Estratigráfica Generalizada del VMM, indicándose con cuadro de color rojo las unidades que afloran en el CEC (Modificada de Rolón, 2004).

Esta Formación se encuentra compuesta por areniscas grises verdosas de grano fino a medio con intercalaciones de lodolitas grises azulosas y algunas capas de areniscas conglomeráticas en la parte inferior; por otro lado en la parte superior se encuentra compuesta de lodolitas moteadas fosilíferas, se considera que su

deposición fue en un ambiente continental fluvial con un espesor que va de 500 hasta 800 m (*Royero et al. 2001*).

4.1.2. Formación Colorado (Paleógeno – Neógeno)

El nombre de Formación Colorado (Morales, et al, 1958) procede del Río Colorado, donde tiene su sección tipo, en el área de la Concesión de Mares. La Formación Colorado corresponde a la parte superior del Grupo Chuspas, descansando concordantemente sobre la Formación Mugrosa y su contacto superior con el Grupo Real es discordante. Considerada con edad del Oligoceno superior al Mioceno inferior. En su sección tipo la Formación Colorado tiene un espesor de 1200 m, pero éste varía considerablemente y aumenta de una manera general hacia el este donde puede alcanzar hasta 2500 m al pie de la Cordillera Oriental (*Royero et al. 2001*). Esta formación se encuentra compuesta predominantemente por arcillas de color gris claro, púrpura y moteado de color rojo, con intercalaciones de areniscas en bancos de espesor variable con estratificación cruzada. La parte superior de la formación consta de unos 100 m de arcillas de color gris y negro, carbonáceas, con areniscas de grano medio y poco potentes. Esta parte de la sección corresponde al Horizonte fosilífero.

4.1.3. Grupo Real (Neógeno)

Este grupo fue descrito por Wheeler (De Porta, et al, 1974), su sección tipo es ubicada en el sitio Bandera Real cerca al Río Opón, donde se subdividió en cinco formaciones que de base a techo son: Frm. Lluvia, Frm. Chontorales, Frm. Hiel, Frm. Enrejado, Frm. Bagre. A nivel regional existen inconformidades estratigráficas bien definidas entre este Grupo Real y los bloques infrayacente y suprayacentes, Formación Colorado y Formación Mesa respectivamente.

Se concederá que la edad de este grupo es del Mioceno medio al Plioceno en un ambiente de depositación de sedimentos fluvial, con un espesor total de 3.600 m (Royero et al. 2001).

4.1.4. Formación Mesa (Cuaternario)

El término “grupo ó formación mesa” ha sido controversial al transcurrir el tiempo en la geología del VMM, pero hace referencia al carácter morfológico de sedimentos tabulares que por efectos de la erosión destacan sobre la planicie de grandes mesa.

Nombrada por primera vez por Hettner (1892) (Julivert, 1968) utilizando el término “Vulkanische Tufftafeln” al W de la población de Honda en el Departamento del Tolima, para referirse a las capas horizontales compuestas casi exclusivamente por material volcánico. Scheibe (1922) (Julivert, 1968) traduce como, mesas de tobas volcánicas, el termino Vulkanische Tufftafeln. Grosse (1935) (Julivert, 1968) redefine a la Formación Mesa con el nombre de estratos túficos de Honda. Butler (1942) (Julivert, 1968) señala como la sección tipo la sección que se encuentra al noroeste de Honda definiéndola como una unidad bien estratificada que consta de abundante material volcánico representado por andesita, dacita, piedra pómez, ceniza volcánica, así como cuarzo, filita y rocas metamórficas. Wheeler (1935) es el primero en extender este nombre a la región comprendida entre los ríos Sogamoso y Carare al extremo oeste de la plancha 134 (Puerto Parra) concordando en la descripción realizada al W del municipio de Honda. Morales et al (1958) eleva esta unidad a la categoría de Grupo y señala la misma descripción dada por Butler (1942). Taborda et al (1965) la describe muy diferente a los otros autores, mostrando una ausencia en los elementos volcánicos que caracterizan a la Formación Mesa.

El grupo mesa se encuentra compuesto por depósitos de origen fluviales con edad Pliocena – Pleistocena; Dichos depósitos están compuestos por terrazas aluviales, Arenas finas limosas grises, limos arcillosos, gravas finas a gruesas con matriz arcillosa, depósitos aluviales recientes de arenas, arcillas, gravas y turba (Royero *et al.* 2001).

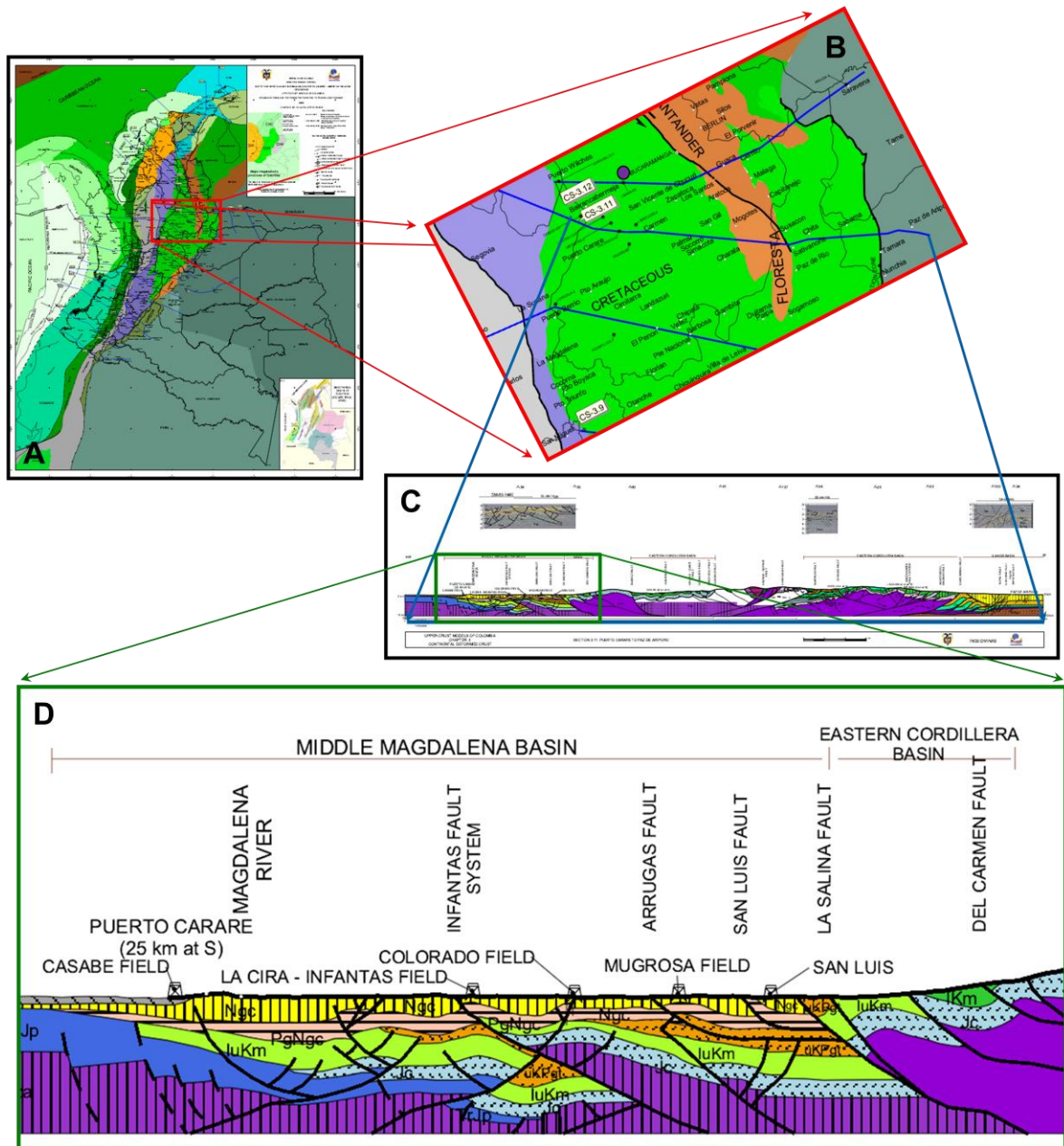


Figura 16. A. Mapa de Terrenos B. Zoom, en el cual se indica el corte 3.11 en el mapa de terrenos C. corte 3.11 y D. Zoom del corte 3.11 de la zona de interés para el presente proyecto, en el cual se indican las estructuras de interés y el Campo Colorado (modificado de López, 2003).

4.2. Geología Estructural

Tectónicamente el Departamento de Santander se encuentra dividido por tres provincias: (1) Provincia Macizo de Santander, (2) Provincia Valle Medio del Magdalena y (3) Provincia Cordillera Oriental (Royero *et al.* 2001).

Siendo la (2) Provincia Valle Medio del Magdalena en la cual se encuentra el Campo Colorado y caracterizada por tener tectónicamente un estilo estructural de plegamientos donde las estructuras anticlinales y sinclinales son amplios y suaves, limitadas por fallas inversas; el Campo Colorado se encuentra entre dos fallas importantes en esta provincia: la Falla de Arrugas y la Falla Infantas

4.2.1. Falla la Salina

La Falla la Salina es una falla con rumbo noreste de tipo inverso con un salto de unos 1.200 m, de ángulo alto y buzamiento hacia el este, que en profundidad se curva hasta colocarse aproximadamente horizontal. El bloque occidental se encuentra hundido con respecto al oriental que cabalga hacia el oeste, coloca la Formación Umir del lado oriental, en contacto con la Formación Real, más joven situada al Oeste. El trazo de la falla delimita el costado occidental del sinclinal de Nuevo Mundo en el sector del Sur (Figura 16).

4.2.2. Falla de Arrugas:

La Falla de Arrugas se desprende de la Falla La Salina y se extiende hacia el Norte por más de 40 km, limita el flanco occidental del Sinclinal de Peña de Oro (Figura 17). Es una falla de tipo inverso con vergencia occidental y un rumbo general Noroeste – Suroeste, Por la parte Norte se encuentra haciendo contacto superficial con los sedimentos del Grupo Real y al Sur el fallamiento va ganando

deslizamiento vertical hasta colocar en contacto rocas de la Formación Mugrosa con rocas de la Formación Colorado, en su bloque colgante y su bloque yacente, respectivamente (Figura 17).

4.2.3. Falla Infantas

La Falla Infantas se extiende en el Sur desde el río Opón hasta el Norte por el Río Sogamoso con una longitud aproximada de 50 Km, es una falla de tipo inversa con rumbo de dirección Norte – Sur, vergiendo hacia el occidente donde pone en contacto superficial a formaciones del Terciario con base en el cabalgamiento entre las formaciones Mugrosa, Colorado y el Grupo Real, siendo en algunos sectores estos contactos sedimentos de la misma formación. Inclinada hacia el Oriente con un desplazamiento máximo de 400 m (Figura 17).

4.2.4. Anticlinal de San Luis

Se encuentra hacia el occidente de la Falla La Salina (Figura 17) conformado por rocas de la Formación Colorado al Sur y rocas de la Formación Real al Norte, con una dirección de rumbo Noreste – Suroeste.

Por interpretación sísmica se infirió que este anticlinal puede ser originado por el cabalgamiento denominado Falla de Arrugas (Gómez *et al.* 2008)

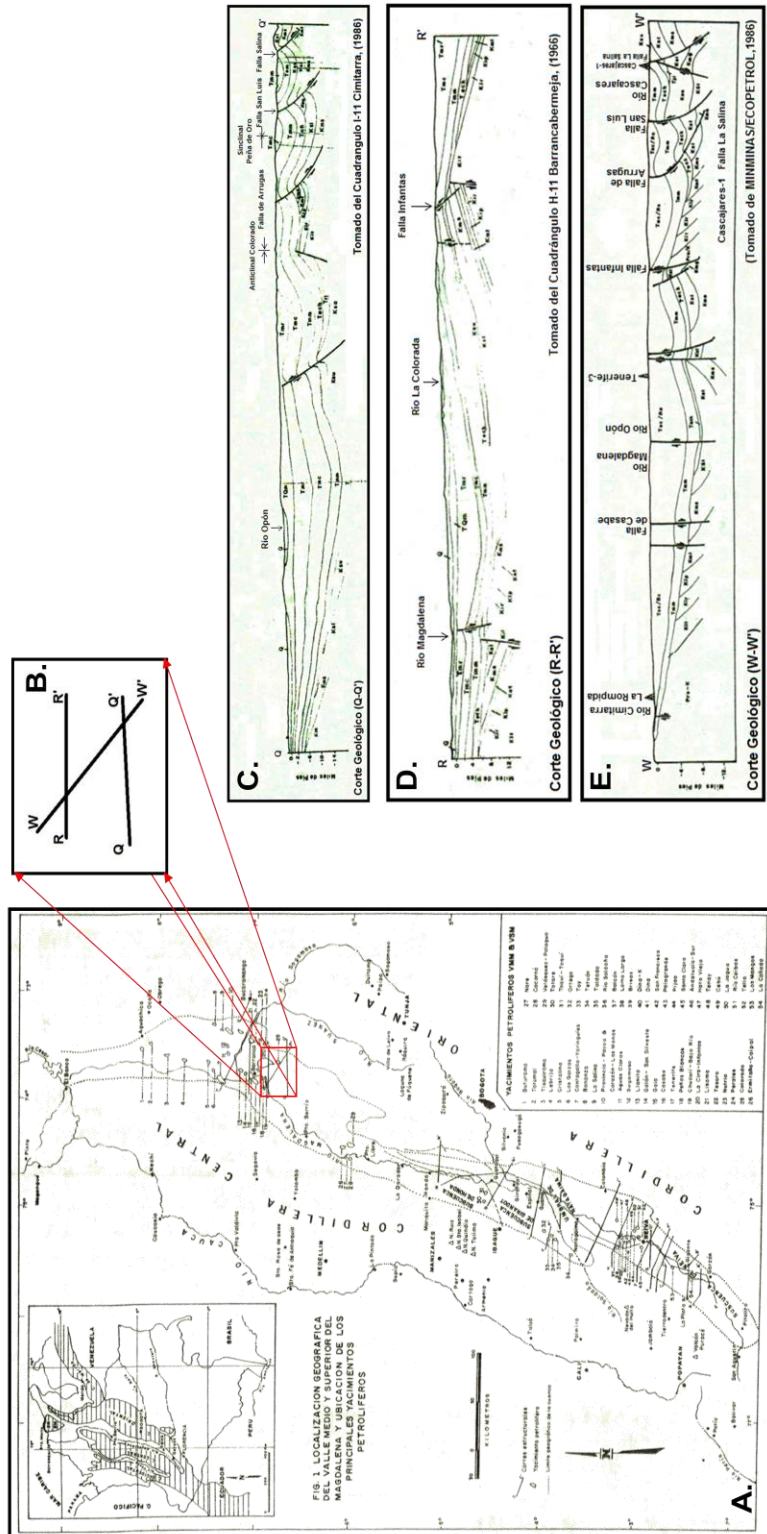


Figura 17. A. Mapa de localización geográfica de las cuencas del Valle Medio y Valle Superior del Magdalena con ubicación de los principales yacimientos petrolíferos y ubicación de los cortes geológicos; **B.** zoom de esquema de cortes de interés en la zona de estudio; **C.** Cortes Geológicos (Q-Q'); **D.** Cortes Geológicos (R-R') **E.** Cortes Geológicos (W-W') (modificado de Mojica y Franco, 1990).

5. MARCO TEORICO

Para la realización del presente proyecto se tomaron en cuenta algunos conceptos referentes a geomorfología y petrografía, los cuales se mencionan a continuación.

5.1. Geomorfología

Red de drenaje:

Se denomina red de drenaje a la configuración tridimensional de surcos, cárcavas, canales o pasajes (lleven agua o no), a lo largo de los cuales fluirá agua en un aguacero o temporada lluviosa; esta red es la que drenara el agua del terreno y la entregara a una corriente principal para que finalmente sea llevada al mar o un depósito de agua (Caballero, 2007).

Dichas redes de drenajes se pueden observar en fotografías aéreas de escalas pequeñas y nos pueden dar información sobre la litología existente, la estructura geológica y la fase erosional de la región en la cual se esté realizando un estudio, con esta información se puede asegurar en algunos casos que en rocas estratificadas el patrón de drenaje estará controlado enteramente por la litología, rumbo y buzamiento de las rocas, dirección de zonas de debilidad como planos de estratificación, rocas blandas, dirección de diaclasa, fallas, forma y dirección de plegamientos locales etc.

Existen diferentes clasificaciones (Figura 18) para las redes de drenajes cumpliendo en algunas ocasiones estrictamente con la clasificación y en otras puede que no se cumpla completamente, esta clasificación es la siguiente:

Dendrítico: Es el patrón que más frecuentemente se presenta y se caracteriza por mostrar una ramificación arborescente en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos. Su presencia indica suelos homogéneos, y generalmente se presenta en áreas de rocas sedimentarias blandas, tobas volcánicas, depósitos glaciales y antiguas llanuras costeras. (Ceotma, 1984). Debido a la relativa uniformidad del sustrato y similar resistencia a la erosión, la forma del patrón dendrítico está determinando básicamente por la dirección de la pendiente del terreno (Tarbuck, 1997). Es la más común. Se caracteriza por la unión irregular de los afluentes con gran variedad de ángulos, generalmente menores a noventa grados. Se desarrolla sobre rocas de resistencia uniforme y denota una notable falta de control estructural. Se asocia a estratos de rocas casi horizontales y a áreas de rocas masivas, pero puede encontrarse sobre rocas complejamente metamorizadas, particularmente cuando ocurre una sobreimposición o epigénesis. Las corrientes que lo constituyen pertenecen al tipo insecuentes (Seco, 2000).

Rectangular: Es otra variante del drenaje dendrítico. Los tributarios suelen juntarse con las corrientes principales en ángulos casi rectos y dan lugar a formas rectangulares controladas por las fracturas y las juntas de las rocas. Cuanto más claro es el patrón rectangular, más fina será la cubierta del suelo. Suelen presentarse sobre pizarras metamórficas, esquistos y gneiss; en areniscas resistentes si el clima es árido, ó en areniscas de poco suelo en climas húmedos (Ceotma, 1984). Tanto la corriente superficial como sus tributarios presentan curvaturas en ángulo recto. Refleja el control ejercido por sistemas de grietas o fallas (Seco, 2000). En este caso, por lo general los valles y escarpes son producto de antiguas fallas geológicas que se han mantenido por millones de años, y desde entonces se encuentran en relativa estabilidad, en regiones no afectadas por procesos orogénicos (Strahler, 1966).

Angulado: Es una variante más del drenaje dendrítico en la que las fallas, fracturas y sistemas de unión han modificado su forma clásica. Aguas arriba son

comunes las curvas fuertes formando ángulos grandes ya que los tributarios suelen estar muy controlados por las rocas. El tipo y la dirección de los ángulos pueden reflejar un tipo específico de roca. Por ejemplo, las areniscas tienen tendencia a formar uniones paralelas, mientras que las calizas dan lugar a uniones muy agudas (Ceotma, 1984).

Pinado: Son cuencas dendríticas modificadas e indican un elevado contenido de limo en el suelo. Son típicas de llanuras aluviales de textura fina. El drenaje tiene la forma de nervación de ciertas hojas, en el que los tributarios se juntan formando ángulos casi rectos que se van agudizando aguas arriba (Ceotma, 1984).

Radial: Esta forma de drenaje se caracteriza por una red circular con canales paralelos procedentes de un punto elevado. Suele existir una corriente colectora principal que circula alrededor de la base de la elevación topográfica. Los volcanes y cerros aislados suelen presentar este tipo de drenaje (Ceotma, 1984).

Presenta corrientes que divergen de una región elevada central. Se desarrolla en alturas de domos, conos volcánicos y otros tipos de elevaciones aisladas. En ocasiones este tipo de drenaje se relaciona con zonas de elevamientos neo-tectónicos (Seco, 2000).

Angular: Es similar al radial, pero en este caso las uniones de la roca madre o las fracturas hacen que los tributarios sean paralelos. Se presentan estos tipos de red en cerros graníticos o sedimentarios (Ceotma, 1984). Aparece desarrollado sobre estructuras de domos fuertemente denudados que presentan alternancia de estratos resistentes. Las corrientes se establecen sobre las capas menos resistentes (subsecuentes) con cursos circulares y paralelos entre sí, ajustadas a la estructura de domo (Seco, 2000).

Trellis ó enrejado: Presenta tributarios paralelos y pequeños arroyos también paralelos que se unen en ángulos rectos. Refleja más la estructura de la roca

madre que el tipo de roca, y usualmente los tributarios se juntan formando ángulos casi rectos que se van agudizando aguas arriba (Ceotma, 1984).

Representa un sistema de corrientes sub-paralelas, generalmente alineadas a través de contactos litológicos o entre formas del relieve paralelas o casi paralelas. Es típico de regiones fuertemente plegadas, donde el río principal (subsecuente) corre sobre estratos blandos y los tributarios son obsecuentes o resecuentes. Los tributarios se unen al río principal casi en ángulo recto, a su vez aquellos presentan confluencias con sus tributarios con ángulos similares, por lo que estos últimos serán paralelos al río principal. Este tipo de red refleja un marcado control estructural sobre las corrientes superficiales (Seco, 2000).

Centrípeto: Es una variante del drenaje radial en la que el drenaje se dirige hacia un punto central. Suele reflejar una depresión o el fin de un anticlinal o sinclinal (Ceotma, 1984). Está constituido por corrientes que convergen en una depresión. Se asocia por lo general a estructuras negativas y zonas de subsidencia por la tectónica reciente, cráteres o depresiones cársicas (Seco, 2000).

Paralelo: Se presentan en zonas homogéneas, de pendientes uniformes y suaves en las que las corrientes principales reflejan fallas o fracturas. Los tributarios suelen unirse formando ángulos generalmente iguales. Son típicas de llanuras costeras y de grandes afloramientos basálticos (Ceotma, 1984).

Se encuentra donde existe una fuerte pendiente y control estructural que conduce a un espaciamiento de las corrientes de dirección paralela o casi paralela (Seco, 2000).

Desordenado: Son sistemas no integrados, resultantes de formas del suelo relativamente jóvenes con topografía llana o suave y elevada capa freática. En las depresiones existen zonas 4 pantanosas, lagunas; suelen presentarse en llanuras jóvenes, y en llanuras aluviales (Ceotma, 1984). Característico de regiones directamente afectadas por las glaciaciones, donde el drenaje pre-glacial fue

borrado y el nuevo drenaje no ha tenido tiempo de desarrollar un grado de integración significativo. Muestra corrientes irregulares, cuyos cursos corren hacia y a partir de pantanos y presentan sólo escasos y cortos tributarios. Los interfluvios son pantanos y las corrientes son meros hilos de agua a través de áreas pantanosas (Seco, 2000).

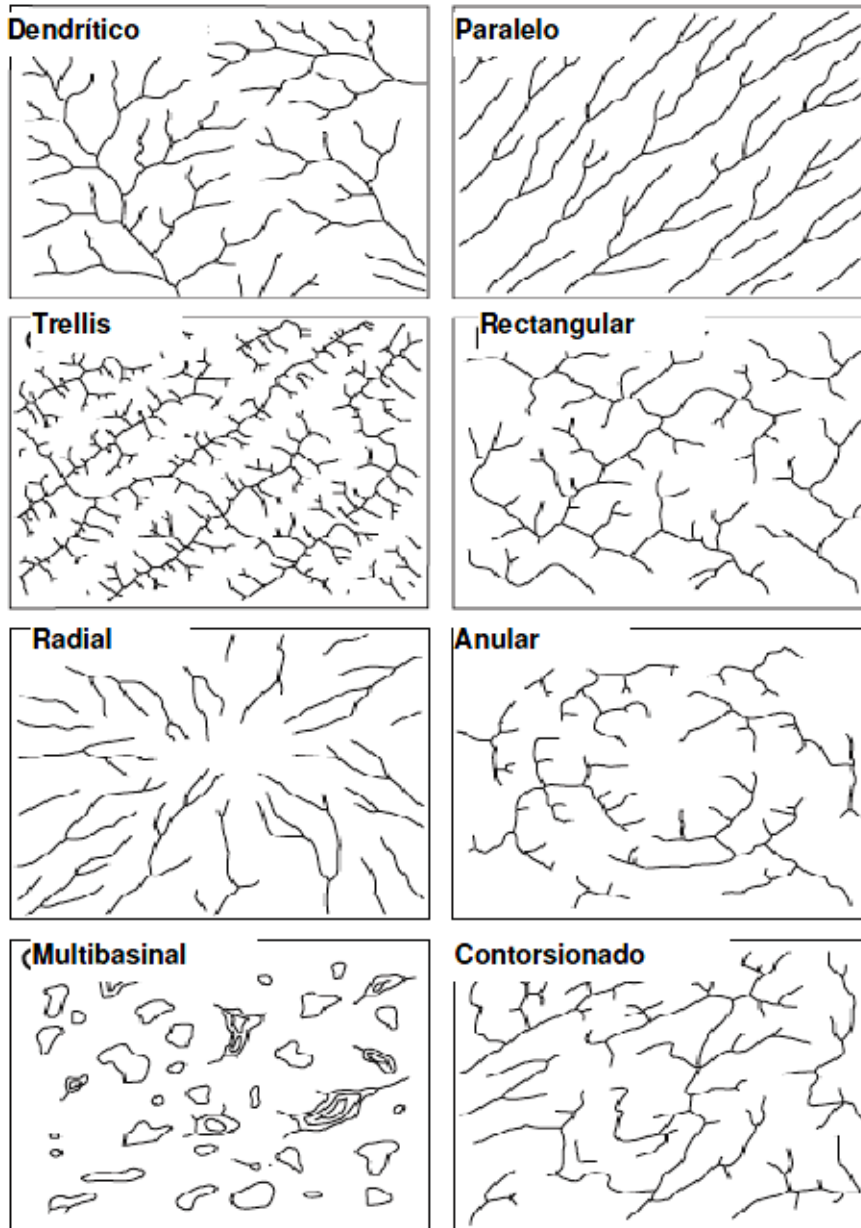


Figura 18. Patrones básicos de drenaje. Cada uno de ellos puede ocurrir a diferentes escalas e identificarse en fotografías aéreas. Tomado de A.D. Howard 1967.

5.2. Petrografía

Tamaño de las partículas: El tamaño de las partículas es un atributo fundamental y por ende una de las propiedades más importantes en la descripción de las rocas sedimentarias (Figura 19); el tamaño de los materiales sedimentarios es importante porque refleja los tipos de materiales es parentales (roca sedimentaria, ígnea o metamórfica) en varias de clases de tamaño de grano (grava, arena y lodo) también nos da un aporte importante debido a la resistencia de las partículas a la erosión y la abrasión, así como los procesos de transporte y el ambiente de depositación que actuaron sobre la partícula.

Selección o calibrado de las partículas: la selección o el calibrado es la medida de uniformidad o de variación en los tamaños de las partículas en una roca sedimentaria o en un sedimento. El calibrado es el reflejo directo de la energía de un medio y de su capacidad para seleccionar los tamaños de las partículas que transporta u que deposita. El calibrado se puede determinar para las fracciones de arena y grava, para hacer lo se puede utilizar una imagen de calibrado de Pettinjhon (Figura 20).

Forma de las partículas: Las partículas posee formas particulares que reflejan tanto el origen de la partícula como los procesos de erosión, transporte, depositación y retrabajamiento ocurridos antes o durante su depositación final; en la determinación de la forma de las partículas se utilizan dos criterios.

| No de malla para tamiz U.S. estandard | Milímetros (mm) | | Micrones (μ) | Phi (Φ) | Clase de tamaño Wentworth | | Clase Mayor | Una vez Litificado el sedimento | |
|---------------------------------------|-----------------|---------|--------------------|----------------|------------------------------------|--|--------------|---------------------------------|-------------------|
| | | | | -20 | | | | CONGLOMERADO | |
| | | 4096 | | -12 | Cantos | | GRAVA | | |
| | | 1024 | | -10 | | | | | |
| | | 256 | | -9 | Guijarros | | | | |
| | | 64 | | -6 | | | | | |
| | | 16 | | -4 | Gujas | | | | |
| 5 | | 4 | | -2 | | | | | |
| 6 | | 3.36 | | -1.75 | Gránulos | | | | |
| 7 | | 2.83 | | -1.5 | | | | | |
| 8 | | 2.38 | | -1.25 | | | | | |
| 10 | | 2.0 | | -1 | | | | | |
| 12 | | 1.68 | | -0.75 | Upper Arena muy gruesa Lower | | ARENA | A RENISCA | |
| 14 | | 1.41 | | -0.5 | | | | | |
| 16 | | 1.19 | | -0.25 | | | | | |
| 18 | 1 | 1.0 | | 0.0 | | | | | |
| 20 | | 0.84 | | 0.25 | Upper Arena gruesa Lower | | | | |
| 25 | | 0.71 | | 0.5 | | | | | |
| 30 | | 0.59 | | 0.75 | | | | | |
| 35 | 1/2 | 0.5 | 500 | 1 | | | | | |
| 40 | | 0.42 | 420 | 1.25 | Upper Arena media Lower | | | | |
| 45 | | 0.35 | 350 | 1.5 | | | | | |
| 50 | | 0.3 | 300 | 1.75 | | | | | |
| 60 | 1/4 | 0.25 | 250 | 2.0 | | | | | |
| 70 | | 0.21 | 210 | 2.25 | Upper Arena fina Lower | | | | |
| 80 | | 0.177 | 177 | 2.5 | | | | | |
| 100 | | 0.149 | 149 | 2.75 | | | | | |
| 120 | 1/8 | 0.125 | 125 | 3.0 | | | | | |
| 140 | | 0.105 | 105 | 3.25 | Upper Arena muy fina Lower | | | | |
| 170 | | 0.088 | 88 | 3.5 | | | | | |
| 200 | | 0.074 | 74 | 3.75 | | | | | |
| 230 | 1/16 | 0.0625 | 62.5 | 4.0 | | | | | |
| 270 | | 0.053 | 53 | 4.25 | Grueso (4 a 5 Φ) | | LODO | LODOLITA | |
| 325 | | 0.044 | 44 | 4.5 | | | | | |
| Analizado por pipeta o hidrómetro | | 0.037 | 37 | 4.75 | medio fino muy fino | | | | Limos Limolita |
| | 1/32 | 0.031 | 31 | 5.0 | | | | | |
| | 1/34 | 0.0156 | 15.6 | 6.0 | | | | | |
| | 1/128 | 0.0078 | 7.8 | 7.0 | | | | | |
| | | 1/256 | 0.0039 | 3.9 | 8.0 | Algunos usan Φ como límite de la arcilla Arcillas Arcillolita | | | |
| | | 0.002 | 2 | 9.0 | | | | | |
| | | 0.00098 | 0.98 | 10 | | | | | |
| | | 0.00049 | 0.49 | 11 | | | | | |
| | 0.00012 | 0.12 | 13 | | | | | | |
| | 0.00006 | 0.06 | 14 | | | | | | |

Figura 19. Tabla de tamaño de grano (textural) de Wentworth, tomada de Cruz et al, 2004, pág. 2.

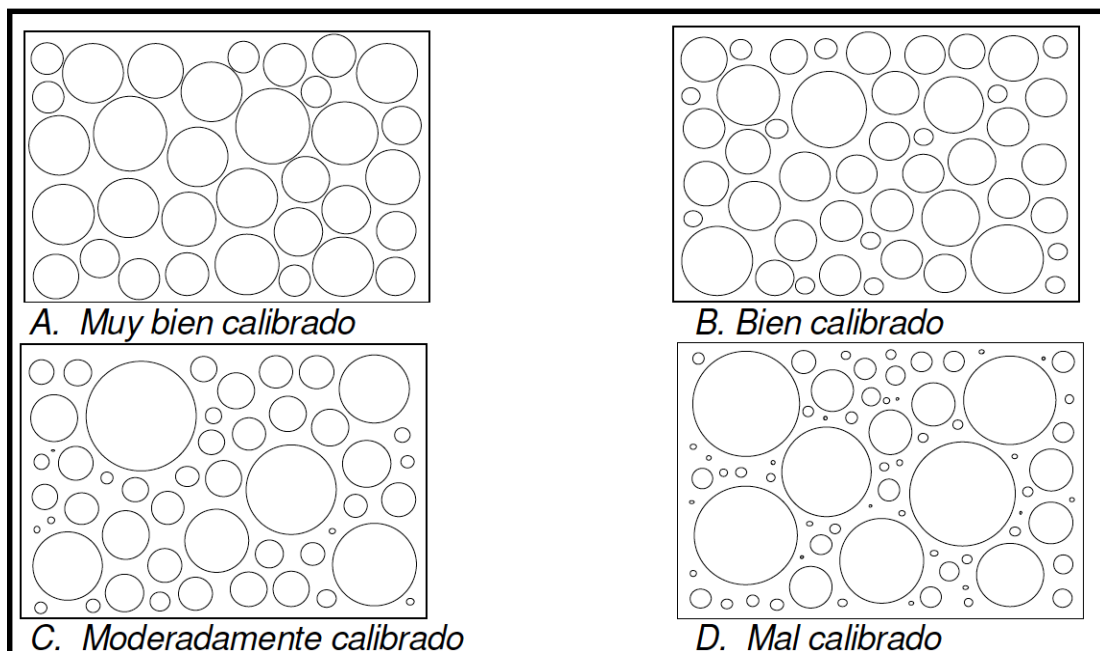


Figura 20. Calibrado de las partículas según Pettijhon, en Boggs, Jr. 1987, Pág. 113.

La Esfericidad, siendo la tendencia a tener la forma de una esfera y redetermina por la diferencia métrica entre los diámetros perpendiculares presentes en una partícula, menor, intermedio y mayor.

La Esfericidad, definida como el grado en el cual la partícula se aproxima a la esfera, caso en el cual los tres diámetros perpendiculares son iguales.

Siendo así la forma de los granos se puede establecer por medición directa de los tres ejes perpendiculares: mayor, medio e intermedio, o por comparación con gráficos de esfericidad (Figura 21) en la cual se puede establecer diferentes tipos: esférica, discoidal, rollo o rodillo y blandes

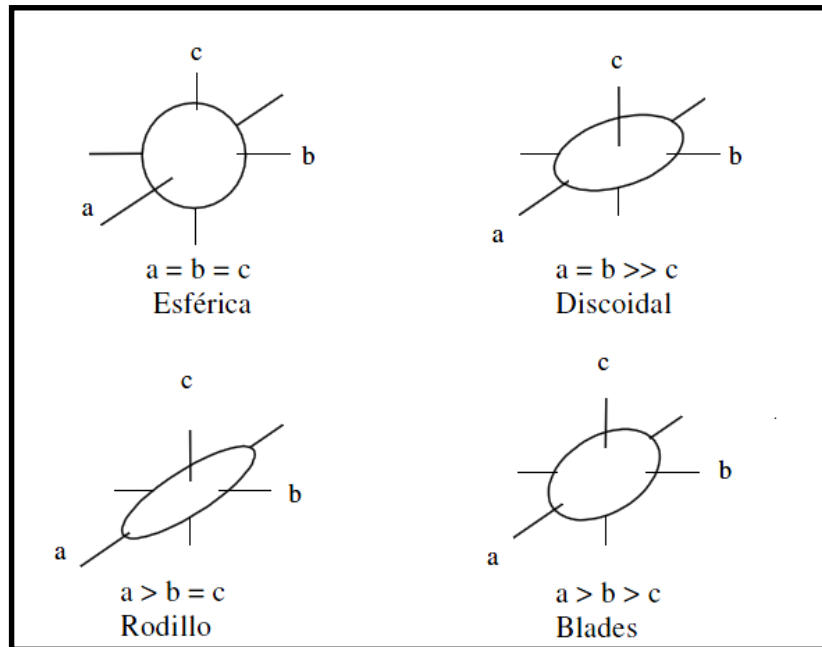


Figura 21. Forma de las partículas con base en el concepto de esfericidad o la uniformidad de los ejes mayor, intermedio y menor, perpendiculares entre sí. Friedman 1987.

Otro criterio para establecer la forma de las partículas complementario al de los ejes perpendiculares es el denominado redondez, siendo un método que considera la presencia de bordes o aristas o en su defecto el redondeamiento o perdida de ellas, la redondez la esfericidad de las partículas se puede establecer con la ayuda de imágenes de redondez (Figura 22) mediante la comparación directa de estas con muestras de roca o sedimentos.

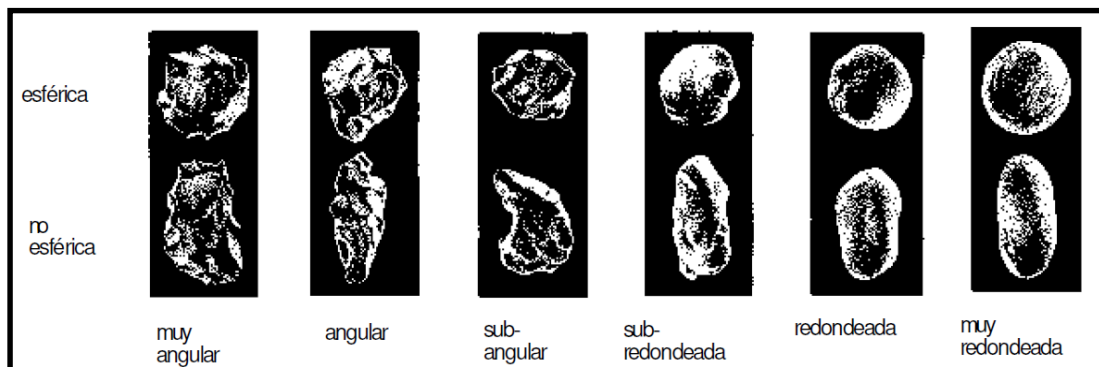


Figura 22. Termino de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Powers, 1953, en Compton 1962.

Fabrica de la roca

La fabrica de la roca se refiere a la relación espacial entre la matriz y los granos en una roca sedimentaria, en la fabrica intervienen el armazón, la matriz y el cemento.

Armazón: Son los materiales que soportan la roca, generalmente son los de mayor tamaño o los que más abundan en esta, determinando si la roca presenta fabrica (a) grano soportada ya sea areno soportada, gravo soportada o areno-gravo soportada, (b) lodo soportada o (c) intermedia o si presenta fragmentos esqueletales ((d) biosoportadas) (Figura 23).

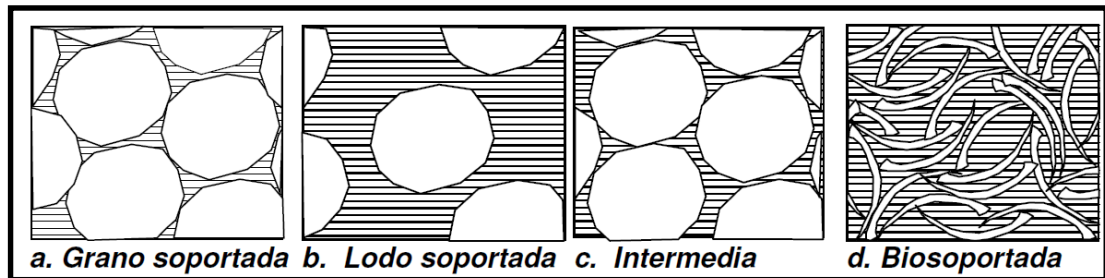


Figura 23. Tipos de fábrica presente en los sedimentos y en las rocas sedimentarias (Cruz et al. 2004).

Matriz: Es el material de menor tamaño que se apila en los intersticios dejados por el armazón, cuando este es grueso, se excluye de esta consideración las rocas que se componen en su mayoría o totalmente de lodo. La matriz puede ser combinada: arenolodosa, lodosa y en un caso muy especial y para materiales de tamaño grueso gravo-areno-lodosa tipo particular que ocurre cuando el armazón es de diversos tamaños de bloques (Figura 24)

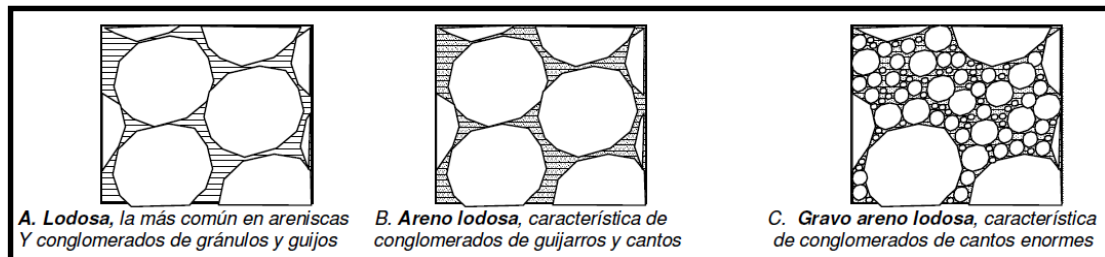


Figura 24. Tipos de matriz presente en los sedimentos y en las rocas sedimentarias (Cruz et al, 2004).

Cemento: Es el material precipitado químicamente entre los intersticios dejados por el armazón, estos pueden ser cristalinos si poseen una visión especular o lodos que presentan una visión difusa; el cemento es el que da una fuerte unión a las partículas evitando que estas puedan ser separadas con facilidad.

Contacto entre partículas: El contacto entre las partículas sedimentarias en una roca es una propiedad importante para determinar su historia o su ambiente de depositación. El primero debido a que cuando los sedimentos sufren compactación, la presión y la temperatura pueden controlar que los granos entren en diversos tipos de contactos, pero si no entran en contacto entonces nos dirá las características del depósito de sedimento inicial. Se pueden identificar varios tipos de contacto entre partículas: flotante, puntual, longitudinal, cóncavo convexo o suturado (Figura 25)

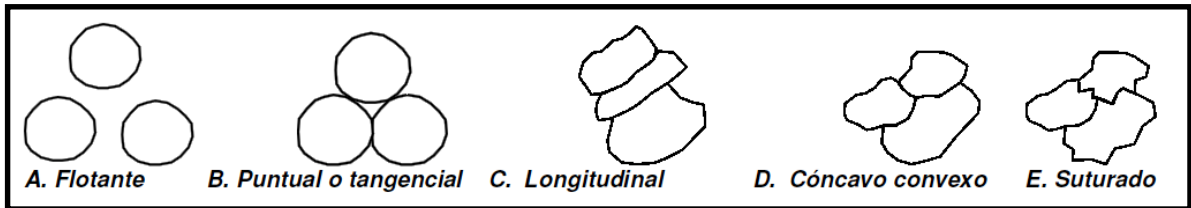


Figura 25. Tipos de contacto entre partículas en los sedimentos y en las rocas sedimentarias. (Cruz et al, 2004).

Poros y porosidad

Los poros son los espacios vacíos que se encuentran en la roca y la porosidad es la relación poros Vs volumen total de la muestra, debido al hecho que estos espacios pueden ser ocupados por fluidos, aspecto muy importante en la industria de los hidrocarburos y en hidrogeología, existen un gran interés en determinar tanto su presencia como su porcentaje.

De acuerdo con el origen de los poros y de la porosidad existen los siguientes tipos de porosidad:

Porosidad primaria (Pp), es aquella que se forma en el mismo momento de la formación o depositación de los sedimentos (Cruz et al, 2004) esta porosidad primaria también se produce entre los granos de arena primario y presente en el momento de la depositación de los sedimentos (Burley, Worden, 2003)

Porosidad secundaria (Ps), es aquella que ocurre durante procesos posteriores a la depositación de los sedimentos, este tipo de porosidad puede afectar o modificar la porosidad primaria (Sandoval, 2000) La porosidad secundaria es creada por la disolución de los granos detríticos, matriz, o incluso del cemento que se forma antes, lo que se añade a la suma total de porosidad (Schmidt y MacDonald, 1979 en Burley y Worden, 2003). La generación de porosidad secundaria puede dar lugar aparentemente a una estructura de baja compactación, poros de gran tamaño, granos vacíos y cambios sistemáticos en la mineralogía y composición de la roca detrítica, la porosidad también se puede desarrollar en las rocas sometidas a deformación frágil (Figura 26) y se denomina porosidad de fractura (Burley y Worden, 2003)

Clasificación textural de las rocas sedimentarias

La base de la clasificación textural de las rocas sedimentarias es el tamaño de grano, particularmente la presencia y el porcentaje de los tres componentes: grava, arena y lodo. Se definen tres grupos principales y quince grupos particulares, en esta clasificación se utilizó el diagrama triangular (Figura 27) en el cual los tres vértices están ocupados por las tres clases de tamaño de grano.

Los grupos particulares se definen dependiendo de las porciones relativas de los tres constituyentes, para determinar a cuál de estos grupos pertenece una roca o un sedimento se debe determinar dos características: el porcentaje de grava y la porción entre arena y lodo dentro de los límites 9:1, 1:1 y 1:9 (Figura 27 e Figura 28)

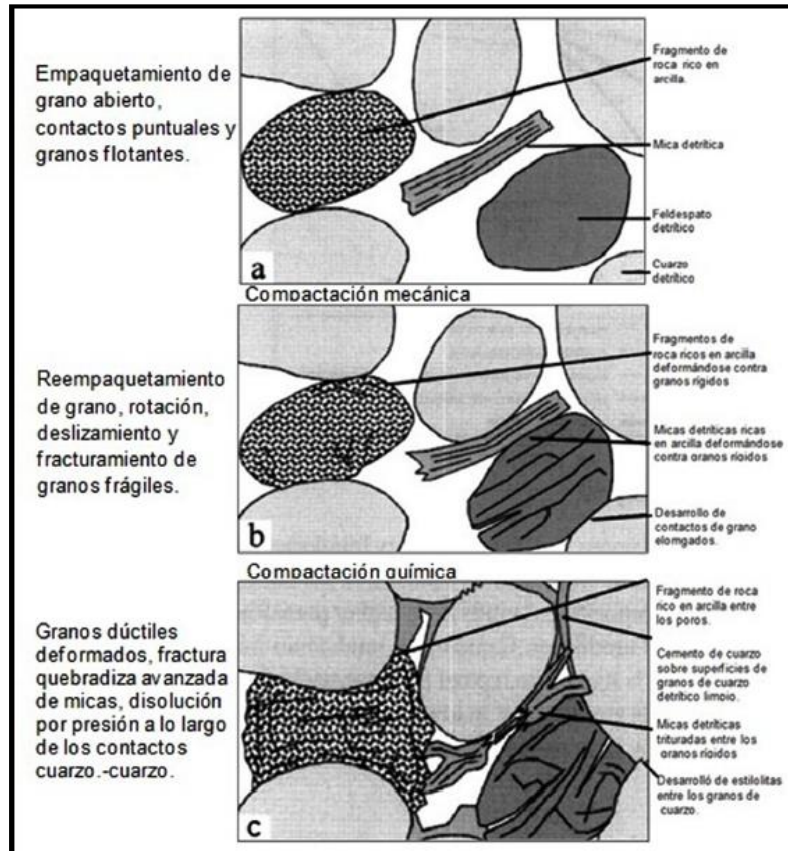


Figura 26. Diagrama con los procesos de compactación en las areniscas (a) Estructura con alta porosidad en la sedimentación, (b) Estructura después de la compactación mecánica, (c) Estructura después de la compactación mecánica y química. (Burley y Worden, 2003).

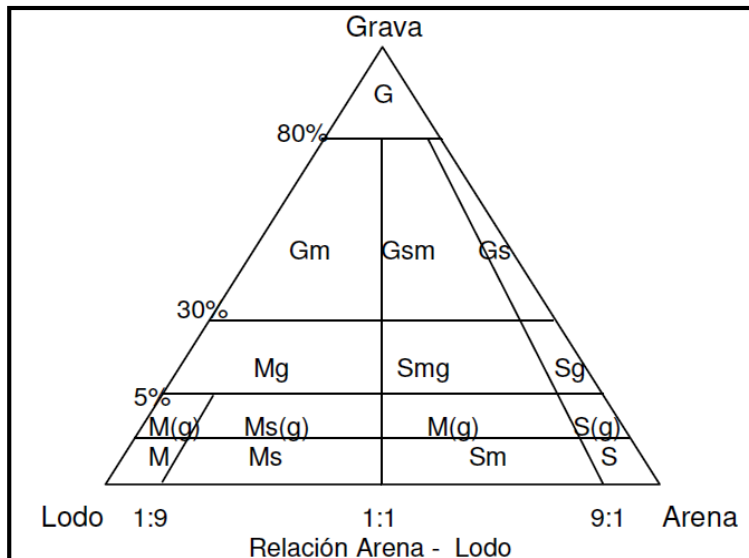


Figura 27. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente tamaño de grano para rocas siliciclásticas o terrígenas (Folk, 1974).

| Clase textural | Clase textural mayor | Clase textural específica | Ejemplos de uso |
|----------------|--|---|-----------------|
| G | Grava | grava de guijarros | A |
| | <i>Conglomerados</i> | <i>conglomerado de gránulos</i> | B |
| Gs | grava arenosa | grava de guijarros arenosa | |
| | <i>Conglomerado arenoso</i> | <i>conglomerado de cantos arenoso</i> | |
| Gsm | grava areno lodosa | grava de gránulos areno lodosa | |
| | <i>Conglomerado. areno lodoso</i> | <i>conglomerado de guijos areno lodoso</i> | |
| Gm | grava lodosa | grava de cantos limosa | |
| | <i>Conglomerado lodoso</i> | <i>conglomerado de guijos lodoso</i> | |
| Sg | arena gravosa | arena gruesa guijosa | |
| | <i>arenisca conglomerática</i> | <i>arenisca muy fina granular</i> | |
| Smg | arena lodo gravosa | arena fina limo guijosa | |
| | <i>arenisca lodosa coglomerática</i> | <i>arenisca gruesa lodosa con cantos</i> | |
| Mg | lodo gravoso | lodo guijarroso | |
| | <i>lodolita conglomerática</i> | <i>lodolita guijosa</i> | |
| S(g) | arena ligeramente gravosa | arena media ligeramente granular | |
| | <i>arenisca lig. Conglomerática</i> | <i>arenisca gruesa ligeramente guijosa</i> | |
| Sm(g) | arena lodosa ligeram. Gravosa | arena media lodosa ligeramente guijosa | |
| | <i>arenisca lodosa ligeramente conglomerática</i> | <i>arenisca fina limosa ligeramente guijarrosa</i> | |
| Ms(g) | lodo arenoso ligeramente gravoso | lodo arenoso fino ligeramente granular | |
| | <i>lodolita arenosa ligeramente conglomerática</i> | <i>arcillolita arenosa gruesa ligeramente guijosa</i> | |
| M(g) | lodo ligeramente gravoso | arcilla ligeramente guijosa | |
| | <i>lodolita lig. Conglomerática</i> | <i>lodolita ligeramente guijarrosa</i> | |
| S | arena (especificar calibrado) | arena fina bien calibrada | |
| | <i>arenisca (especif. Calibrado)</i> | <i>arenisca gruesa pobremente calibrada</i> | |
| Sm | arena lodosa | arena muy fina limosa bien calibrada | |
| | <i>Arenisca lodosa</i> | <i>arenisca gruesa lodosa mal calibrada</i> | |
| Ms | lodo arenoso | arcilla arenosa fina | |
| | <i>Lodolita arenosa</i> | <i>limolita arenosa gruesa</i> | |
| M | Lodo | Limo | |
| | <i>Lodolita (especif. Estructura)</i> | <i>lodolita shale</i> | |
| | A materiales no consolidados (sedimentos) | | |
| | B materiales consolidados (rocas) | | |

Figura 28. Tabla con la nomenclatura y terminología general y específica (de uso) para la clasificación textural de las rocas siliciclásticas y de sedimentos con base en el tamaño de grano (Folk, 1974).

Clasificación de sedimentos y rocas de grano intermedio: Arenas y areniscas

La clasificación textural de los sedimentos y las rocas de grano intermedio (arenas) se basa en el tamaño de grano, se incluyen en este grupo los sedimentos y las rocas sedimentarias en las cuales el porcentaje de materiales terrígenos tamaño grava es menor del 30%, y el porcentaje de arena es mayor que el de lodo (Figura 29). Cuando los materiales no están consolidados se denominan arenas y cuando están consolidados se utiliza el término arenisca o arenisca. La relación de la clasificación textural completa de las arenas o areniscas se presenta en las Figura 27, Figura 28 e Figura 29.

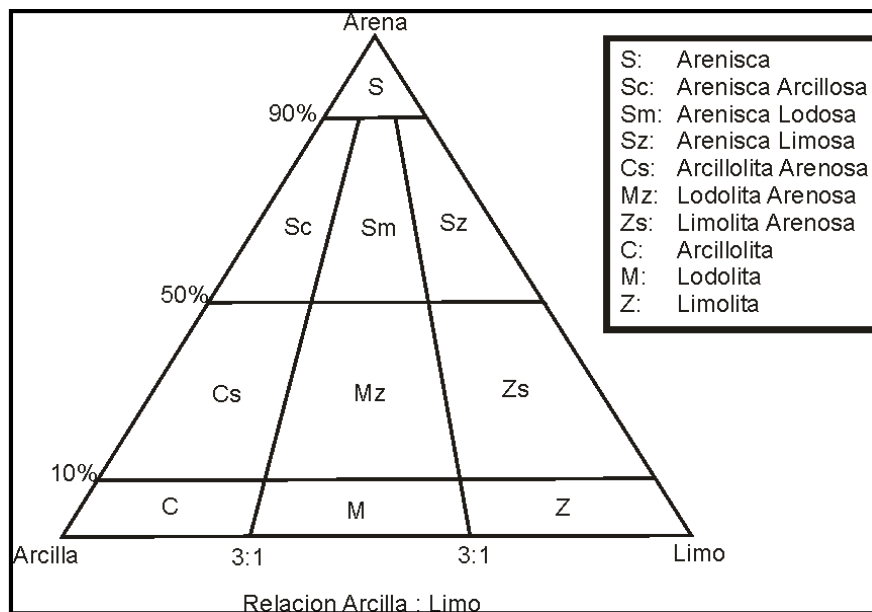


Figura 29. Diagrama triangular para la clasificación textural (tamaño de grano) de las rocas terrígenas de grano fino, Modificado de Folk (1974).

La proporción arena lodo es importante, debido a que refleja la cantidad de remoción de material fino en el sitio de deposición del sedimento. En el caso de las rocas que no contengan grava y contengan tanto arena como lodo se utiliza el diagrama triangular para la clasificación textural (tamaño de grano) de las rocas terrígenas de grano fino, Folk (1974) (Figura 29).

6. CARTOGRAFIA GEOLÓGICA

Se realizó la cartografía geológica del Campo Escuela Colorado basándose en información se superficie recolectada en la zona, abarcando un área de 70 km², en la cual se realizó la toma de datos estructurales y estratigráficos junto a la recolección de muestras litológicas pertenecientes principalmente a la Formación Colorado, siendo esta la unidad predominante en la zona; dicha recolección de información se llevo a cabo por medio de la observación y análisis por estaciones dentro y fuera en zonas colindantes al polígono que define al CEC el cual se puede observar en la Figura 30.

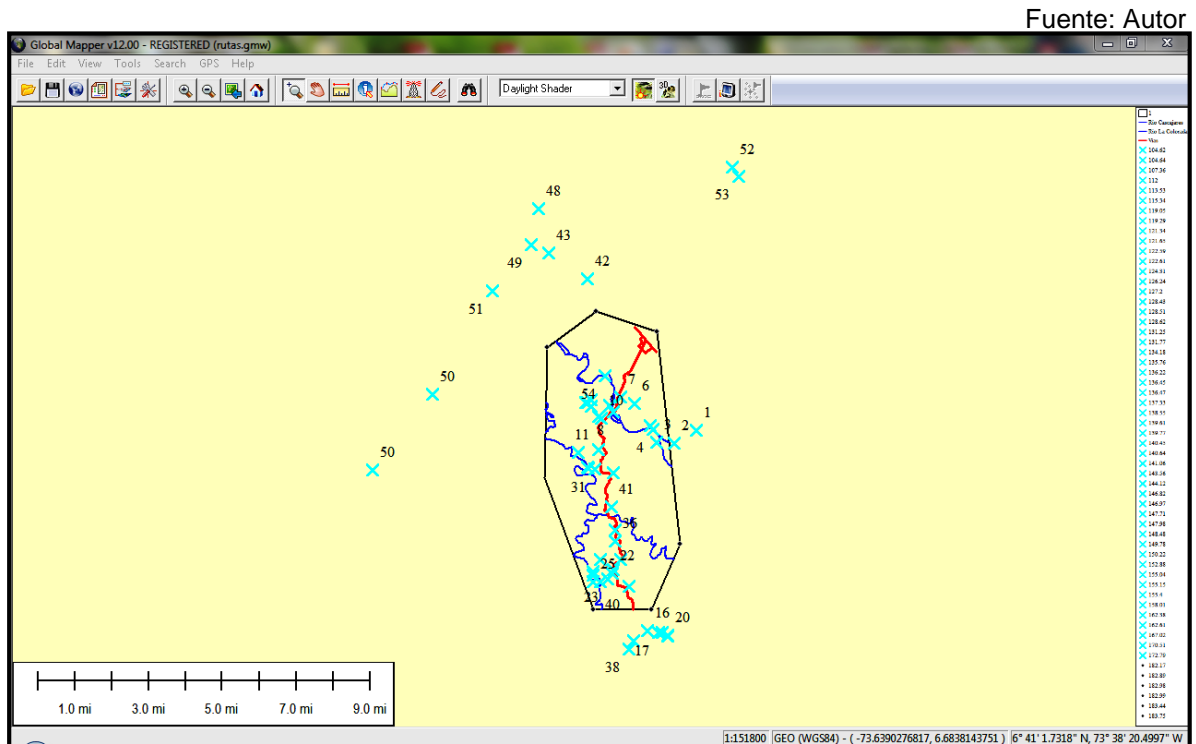


Figura 30. Representación gráfica en la cual se observar la localización de las estaciones en las cuales se recolectaron datos geológicos en el presente trabajo, representadas con una X de color cian y su respectivo número de orden de clasificación, de color azul los ríos Cascajales, la Colorada y fuego y color rojo la vía principal y el corregimiento de Yarima.

Posteriormente se realizó la descripción de las unidades litoestratigráficas aflorantes en el campo, una descripción petrográfica para muestras pertenecientes a la formación Colorado, y un análisis estructural y cinemático para el campo; dando como resultado el mapa geológico del Campo Escuela Colorado a escala 1:25.000 (Figura 32) con su respectiva leyenda (Figura 31).



Figura 31. Leyenda Mapa Geológico.

En la zona del CEC se encontraron aflorando cuatro unidades litoestratigráficas, (Qal) depósitos aluviales recientes compuesta por lodos con presencia abundante de materia orgánica y gravas y turbas, los cuales se encuentran constituidos por los materiales transportados por los ríos Cascajales y La Colorada depositándose también a los márgenes de estos; (QT) Terraza Aluvial conformada principalmente por grava y margas de tamaños medios con una matriz areno-lodosa representada por la terraza localizada en la zona Norte del campo en la cual se encuentra localizado el centro urbano del corregimiento; (Tmr) Grupo Real compuesto principalmente por fragmentos de quijos finos a medios y areniscas cuarzosas de grano grueso y lodolitas silíceas friables de colores rojizas y grises moteadas; (Toc) Formación Colorado compuesta por intercalaciones de paquetes de areniscas de grano fino a medio y lodolitas rojizas.

Fuente: Autor

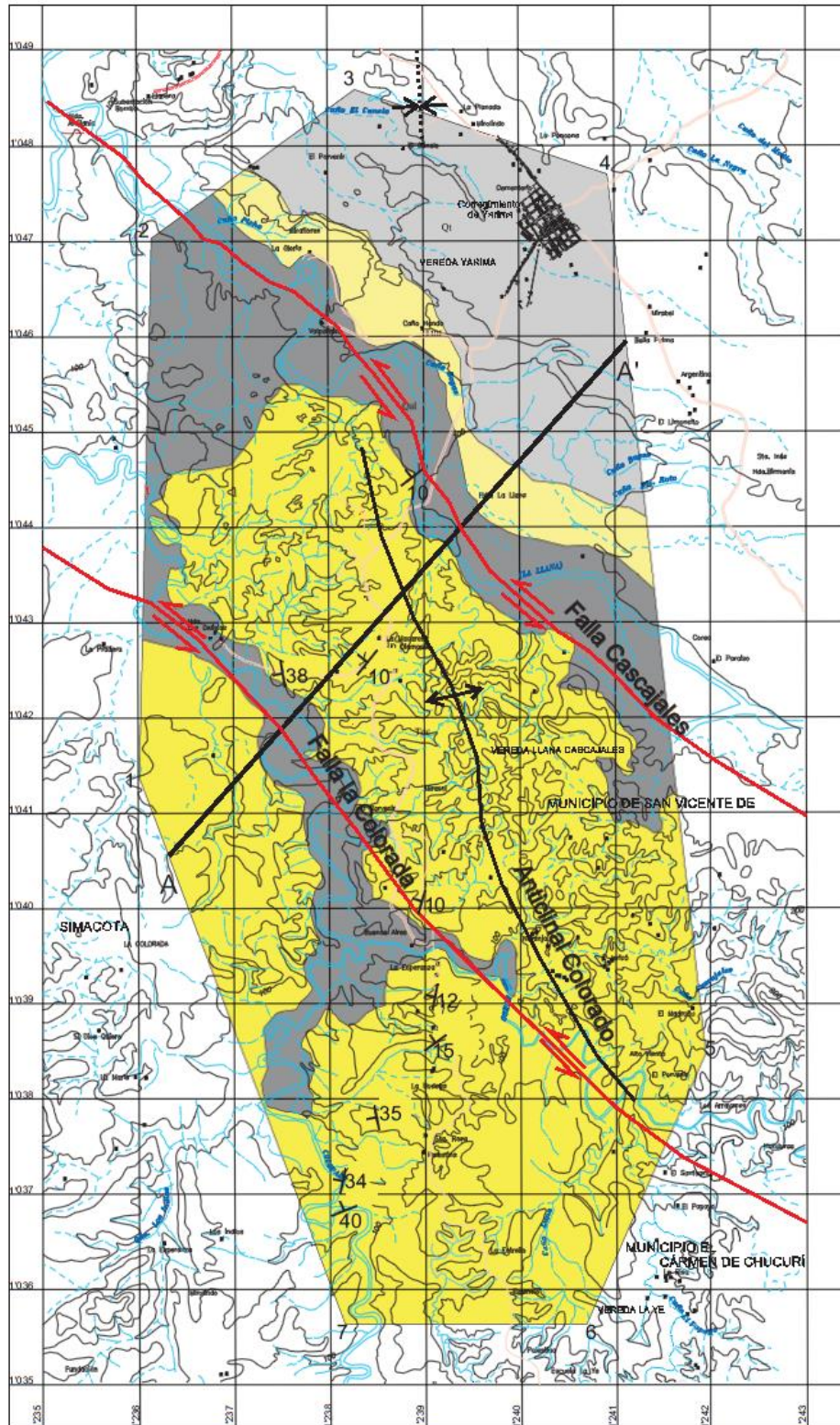


Figura 32. Mapa Geológico Campo Escuela Colorado.

Se realizó un control estructural con los datos recolectados por estaciones de tal manera que se reconocieron dos tipos de estructuras: **A.)** Dos Fallas de rumbo, Falla Cascajales y Falla la Colorada las cuales poseen un componente normal y cinemática de rumbo sinistral con dirección NW, las cuales se observan de forma semi-paralela, concordando con la dirección del río Cascajales, y **B.)** una estructura de tipo anticlinal, la cual se evidencia por los datos estratigráficos de rumbo y buzamiento de las capas de la Formación Colorado en el centro del polígono del campo en el área delimitada por las fallas Cascajales y la Colorada (Figura 33).

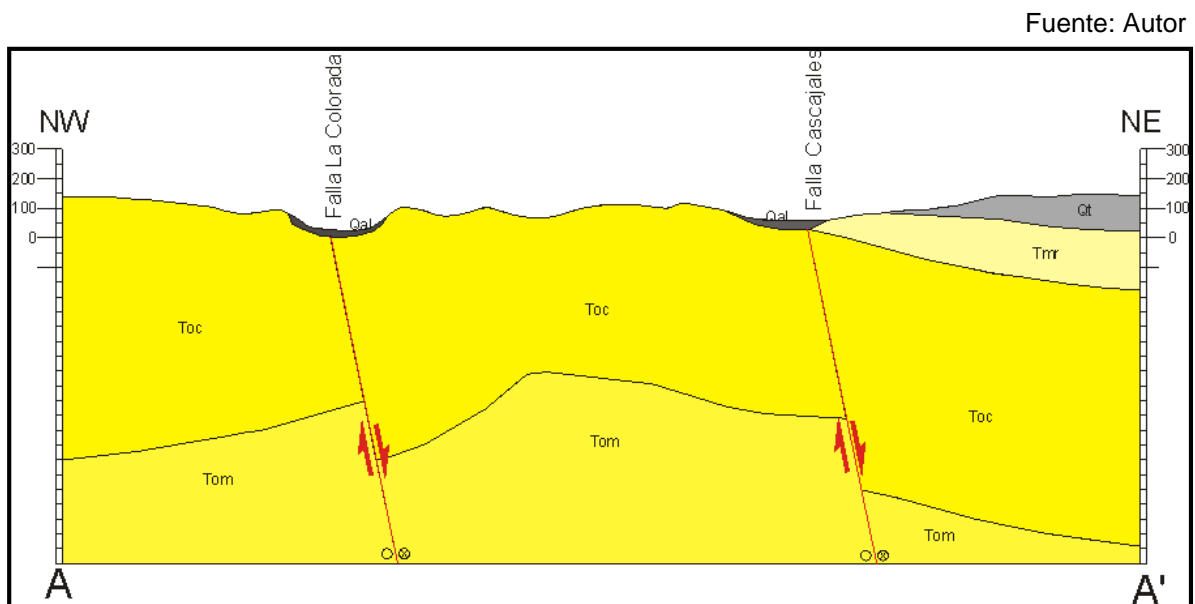


Figura 33. Corte Geológico A-A'

6.1. Geomorfología

Para la determinación de las unidades geomorfológicas se utilizaron las fotografías aéreas pertenecientes a los vuelos de la serie C-2139, C-2587 y C-2700 (Tabla 3) y realizando el análisis por medio de la identificación de los ríos, áreas adyacentes a los márgenes de los ríos, drenajes, redes de drenajes y estructuras que se

podieran observar en ellas (Figura 34) por medio del estereoscopio de espejos (Figura 2) suministrado por la Escuela de Geología de la Universidad.

Fuente: Autor

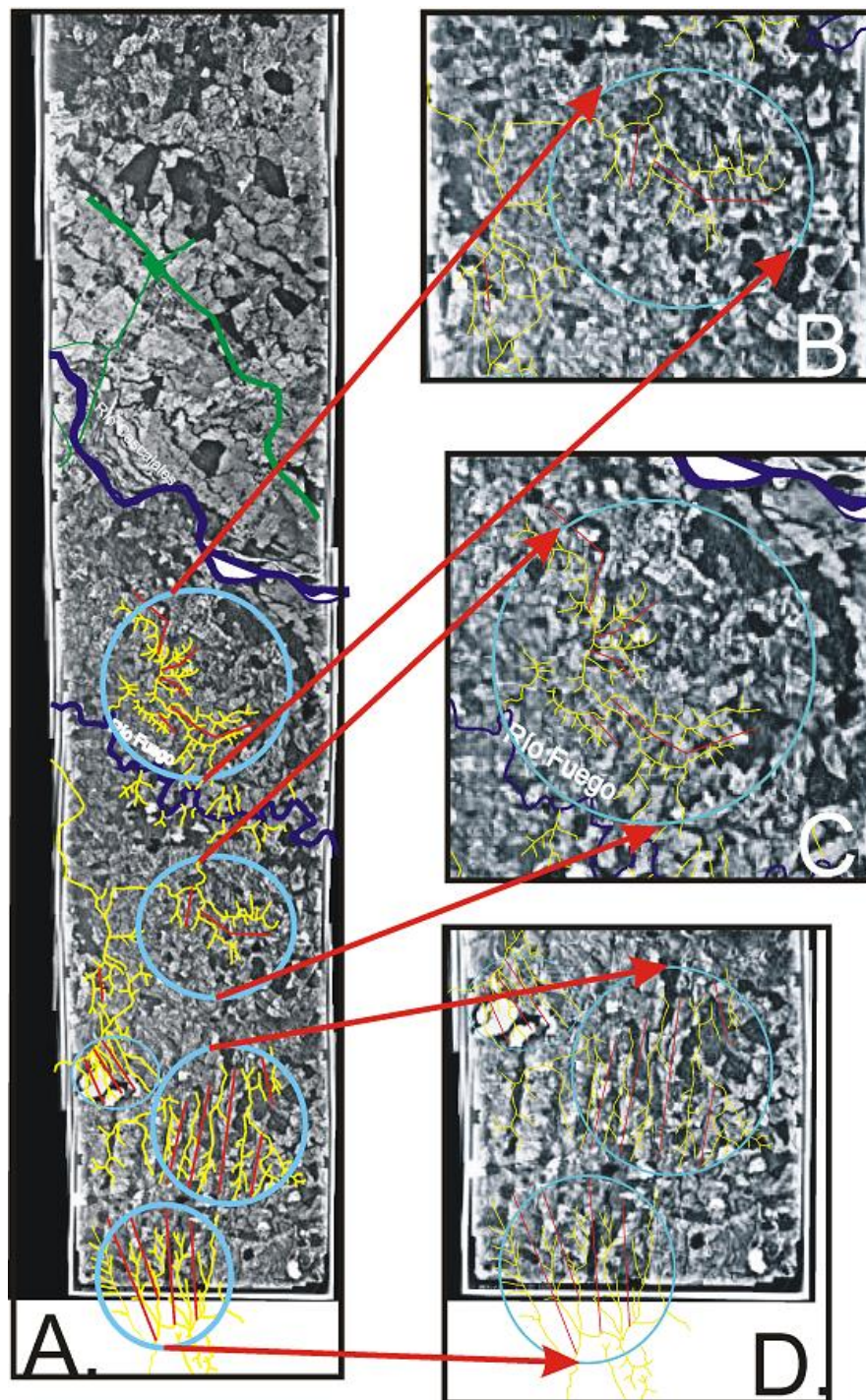


Figura 34. Patrones de drenaje trazados en fotografías aéreas encontrados en el Campo Colorado. **A.** Fotografías aéreas del vuelo serie C-2139. **B.** y **C.** Patrón de drenaje tipo Dendrítico. **D.** Patrón de drenaje tipo Paralelo.

Estableciéndose como límites para el reconocimiento de los drenajes el río Cascajales y la zona sur del Campo Colorado, así como los lineamientos, ya que el flujo superficial es controlado por el tipo de material y por zonas de debilidad litológica y estructural (Caballero, 2007). De esta manera se identificaron dos tipos diferentes de patrones de drenajes; en la zona media del campo se identificó el patrón de drenaje dendrítico (Figura 34 B y C.), el cual indica la homogeneidad de la roca y falta de control estructural, caracterizándose por la ramificación de las corrientes en los valles a ángulos agudos, desarrollándose por erosión aleatoria de arroyos insecuentes sobre rocas de igual resistencia (Ceotma, 1984) el cual corresponde a las litologías compuestas por la Formación Colorado.

En la zona sur al campo se identificó el patrón de drenaje tipo paralelo (Figura 34 D) el cual es característico de corrientes que fluyen en direcciones sub-paralelas unas a otras, su curso es controlado por una dirección general de la cuesta, o por rasgos paralelos o subparalelos de la topografía, no son muy comunes y son limitados con frecuencia a una cierta área (Tarbuck, 1997; Seco, 2006) pertenecientes a las litologías que componen la Formación Mugrosa quedando fuera del polígono del CEC.

Por otra parte el Modelo Digital de Elevaciones (Figura 35) el cual se realizó con archivos tipo SRTM por medio del Software Global Mapper™, se identificaron los diferentes tipos de relieves permitiéndonos definir las unidades geomorfológicas (Figura 35). Unidad A. geográficamente localizada al norte del campo en la parte donde se encuentra ubicado el casco urbano del corregimiento de Yarima y limitado por los depósitos del margen del río Cascajales siendo una terraza aluvial plana con baja densidad de drenajes y alta porosidad, Unidad B. zona de bajo relieve topográfico definido por el margen del río Cascajales (depósitos aluviales recientes, Figura 36), Unidad C. zona quebrada de mayor pendiente en la que se encuentran los patrones de drenajes detríticos y paralelos (Figura 37), intercalaciones de areniscas y arcillolitas rojizas pertenecientes a la formación Colorado (Gómez, 2008) y por último la unidad D presenta elevaciones más

suaves a diferencia de la unidad C posiblemente pertenecientes a las alternancias de arcillolitas y lodolitas rojizas con areniscas cuarzosas de grano fino a medio pertenecientes a la formación Colorado (Gómez, 2008).

Fuente: Autor

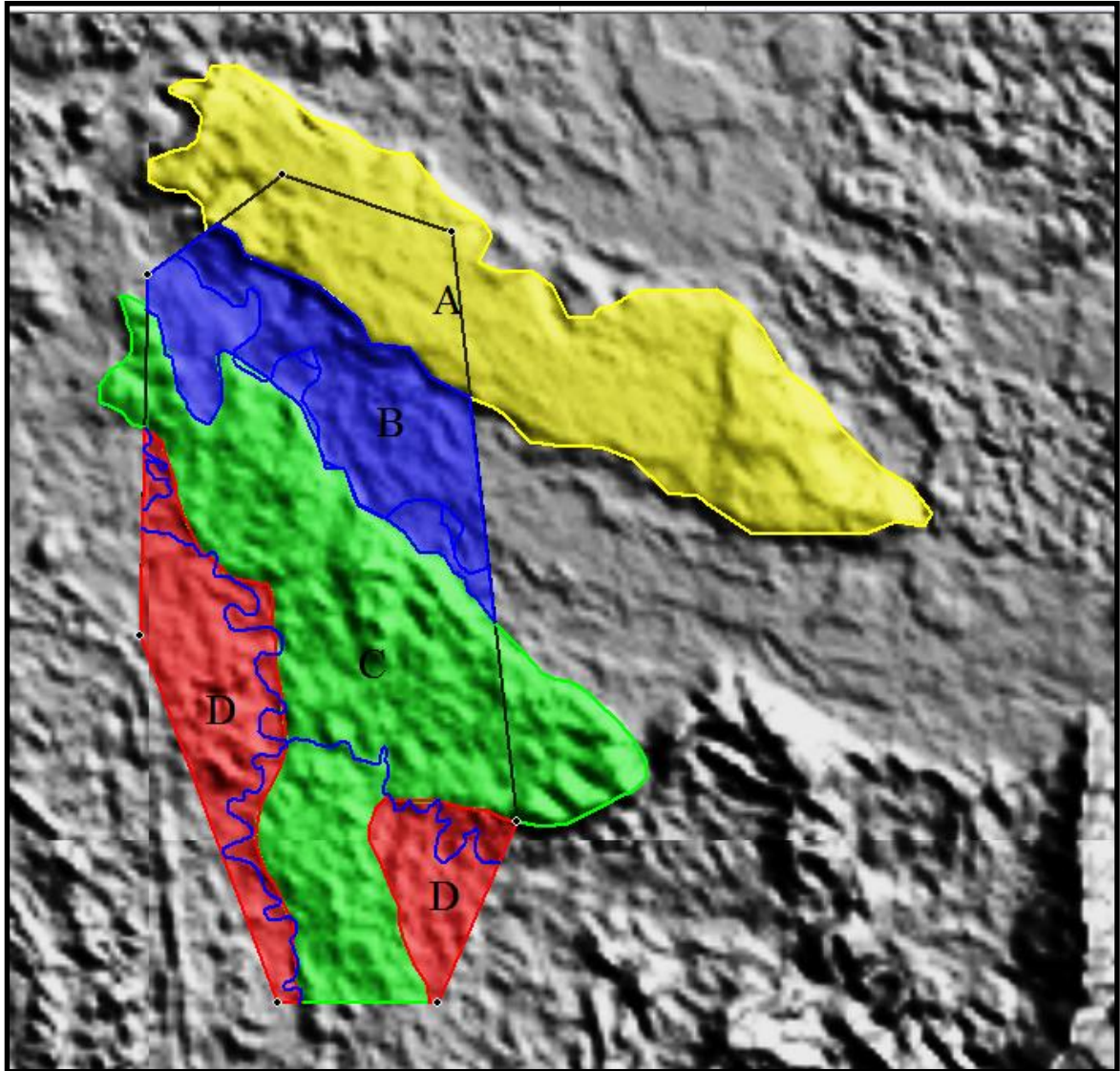


Figura 35. Mapa con unidades geomorfológicas definidas a partir del Modelo Digital de Elevaciones

Fuente: Autor



Figura 36. Fotografía en la cual se observan los depósitos acumulados en el margen del río Cascajales (Zona B).

Fuente: Autor



Figura 37. Fotografía en la cual se observa relieve suave poco quebrado en la zona central del Campo Colorado (Zona C).

6.2. Estratigrafía

En el CEC se identificaron y cartografiaron unidades pertenecientes a los periodos del Paleógeno-Neógeno, aflorando en el área de este las formaciones Colorado y el Grupo Real, junto con amplios depósitos cuaternarios aluviales localizados a las margenes de los ríos la Colorada, río Fuego y río Cascajales principalmente y una terraza aluvial localizada hacia la parte norte del campo.

Fuente: Autor



Figura 38. Cuadro representativo con las unidades estratigráficas aflorantes en el Campo Escuela Colorado, la Formación Mugrosa no se encuentra aflorando en el sector del CEC.

A continuación se describen características tales como: localización, geometría de las capas, composición y granulomería entre otras, para cada una de dichas unidades:

6.2.1. Formación Colorado (Toc)

La Formación Colorado aflorante en el CEC se encuentra compuesta por la intercalación de paquetes de areniscas de grano fino a medio y lodolitas rojizas, siendo esta una de las litologías con mayor presencia en la superficie del campo,

presenta estratificación cruzada, paralela y sub-paralela, compuestas por espesores que van de 30 a 70 cm de longitud siendo el caso para las areniscas entre los 10 a 20 cms, para las lodolitas rojizas y presentando meteorización esferoidal (Figura 39), ambas litologías altamente fracturadas, en algunas zonas el grado de fracturamiento aumenta, tal es el caso de la zona colinadante hacia el NW del río La Colorada en la zona denominada La Llana, en el cual presenta mayor grado de fracturamiento con diaclasas cerradas y abiertas de hasta 10 cms con tránsito de fluidos (Figura 40),

Fuente: Autor

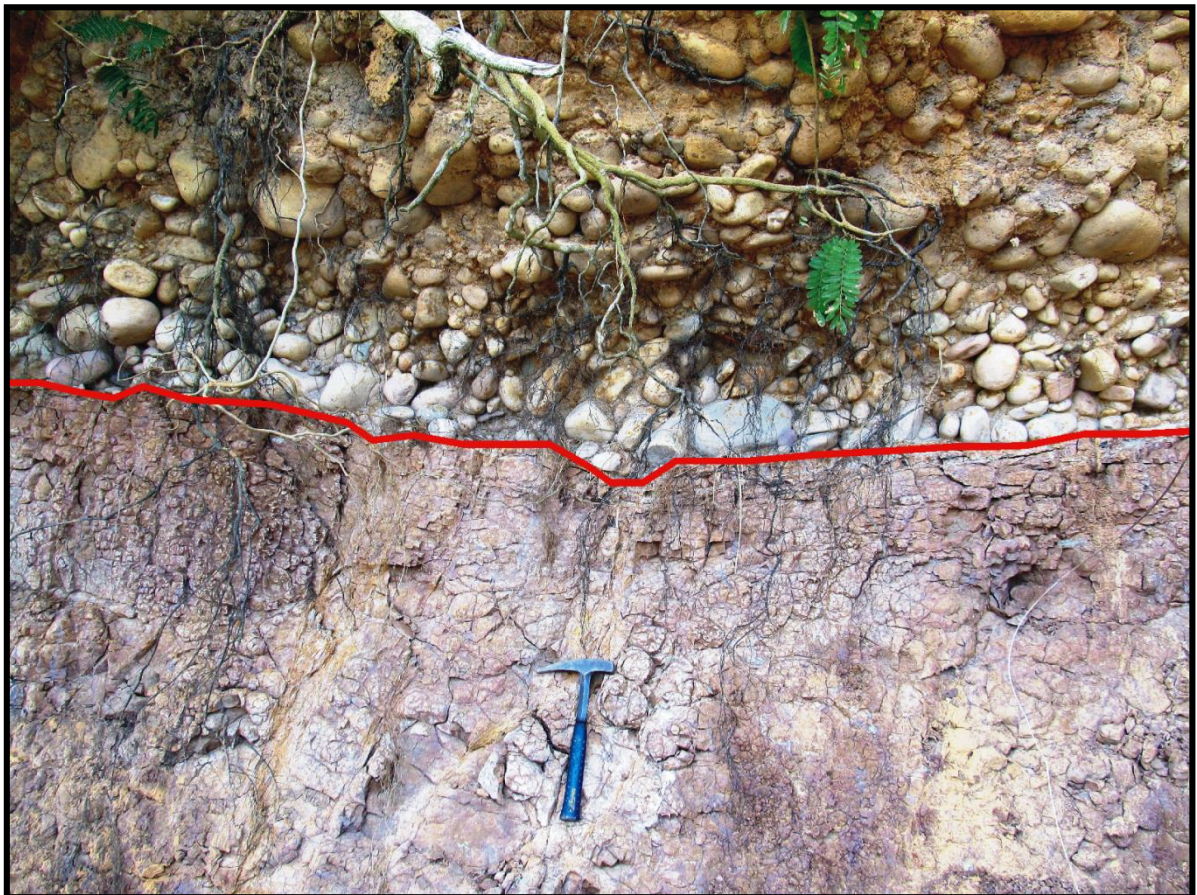


Figura 39. Fotografía en la cual se observa en la parte inferior lodolitas rojizas de varias tonalidades pertenecientes a la Formación Colorado y en la parte superior depósitos conglomeráticos pertenecientes a los depósitos formados en los bordes del río Cascajales.

Fuente: Autor



Figura 40. Fotografías en las cuales se observa las diferentes tipos de tonalidades en un paquete de lodolitas perteneciente a la Formación Colorado junto con diaclasas cerradas y abiertas con transito de fluidos por presencia de óxidos.

Entre las intercalaciones varían los colores y tonalidades de las lodolitas arcillosas pasando por varias tonalidades rojos, grises claros y colores moteados morados

(Figura 41) y la granulometría de las areniscas cuarzosas que presentan tamaño de grano fino a medio (Figura 42 y Figura 43)

Fuente: Autor

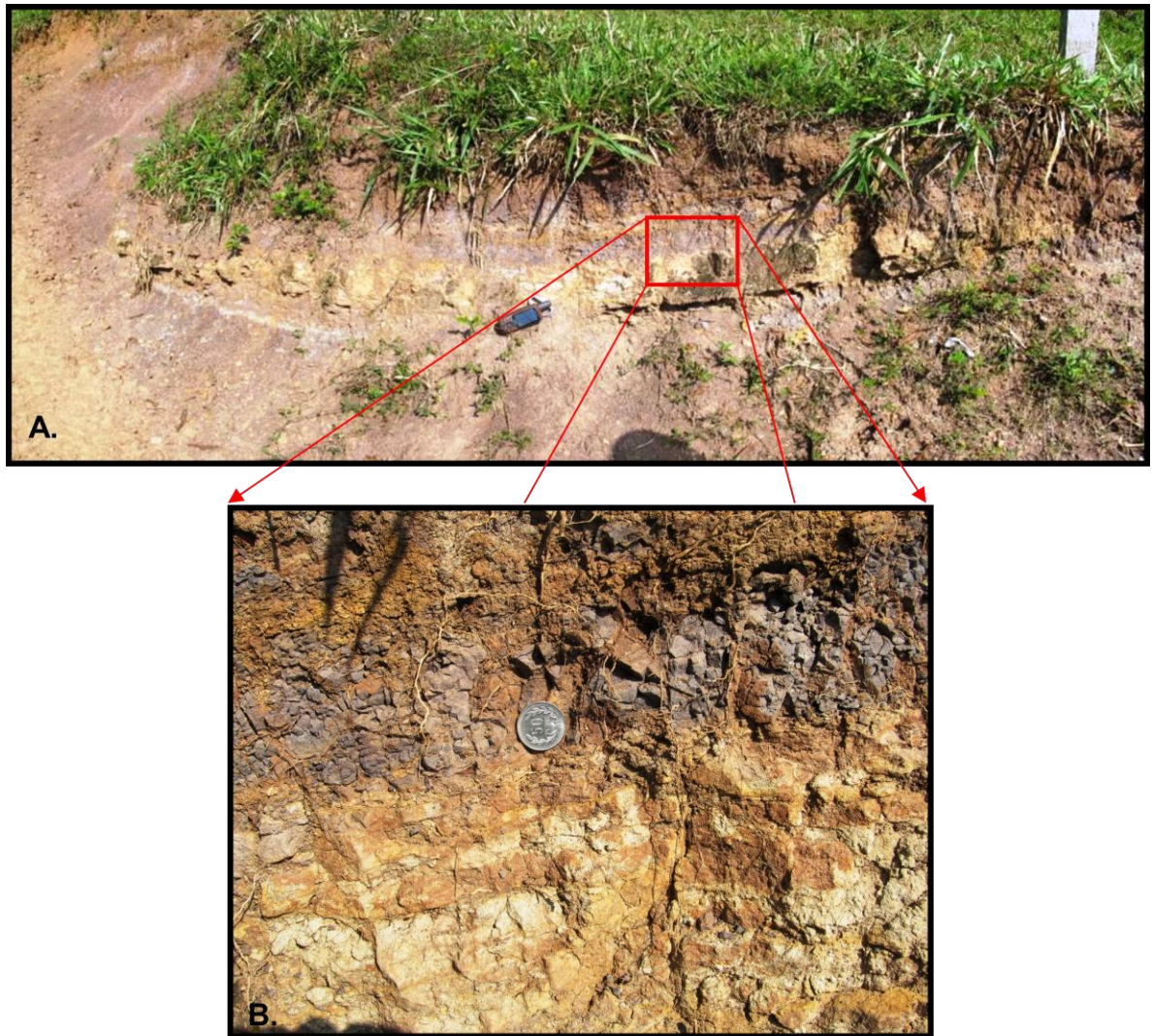


Figura 41. Fotografía panorámica (A.) y de detalle (B.) de la Formación Colorado en las que se observan A. las intercalaciones entre las areniscas y las lodolitas rojizas y B. meteorización esferoidal en la capa de lodolitas y el alto fracturamiento.

Fuente: Autor



Figura 42. Límite entre paquete de arenisca de grano fino y capa de arcillolita rojiza pertenecientes a la Formación Colorado.

Fuente: Autor

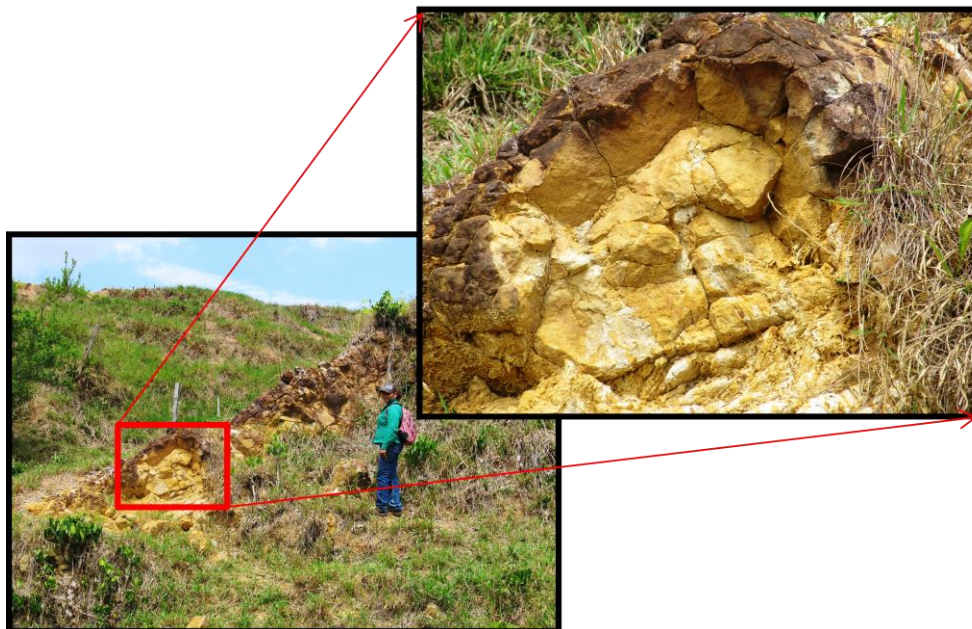


Figura 43. Paquete de arenisca de grano fino a medio perteneciente a la formación Colorado.

6.2.2. Grupo Real (Tmr)

El Grupo Real se encuentra compuesto principalmente por fragmentos de guijos finos a medios y areniscas cuarzosas de grano grueso (Figura 44) y lodolitas silíceas friables de colores rojizos y grises moteados, estratificación inclinada subparalela y estratificación cruzada, poco marcada (Figura 45).

Fuente: Autor



Figura 44. Arenisca cuarzosa de grano medio-grueso perteneciente al grupo Real.

Fuente: Autor

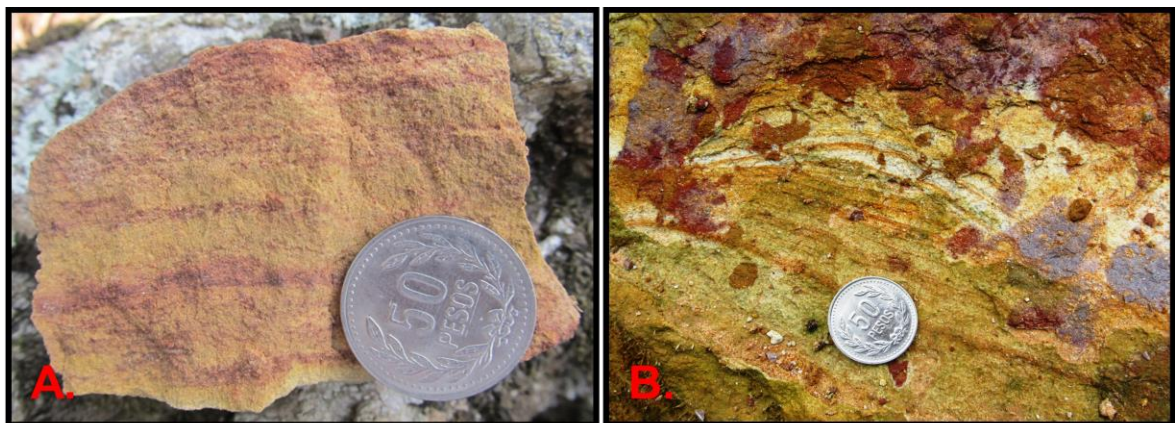


Figura 45. A. Litoarenita con estratificación sub paralela perteneciente al grupo Real. **B.** Arenisca de grano fino límite con lodolita moteada de colores rojizos y morada perteneciente al grupo Real.

6.2.3. Depósitos Cuaternarios

En el área comprendida por el CEC se encuentran en superficie terrazas y depósitos aluviales en las zonas aledañas a los ríos Cascajales, río la Colorada y río Fuego, compuestos por gravas de tamaño guijarro principalmente a las margenes de los ríos La Colorada y Cascajales (Figura 46) mientras que los depósitos colindantes al río Fuego se encuentran compuestos por sedimentos arcillosos de colores rojizos.

Fuente: Autor



Figura 46. Depósito aluvial formado por el río Cascajales hacia el NE del Campo.

Terrazas aluviales

Se observan una terraza aluvial presente en el campo en la parte norte, en el área comprendida por el casco urbano de la población de Yarima, compuesta principalmente por gravas y margas de tamaño medio a grueso con matriz arenosa y lodosa en algunos sectores de la base y por sedimento tipo arena de grano fino a medio el tope (Figura 47 y Figura 48).

Depósitos aluviales recientes

A lo largo del río la Colorada y Cascajales se encuentran grandes depósitos aluviales recientes (Figura 49 y Figura 50) conformados en la base por lodos con presencia abundante de materia orgánica y en el tope por gravas y turbas.

Fuente: Autor



Figura 47. Fotografía en la cual se observa la composición de la terraza aluvial sobre la vía la Llana hacia el casco urbano del corregimiento de Yarima.

Fuente: Autor



Figura 48. Depósito aluvial al margen del río la Colorada conformado por gravas y turbas con matriz arcillosa.

Fuente: Autor

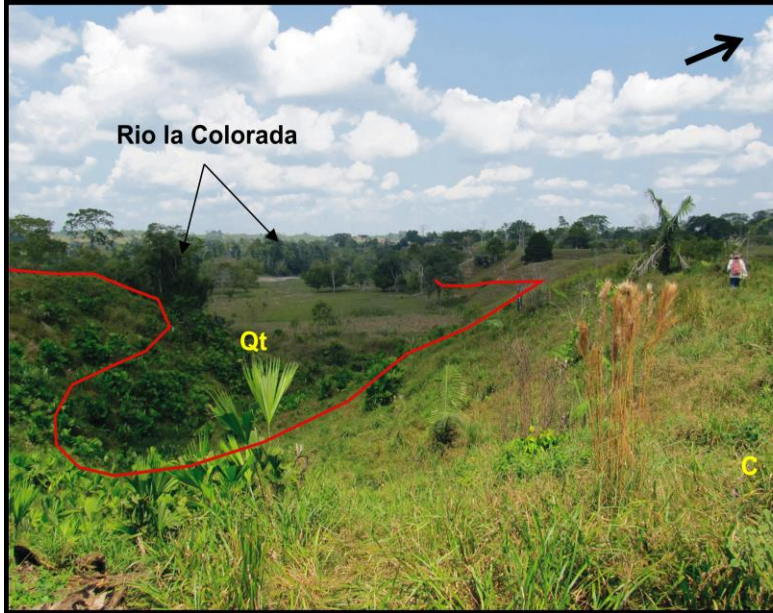


Figura 49. Fotografía en la cual se observa al fondo el río La Colorada y el límite de la Formación Colorado (C) con el depósito del Cuaternario (Qt).

Fuente: Autor



Figura 50. Fotografía en la que se observa la barra de punto generada por el río Cascajales en el punto la Llana.

Fuente: Autor



Figura 51. Imagen tomada por Google Earth en la cual se observan los depósitos de canal, la barra de punto y zonas de inundación generada por el río Cascajales

6.3. Petrografía

Descripción y clasificación de secciones delgadas

En la selección de las muestras para el análisis petrográfico se tomo en cuenta la compactación y preservación de estas para la buena realización de secciones delgadas, entre estas se seleccionaron ocho muestras de afloramiento pertenecientes a la Formación Colorado (Figura 52), las cuales se clasificaron texturalmente por el método de Folk (1974) particularmente por el tamaño de grano para las rocas terrígenas de grano fino; por medio de este método se clasificaron las muestras seleccionadas (Tabla 5) como Lodolitas arenosas (Mz), Areniscas Lodosas (Sm) Lodolitas Limosas (Sz)

| | Lodolitas Arenosas (Mz) | Areniscas Lodosas (Sm) | Lodolitas Limosa (Sz) |
|-----------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| Muestras | MZT-12 | MZT-6 | MZT-19 |
| | MZT-16 | MZT-9 | |
| | | MZT-10 | |
| | MZT-21 | MZT-20 | |

Tabla 5. Muestras de este estudio a las cuales se les realizo sección delgada, para la clasificación por el método textural de Folk (1974) para sedimentos y rocas de grano intermedio: Arenas y areniscas.

Fuente: Autor

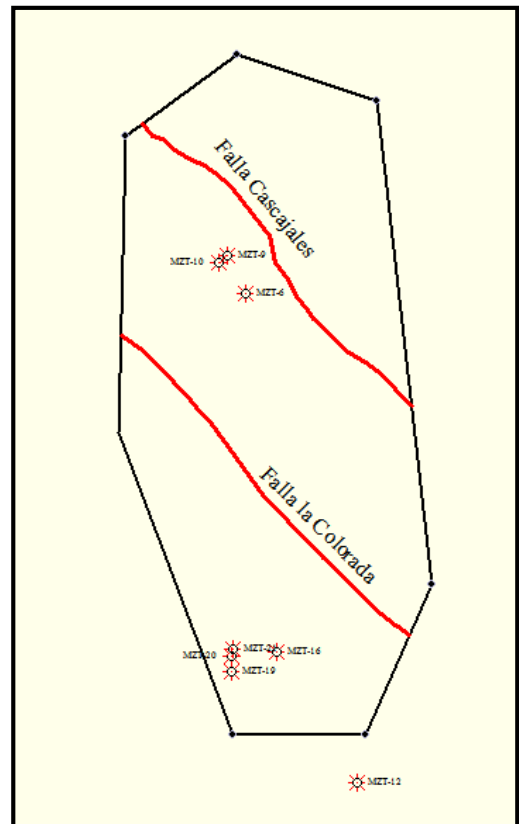


Figura 52. Esquema de localización respecto al polígono del CEC de las muestras a las cuales se les realizaron sección delgada.

6.3.1. Lodolitas Arenosas (Mz)

Como lodolitas arenosas se clasificaron las muestras MZT – 12, MZT – 16 y MZT – 21.

- Muestra: MZT – 12

Mineralógicamente la muestra MZT-12 está constituida principalmente por granos de cuarzo esféricos subangulares y subredondeados, cristales de feldespatos no esféricos angulares, presenta también moscovita entre granos de cuarzo principalmente los cuales ejercen una ligera presión deformando levemente a esta, minerales opacos accesorios no esféricos muy angulares en muy poca proporciones, dichas partículas se encuentran en contacto flotantes, longitudinales y cóncavos convexos, presenta un calibrado de las partículas entre moderado y mal calibrado.

Fuente: Autor

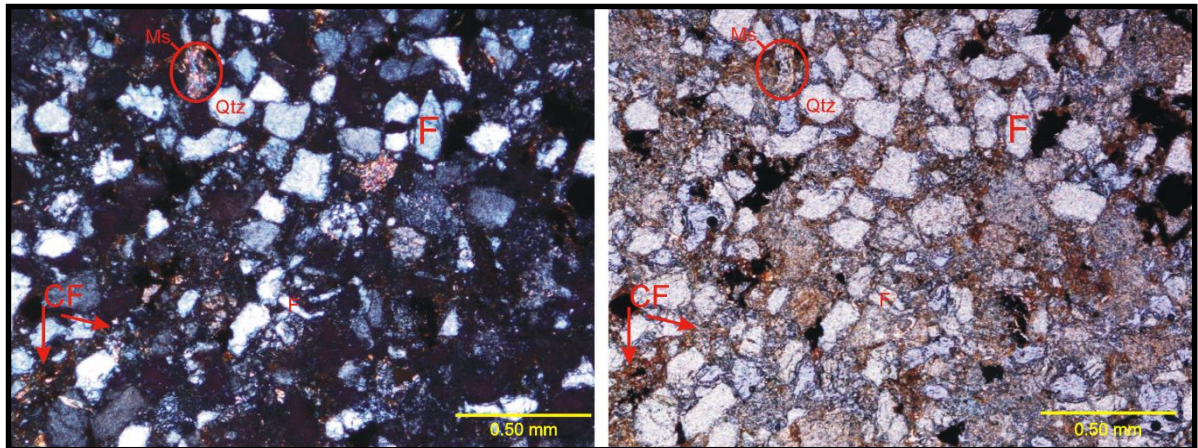


Figura 53. Fotografía de la muestra MZT-12 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicoles cruzados (Izquierda), nicoles paralelos (Derecha), en la cual se indica con círculos de color rojo cristales de moscovita (Ms) detrítica adyacentes a cristales de cuarzo (Qtz), cemento ferruginoso (CF), cristales de cuarzo, cristales de feldespatos (F), y minerales opacos.

Texturalmente presenta un armazón lodosoportado conformado por minerales de cuarzo y feldespatos, matriz arenolodosa, también presenta cemento de sílice, cemento ferruginoso con una porosidad interparticular o primaria.

Fuente: Autor

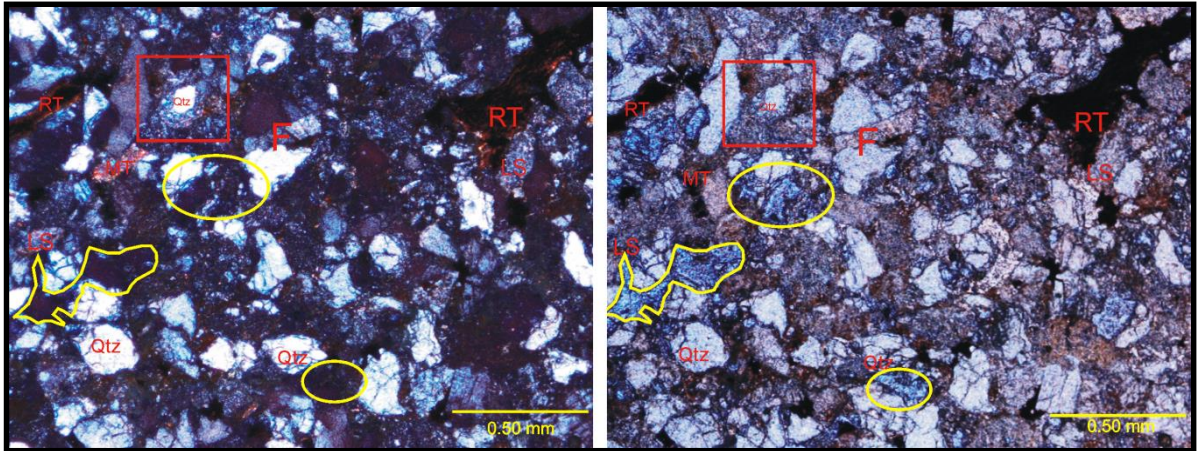


Figura 54. Fotografía de la muestra MZT-12 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicols cruzados (Izquierda), nicols paralelos (derecha), en la cual se indica con contornos y círculos de color amarillo la porosidad primaria en la muestra, con cuadrados de color rojo se indica el cemento silíceo bordeando un cristal de cuarzo (Qtz), cristales de moscovita (Ms) detrítica adyacentes a cristales de cuarzo (Qzt), cemento ferruginoso (CF), cristales de cuarzo, cristales de feldespatos (F), líticos sedimentarios (LS) y minerales opacos (RT).

Por medio del método de clasificación textural de Folk (1974) para rocas de grano terrigenas de grano fino se determinó que la muestra MZT-12 (Figura 55) pertenece al subgrupo de lodolitas arenosas (Mz).

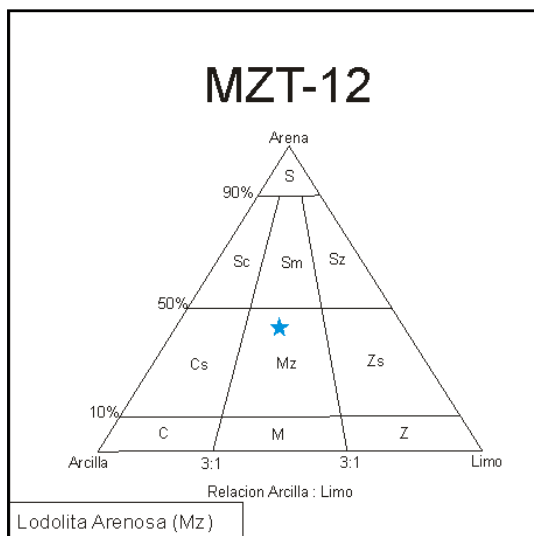


Figura 55. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrigenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-12, por medio de petrografía en el presente estudio.

- Muestra: MZT - 16

Mineralógicamente la muestra MZT-16 está constituida principalmente por granos de cuarzo esféricos subangulares y subredondeados, cristales de feldespatos esféricos subangulares y fragmentos de roca (líticos sedimentarios (LS)) dichas granos se encuentran en contacto longitudinales y cóncavos convexos, presentando un mal calibrado de las partículas, texturalmente presenta un armazón lodosoportado a intermedio conformado por minerales de cuarzo y feldespatos, matriz arenolodosa, con presencia de cemento de sílice y cemento ferruginoso, con una porosidad interparticular (Primaria) la cual se ve modificada por la disolución y fracturamiento de algunos cristales de cuarzo y feldespatos pertenecientes a la matriz y el armazón conformando porosidad intrapartilular o porosidad secundaria.

Fuente: Autor

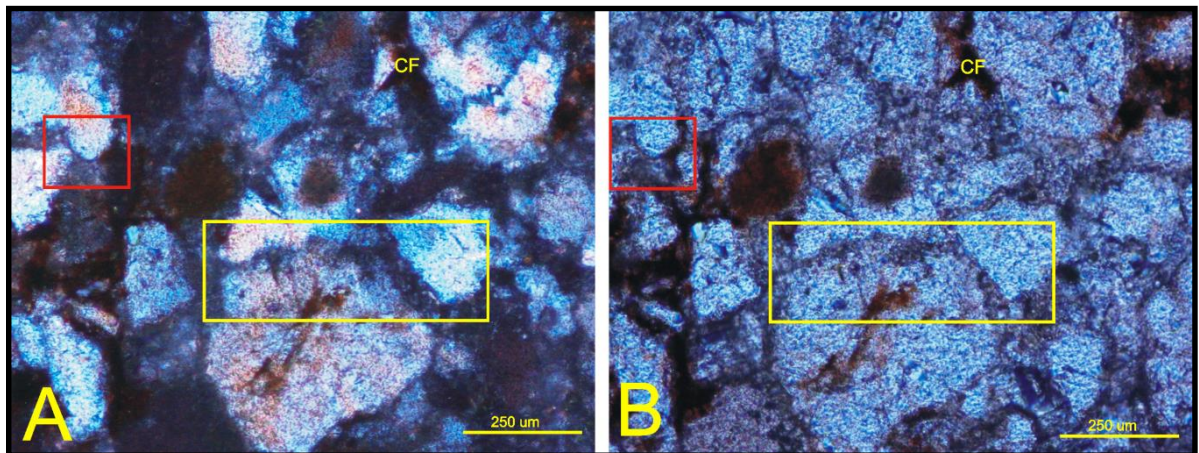


Figura 56. Fotografía de la muestra MZT-16 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B), nicoles cruzados (A), nicoles paralelos (B), en la cual se indica con rectángulos de color amarillo el cemento silíceo y en cuadrados de color rojo el contacto cóncavo convexo entre las partículas de Cuarzo (Qzt) en contacto con cemento ferruginoso (CF).

Por medio del método de clasificación textural de Folk (1974) para rocas de grano terrigenas de grano fino se determinó que la muestra MZT-16 (Figura 58) pertenece al subgrupo de lodolitas arenosas (Mz).

Fuente: Autor

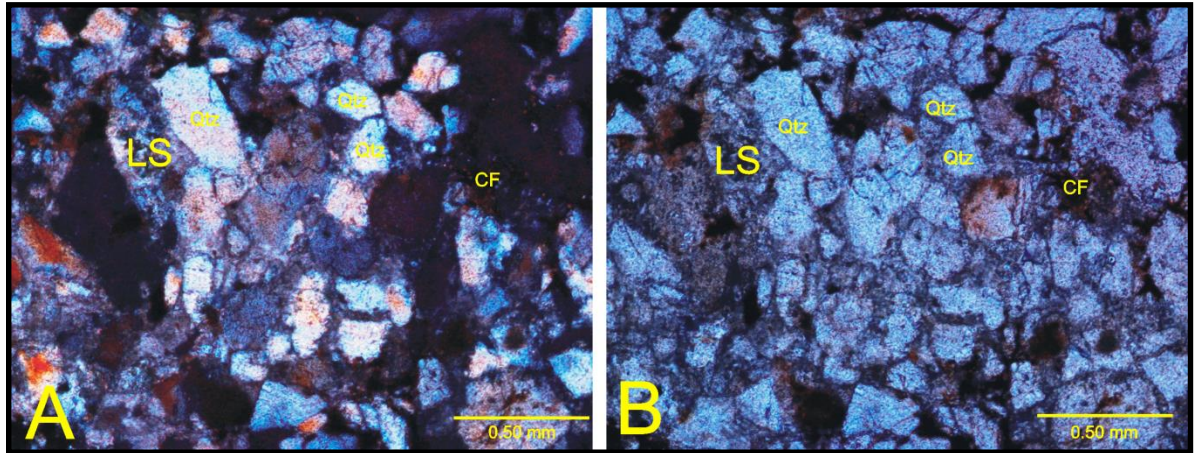


Figura 57. Fotografía de la muestra MZT-16 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B), nicoles cruzados (A), nicoles paralelos (B), en la cual se observan cristales de cuarzo (Qzt) fracturados y en contacto cóncavo convexo, cemento ferruginoso (CF) en la parte derecha y líticos sedimentarios (LS).

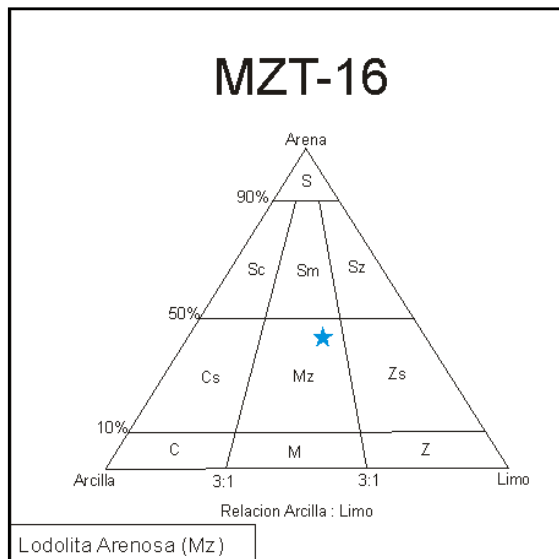


Figura 58. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-16, por medio de petrografía en el presente estudio.

- Muestra: MZT – 21

Mineralógicamente la muestra MZT-21 está constituida principalmente por granos de cuarzo esféricos y no esféricos, angulares y subangulares, cristales de feldespatos no esféricos angulares y minerales accesorios esféricos angulares, encontrándose en contacto flotante, y presentando un calibrado buen de las

partículas, texturalmente presenta un armazón grano soportada conformado por minerales de cuarzo y feldspatos y matriz lodosa, también presenta cemento de sílice, cemento ferruginoso y presencia de materia orgánica, con una porosidad interparticular o primaria.

Por medio del método de clasificación textural de Folk (1974) para rocas de grano terrigenas de grano fino se determinó que la muestra MZT-21 (Figura 60) pertenece al subgrupo de lodolitas arenosas (Mz).

Fuente: Autor

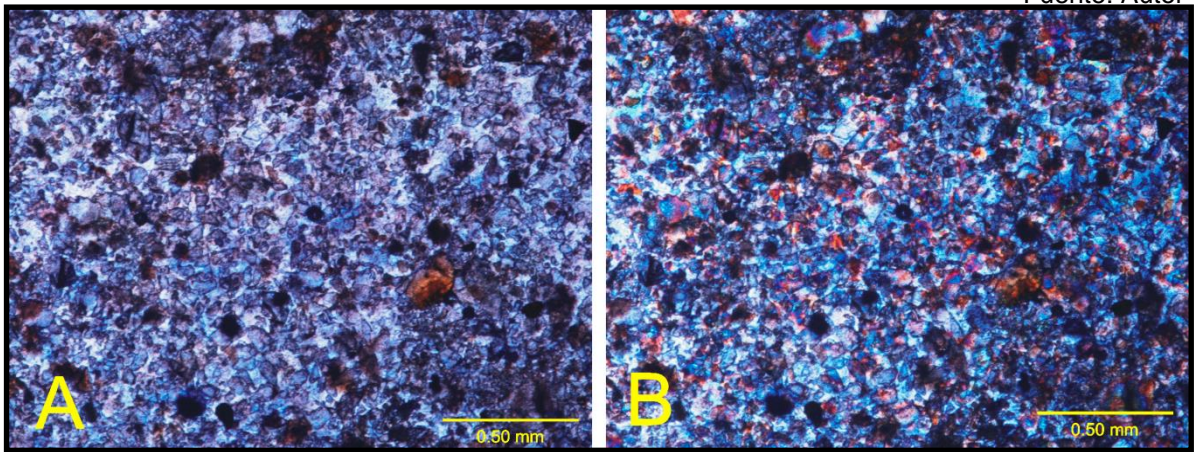


Figura 59. Fotografía de la muestra MZT-21 en sección delgada, obtenida en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B), nicoles cruzados (A), nicoles paralelos (B) en la cual se puede observar la porosidad secundaria y los contactos flotantes gran abundancia en la muestra.

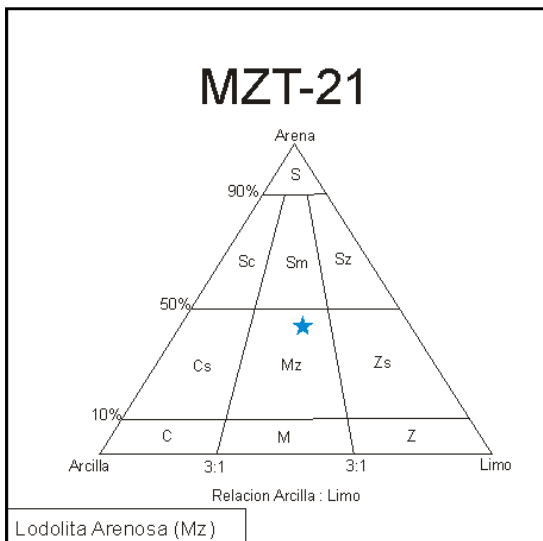


Figura 60. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrigenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-21, por medio de petrografía en el presente estudio.

6.3.2. Areniscas Lodosas (Sm)

Como areniscas lodosas se clasificaron las muestras MZT – 6, MZT – 9, MZT – 10 y MZT – 20.

- Muestra: MZT - 6

Fuente: Autor

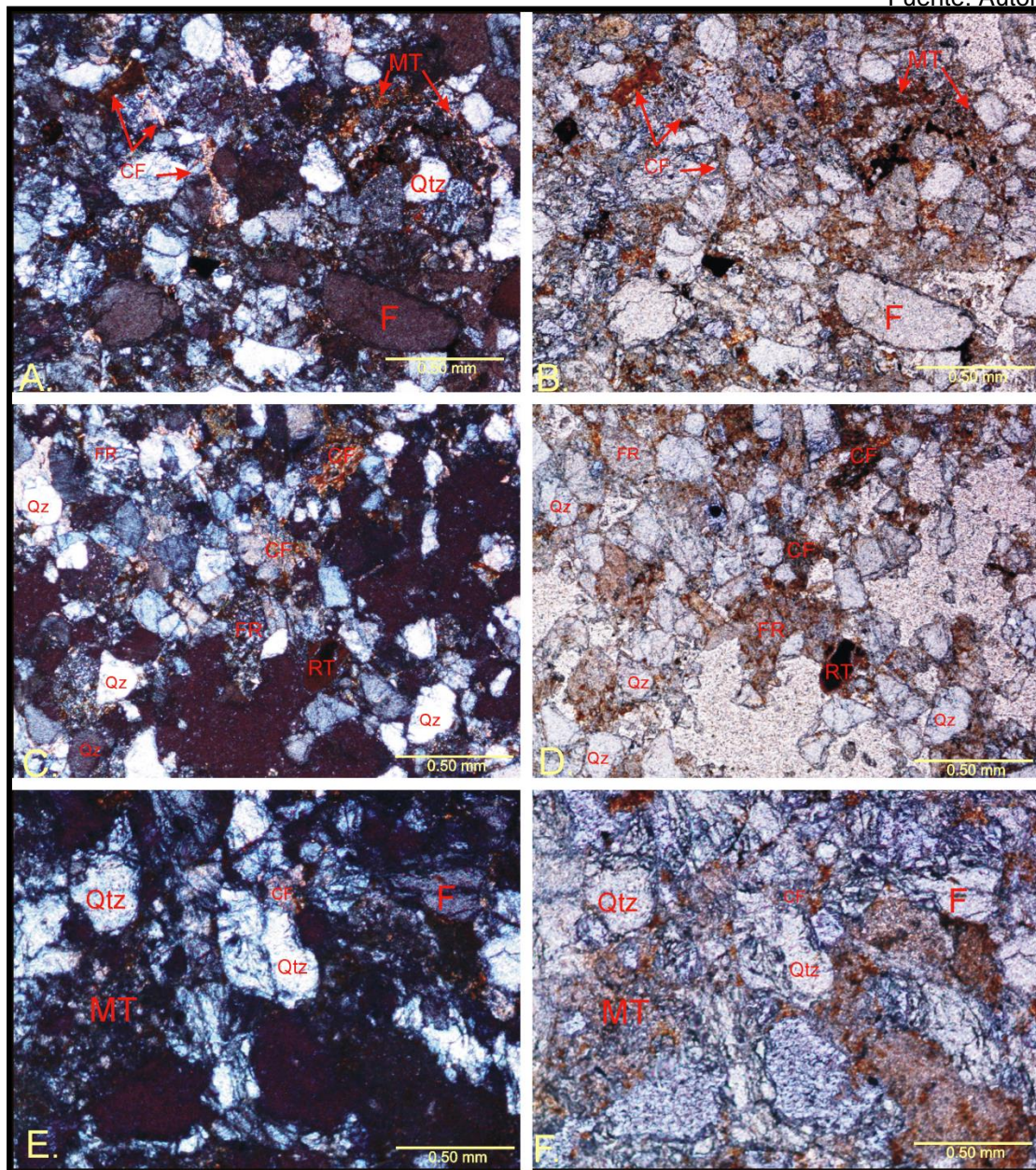


Figura 61. Fotografías de la muestra MZT-6 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B, C, D, E, F), nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha).

Mineralógicamente la muestra MZT-6 está constituida principalmente por granos de cuarzo esféricos y no esféricos, angulares y subredondeados, cristales de feldspatos no esféricos angulares, minerales accesorios esféricos subangulares fracturados en algunos casos y algunos fragmentos de roca de tamaño arena media esféricos angulares, encontrándose en contacto flotante y contacto cóncavo convexo, con un calibrado moderado de las partículas, texturalmente presenta un armazón que va de lodosoportado a intermedio conformado por minerales de cuarzo y feldspatos y matriz arcillosa, también presenta cemento ferruginoso en abundancia, con porosidad interparticular o primaria modificada por el fracturamiento de cristales de cuarzo.

Por medio del método de clasificación textural de Folk (1974) para rocas de grano terrigenas de grano fino se determinó que la muestra MZT-6 (Figura 62) pertenece al subgrupo de areniscas lodosas (Sm).

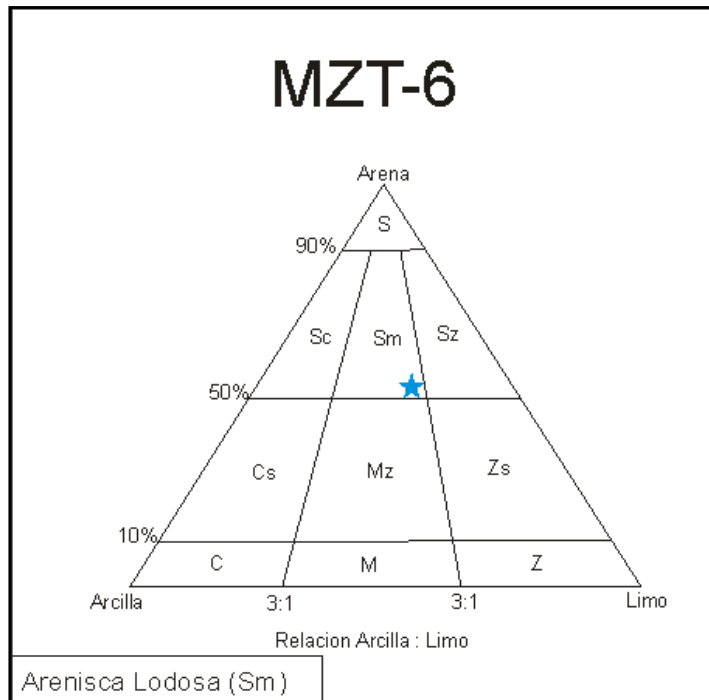


Figura 62. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-6, por medio de petrografía en el presente estudio.

Fuente: Autor

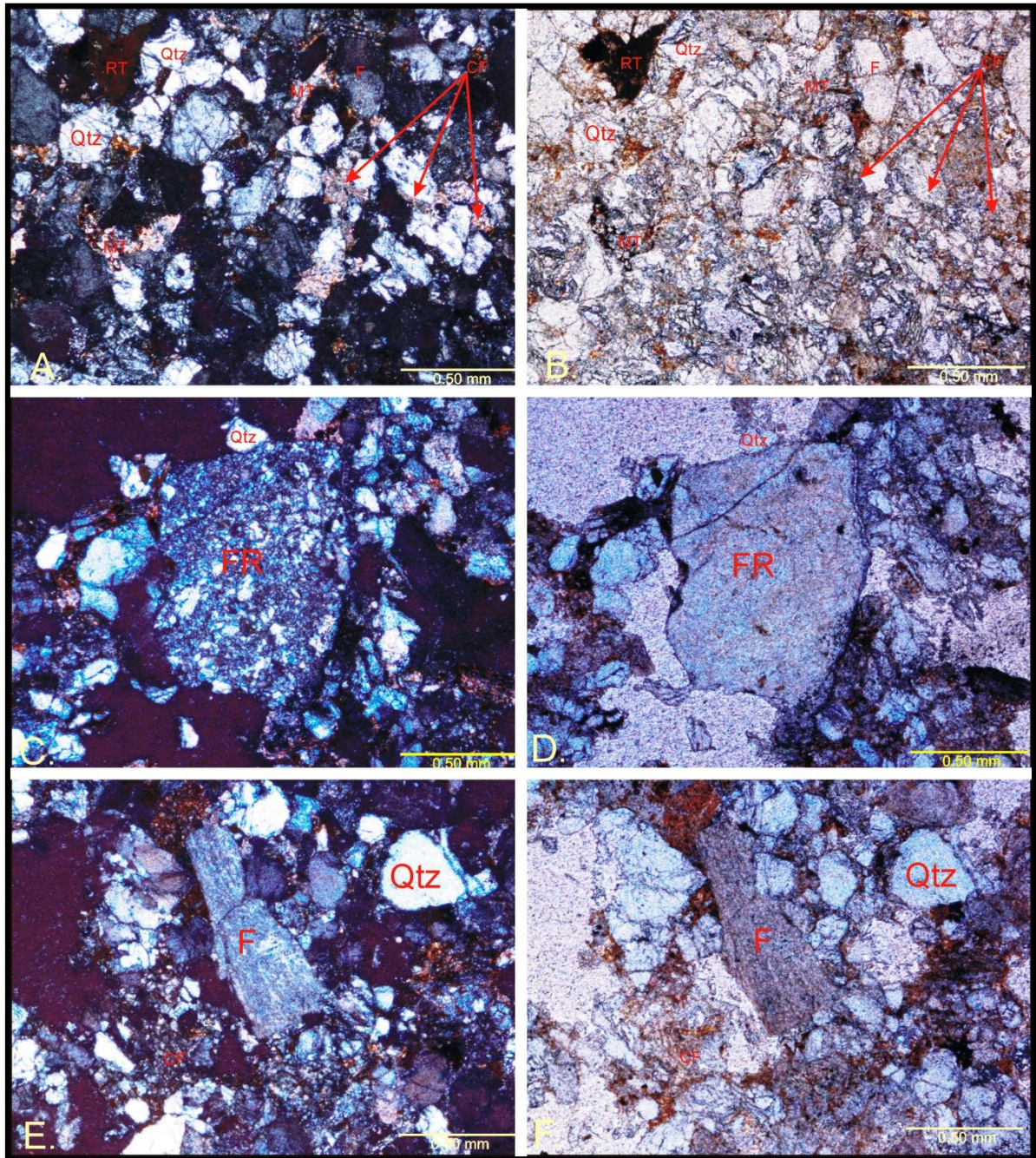


Figura 63. Fotografías de la muestra MZT-6 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B, C, D, E, F), nicols cruzados (izquierda), nicols paralelos (derecha).

- Muestra: MZT - 9

Fuente: Autor

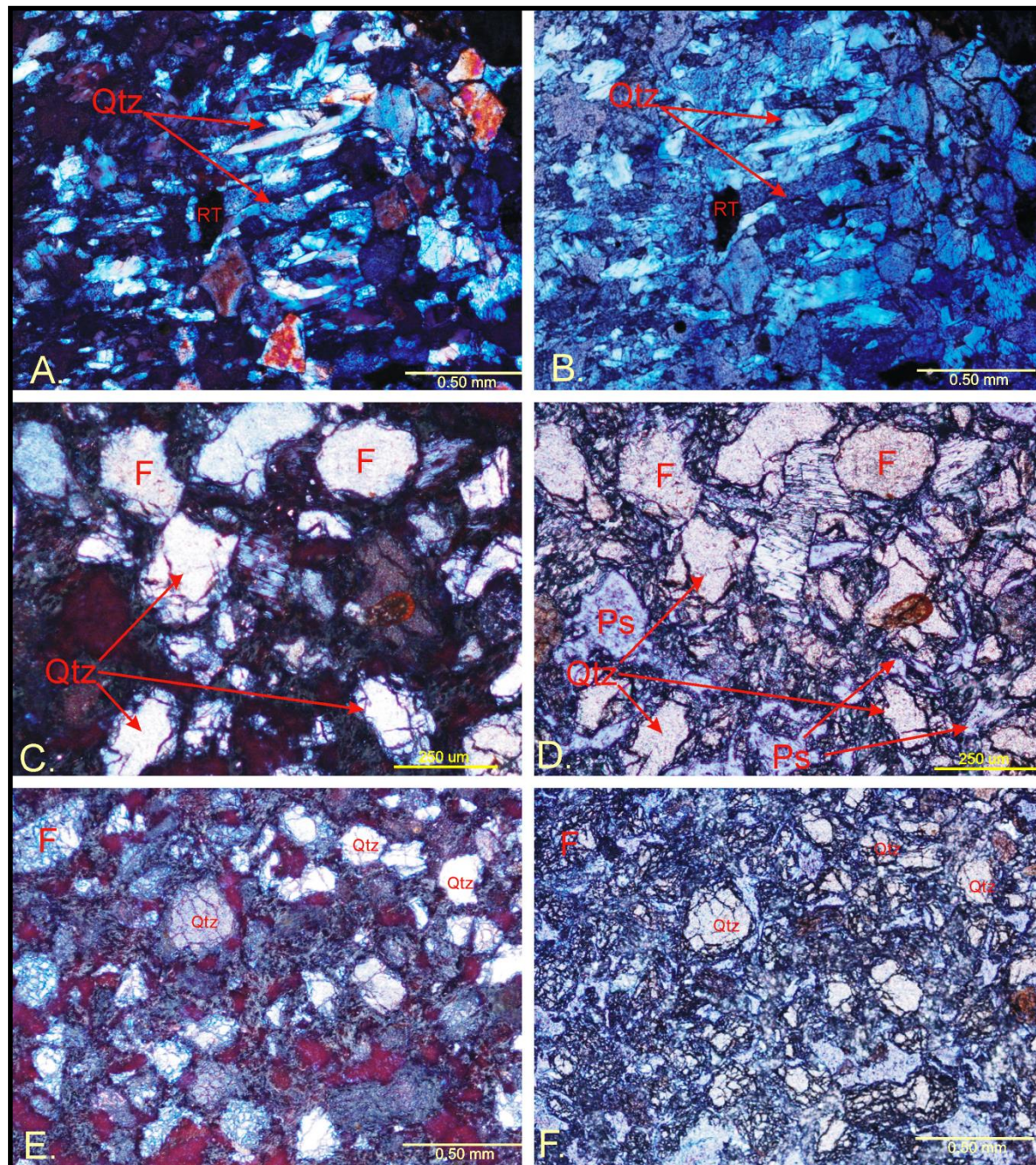


Figura 64. Fotografías de la muestra MZT-9 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B, E, F), y 10x (C, D), nicols cruzados (izquierda), nicols paralelos (derecha); en las cuales se evidencian cristales de cuarzo (Qtz) fracturados en abundancia y cristales tabulares de cuarzo (Qtz) presentes en segregación.

Mineralógicamente la muestra MZT-9 está constituida principalmente por granos de cuarzo esféricos subangulares y no esféricos subangulares subredondeados presentes en el armazón y la matriz de la muestra, cristales tabulares presentes en forma de venilla de 5 milímetros aproximadamente en la muestra, cristales de feldspatos no esféricos subangulares, minerales accesorios no esféricos subangulares, encontrándose en contacto flotante principalmente y contacto cóncavo convexo, con un calibrado moderado de las partículas, texturalmente presenta un armazón que va de granosoportado a intermedio conformado por minerales de cuarzo y feldspatos y matriz arenolodosa, con porosidad alta interparticular o primaria y porosidad secundaria o intrapartícula debido al abundante fracturamiento presente en cristales de cuarzo y feldespato.

Por medio del método de clasificación textural de Folk (1974) para rocas de grano terrigenas de grano fino se determinó que la muestra MZT-9 (Figura 65) pertenece al subgrupo de areniscas lodosas (Sm).

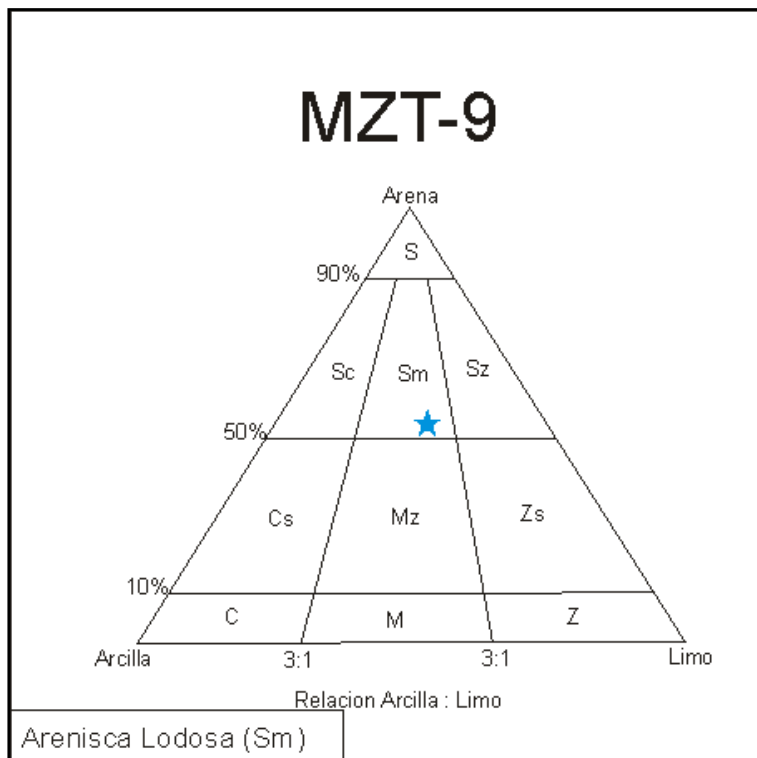


Figura 65. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-9, por medio de petrografía en el presente estudio.

- Muestra: MZT - 10

Fuente: Autor

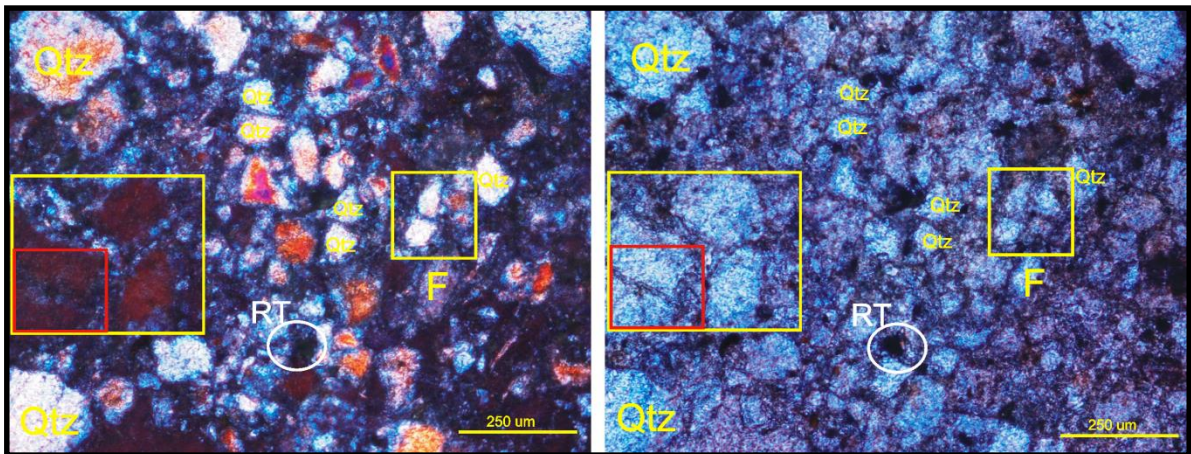


Figura 66. Fotografías de la muestra MZT-10 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicoles cruzados (izquierda), nicoles paralelos (derecha), indicándose con los cuadros rojos el fracturamiento de los cristales de cuarzo, en los cuadros amarillos el contacto cóncavo convexo y cemento de sílice, y cirulo blanco minerales accesorios opacos.

Mineralógicamente la muestra MZT-10 está principalmente constituida por granos de cuarzo esféricos angulares, esféricos redondeados, y no esféricos angulares y subangulares presentes tanto en el armazón como en la matriz de la muestra, cristales de feldspatos no esféricos subangulares, minerales accesorios no esféricos subangulares, encontrándose en contacto cóncavo convexo, con un calibrado moderado de las partículas, texturalmente presenta un armazón que va de lodosoportado conformado por minerales de cuarzo y matriz lodosa, con porosidad alta intrapartícula o secundaria y cementos tanto silíceo como ferruginoso.

Por medio del método de clasificación textural de Folk (1974) para rocas de grano terrigenas de grano fino se determinó que la muestra MZT-10 (Figura 67) pertenece al subgrupo denominado como una areniscas lodosas (Sm).

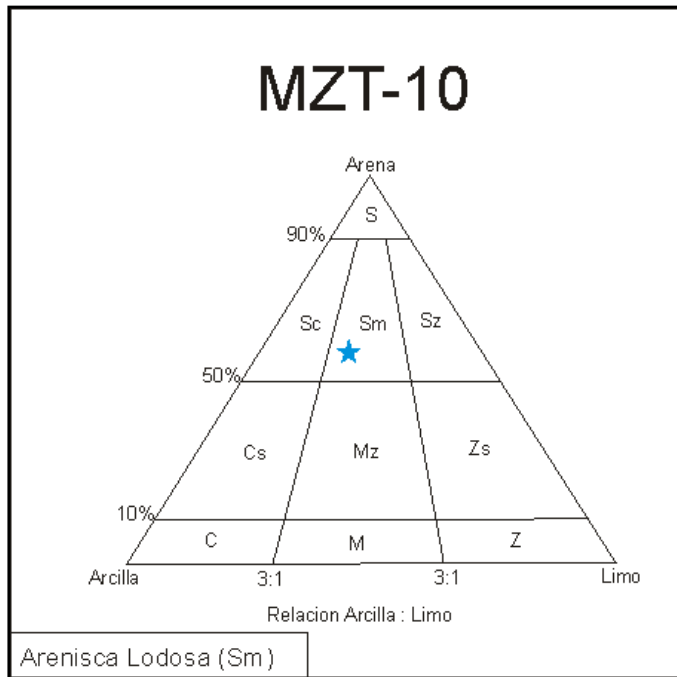


Figura 67. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-10, por medio de petrografía en el presente estudio.

- Muestra: MZT - 20

Mineralógicamente la muestra MZT-20 está constituida principalmente por granos de cuarzo esféricos angulares y subangulares, granos no esféricos subangulares subredondeados pertenecientes al armazón de la muestra, cristales de feldespatos no esféricos subredondeados, minerales accesorios no esféricos muy angulares tales como cristales de circón y algunos minerales opacos, fragmentos de rocas de tipo sedimentario compuestas por plagioclasas en algunos casos y líticos sedimentarios, encontrándose en contacto cóncavo convexo, con un calibrado moderado de las partículas; texturalmente presenta un armazón lodosoportado conformado por minerales de cuarzo principalmente y una matriz lodosa, presenta cemento ferruginoso con porosidades interparticular o primaria y porosidad secundaria o intrapartícula producto de la disolución de los feldespatos.

Por medio del método de clasificación textural de Folk (1974) para rocas de grano terrígenas de grano fino se determinó que la muestra MZT-20 (Figura 68) pertenece al subgrupo de areniscas lodosas (Sm).

Fuente: Autor

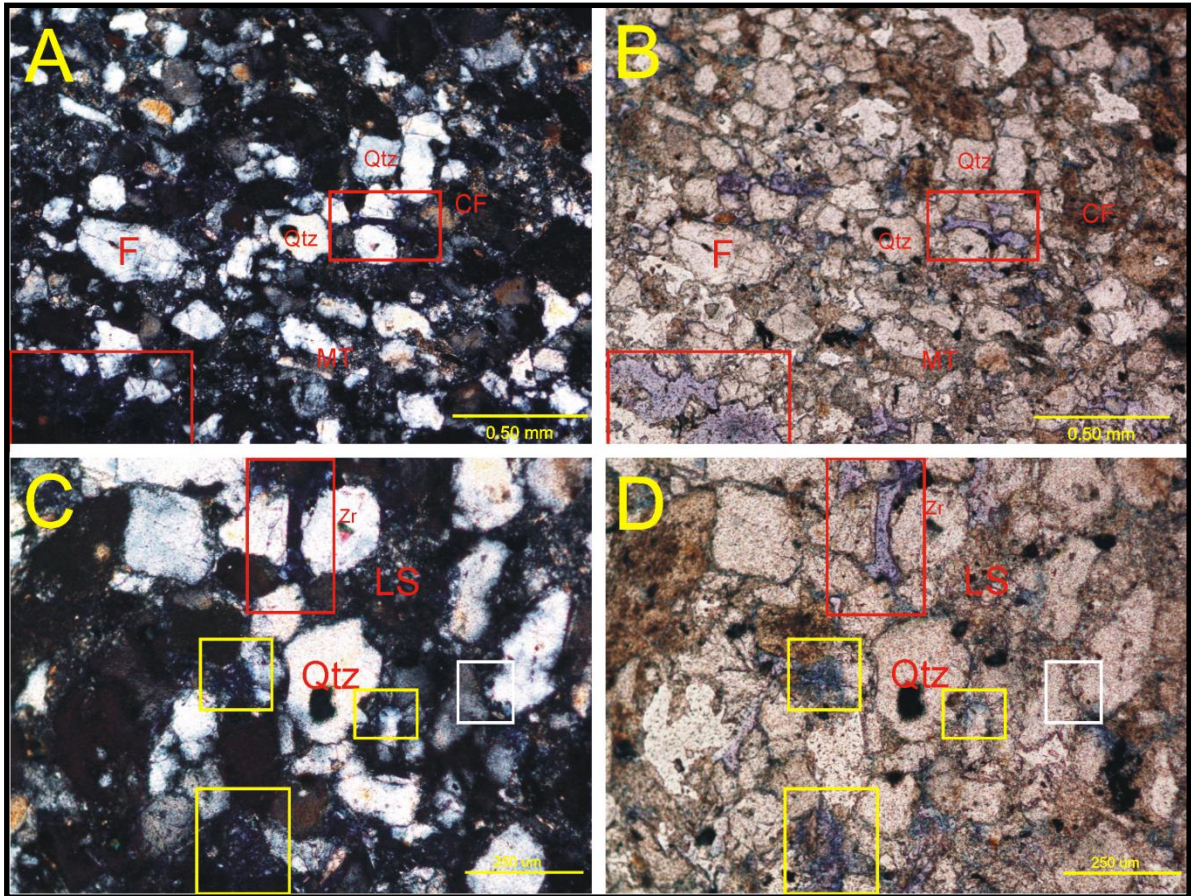


Figura 68. Fotografías de la muestra MZT-20 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x (A, B), 10x (C, D), nicols cruzados (izquierda), nicols paralelos (derecha), en la cual se observa demarcado con cuadros de color amarillo la porosidad intrapartícula o secundaria, cuadros de color rojo la porosidad interpartícula o primaria y cuadros de color blanco el contacto cóncavo convexo con cemento de sílice entre dos cristales de cuarzo (Qtz), feldespato (F), líticos sedimentarios (LS), mineral accesorio zircón (Zr), matriz arcillosa (MT) y cemento ferruginoso (CF).

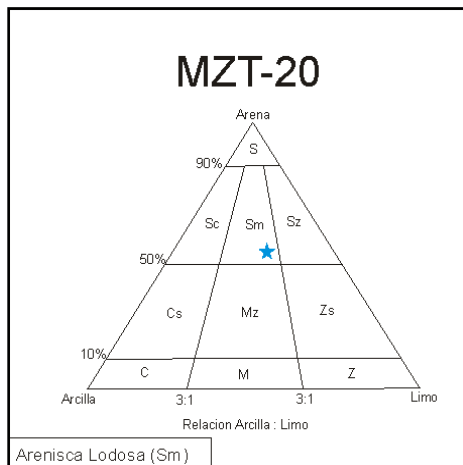


Figura 69. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-20, por medio de petrografía en el presente estudio.

Fuente: Autor

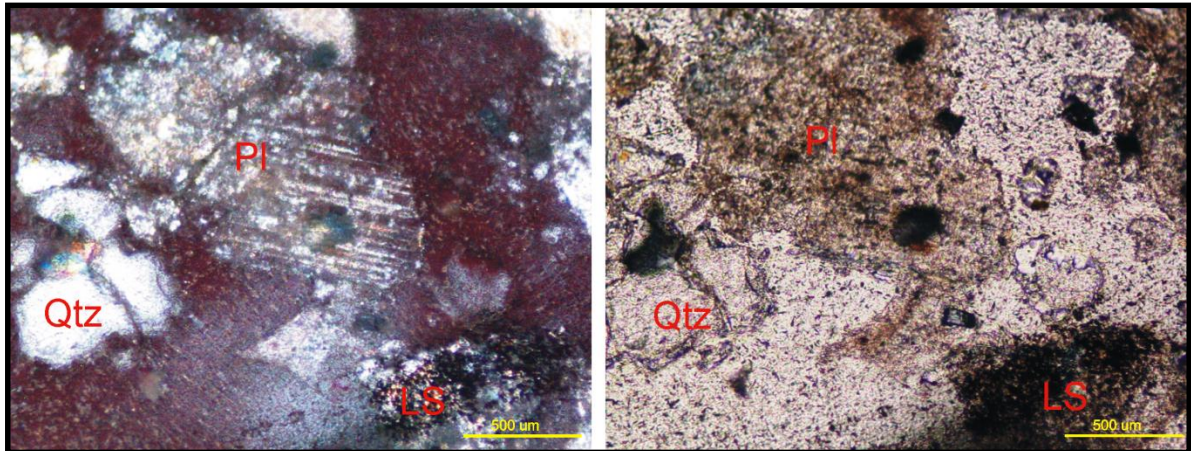


Figura 70. Fotografías de la muestra MZT-20 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 20x, nicols cruzados (izquierda), nicols paralelos (derecha), en la cual se pueden observar cristales de cuarzo en contacto cóncavo convexo, líticos sedimentarios (LS) y fragmentos de roca sedimentarias compuesto principalmente por plagioclasas.

6.3.3. Areniscas Limosas (Sz)

- Muestra: MZT – 19

Mineralógicamente la muestra MZT-19 está constituida principalmente por granos de cuarzo no esféricos angulares y subangulares, y feldespatos no esféricos angulares, conformando el armazón de la muestra principalmente, y cristales de moscovita detrítica en algunos casos deformándose ligeramente contra cristales de cuarzo, líticos sedimentarios, encontrándose en contacto longitudinal y en contacto cóncavo convexo, presentando un buen calibrado entre las partículas; texturalmente presenta un armazón granosoportado a intermedio conformado por cristales de cuarzo principalmente y una matriz lodosa, presenta cemento ferruginoso y cemento de sílice, con porosidades interparticular o primaria y porosidad secundaria o intrapartícula producto de la disolución de los feldespatos, de la matriz arcillosa y lodosa y fracturamiento de cristales de cuarzo.

Fuente: Autor

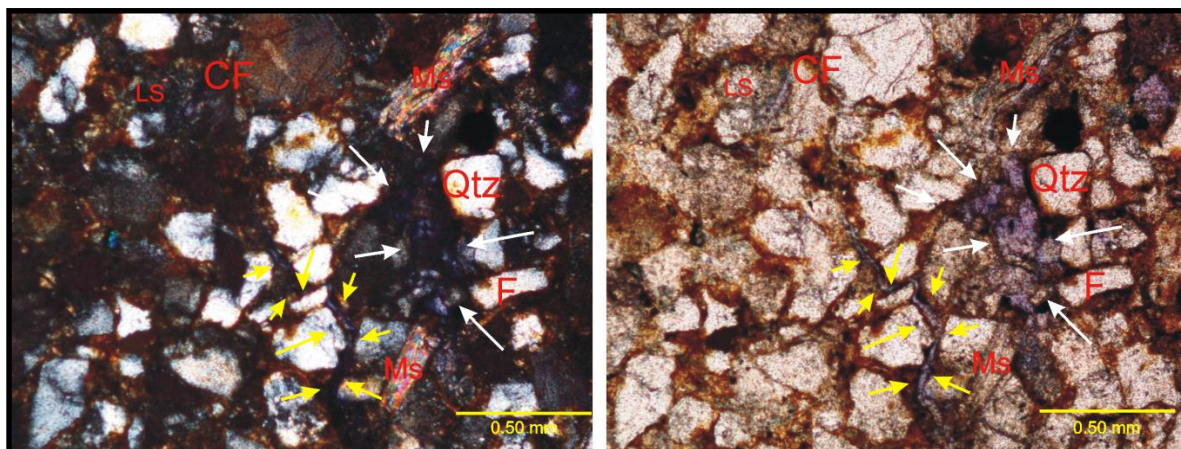


Figura 71. Fotografías de la muestra MZT-19 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicols cruzados (izquierda), nicols paralelos (derecha), en la cual se indica con flechas de color amarillo la porosidad primaria presente en la muestra y con flechas de color blanco la porosidad secundaria producto de la disolución de la matriz y de cristales de la matriz, cristales de Cuarzo (Qtz), Feldespato (F), Moscovita (Ms), cemento ferruginoso (CF), líticos sedimentarios (LS).

Fuente: Autor

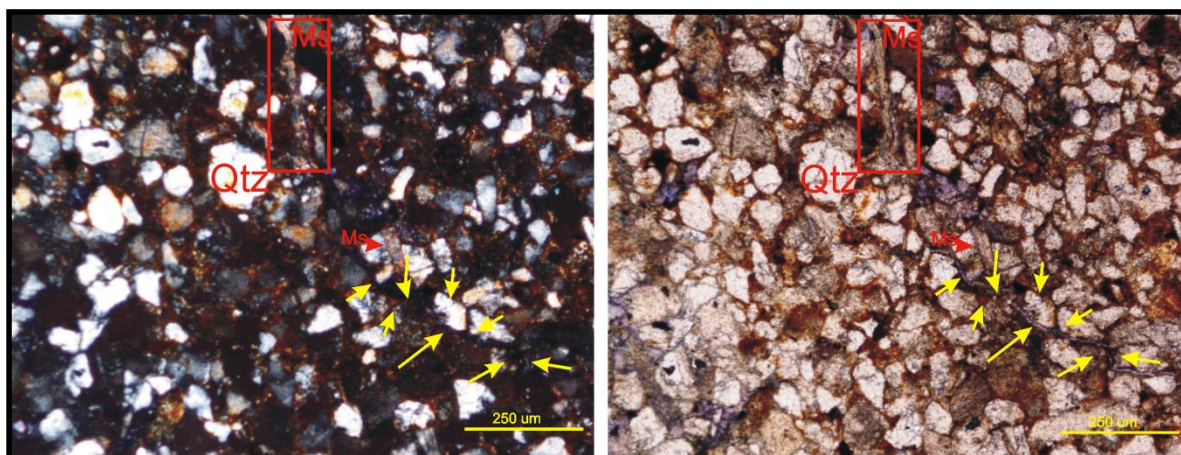


Figura 72. Fotografías de la muestra MZT-19 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 10x, nicols cruzados (izquierda), nicols paralelos (derecha), en la cual se indica con flechas amarillas la porosidad primaria formada en el estado de depositación de los sedimentos, cristales alargados de moscovita (Ms) en la parte superior con poca deformación mecánica por los cristales colindantes, cristales de cuarzo (Qtz) y cemento ferruginoso abundante en la muestra.

Por medio del método de clasificación textural de Folk (1974) para rocas de grano terrígenas de grano fino se determinó que la muestra MZT-19 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) pertenece al subgrupo de areniscas limosas (Sz).

Fuente: Autor

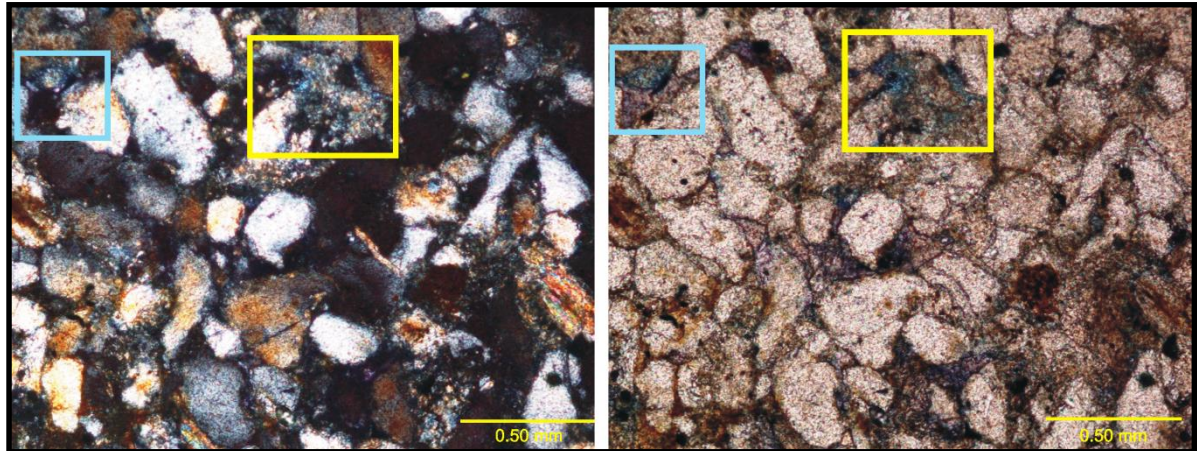


Figura 73. Fotografías de la muestra MZT-19 en sección delgada, obtenidas en microscopio petrográfico con objetivo de 5x, nicols cruzados (izquierda), nicols paralelos (derecha), en la cual se indica con cuadro de color amarillo la disolución de la matriz formando porosidades secundarias, indicando con cuadros de color aciano disolución de cristales de Feldespatos y matriz arcillosa.

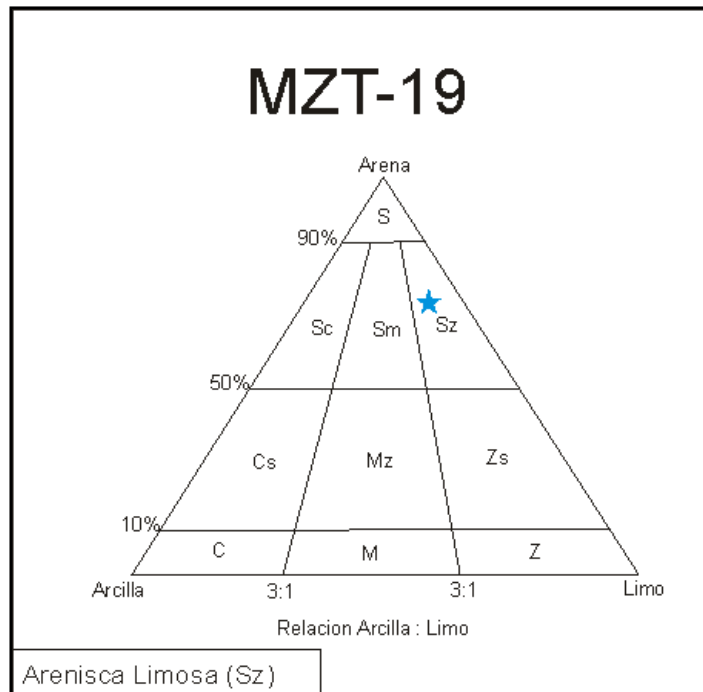


Figura 74. Diagrama triangular para la clasificación textural, particularmente (tamaño de grano) de rocas terrígenas de grano fino, según folk, 1974, en la cual se indica con una estrella de color azul la clasificación que se le dio a la muestra MZT-19, por medio de petrografía en el presente estudio.

6.4. Geología Estructural

Para el análisis estructural se midió en superficie el rumbo y buzamiento de los planos pertenecientes a la estratificación y diaclasas en las diferentes estaciones localizadas en áreas dentro y fuera del polígono que define al CEC (Figura 75) por medio del software Stereonet se obtubieron los diferentes tipos de estereogramas y diagramas de rosetas en base a dichos datos, para poder definir los esfuerzos y observar las tendencias entre estos.

Fuente: Autor

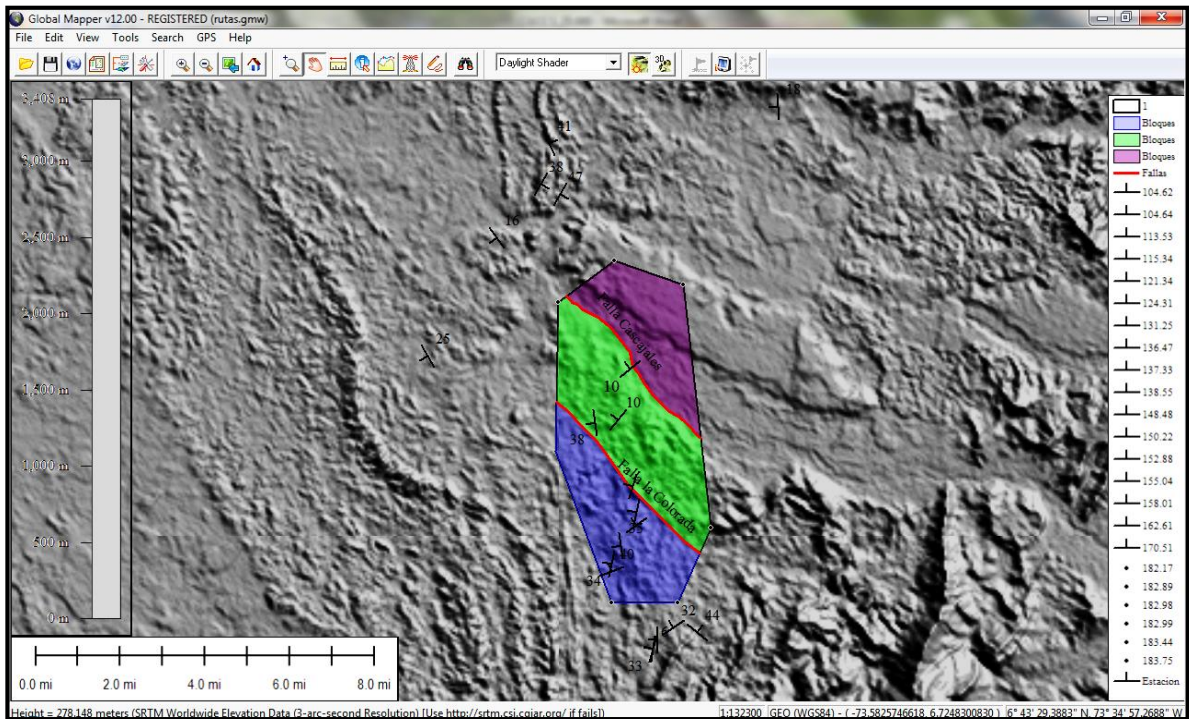


Figura 75. Esquema de división por zonas delimitadas por las fallas Cascajales y la Colorado, para el desarrollo del análisis estructural y cinemático de la zona central del Campo Colorado, Zona A (Purpura), Zona B (verde), Zona C (Azul).

| Nº Estación | Coordenadas | | | Datos de estratificación | | Datos de diaclasa | |
|-------------|-------------|---------|--------|--------------------------|-----|-------------------|-----|
| | Norte | Este | Altura | Rumbo | Buz | Rumbo | Buz |
| | | | | | | | |
| 47 | 1251082 | 1036227 | 114 | 28 | 47 | 140 | 40 |
| | | | | | | 167 | 70 |
| 48 | 1253009 | 1035780 | 107 | 348 | 38 | 110 | 65 |
| | | | | | | 197 | 45 |
| | | | | 335 | 41 | 154 | 50 |
| | | | | | | 95 | 82 |
| 348 | 30 | 176 | 50 | | | | |
| 49 | 1251468 | 1035482 | 137 | 30 | 38 | 205 | 64 |
| | | | | | | 100 | 76 |
| 52 | 1254832 | 1044170 | 140 | 279 | 28 | | |
| 9 | 1244514 | 1038865 | 123 | 232 | 10 | 138 | 84 |
| | | | | | | 130 | 70 |
| | | | | | | 110 | 82 |
| | | | | | | 125 | 82 |
| | | | | | | 105 | 85 |
| | | | | | | 113 | 80 |
| | | | | | | 340 | 77 |
| | | | | | | 125 | 76 |
| | | | | | | 123 | 75 |
| | | | | | | 295 | 88 |
| | | | | | | 110 | 80 |
| | | | | | | 118 | 85 |
| | | | | | | 140 | 75 |
| | | | | | | 15 | 65 |
| 328 | 67 | | | | | | |
| 8 | 65 | | | | | | |
| 16 | 72 | | | | | | |
| 125 | 85 | | | | | | |
| 34 | 1242583 | 1038407 | 171 | 220 | 10 | 340 | 60 |
| 41 | 1240086 | 1038975 | 158 | 197 | 10 | 130 | 75 |
| | | | | | | 325 | 5 |
| | | | | | | 305 | 75 |
| 51 | 1244974 | 1031194 | 122 | 145 | 16 | | |
| 16 | 1234754 | 1040525 | 150 | 237 | 32 | | |
| 25 | 1236867 | 1038168 | 106 | 249 | 40 | 189 | 76 |
| 27 | 12237160 | 1038162 | 105 | 192 | 34 | | |
| 165 | 1237834 | 1038504 | 155 | 170 | 35 | 272 | 80 |
| | | | | | | 258 | 87 |

| | | | | | | | |
|-----|---------|---------|-----|-----|----|-----|----|
| 36 | 1238610 | 1039119 | 163 | 235 | 15 | 348 | 55 |
| | | | | | | 12 | 57 |
| | | | | | | 354 | 80 |
| | | | | | | 345 | 82 |
| | | | | | | 185 | 75 |
| | | | | | | 285 | 88 |
| | | | | | | 10 | 82 |
| | | | | | | 255 | 85 |
| | | | | | | 33 | 65 |
| | | | | | | 353 | 82 |
| | | | | | | 350 | 84 |
| | | | | | | 248 | 77 |
| 175 | 85 | | | | | | |
| 82 | 85 | | | | | | |
| 37 | 1239093 | 1039113 | 153 | 193 | 12 | 200 | 82 |
| | | | | | | 176 | 65 |
| | | | | | | 212 | 82 |
| | | | | | | 230 | 75 |
| | | | | | | 210 | 85 |
| | | | | | | 262 | 85 |
| | | | | | | 265 | 80 |
| | | | | | | 240 | 82 |
| | | | | | | 215 | 57 |
| | | | | | | 67 | 83 |
| 38 | 1239957 | 1038685 | 113 | 195 | 6 | | |
| 38A | 1233960 | 1039743 | 131 | 190 | 33 | | |
| 39 | 1234292 | 1039927 | 148 | 183 | 10 | | |
| 50 | 1241700 | 1028625 | 141 | 150 | 25 | | |

Tabla 6. Datos litológicos y estructurales por estación y zona tomados en campo, tenidos en cuenta para el análisis estructural.

Teniendo en cuenta las similitudes en las tendencias de los datos estructurales (Tabla 6) y las fallas Cascajales y la Colorada, se subdividió el CEC en tres zonas delimitadas por estas, definiéndose dichas subdivisiones como: zona A, zona B y zona C; **Zona A**, de color púrpura, delimitado por los puntos 3 y 4 del polígono que define el campo y la Falla Cascajales; **Zona B**, de color verde, delimitada por la Falla Cascajales, el punto 5, la Falla la Colorada junto con el punto 2, y por último la **Zona C**, de color azul delimitada por la Falla la Colorada con los puntos 1, 7 y 6 que delimitan el campo (Tabla 1)

6.4.1. Zona A.

Utilizando los datos litológicos de la zona A se realizaron las proyecciones (Figura 76 – 1.) estereográficas β y s-polos, y el diagrama de puntos con la posición medida de los flancos del pliegue, línea de charnela y plano axial, para la estructura presente deducida a partir de los datos y proyecciones, obteniendo como dirección de los flancos 169/83 y 9/72, plano axial 327/36 y orientación y cabeceo del eje del pliegue 174/37; deduciéndose entonces que se trata de una estructura cilíndrica de tipo pliegue asimétrico (Badín et al, 2010).

6.4.2. Zona B

Para la Zona B se realizaron los diagramas de planos y puntos con datos de estratificación (Figura 76 - 2) de las estaciones en los cuales se observan una estructura de tipo cilíndrica asimétrica inclinada (Badín et al, 2010) con dirección del plano axial NNW con la dirección de uno de sus flancos 112/81.

6.4.3. Zona C

Para la zona C se realizaron las proyecciones estereográficas β y s-polos y el diagrama de puntos (Figura 76 – 3) con la posición medida de los flancos del pliegue, la línea de charnela y el plano axial, para la estructura presente en deducida a partir de los datos y proyecciones, obteniendo como dirección de los flancos 8/66 y 201/84, plano axial 15/82 y orientación y cabeceo del eje del pliegue 19/24; deduciéndose entonces que se trata de una estructura cilíndrica de tipo pliegue asimétrico (Badín et al, 2010).

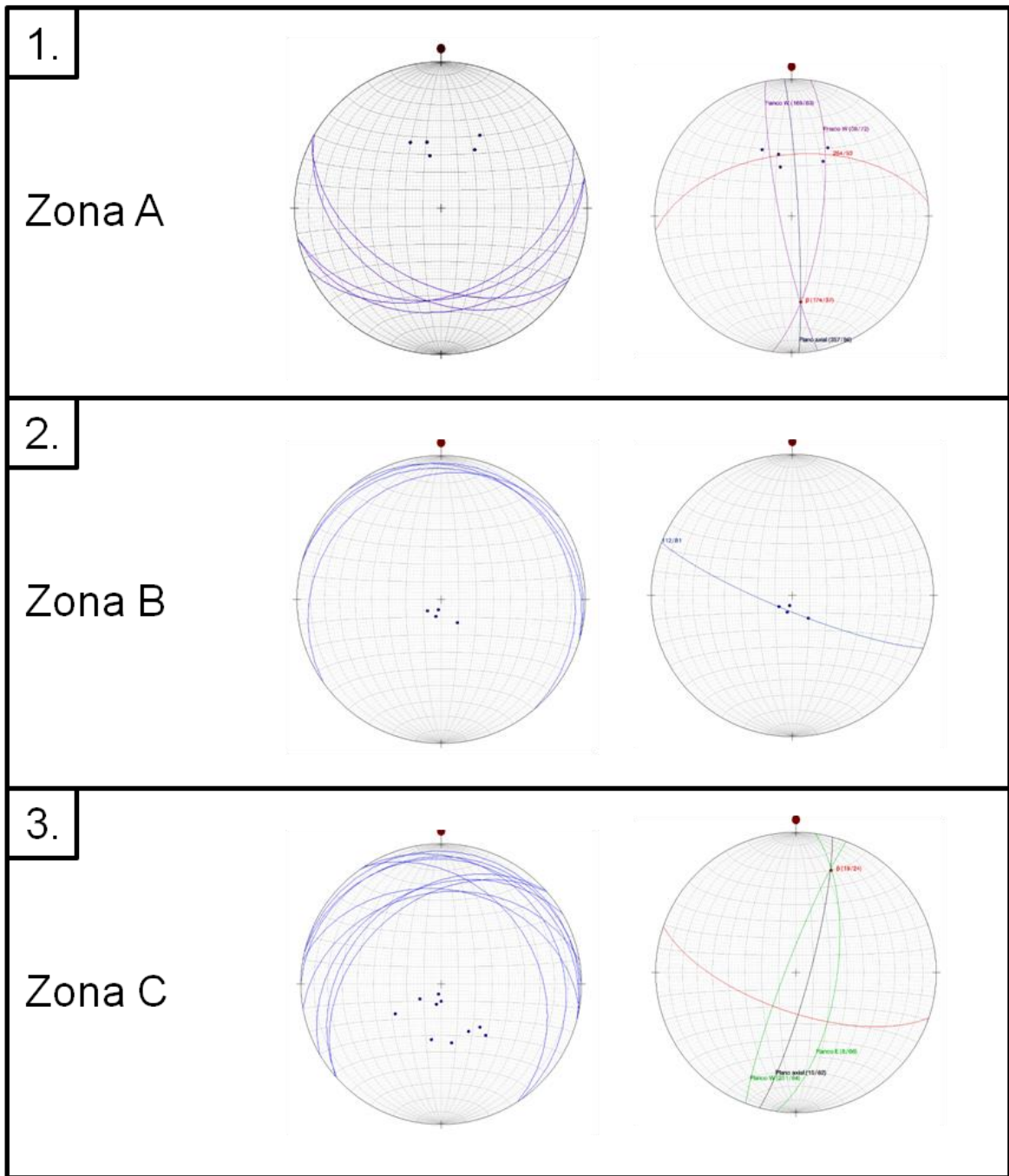


Figura 76. Estereodigramas para los datos estratigráficos de la zona A (1), zona B (2) y zona C (3), de izquierda a derecha, proyección estereográfica β y s-polos y proyección con plano axial, planos de flancos, dirección, cabeceo de la estructura presente en la zona.

6.5. Análisis Cinemático.

El CEC se localiza en un entorno estructural dominado por la influencia de las fallas de la Salina, Infantas y Arrugas, las cuales son de tipo inverso con dirección de rumbo NE-SW y vergencia al Occidente (Royero et al, 2001), y hacen parte de un sistema de fallas de cabalgamiento generando diversas estructuras anticlinales y sinclinales orientadas en la misma dirección, siendo este el caso de los sinclinales de Andes y Peña de Oro y el anticlinal de San Luis, localizados hacia la zona Este del campo (Figura 77) y orientados en dirección NNE (Mojica et al, 1990).

A pesar de las orientaciones que se observan en las estructuras a nivel regional con dirección NE-SW, la configuración dentro del campo no lleva la misma; en base a los datos obtenidos en la zona central (Zona B) en la cual se encuentra un anticlinal suave con dirección NNW (Gómez, 2008) el cual se halla en el área delimitada por las fallas Cascajales y la Colorada propuestass en el presente trabajo atravesando el CEC en sentido E-W (Figura 77).

En La estación nueve la cual se encuentra localizada en dirección SW al margen del río Cascajales (1.244.514 N, 1.038865 E, altura 123 m.s.n.m) la cual presenta un mayor fracturamiento (Figura 40) respecto a las demás, se encuentran diaclasas abiertas con transito de fluidos con presencia de óxido; a las cualse se les tomaron los datos estructurales y se promedio la apertura y orientación de estas para realizar el diagrama del elipse por de deformación para cizalla simple con generación de dilatancias (Figura 78, Rossello, 2001); obteniendo una dirección de 64° NW para el tensor principal de la elipse de cizalla simple (Figura 79).

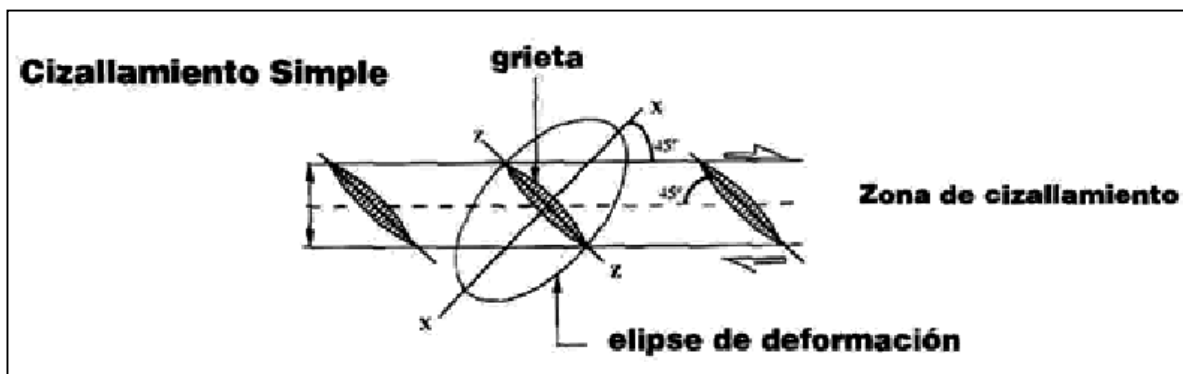


Figura 78. Método gráfico para la determinación del elipse de deformación para cizallamiento simple con generación de dilatacias (Grietas) (Rossello, 2001)

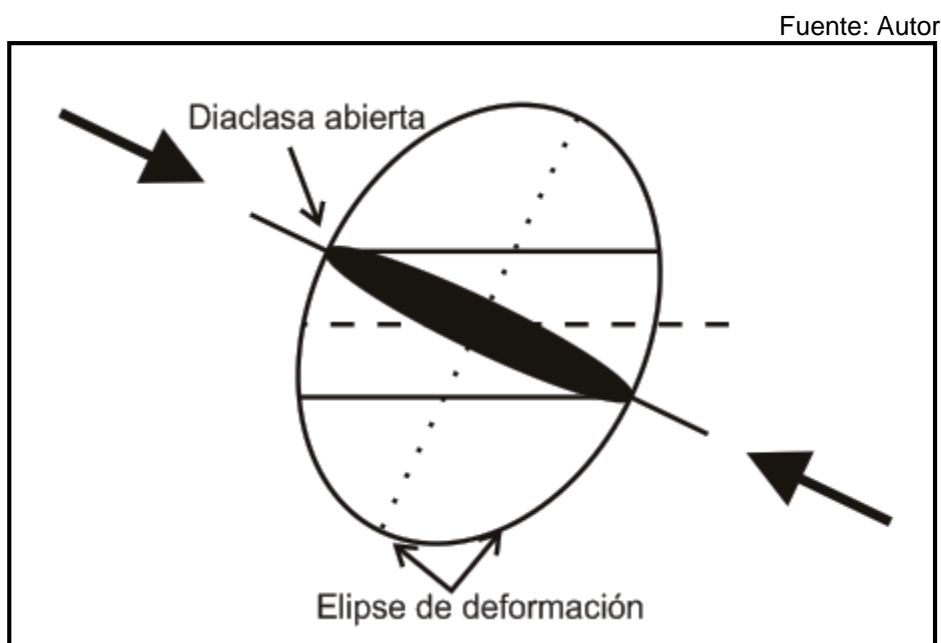


Figura 79. Diagrama de elipse de deformación, realizado con datos de diaclasas abiertas presentes en la estación nueve.

También se realizó el análisis para el sistema de fallas de Riedel (Figura 80) en el cual se determinaron las direcciones para los componentes del sistema, siendo R, R' Y P los juegos de Riedel, con direcciones (N74W), R' (N68E), P (N32W) y tensor compresivo principal N80E.

Fuente: Autor

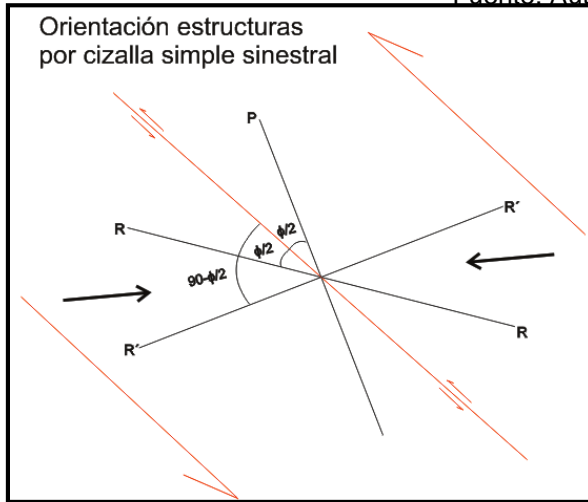


Figura 80. Orientación de las estructuras por cizalla simple sinistral (esquema de juego de Riedel).

Fuente: Autor

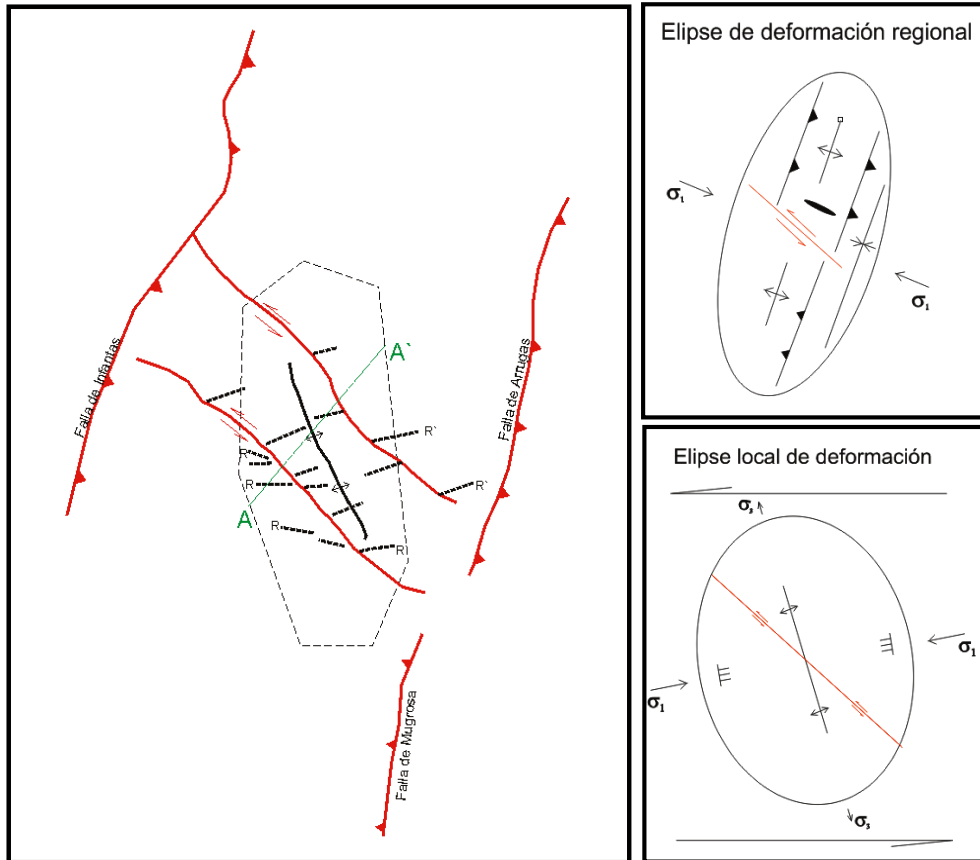


Figura 81. Esquema estructural general para el CEC (Izquierda), elipse de deformación regional por cizalla simple (superior derecha) y elipse de deformación por cizalla simple al interior de la zona de limitada por las fallas Cascajales y la Colorada demarcando la zona central del campo (inferior derecha).

Fuente: Autor

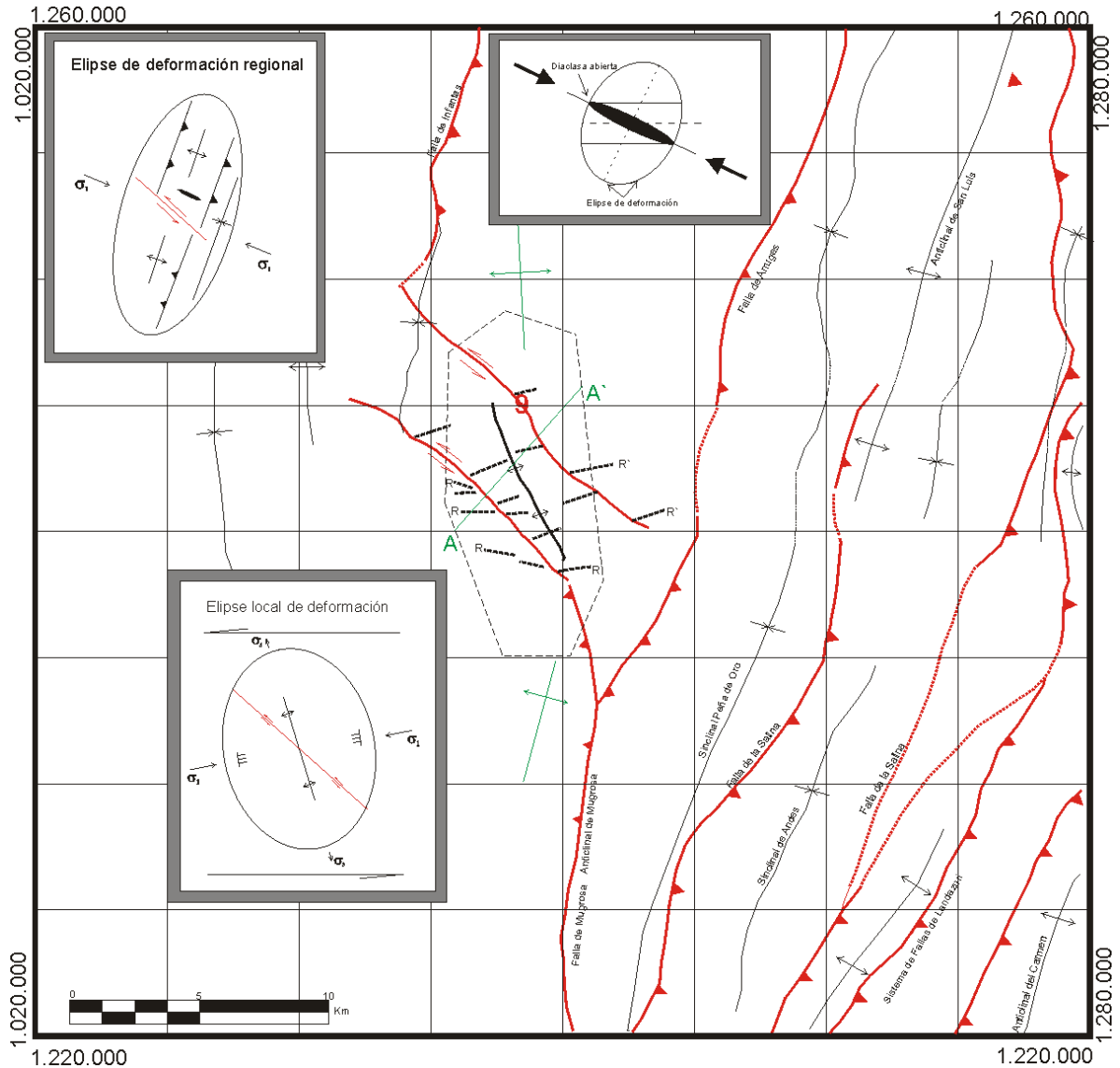


Figura 82. Mapa estructural integrado de la geología regional con el CEC.

Conjuntamente se realizó el diagrama estructural general para el CEC (Figura 81, izquierda) en el cual se representa gráficamente las fallas de Arrugas, Infantas y Mugrosa junto con fallas menores (Fallas de Riedel) la cual es producto de los esfuerzos ejercidos por el componente sinistral, la elipse de deformación por cizalla simple a nivel regional (Figura 81, superior derecha) en la cual se aprecia el esfuerzo principal regional y se indican fallas de tipo inverso con dirección NE

junto con una elipse reyna de color negro que representa las diaclasas abiertas comentadas anteriormente (Figura 79), y la elipse de deformación por cizalla simple al interior (Figura 81, inferior derecha) de la zona delimitada por las fallas Cascajales y la Colorada (zona B) reflejando una cizalla simple sinistral ejercida a lo largo de las fallas transversales NW, en la cual se observan los tensores σ_1 y σ_3 .

7. DISCUSIÓN

En el presente trabajo se elaboró la cartografía geológica para el Campo Escuela Colorado a escala 1:25.000, con el fin de aportar nueva información en la geología de la zona, con tal motivo se realizó la interpretación geomorfológica (a partir de fotografías aéreas), estratigrafía, petrografía para muestras de arenisca de la Formación Colorado, análisis estructural a partir de datos de superficie y el análisis cinemático.

En el desarrollo del presente trabajo se recolectó diferente información referente a la cartografía geológica regional de Gómez, et al, (2008 y 2009), información de la estratigrafía, perteneciente a la Formación Colorado por Morales, et al, (1958) quien la definió con ese nombre, así como su composición y espesor variable que va de 1200 hasta 2500 m hacia el pie de la Cordillera Oriental según Royero, et al, (2001) junto con su composición predominante de arcillas de color gris claro a púrpura y moteado de color rojo con intercalaciones de areniscas en bancos de espesor variable las cuales se evidencian en el CEC; Royero, et al, (2001) también describe hacia la parte superior de la formación un espesor de 100 m de arcillas de colores gris y negro carbonáceas con areniscas de grano medio las cuales no se encuentran en la litología presente en la superficie del campo indicándonos esto que no encontramos el tope de ella en la zona del CEC, las descripciones petrográficas para las rocas pertenecientes a la Formación Colorado nos indican que se encuentran dentro del rango de Lodolitas Arenosoportadas y Areniscas

Lodosas, según la clasificación textural por medio del método de Folk (1974), las cuales se localizan en la parte de la base de la formación (Beltrán, 2012), dentro de las características petrográficas también se encontró un alto fracturamiento en los cristales de Cuarzo de las muestras MZT – 16, MZT – 6, MZT – 9 y MZT – 10 al igual que la deformación de cristales de Muscovita en contacto con cristales ayacentes, en este caso de Cuarzo, el cual indica que se encuentran en una zona de compactación mecánica según Burley, et al, (2003), también es posible relacionar el fracturamiento y fuerzas compresivas que se ejercen a la zona en la cual se recolectaron las muestras MZT – 6, MZT- 9 y MZT – 16 con la cizalla simple de las fallas transversales Cascajales y La Colorada, debido a que se encuentran en la zona de cizalla; referente al Grupo Real descrito por Wheeter en De Porta, et al, (1974) quien aporta la existencia de inconformidades estratigráficas bien definidas entre este y el bloque supreyacente (Formación Mesa) la cual no es evidenciada en el área del campo.

La geología estructural regional del área en el cual se encuentra localizado el CEC esta influenciado por las fallas La Salina, Infantas y Arrugas, descritas por Royero, et al, (2010) como fallas de tipo inverso con dirección de rumbo NE-SW y vergencia al Occidente, igual mente las estructuras de la zona se encuentran orientadas en dirección NE-SW, hacia el Este del CEC y la Falla La Salina se encuentra localizado el Anticlinal de San Luis con una dirección de rumbo el cual Gómez, et al, (2008) por interpretación sísmica infirió que fué originado por el cabalgamiento de la Falla de Arrugas; con dicha orientación a nivel regional al interior del campo se encuentra localizado una pequeña estructura de tipo Anticlinal con dirección NWW (Gómez, et al. 2009) y llamado por GIGHC, (2013) como Anticlinal de Colorado, el cual no se ajusta a las direcciones regionales de las estructuras.

Las características geomorfológicas en este proyecto nos muestran la presencia de dos fallas de rumbo sinestrales con dirección NW las cuales cortan de Este a Oeste el campo, dichas fallas fueron nombradas como Falla Cascajales y Falla La

Colorada y evidenciadas por el control geomorfológico y los lineamientos, los cuales indican la presencia de un sistema de fallas de Riedel, dando un tensor en dirección N80E y una elipse de deformación con cizalla simple sinestral el cual no comparte la misma dirección de la cizalla regional producida por el sistema de fallas La Salina, Arrugas e Infantas el cual es dextral, esta zona de cizalla también constituye una rampa lateral de cabalgamiento.

Según el informe presentado por el GIGHC (2013) la vergencia de la Falla la Colorada y el retrocabalgamiento producido por ella, los cuales afectan el sistema de fallas presente en el subsuelo, dando un componente vertical a las fallas Cascajales y La Colorada de tipo normal.

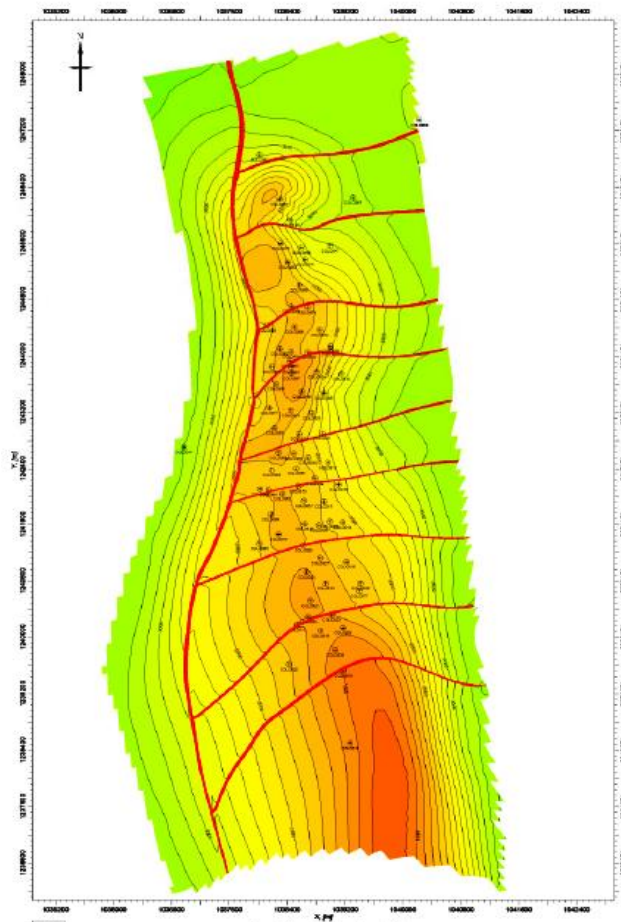


Figura 83. Mapa estructural al tope de la Formación Mugrosa (Tomado de Ochoa, 2010).

Al observar los modelos estructurales propuestos para el CEC se encuentra el desarrollado por Ochoa (2010) en el cual se identifica una falla principal dominante en la zona junto con una estructura de tipo anticlinal, Falla Colorado y anticlinal de Colorado respectivamente, (Figura 83) cuenta con nueve fallas de tipo inverso y dirección Este, generando 10 bloque estructurales, las cuales concuerdan con los juegos de Riedel mencionados en este trabajo y prolongadas hacia el este debido a que no se tiene en cuenta la zona de cizalla que generan las fallas transversales Cascajales y La Colorada.

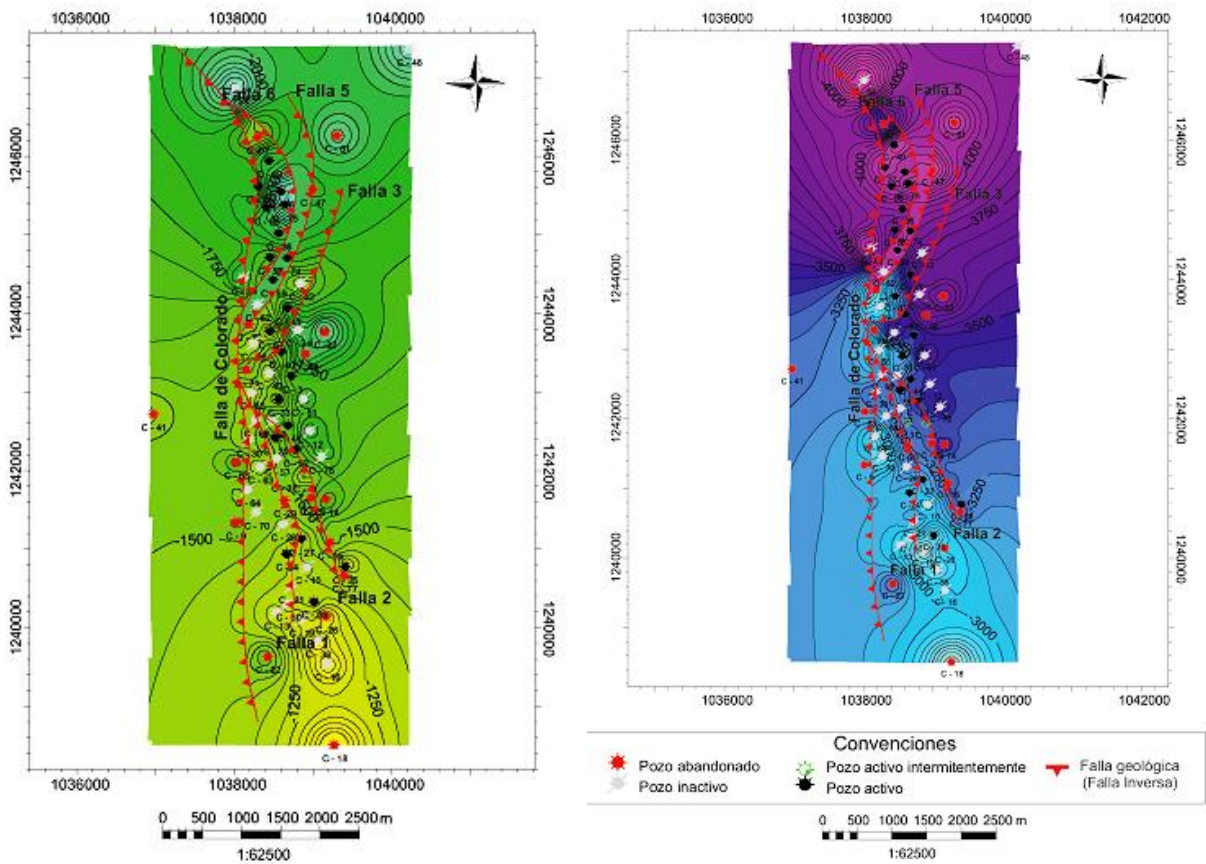


Figura 84. Mapa estructural al tope de la Zona B (izquierda) y de la zona C (derecha) (Formación Mugrosa) (Tomado de GIGHC ,2013).

Realizando correlaciones estructurales detalladas GIGHC, (2013) estableció un sistema de cinco fallas que afectan el CEC, las cuales están relacionadas con la

Falla Colorado, y por medio de interpretación sísmica a nivel de subsuelo concluyo que el Campo Escuela Colorado se encuentra influenciado por una falla principal, inversa con vergencia hacia el NW, Falla de Colorado la cual afecta al anticlinal de Colorado en el que se observa un retrocabalgamiento con vergencia al Este y un sistema de fallas que afectan al campo conformado por 5 fallas (Figura 84) relacionadas con la Falla de Colorado (GIGHC, 2013).

CONCLUSIONES

- En base a la fotointerpretación y al modelo digital de elevaciones se identificaron tres unidades geomorfológicas, una correspondiente a la terraza aluvial localizada al Norte del Polígono CEC hacia el corregimiento de Yarima, una segunda unidad compuesta por depósitos resientes acumulados en ambas márgenes y por actividad de los meandros del río Cascajales, los cuales comprende la zona de inundación, barras de punto y terrazas deposicionales y una tercera unidad compuesta por más del 60% del área del campo, compuesta por rocas homogéneas con pendientes uniformes y suaves, la cual se subdivide en dos por tener ángulos congruentes y agudos en las uniones de sus tributarios, con similar resistencia a la erosión.
- Textualmente las areniscas pertenecientes a la Formación Colorado aflorantes en el área del Campo Colorado fueron clasificadas como lodolitas arenosas (Mz), Areniscas lodosas (Sm) y areniscas limosas (Sz) según (Folk,1974), presentando una granulometría dominante de arena fina a arena media con una baja selección y granos no esféricos angulares y subangulares, contactos concavo convexo y longitudinal, soportadas por matriz lodosa, presentando cemento ferruginoso y de sílice, con porosidades primarias y secundarias por disolución de la matriz y minerales feldespáticos, indicándose estratigráficamente en la base de la Formación Colorado.
- Las areniscas de la Formación Colorado presenta compactación mecánica, evidenciado a la ligera deformación que presentan los cristales de micas detríticas y fragmentos de roca ricos en arcilla junto a granos rígidos (cristales Qz) y compactación química evidenciada por la presencia de

micas dentriticas trituradas entre granos rigidos y el desarrollo de contactos de granos elongados junto con cemento de silice.

- En el CEC afloran rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Colorado (Toc), Formacion Real (Tmr) y depositos cuaternarios, compuestos por una terraza aluvial en la parte Norte y depositos aluviales resientes, siendo la de mayor predominancia las rocas de la formación Colorado.
- Se identificaron en el CEC dos fallas paralelas, Falla Cascajales y Falla La Colorada con un componente de tipo normal y cinemática de rumbo sinestral con direccion NW las cuales delimitan el bloque central (zona B), enmarcandolo en una zona de cizalla simple sinestral, la cual demarca una rampa lateral de cabalgamiento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el desarrollo, diseño y ajuste para la adquisición sísmica transversalmente a las fallas NW junto con la interpretación de los tres bloques transversales definidos en este proyecto en la zona del Campo Escuela Colorado.

BIBLIOGRAFIA

Beltrán, E. 2012. Estudio Sedimentológico Comparativo entre las Formaciones Mugrosa y Colorado; y Modelamiento de los Niveles de las Areniscas A2 de la Formación Colorado en el Campo Casabe en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

Burley, S., Worden, R. 2003. Sandstone Diagenesis: Recent And Ancient. International Association of Sedimentologists.

Caballero, V. 2007. Guías del laboratorio de Geomorfología. Escuela de geología, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

Ceotma. 1984. Guías para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, serie: Manuales. Madrid.

Cruz, L., Álvarez, M., Caballero, V. 2004. Petrología Sedimentaria: Guías de laboratorios. Escuela de geología, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

De Porta, J., Cáceres, C., Etayo, F., Hoffstetter, M., Navas, J., et al., 1974. Lexique Stratigraphique International. Centre National Recherche Scientifique. Volume V. Amerique Latine, fascicule 4b, Colombie, 692. París.

Febre, A. 1983. La Subsistencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario. Segunda parte: Esquema de la Evolución Tectónica. Geol. Norandina N^o, Bogotá.

Folk, R. L., 1974, Petrology of sedimentary rocks, University of Texas, Geology 370K, 383 L, 383 M, Hemphill Publishing Co, Austin Texas.

García, G., Fonseca, C. 2009. Modelo Sedimentológico y Estratigráfico de la Formación Mugrosa en el Campo Escuela – Colorado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

GIGHC. 2013. Informe Final Geología del Subsuelo; Modelo Geológico del Campo Escuela Colorado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

Gómez, E., Jordan, T., Allmendnger, R., Hegarty, K., Kelley, S. 2005. Syntectonic Cenozoic Sedimentation in the Northern Middle Magdalena Valley Basin of Colombia and Implications for Exhumation of the Northern Andes. Geological Society of America Bulletin, 547-569.

Gómez, L., Patiño, A., Lancheros, J., Guerra, A., Renzoni, G., Beltrán, A., Quintero, C., Manrique, M. 2009. Cartografía Geológica y Muestreo Geoquímico Escala 1:100.000 de la Plancha 134 – Puerto Parra VMM. Ingeominas, Bogotá.

Gómez, L., Patiño, A., Renzoni, G., Beltrán, A., Quintero, C., Manrique, M. 2008. Cartografía Geológica y Muestreo Geoquímico Escala 1:100.000 de la Plancha 119 – Barrancabermeja VMM. Ingeominas, Bogotá.

Julivert, M. 1961. Las Lecturas del Valle Medio del Magdalena y su Significación. Universidad Industrial de Santander, Boletín de Geología, N° 6 Bucaramanga.

Julivert, M. 1968. Lexique Stratigraphique International, Vol. V Amerique Latine. Fasc. 4a Colombie, Paris.

López, A. 2003. Upper Crust Models of Colombia, Cross Sections and Tectonostratigraphic Terrains Locations Map, Ingeominas.

López, M. 1978. Manual de Fotogeología. Publicaciones científicas de la junta de energía nuclear. Madrid. 306 pags.

Martínez, W., Méndez, a., Rubio, W., Taborda, A. 1988. Ideas Sobre la Geología Estructural del Noreste de Colombia y su Relación con los Campos de Petróleo. III Simposio Bolivariano Exploración de petróleo. Cuencas Subandinas, Caracas.

Mojica, J. & Franco, R. 1990. Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena, Colombia. Geología Colombiana N° 17, pp.41-64, Bogotá.

Morales, L., Podesta, D., Hadfield, W., Tanner, H., Jones, S. 1958. General Geology and Oil Occurrence of the Middle Magdalena Valley. Colombia. In Habitat of Oil a Symposium American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Tulsa.

Ochoa, H. 2010. Análisis Estructural del Campo Colorado en la Cuenca del Valle del Magdalena Medio – Colombia, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

Rolón, L. 2004. Structural Geometry of the Jura-Cretaceous Rift of the Middle Magdalena Valley Basin – Colombia. Msc. Thesis. West Virginia University. Morgantown. 63 pages.

Royero, J., Clavijo, J. 2001. Mapa Geológico generalizado Departamento de Santander Escala 1:400.000 Memoria Explicativa. Ministerio de Minas y Energía (Ingeominas). Bogotá, Colombia.

Sandoval, M. 2000. Diagénesis de Areniscas. U.C.V. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico ISBN: 980-00-1587-6, Caracas.

Seco, R. 2000. Geomorfología: Procesos Exogenéticos. Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana, Ministerio de Educación Superior, Cuba.

Strahler, A. 1966. “The Earth Sciences”, Harper & Row, segunda impresión, Japón.

Rossello, E. 2001. Sistemas Tectónicos Transcurrentes: Una Síntesis de sus Condiciones Mecánicas y Aplicaciones Goeconómicas. Asociación Geológica Argentina, Serie D: Publicación Especial N°5: 19 – 43. Argentina.

Taborda, B. 1965. Guidebook of the Geology of the De Mares Consseccion - 6 th Field Cont. Col. Soc. Petr. Geol. Geophys. Reprinted in: Field Trips, Colombia, Col. Soc. Petr. Geol. Geophys., Geotec (Edit.), Bogotá.

Tarback, E., Lutgens, F. 1997. “Earth Science”, Prentice Hall, octava edición, New Jersey, USA.

Villota, H. 1991. Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de las Tierras, primera parte: Geomorfología de Zonas Montañosas, Colinadas y Onduladas. Instituto Geográfico <Agustín Codazzi> Subdirección de Docencia e Investigación, Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Bogotá.

RECURSOS TOPOGRAFICOS

134-II-A. Ministerio de Hacienda y Credto Publico, Instituto Geografico "agustin Codazzi" 1975, escala 1:25.000.

119-IV-C. Ministerio de Hacienda y Credto Publico, Instituto Geografico "agustin Codazzi" 1975, escala 1:25.000.

ANEXOS