

Causas de las avenidas torrenciales e inundaciones rápidas en el Departamento del Huila en los municipios de Algeciras, Campoalegre, Neiva y Rivera en Febrero del 2017.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Geólogo

Autores: Leonardo Méndez Hernández 201210012015

Sebastián Manchego Acevedo 201310062015

Asesor: Marco Gamboa Ramírez, Profesor de la Universidad EAFIT.

Programa de Geología

Escuela de Ciencias

Universidad EAFIT

Medellín, Antioquia

2019

Tabla De Contenido

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Introducción..... | 12 |
| 2 | Planteamiento Del Problema..... | 14 |
| 3 | Pregunta de Investigación..... | 15 |
| 4 | Hipótesis..... | 16 |
| 5 | Objetivos..... | 17 |
| 5.1 | Objetivo General..... | 17 |
| 5.2 | Objetivos Específicos..... | 17 |
| 6 | Marco Teórico..... | 18 |
| 6.1 | Avenidas torrenciales..... | 18 |
| 6.2 | Inundaciones rápidas..... | 20 |
| 7 | Metodología..... | 22 |
| 8 | Generalidades Del Área De Estudio..... | 24 |
| 9 | Geología Regional..... | 26 |
| 10 | Geomorfología Regional..... | 30 |
| 11 | Geología Local y Formaciones Superficiales..... | 33 |
| 11.1 | Cuenca Río Ceibas..... | 33 |
| 11.1.1 | Monzogranito de Algeciras (Ja)..... | 35 |
| 11.1.2 | Formación Saldaña (Jsn). | 35 |
| 11.1.3 | Depósitos Coluviales (Qdc). | 36 |
| 11.1.4 | Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr). | 37 |
| 11.1.5 | Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfs)..... | 38 |
| 11.1.6 | Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qdfa). | 39 |
| 11.2 | Cuenca Río Frío Rivera..... | 40 |
| 11.2.1 | Monzogranito de Algeciras (Ja)..... | 42 |
| 11.2.2 | Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr). | 42 |
| 11.2.3 | Depósitos Fluviotorrencial Subrecientes (Qdfs)..... | 43 |
| 11.2.4 | Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qdfa). | 44 |
| 11.3 | Cuenca Río Frío Campoalegre..... | 45 |
| 11.3.1 | Monzogranito de Algeciras (Ja)..... | 47 |

| | | |
|--------|---|-----------|
| 11.3.2 | Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr) | 47 |
| 11.3.3 | Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfs)..... | 48 |
| 11.3.4 | Depósitos Fluviotorrenciales Antiguas (Qdfa) | 49 |
| 11.4 | Cuenca Río Neiva | 49 |
| | <i>Figura 22. Geología de la Cuenca del Río Neiva. Modificado con base en la cartografía de la plancha geológica 345 de Campoalegre del SGC.</i> | <i>50</i> |
| 11.4.1 | Monzogranito de Algeciras (Ja)..... | 51 |
| 11.4.2 | Grupo Garzón (PEgg)..... | 51 |
| 11.4.3 | Migmatitas del Grupo Garzón (PEmi) | 52 |
| 11.4.4 | Depósitos Coluviales (Qdc) | 53 |
| 11.4.5 | Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr) | 53 |
| 11.4.6 | Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfs)..... | 54 |
| 11.4.7 | Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qdfa) | 55 |
| 12 | Geología Estructural..... | 57 |
| 12.1 | Falla San Antonio | 57 |
| 12.2 | Falla El Pital | 58 |
| 12.3 | Falla Buenavista | 58 |
| 12.4 | Falla de Altamira | 58 |
| 12.5 | Falla Algeciras..... | 59 |
| 12.6 | Pliegues | 59 |
| 12.7 | Sinclinal de San Antonio..... | 59 |
| 12.8 | Lineamientos..... | 68 |
| 13 | Geomorfología Local de las Cuencas | 71 |
| 13.1 | Cuenca del río Ceibas..... | 72 |
| 13.1.1 | Ambiente denudacional..... | 74 |
| 13.1.2 | Ambiente estructural | 80 |
| 13.1.3 | Ambiente fluvial | 88 |
| 13.2 | Cuenca del río Frío Rivera | 90 |
| 13.2.1 | Ambiente denudacional..... | 92 |
| 13.2.2 | Ambiente estructural | 93 |
| 13.2.3 | Ambiente fluvial..... | 94 |
| 13.3 | Cuenca del río Frío Campoalegre..... | 96 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 13.3.1 | Ambiente denudacional..... | 98 |
| 13.3.2 | Ambiente estructural..... | 100 |
| 13.3.3 | Ambiente fluvial..... | 101 |
| 13.4 | Cuenca del Río Neiva..... | 102 |
| 13.4.1 | Ambiente denudacional..... | 104 |
| 13.4.2 | Ambiente estructural..... | 107 |
| 13.4.3 | Ambiente Fluvial..... | 111 |
| 14 | Procesos Morfodinámicos..... | 113 |
| 14.1 | Movimientos en Masa..... | 113 |
| 14.1.1 | Cuenca Río Ceibas..... | 113 |
| 14.2 | Procesos Erosivos..... | 117 |
| 14.2.1 | Cuenca Río Frío Rivera..... | 117 |
| 14.3 | Procesos Erosivos..... | 119 |
| 14.3.1 | Cuenca Río Frío Campoalegre..... | 119 |
| 14.3.2 | Cuenca Río Neiva..... | 121 |
| 14.4 | Procesos Erosivos..... | 124 |
| 15 | Análisis Morfométrico De Cuenas..... | 125 |
| 15.1 | Parámetros Asociados a la Forma de la Cuenca..... | 126 |
| 15.1.1 | Área (A)..... | 126 |
| 15.1.2 | Perímetro (P)..... | 127 |
| 15.1.3 | Longitud de la cuenca (L)..... | 127 |
| 15.1.4 | Ancho de la cuenca (B)..... | 127 |
| 15.1.5 | Factor de Forma de Horton (Kf)..... | 127 |
| 15.1.6 | Coefficiente de compacidad (kc)..... | 128 |
| 15.1.7 | Relación de elongación (Re)..... | 130 |
| 15.2 | Parámetros relativos al relieve..... | 131 |
| 15.2.1 | Pendiente..... | 131 |
| 15.2.2 | Curva Hipsométrica..... | 132 |
| 15.3 | Parámetros relativos al perfil..... | 133 |
| 15.3.1 | Cota mayor de cauce (CMc)..... | 133 |
| 15.3.2 | Cota menor de cauce (Cmc)..... | 133 |
| 15.3.3 | Pendiente promedio del cauce (S_0)..... | 133 |

| | | |
|--------|--|------------|
| 15.3.4 | Longitud del cauce principal (Lc)..... | 133 |
| 15.4 | Parámetros relativos al drenaje..... | 133 |
| 15.4.1 | Orden de los cauces..... | 133 |
| 15.4.2 | Longitud de los cauces de orden uno (L1). | 134 |
| 15.4.3 | Densidad de drenaje (Dd). | 134 |
| 15.4.4 | Coeficiente de torrencialidad (Ct)..... | 135 |
| 15.4.5 | Tiempo de Concentración (Tc). | 135 |
| 16 | Calculo De Los Parámetros Morfométricos De Las Diferentes Cuencas De Estudio. | 137 |
| 16.1 | Cuenca río Neiva | 137 |
| 16.2 | Cuenca río Ceibas..... | 146 |
| 16.3 | Cuenca río Frío - Campoalegre..... | 152 |
| 16.4 | Cuenca río Frío - Rivera | 158 |
| 17 | Resumen Del Análisis De Los Parámetros Morfométricos..... | 166 |
| 18 | Caracterización De La Precipitación..... | 168 |
| 19 | Zonificación de la Amenaza | 179 |
| 19.1 | Amenaza Baja..... | 179 |
| 19.2 | Amenaza Media | 179 |
| 19.3 | Amenaza Alta | 180 |
| 20 | Descripción De Los Eventos | 184 |
| 20.1 | Cuenca río Ceibas..... | 184 |
| 20.2 | Cuenca río Frío Campoalegre..... | 186 |
| 20.3 | Cuenca río Frío rivera..... | 187 |
| 20.4 | Cuenca río Neiva | 188 |
| 21 | Discusión | 190 |
| 22 | Conclusiones | 193 |
| | Bibliografía | 197 |

Lista De Figuras

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 24 |
| FIGURA 2. MAPA DE LA GEOLOGÍA REGIONAL DE LA ZONA DE ESTUDIO, MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LAS PLANCHAS 323 NEIVA Y 345 CAMPOALEGRE DEL SGC. | 29 |
| FIGURA 3. MAPA DE LA GEOMORFOLOGÍA REGIONAL DE LA ZONA DE ESTUDIO, MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LAS PLANCHAS 323 NEIVA Y 345 CAMPOALEGRE DEL SGC..... | 32 |
| FIGURA 4. GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBA. MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LA PLANCHA GEOLÓGICA 323 DE NEIVA DEL SGC..... | 34 |
| FIGURA 5. MONZOGRANITO DE ALGECIRAS (JA) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS..... | 35 |
| FIGURA 6. FORMACIÓN SALDAÑA (JSN) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS..... | 36 |
| FIGURA 7. DEPÓSITOS COLUVIALES (QDC) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 37 |
| FIGURA 8. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES (QDFR) PARTE ALTA (IZQUIERDA) Y PARTE MEDIA (DERECHA) | 38 |
| FIGURA 9. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES (QDFR) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS PARTE BAJA..... | 38 |
| FIGURA 10. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (QTFR) PARTE ALTA (IZQUIERDA) Y PARTE MEDIA (DERECHA) | 39 |
| FIGURA 11. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (QTFR) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS PARTE BAJA..... | 39 |
| FIGURA 12. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES ANTIGUOS (QTFA) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 40 |
| FIGURA 13. GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA. MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LA PLANCHA GEOLÓGICA 323 DE NEIVA DEL SGC..... | 41 |
| FIGURA 14. MONZOGRANITO DE ALGECIRAS (JA) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 42 |
| FIGURA 15. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES (QDFR) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 43 |
| FIGURA 16. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (QDFR) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 44 |
| FIGURA 17. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES ANTIGUOS (QDFA) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 45 |
| FIGURA 18. GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE. MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LA PLANCHA GEOLÓGICA 345 DE CAMPOALEGRE DEL SGC..... | 46 |
| FIGURA 19. MONZOGRANITO DE ALGECIRAS (JA) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE .. | 47 |
| FIGURA 20. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES (QDFR) PARTE ALTA (IZQUIERDA) Y PARTE BAJA (DERECHA) | 48 |
| FIGURA 21. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (QTFR) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 48 |
| FIGURA 22. GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA. MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LA PLANCHA GEOLÓGICA 345 DE CAMPOALEGRE DEL SGC..... | 50 |
| FIGURA 23. MONZOGRANITO DE ALGECIRAS (JA) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 51 |
| FIGURA 24. GRUPO GARZÓN (PEGG) Y MONZOGRANITO DE ALGECIRAS (JA) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 52 |
| FIGURA 25. MIGMATITAS DEL GRUPO GARZÓN (PEMI) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 52 |
| FIGURA 26. DEPÓSITOS COLUVIAL (QDC) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA..... | 53 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 27. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES (QDFR) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 54 |
| FIGURA 28. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (QDFR) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 55 |
| FIGURA 29. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES ANTIGUOS (QDFA) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 56 |
| FIGURA 30. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 61 |
| FIGURA 31. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 63 |
| FIGURA 32. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE. | 65 |
| FIGURA 33. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA..... | 67 |
| FIGURA 34. DIAGRAMA DE ROSAS | 69 |
| FIGURA 35. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS. MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LA PLANCHA GEOMORFOLÓGICA 323 DE NEIVA DEL SGC. | 73 |
| FIGURA 36. CERRÓ REMANENTE (DCREM) Y TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (FTFSR) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 74 |
| FIGURA 37. LÓBULO COLUVIAL (DLB) Y TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (FTFSR) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 76 |
| FIGURA 38. SIERRA (SS), SIERRA Y LOMOS DE PRESIÓN (SSLP) Y TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (FTFSR) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 84 |
| FIGURA 39. SIERRA HOMOCLINAL (SSH) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 85 |
| FIGURA 40. LADERA DE CONTRAPENDIENTE DE SIERRA SINCLINAL (SSSLC) Y TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES ANTIGUAS (FTFA) | 87 |
| FIGURA 41. LADERA ESTRUCTURAL DE SIERRA SINCLINAL (SSSLE) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 88 |
| FIGURA 42. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES (FDR) Y TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (FDSR) DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS..... | 89 |
| FIGURA 43. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA. MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LA PLANCHA GEOMORFOLÓGICA 323 DE NEIVA DEL SGC. | 91 |
| FIGURA 44. SIERRA DENUDADA (DSD) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA..... | 93 |
| FIGURA 45. ESPOLONES (SES) Y SIERRA DENUDADA (DSD) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 94 |
| FIGURA 46. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES (FDR) Y TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES SUBRECIENTES (FDSR) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 95 |
| FIGURA 47. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE. MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LA PLANCHA GEOMORFOLÓGICA 345 DE CAMPOALEGRE DEL SGC..... | 97 |
| FIGURA 48. LOMO DENUDADO (DLD) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 99 |
| FIGURA 49. SIERRA DENUDADA (DSD) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 100 |
| FIGURA 50. ESCARPE DE LÍNEA DE FALLA (SLFE) Y LÓBULO COLUVIAL (DLB) DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE..... | 101 |
| FIGURA 51. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA. MODIFICADO CON BASE EN LA CARTOGRAFÍA DE LA PLANCHA GEOLÓGICA 345 DE CAMPOALEGRE DEL SGC. | 103 |
| FIGURA 52. ESPOLONES (SES), LÓBULO COLUVIAL (DLB) Y DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES (FDFR) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA..... | 104 |
| FIGURA 53. LOMO DENUDADO (DLD), DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES (FDFR) Y DEPÓSITOS SUBRECIENTES (FDSR) | 105 |
| FIGURA 54. LADERA EROSIVA (DLE) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 106 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 55. SIERRA DENUDAD (DSD) Y FACETAS TRIANGULARES (SFT) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA..... | 109 |
| FIGURA 56. SIERRA Y LOMOS DE PRESIÓN (SSLP) DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 111 |
| FIGURA 57. DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 114 |
| FIGURA 58. DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 115 |
| FIGURA 59. FLUJO DE DETRITOS Y BLOQUES DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 115 |
| FIGURA 60. CAÍDA DE ROCAS DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS..... | 116 |
| FIGURA 61. REPTACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 116 |
| FIGURA 61. PROCESOS EROSIVOS FLUVIALES DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS..... | 117 |
| FIGURA 63. FLUJOS DE BLOQUES Y DETRITOS Y DESLIZAMIENTOS TRASLACIONAL DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE..... | 118 |
| FIGURA 64. CAÍDA DE ROCAS DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 118 |
| FIGURA 65. PROCESOS EROSIVOS FLUVIALES DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 119 |
| FIGURA 66. DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE..... | 120 |
| FIGURA 67. FLUJOS DE DETRITOS Y ARENA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 120 |
| FIGURA 68. PROCESOS EROSIVOS FLUVIALES DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 121 |
| FIGURA 69. DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES Y TRASLACIONALES DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA..... | 122 |
| FIGURA 70. CAÍDA DE ROCAS DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO NEIVA | 122 |
| FIGURA 71. FLUJO DE DETRITOS Y ARENAS DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 123 |
| FIGURA 72. REPTACIÓN Y SOBREPASTOREO DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 123 |
| FIGURA 73. PROCESOS EROSIVOS FLUVIALES DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 124 |
| FIGURA 74. INFLUENCIA DE LA RED HIDROLÓGICA EN LA DESCARGA | 128 |
| FIGURA 75. COMPARACIÓN DE LA FORMA DE LA CUENCA SEGÚN EL KF | 130 |
| FIGURA 76. EDAD DE LOS DRENAJES SEGÚN LA CURVA HIPSOMÉTRICA | 132 |
| FIGURA 77. CLASIFICACIÓN DEL ORDEN DE DRENAJES SEGÚN HORTON..... | 134 |
| FIGURA 78. PENDIENTES DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 140 |
| FIGURA 79. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE ALTITUD..... | 141 |
| FIGURA 80. CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 142 |
| FIGURA 81. ORDEN DE LOS DRENAJES DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 143 |
| FIGURA 82. PENDIENTES DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS..... | 148 |
| FIGURA 83. HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE ALTITUD | 149 |
| FIGURA 84. CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS..... | 150 |
| FIGURA 85. ORDEN DE LOS DRENAJES DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 151 |
| FIGURA 86. PENDIENTES DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 154 |
| FIGURA 87. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE ALTITUD..... | 155 |
| FIGURA 88. CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 156 |
| FIGURA 89. ORDEN DE LOS DRENAJES DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE..... | 157 |
| FIGURA 90. PENDIENTES DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA | 161 |
| FIGURA 91. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE ALTITUD..... | 162 |
| FIGURA 92. CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA..... | 163 |
| FIGURA 93. ORDEN DE LOS DRENAJES DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA..... | 164 |
| FIGURA 94. GRAFICA DE PRECIPITACIÓN DIARIA DE LA ESTACIÓN STA HELENA DE LOS 30 DÍAS PRECEDENTES AL EVENTO Y 15 DÍAS DESPUÉS DEL EVENTO PARA LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS. | 169 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 95. GRAFICA DE PRECIPITACIÓN DIARIA DE LA ESTACIÓN HDA LA GIRONDA DE LOS 30 DÍAS PRECEDENTES AL EVENTO Y 15 DÍAS DESPUÉS DEL EVENTO PARA LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS. | 169 |
| FIGURA 96. GRAFICA DE PRECIPITACIÓN DIARIA DE LA ESTACIÓN EL GUADUAL DE LOS 30 DÍAS PRECEDENTES AL EVENTO Y 15 DÍAS DESPUÉS DEL EVENTO PARA LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA. | 170 |
| FIGURA 97. GRAFICA DE PRECIPITACIÓN DIARIA DE LA ESTACIÓN HDA POTOSI DE LOS 30 DÍAS PRECEDENTES AL EVENTO Y 15 DÍAS DESPUÉS DEL EVENTO PARA LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE. | 170 |
| FIGURA 98. GRAFICA DE PRECIPITACIÓN DIARIA DE LA ESTACIÓN LA ARCADIA DE LOS 30 DÍAS PRECEDENTES AL EVENTO Y 15 DÍAS DESPUÉS DEL EVENTO PARA LA CUENCA DEL RÍO NEIVA. | 171 |
| FIGURA 99. GRAFICA DE PRECIPITACIÓN DIARIA DE LA ESTACIÓN NUEVO PARAÍSO DE LOS 30 DÍAS PRECEDENTES AL EVENTO Y 15 DÍAS DESPUÉS DEL EVENTO PARA LA CUENCA DEL RÍO NEIVA. | 171 |
| FIGURA 100. MAPA DE ISOYETAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DEL 21 DE FEBRERO DEL 2017. | 172 |
| FIGURA 101. UMBRALES DE LLUVIA EMPÍRICOS PARA LA ESTACIÓN STA HELENA, PARA EL 21 DE FEBRERO (RÍO CEIBAS). | 174 |
| FIGURA 102. UMBRALES DE LLUVIA EMPÍRICOS PARA LA ESTACIÓN HDA LA GIRONDA, PARA EL 21 DE FEBRERO (RÍO CEIBAS). | 174 |
| FIGURA 103. UMBRALES DE LLUVIA EMPÍRICOS PARA LA ESTACIÓN EL GUADUAL, PARA EL 21 DE FEBRERO (RÍO FRÍO RIVERA). | 175 |
| FIGURA 104. UMBRALES DE LLUVIA EMPÍRICOS PARA LA ESTACIÓN HDA POTOSI, PARA EL 21 DE FEBRERO (RÍO FRÍO CAMPOALEGRE). | 175 |
| FIGURA 105. UMBRALES DE LLUVIA EMPÍRICOS PARA LA ESTACIÓN LA ARCADIA, PARA EL 21 DE FEBRERO (RÍO NEIVA). | 176 |
| FIGURA 106. UMBRALES DE LLUVIA EMPÍRICOS PARA LA ESTACIÓN NUEVO PARAÍSO, PARA EL 21 DE FEBRERO (RÍO NEIVA). | 176 |
| FIGURA 107. MAPA DE AMENAZA DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS. | 180 |
| FIGURA 108. MAPA DE AMENAZA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO RIVERA. | 181 |
| FIGURA 109. MAPA DE AMENAZA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE. | 182 |
| FIGURA 110. MAPA DE AMENAZA DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA. | 183 |
| FIGURA 111. SEDIMENTOS TRANSPORTADOS POR EL RÍO CEIBAS DURANTE EL EVENTO DEL 21 DE FEBRERO DEL 2017. | 185 |
| FIGURA 112. AFECTACIÓN A VIVIENDA RURAL DURANTE EL EVENTO DEL 2003.UBICADA EN LA ZONA DE AMENAZA ALTA. | 185 |
| FIGURA 113. SEDIMENTOS TRASPORTANDO POR EL RÍO FRÍO (RIVERA) DURANTE EL EVENTO. | 186 |
| FIGURA 114. AFECTACIÓN DEL CASCO URBANO DE CAMPOALEGRE DURANTE EL EVENTO. | 187 |
| FIGURA 115. SEDIMENTOS TRANSPORTADOS POR EL EVENTO EN EL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE. | 188 |
| FIGURA 116. AFECTACIÓN AL PUENTE INTERMUNICIPAL. | 188 |
| FIGURA 117. SEDIMENTOS TRANSPORTADOS Y AFECTACIÓN GENERADA POR EL EVENTO EN EL RÍO NEIVA. | 189 |

Lista De Tablas

| | |
|---|-----|
| TABLA 1. SUBUNIDADES CERRO REMANENTE RÍO CEIBAS | 74 |
| TABLA 2. SUBUNIDADES CERRO RESIDUAL RÍO CEIBAS | 75 |
| TABLA 3. SUBUNIDADES ESCARPE DE EROSIÓN MENOR RÍO CEIBAS..... | 75 |
| TABLA 4. UNIDAD LÓBULO COLUVIAL RÍO CEIBAS..... | 76 |
| TABLA 5. SUBUNIDAD LOMA DENUDADA RÍO CEIBAS | 77 |
| TABLA 6. SUBUNIDADES LOMERÍOS DISECTADOS RÍO CEIBAS | 77 |
| TABLA 7. SUBUNIDADES LADERA EROSIVA RÍO CEIBAS..... | 78 |
| TABLA 8. SUBUNIDADES LADERA ONDULADA RÍO CEIBAS | 78 |
| TABLA 9. SUBUNIDADES MONTÍCULOS Y ONDULACIONES DENUDACIONALES RÍO CEIBAS..... | 79 |
| TABLA 10. SUBUNIDADES SIERRA DENUDADA RÍO CEIBAS | 79 |
| TABLA 11. SUBUNIDADES SIERRA RESIDUAL RÍO CEIBAS | 80 |
| TABLA 12. SUBUNIDADES ESPOLÓN FACETEADO RÍO CEIBAS | 80 |
| TABLA 13. SUBUNIDADES ESPOLONES RÍO CEIBAS | 81 |
| TABLA 14. SUBUNIDADES GANCHO DE FLEXIÓN RÍO CEIBAS..... | 81 |
| TABLA 15. SUBUNIDADES LOMO DE FALLA RÍO CEIBAS | 82 |
| TABLA 16. SUBUNIDADES ESCARPE DE LÍNEA DE FALLA RÍO CEIBAS | 82 |
| TABLA 17. SUBUNIDADES LOMO DE FALLA CON FACETA TRIANGULAR RÍO CEIBAS | 82 |
| TABLA 18. SUBUNIDADES LOMOS RÍO CEIBAS | 83 |
| TABLA 19. SUBUNIDADES PLANCHA RÍO CEIBAS | 83 |
| TABLA 20. SUBUNIDADES SIERRA RÍO CEIBAS..... | 84 |
| TABLA 21. SUBUNIDADES SIERRA HOMOCLINAL RÍO CEIBAS | 84 |
| TABLA 22. SUBUNIDADES SIERRA Y LOMOS DE PRESIÓN RÍO CEIBAS | 85 |
| TABLA 23. SUBUNIDADES LADERA DE CONTRAPENDIENTE DE SIERRA SINCLINAL RÍO CEIBAS | 86 |
| TABLA 24. SUBUNIDADES LADERA ESTRUCTURAL DE SIERRA SINCLINAL RÍO CEIBAS | 87 |
| TABLA 25. SUBUNIDADES PLANO ALUVIAL CONFINADO RÍO CEIBAS..... | 88 |
| TABLA 26. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES RÍO CEIBAS..... | 89 |
| TABLA 27. TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES RÍO CEIBAS..... | 89 |
| TABLA 28. TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES ANTIGUAS RÍO CEIBAS..... | 90 |
| TABLA 29. SUBUNIDADES LADERA EROSIVA RÍO FRÍO RIVERA..... | 92 |
| TABLA 30. SUBUNIDADES SIERRA DENUDADA RÍO FRÍO RIVERA..... | 93 |
| TABLA 31. SUBUNIDADES ESPOLONES RÍO FRÍO RIVERA..... | 93 |
| TABLA 32. SUBUNIDADES ESCARPE DE LÍNEA DE FALLA RÍO FRÍO RIVERA | 94 |
| TABLA 33. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES RÍO FRÍO RIVERA | 95 |
| TABLA 34. TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES RÍO FRÍO RIVERA | 95 |
| TABLA 35. TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES ANTIGUAS RÍO FRÍO RIVERA | 96 |
| TABLA 36. LÓBULO COLUVIAL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE..... | 98 |
| TABLA 37. SUBUNIDADES LOMO DENUDADO RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 98 |
| TABLA 38. SUBUNIDADES SIERRA DENUDADA RÍO FRÍO CAMPOALEGRE..... | 99 |
| TABLA 39. SUBUNIDADES ESCARPE DE LÍNEA DE FALLA RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 100 |
| TABLA 40. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 101 |
| TABLA 41. TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 101 |
| TABLA 42. TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES ANTIGUAS RÍO FRÍO CAMPOALEGRE | 102 |
| TABLA 43. LÓBULO COLUVIAL RÍO NEIVA | 104 |

| | |
|--|-----|
| TABLA 44. SUBUNIDADES LOMO DENUDADO RÍO NEIVA | 105 |
| TABLA 45. SUBUNIDADES LADERA EROSIVA RÍO NEIVA | 106 |
| TABLA 46. SUBUNIDADES SIERRA DENUDADA RÍO NEIVA | 107 |
| TABLA 47. SUBUNIDADES ESPOLONES RÍO NEIVA | 107 |
| TABLA 48. SUBUNIDADES ESPOLONES FESTONEADOS RÍO NEIVA | 108 |
| TABLA 49. SUBUNIDADES FACETAS TRIANGULARES RÍO NEIVA..... | 108 |
| TABLA 50. SUBUNIDADES GANCHO DE FLEXIÓN RÍO NEIVA | 109 |
| TABLA 51. SUBUNIDADES LOMO DE FALLA RÍO NEIVA..... | 110 |
| TABLA 52. SUBUNIDADES ESCARPE DE LÍNEA DE FALLA RÍO NEIVA | 110 |
| TABLA 53. SUBUNIDADES SIERRA Y LOMOS DE PRESIÓN RÍO NEIVA | 111 |
| TABLA 54. DEPÓSITOS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES RÍO NEIVA..... | 111 |
| TABLA 55. TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES RECIENTES RÍO NEIVA | 112 |
| TABLA 56. TERRAZAS FLUVIOTORRENCIALES ANTIGUAS RÍO NEIVA..... | 112 |
| TABLA 57. VALORES DEL FACTOR FORMA (CÓRDOVA, 2016)..... | 128 |
| TABLA 58. VALORES DE REFERENCIA DEL COEFICIENTE DE COMPACIDAD. (HERNÁNDEZ J. D., 2019)..... | 129 |
| TABLA 59. CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES. | 132 |
| TABLA 60. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 139 |
| TABLA 61. PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA DEL RÍO NEIVA | 139 |
| TABLA 62. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE. | 144 |
| TABLA 63 RELACIONES PARA CATEGORIZAR EL ÍNDICE MORFOMÉTRICOS. IDEAM 2013 | 145 |
| TABLA 64. RELACIÓN ENTRE VARIABLES PARA EL ÍNDICE MORFOMÉTRICOS. IDEAM 2013..... | 145 |
| TABLA 65. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 147 |
| TABLA 66. PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA DEL RÍO CEIBAS | 147 |
| TABLA 67. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE. | 152 |
| TABLA 68. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO - CAMPOALEGRE | 153 |
| TABLA 69. PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO - CAMPOALEGRE | 154 |
| TABLA 70. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE. | 158 |
| TABLA 71. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO - RIVERA | 159 |
| TABLA 72. PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO - RIVERA | 160 |
| TABLA 73. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE. | 165 |
| TABLA 74. RESUMEN PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS CUENCAS DE INTERÉS..... | 166 |

1 Introducción

Las avenidas torrenciales en términos simples son un tipo de movimiento en masa que se desplazan principalmente por los cauces de las quebradas, transportando volúmenes significativos de escombros y sedimentos, con velocidades que ponen en riesgo a las poblaciones y obras de infraestructura ubicadas en zonas de acumulación (Caballero J. , 2011). Según (Montoya Jaramillo, Silva Arroyave, & González, 2009) las avenidas torrenciales son fenómenos naturales, que poseen una ocurrencia relativamente baja, debido a su gran potencial destructivo; las razones que existen para que este tipo de evento sea tan devastador, está en su naturaleza impredecible, sus altas velocidades de propagación, su corta duración y su largo período de retorno.

Las avenidas torrenciales destructoras se generan cuando se da, mínimo, la confluencia de los siguientes cuatro factores como: (I) cuencas con gradientes altos y áreas medias, lo que permite tener tiempos de concentración cortos y altas velocidades de las corrientes. (II) Precipitaciones fuertes, concentradas sobre la cuenca o parte importante de esta. (III) disponibilidad de material fino granular tipo arcillas y limos que puedan ser transportados por la corriente. (IV) cambios bruscos en el gradiente de las quebradas, lo cual facilitaría la acumulación de los sedimentos transportados desde la cuenca alta o media (Caballero J. , 2011).

El área de estudio se localiza en el Departamento del Huila, específicamente en las cuencas del río Ceibas (Neiva), río Frío (Rivera), río Frío (Campoalegre y río Neiva (Algeciras). La zona de estudio comprende una extensión de 1729,124 Km², caracterizada por la Cordillera Oriental en el flanco izquierdo y el valle alto del río Magdalena. Los eventos que afectaron estas cuencas tuvieron lugar en la tercera decadal del mes de febrero, siendo para las cuencas del Río Frío

(Campoalegré), Río Frío (Rivera) y Río Neiva afectadas por un flujo hiperconcentrado o avenida torrencial, y el Río Ceibas perjudicado por una inundación rápida.

Las temporadas con altos índices de precipitación son un factor importante para la generación de avenidas torrenciales, debido a que esta variable es considerada como detonante al igual que los sismos, pero no es el único factor que se debe tener en cuenta, ya que las variables condicionantes físicas como la litología, la sedimentación, geomorfología, la morfometría de la cuenca y las intervenciones antrópicas como la deforestación, represamiento y usos del suelo, son variables influyentes para desencadenar este fenómeno.

En este trabajo se llevó a cabo un análisis detallado de cada variable para determinar cuál de estas proporcionó mayor influencia o afectación en la generación de las avenidas torrenciales para cada una de las cuencas e inundación rápida, en este caso para la cuenca del río Ceibas.

Por otro lado, las pérdidas provocadas por los eventos ocasionados fueron netamente materiales, afectando en mayor medida los cascos urbanos de Rivera y Campoalegre, siendo este último el que presentó mayores pérdidas.

A pesar de que las avenidas torrenciales presentan una recurrencia histórica baja, son una de las amenazas naturales más comunes del país y por su gran potencial destructivo afectan fuertemente personas y bienes físicos. Por ende, estudiar este fenómeno es de gran importancia debido a que, en el siglo XXI y finales del siglo XX se han desencadenado diferentes procesos en el país como en Salgar (Antioquia) producto del desbordamiento de la Quebrada La Liborina (Hernández, 2015). En Mocoa (Putumayo) por las fuertes precipitaciones que generaron torrencialidad en el Río Mocoa y otros (El Espectador, 2017)

2 Planteamiento Del Problema

Las avenidas torrenciales a nivel mundial son una grave problemática tanto para la población como para la economía de las áreas afectadas, ya que afectan cultivos, infraestructura, ganado y la estabilidad del terreno. En el territorio Colombiano hay varias zonas con amenaza alta por avenidas torrenciales, generalmente en zonas montañosas con diferentes variables como los índices de precipitación, la litología, geomorfología, estructuras geológicas y la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa.. Se han registrado varios casos en diferentes municipios como Salgar (Antioquia), Mocoa (Putumayo), Útica (Cundinamarca), Florida (Valle), entre otros. Este fenómeno natural ha perjudicado la infraestructura, la agricultura, ecosistemas y peor aun dejando víctimas mortales.

Los eventos de interés son los ocurridos el 21 de Febrero del 2017 en los municipios de Algeciras, Campoalegré, Neiva y Rivera en el Departamento del Huila. Específicamente en las cuencas de los ríos Frío, Ceibas y Neiva. Es importante estudiar la influencia de cada variable que ocasionó las avenidas torrenciales, ya que su acumulación puede generar la periodicidad de estas anomalías, una problemática importante es la carencia de proyectos de investigación o mitigación en la zona, que ayuden a prevenir y entender mejor la dinámica de las avenidas torrenciales, lo que provocaría la repetición de un desastre similar o peor. El resultado de este trabajo permitirá concretar cuáles fueron las causas determinantes y su respectivo aporte a la generación de estos flujos en las cuencas mencionadas, con el fin de entender mejor su dinámica y mejorar la comprensión sobre dichos fenómenos naturales, aun sabiendo que las avenidas torrenciales son impredecibles, de una u otra manera se podrán tener en cuenta acciones que puedan ayudar a mitigar o prevenir dicho fenómeno.

3 Pregunta de Investigación

¿Son los altos índices de precipitación los generadores de las avenidas torrenciales o estas son influenciadas por las variables físicas en los municipios de Algeciras, Campoalegré, Neiva y Rivera del departamento del Huila?

4 Hipótesis

Las temporadas con altos índices de precipitación son asociadas a la generación de la mayoría de las avenidas torrenciales, pero no es el único factor que se debe tener en cuenta, ya que las variables físicas como la morfometría de la cuenca, la litología, la sedimentación y las intervenciones antrópicas como la deforestación, represamiento y usos del suelo, son variables influyentes o determinantes en la generación de estas, en los municipios de Algeciras, Campoalegre, Neiva y Rivera del departamento del Huila

5 Objetivos

5.1 Objetivo General

Comprobar qué factores detonantes y condicionantes tuvieron mayor influencia en la generación de las avenidas torrenciales e inundaciones rápidas en los municipios de Algeciras, Campoalegré, Neiva y Rivera del departamento del Huila en Febrero del 2017.

5.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información bibliográfica sobre los temas de interés, la interpretación de fotografías aéreas y datos digitales como la precipitación y la morfometría de las cuencas, para la generación de mapas y gráficas por medio de sistemas de información geográficos.
- Especificar la litología donde ocurren la mayor proporción de los eventos gravitacionales en las cuencas de los ríos Frío Campoalegre, Frío Rivera, Ceibas y Neiva.
- Indicar los sistemas de fallas que intervienen en las cuencas de interés, definiendo sus rasgos característicos y su participación en la generación de los eventos torrenciales.
- Realizar un inventario de los procesos morfodinámicos que se evidencien en campo en las cuencas de interés, definiendo las zonas donde se dé su mayor ocurrencia.
- Precisar las variables morfométricas de las cuencas y determinar su importancia para la generación de los eventos.
- Interpretar los valores de precipitación de las estaciones en el área de estudio y establecer su importancia en la detonación de los eventos.
- Caracterizar a partir de la geomorfología y la sedimentología la jerarquía de las terrazas y depósitos de las cuencas de interés.
- Evaluar los daños y afectaciones generadas por los eventos a la población local.

6 Marco Teórico

6.1 Avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales han sido denominadas como flujos de lodos y/o escombros, avalanchas, lahares, flujos hiperconcentrados o superconcentrados, lava torrencial, entre otros; estas se desplazan principalmente por los cauces de quebradas, llegando a transportar volúmenes significativos de escombros y sedimentos, con velocidades peligrosas para la población e infraestructura en las zonas de acumulación (Caballero & Caupé, 2009) (Caballero J. , 2011).

Las avenidas torrenciales son una amenaza común, que generalmente se limitan a cuencas de montaña (Caballero & Caupé, 2009), con áreas pequeñas (inferiores a 300 km²), circulares (valores entre 1 y 1,25 de relación de circularidad) y una red densa de drenaje contribuye significativamente a la reducción en el tiempo de concentración (González & Hermelin, 2004). Debido a las características topográficas de la zona andina de Colombia, las avenidas torrenciales son una amenaza y posiblemente son las menos estudiadas en el país. Estas causan pérdidas en infraestructuras y víctimas mortales; entre 1985-1995 ocurrieron más de 40 avenidas torrenciales con un alto potencial destructivo, acabando con la vida de más de 200 personas, generando múltiples daños a viviendas, carreteras, sistemas de generación de energía y cultivos (Montoya Jaramillo, Silva Arroyave, & González, 2009).

En el siglo XXI y finales del siglo XX han ocurrido importantes eventos en el país, desencadenados por diferentes procesos, pero que pueden llegar a ilustrar el comportamiento de estos fenómenos naturales como: en Salgar (Antioquia) el 18 de Mayo del 2015 con un total de 92 muertos y varios desaparecidos, producto del desborde de la Q. La Liboriana debido a los altos índices de precipitación horas antes (Hernández Estrada, 2015). En Mocoa (Putumayo) el

31 de Marzo y 1 de Abril del 2017, con al menos 262 muertos, más de 200 heridos y daños en el municipio, atribuida a precipitaciones de alta intensidad, que generaron torrencialidad en el Río Mocoa y otros 2 ríos menores (El Espectador, 2017). En Utica (Cundinamarca) el 18 de Abril del 2011, el cual no presentó víctimas mortales, y se le atribuye la emergencia a la sedimentación ocasionada por la construcción de un ferrocarril e infraestructura turística (Chica, 2017). El caso del Río Páez en los departamentos de Cauca y Huila, generado por un gran número de movimientos en masa producto del terremoto de Junio de 1994, que detonó las avenidas torrenciales (Caballero J. , 2011). En el Río Tapartó en el municipio de Andes el 26 de Abril de 1993, dejó un total de 120 muertos y 320 damnificados, fue el resultado de diferentes factores que incluyen la alta precipitación en un corto período de tiempo y laderas de altas pendientes con una cobertura de suelo erosiva (Hermelin, 2005). En el Río Fraile el 31 de enero de 1994 que afectó el municipio de Florida (Valle) dejando 19 muertos, 22 desaparecidos, algunos heridos y daños en el casco urbano (González & Hermelin, 2004), en entre otros.

Las avenidas torrenciales se delimitan por diferentes factores como la topografía, la pendiente, la distancia a los cauces, el flujo acumulado, la geología, la geomorfología y el índice de Melton para las microcuencas (Montoya Jaramillo, Silva Arroyave, & González, 2009). Además Según Gonzales y Hermelín (2004) un gran volumen de Saprolito erosionado es necesario para producir y depositar sedimentos, y las características geomorfológicas intrínsecas permiten inferir la ocurrencia de estos eventos. Estas variables físicas son diferentes para cada cuenca y algunas pueden tener mayor importancia que las demás, debido a las diferencias morfométricas, geológicas, ambientales y antrópicas de cada cuenca.

(Aristizábal, Gamboa, & Leoz, 2010) menciona la existencia de variables que controlan la ocurrencia y la distribución de estos fenómenos naturales, que pueden ser divididos en

condicionales y detonantes, como la geología, topografía y vegetación, que contribuyen a la susceptibilidad, y las propiedades del suelo, la climatología, procesos hidrológicos y actividades humanas, son detonantes, las cuales caracterizan el patrón de ocurrencia. Lo que indica que el relieve presenta características inherentes haciéndolo más o menos susceptible a desplazarse por fuerzas gravitacionales, el cual necesita de un detonante, como puede ser la lluvia (Cornare, 2012).

La falta de estudios de detalle que involucren las diferentes variables relacionadas con este tipo de eventos, dificultan la correcta delimitación de las amenazas por avenidas torrenciales, es requerido investigar sobre el comportamiento de estos procesos con el fin de establecer los parámetros necesarios y sus umbrales para lograr verdaderas evaluaciones de amenazas por avenidas torrenciales y elaborar protocolos de alerta temprana (Caballero J. , 2011).

6.2 Inundaciones rápidas

Las inundaciones súbitas o rápidas se caracterizan como el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Estas pueden generar que pequeñas corrientes se transformen, en violentos torrentes capaces de ocasionar grandes daños, en cuestión de minutos; usualmente las zonas urbanas son sitios donde se presenta este tipo de avenidas, producto de la cubierta impermeable formada artificialmente por los edificios y calles, así como por la deforestación. Debido a esto, el agua no se infiltra y prácticamente todo el volumen precipitado se convierte en escurrimiento. Así, donde antes una tormenta humedecía la tierra y regaba la hierba y los árboles, ahora con tan solo poco solo unos minutos es suficiente para generar una avenida que arrastra todo lo que encuentra a su paso (Espinoza, Salas, & Jiménez, 2014). Es importante resaltar que en las inundaciones súbitas prima el agua

sobre el contenido de sedimentos a diferencia de una avenida torrencial que predomina material como sedimentos y escombros.

7 Metodología

El procedimiento usado para llevar a cabo esta investigación consta de diferentes etapas, inicialmente se realizó un pre-campo donde se incluye una recopilación bibliográfica sobre avenidas torrenciales e inundaciones rápidas en Colombia, algunos eventos similares ocurridos en otros países y las características morfométricas de estas cuencas. Mediante fotografías aéreas y sistemas de información geográficos (SIG), se interpretaron los diferentes cambios en los drenajes afectados por estos fenómenos, generando gráficas de precipitación diaria en un lapso de tiempo de 28 días antes del evento y 15 días después del evento, mapas de usos del suelo, mapas geológicos y geomorfológicos de la zona de interés, la generación de un mapa de pendientes para cada cuenca afectada, mapas de estructuras geológicas y morfodinámica.

Se definió un recorrido de campo con sus respectivas estaciones siguiendo el cauce de cada drenaje afectado y los alrededores de estos, que fueron las zonas de mayor afectación; se usaron plantillas para la toma de datos de campo, tales como geología, geomorfología, morfodinámica, morfometría, datos estructurales, descripciones de los depósitos Fluviotorrenciales y los daños causados por las avenidas torrenciales e inundaciones rápidas, además mediante encuestas que se realizaron a la población afectada, se tomaron datos de temporalidad, afectación directa e indirecta, y variables que ellos consideraron importantes, agregando información sobre intervenciones antrópicas que será relevante para determinar las causas de los fenómenos.

Después de realizar toda la campaña de campo se procedió a definir y analizar la información para la digitalización de datos de importancia para el estudio, por medio de gráficas y mapas (pendiente, geología y geomorfología de las cuencas, y amenaza), se compararon las áreas de estudio para entender qué factores influyen en mayor medida en cada cuenca y poder

agruparlas o diferenciarlas según sus características. Por último se interpretaron los datos recopilados entre información primaria y secundaria para determinar las causas de las avenidas torrenciales e inundación rápida en las cuencas afectadas.

8 Generalidades Del Área De Estudio

LOCALIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO

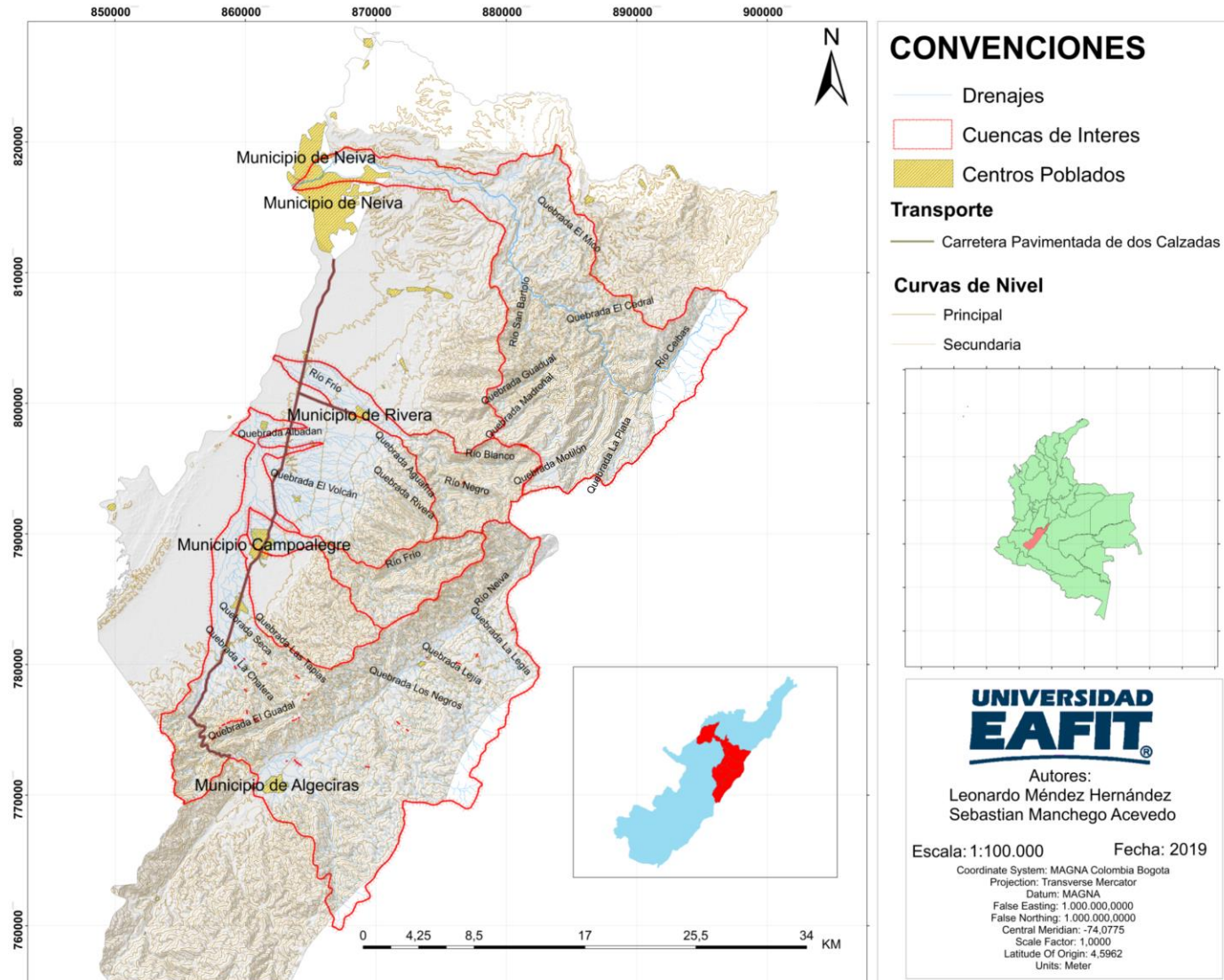


Figura 1. Mapa de Localización de la Zona de Estudio

La zona de estudio se localiza en el Noroeste del Departamento del Huila, con un área aproximada de 1874 km², la cual está conformada hacia el Este por el valle alto del río Magdalena, al Sur y Oeste por la Cordillera Oriental y hacia el Norte por el desierto de la Tatacoa. La temperatura oscila entre los 20°C y 35°C principalmente en el valle alto del río Magdalena, esta región es caracterizada debido a que se encuentran la mayoría de los pisos térmicos y una gran variedad de suelos que facilitan la diversidad y extensión de la actividad agrícola y ganadera (Alcaldía de Neiva, 2017).

El área de estudio está incluida en los Municipios de Neiva, Campoalegre y Rivera, los cuales se conectan por la ruta 45 por tierra, la cual atraviesa el territorio de Norte a Sur y el Municipio de Algeciras se conecta con una vía secundaria en estado precario hacia el Este, llegando a la ruta 45 (Alcaldía de Neiva, 2015). Las cuencas de interés se distribuyen de Norte a Sur, correspondiendo la cuenca del río Ceibas al Municipio de Neiva, con una extensión aproximada de 300 km² (16% del área de estudio); la cuenca del río Frío Rivera corresponde al Municipio de Rivera, con una extensión aproximada de 70 Km² (3,74% del área de estudio); la cuenca del río Frío Campoalegre corresponde al Municipio de Campoalegre, con una extensión aproximada de 56 km² (3% del área de estudio); y la cuenca del río Neiva corresponde al Municipio de Algeciras, con una extensión aproximada de 437 km² (23,32% del área del estudio) (Alcandía de Algeciras, 2016).

9 Geología Regional

En la zona de estudio se encuentran diferentes unidades geológicas compuestas por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, con edades que varían desde el Proterozoico hasta el Neógeno, así como los depósitos sedimentarios y volcano-sedimentarios del Cuaternario (Figura 2).

Las rocas proterozoicas de la zona de estudio corresponden a una franja compuesta por migmatitas, neises cuarzofeldespáticos y granulitas asociadas al Grupo Garzón, el cual se localiza hacia el suroriente del área de estudio aflorando en la cuenca del río Ceibas y río Neiva (Morales , Caicedo, Velandia, & Nuñez, 2001). El Paleozoico está representado por las calizas esparíticas de los Sedimentos de Cerro Neiva y las intercalaciones de lodolitas calcáreas, areniscas y calizas de las Lodolitas de Cerro Neiva, ubicándose al Nororiente de la zona de interés aflorando en la cuenca del río Ceibas (Ferrerira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M., 2002).

El inicio del Mesozoico se presenta en este lugar con las rocas ígneas efusivas de la Formación Saldaña, la cual se encuentra hacia el Norte del área de estudio y aflora en la cuenca del río Ceibas, tales como flujos de lava y algunos cuerpos hipoabisales. Durante el Jurásico se da la intrusión del Monzogranito de Algeciras un cuerpo granítico que se encuentra aflorando en el centro de la zona de estudio alargándose en sentido SW-NE. La sedimentación cretácica marina en este lugar está representada por las areniscas de la Formación Caballos, las intercalaciones de calizas y lodolitas de la Formación Hondita y las lodolitas de la Formación Loma Gorda (Ferrerira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M., 2002); a finales del Cretácico se depositan las secuencias intercaladas de chert, lodolitas silíceas y areniscas del Grupo Olini, la sedimentación cretácica en la zona de estudio finaliza con la depositación de las areniscas de la

Formación La Tabla y las secuencias intercaladas de arcillolitas y limolitas rocas de la Formación Seca. La estratigrafía del Cenozoico inicia con la depositación de los conglomerados estratificados de la Formación Palermo, seguidamente se depositaron las intercalaciones de lodolitas rojizas y conglomerados de la Formación Baché. Además, se da la depositación de los conglomerados de la Formación Tesalia a finales del Eoceno Tardío (Ferrerira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M., 2002).

Posteriormente, en la secuencia estratigráfica de la zona se encuentran las intercalaciones de arcillolitas, arenitas y lodolitas de la Formación Potrerillo hasta ponerse en contacto con los conglomerados masivos polimícticos de la Formación Doima (Ferrerira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M., 2002); el conjunto de esta formaciones se ubican hacia el nororiente de la zona de estudio, aflorando en la cuenca del río Ceibas.

A mediados del Mioceno se da la depositación del Grupo Honda, constituido por una alternancia de capas de arcillolitas con cuarzoarenitas y litoarenitas. Finalmente, hacia el Mioceno Tardío se da la depositación del Grupo Huila, una secuencia constituida por paquetes gruesos de conglomerados asociados a la Formación Neiva e intercalaciones de arcillolitas rojizas y arenitas de la Formación Gigante, localizándose el grupo de estas hacia el noroccidente de la zona de estudio y afloran en la cuenca del río Ceibas (Ferrerira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M., 2002).

El registro cuaternario en la zona de estudio está representado por depósitos aluviales asociados al río Magdalena y sus principales afluentes. Además, existen una serie de depósitos torrenciales y aluviotorrenciales que rellenan los principales valles de la zona de estudio. La zona también se caracteriza por la presencia de abanicos que cubren las zonas de piedemonte y

algunas cuencas, además, se presentan depósitos Fluviolacustres, aluviones y coluviones relacionados con la morfodinámica del lugar (Ferrerira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M., 2002).

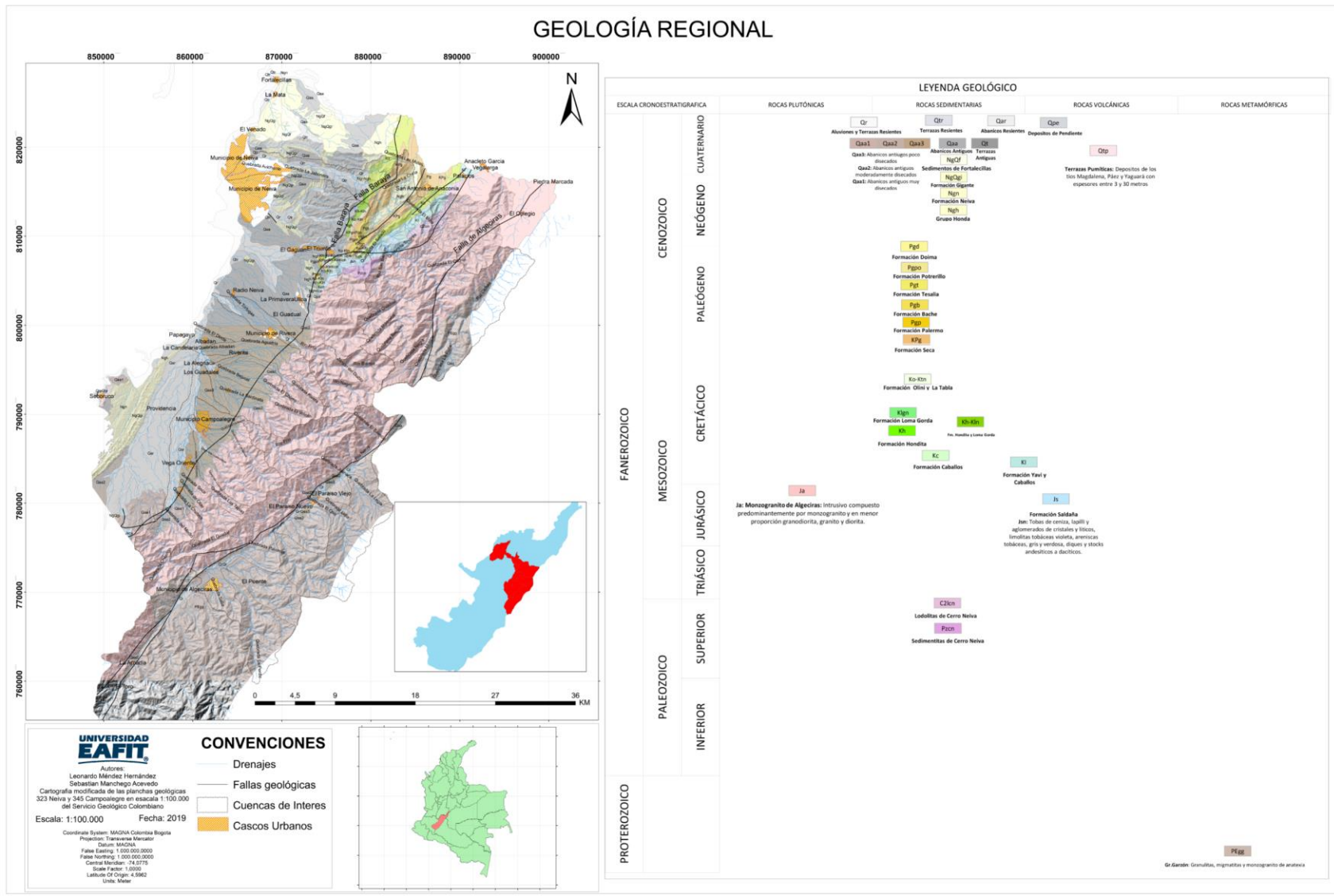


Figura 2. Mapa de la Geología Regional de la Zona de Estudio, Modificado con base en la cartografía de las planchas 323 Neiva y 345 Campoalegre del SGC.

10 Geomorfología Regional

El contexto regional del área de estudio se encuentra relacionada a la geomorfoestructura denominada, sistema Orogénico Andino, y las provincias: Cordillera Oriental y el Valle Interandino del Magdalena, comprendiendo un área extensa en el Norte de la subcuenca de Neiva al Sur de Colombia. Los ambientes de tipo estructural se encuentran asociados con los sistemas de fallas de Potrerillos y Algeciras, estas unidades estructurales han sido afectadas por procesos denudativos como la meteorización y erosión. Por otra parte, el relieve está compuesto por geoformas de origen fluvial y denudacional ambas asociadas a la dinámica erosiva de las corrientes de los principales afluentes de la zona. Además, existen algunas geoformas de origen volcánico (SGC Plancha 345-Campoalegre, 2014).

El paisaje de origen denudacional se relaciona con las geoformas cuya expresión morfológica se define por diferentes procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas preexistentes y además crean nuevas por acumulación de sedimentos. Las geoformas de este origen se localizan en el Centro y Oriente del área de estudio compuestas por Colinas residuales, Cerros remanentes al norte, Conos de deslizamiento, Escarpes de erosión, Lomeríos disectados, Lomas denudadas, Laderas erosivas y Sierras denudadas (SGC Plancha 323-Neiva, 2014).

Las geoformas de origen fluvial que conforman el relieve del lugar, son originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos Magdalena, que transcurre hacia el centro de la zona de estudio de sur a norte; Ceibas ubicado hacia la parte central y el Baché que se desplaza casi paralelamente al río Magdalena hacia la parte oeste de la plancha. Además, producto de la acumulación de materiales de las zonas aledañas a dichas corrientes. Las geoformas de este

ambiente que se encuentran en la zona de estudio corresponden principalmente a abanicos aluviales, abanicos fluviotorrenciales, barras longitudinales, planicies aluviales, llanuras de inundación, terrazas de acumulación y terrazas de erosión; en general estas formaciones se localizan hacia el Occidente y a lo largo de los cauces del área de estudio (SGC Plancha 323-Neiva, 2014).

El ambiente de origen volcánico es el que presenta menor ocurrencia en el área de interés. Las geoformas presentes son producto de la actividad volcánica, la cual incluye erupciones explosivas y/o efusivas, además de aquellas geoformas generadas por acumulación de la remoción de productos volcánicos. La actividad volcánica se debe a la acción de procesos endógenos, los cuales ocurren en el interior de la corteza terrestre y dependen de las fuerzas internas de La Tierra (SGC Plancha 345-Campoalegre, 2014). Los procesos de origen volcánico que se encuentran en la zona corresponden principalmente a flujos laháricos; estos se encuentran hacia el Occidente del área de estudio

El paisaje de origen morfoestructural se origina por diferentes procesos dinámicos de la tierra también define la forma del relieve, que determina geoformas; principalmente las que están asociadas a fallamiento y plegamiento, cuya expresión morfológica está definida por la litología y disposición estructural de las rocas superiores de la corteza terrestre. Las geoformas de origen estructural en la zona corresponden principalmente a barras homoclinales, facetas triangulares, espolones, ganchos de flexión, lomos y sierras; estas se localizan hacia el Oriente del área de estudio y se distribuyen de Sur a Norte (SGC Plancha 345-Campoalegre, 2014).

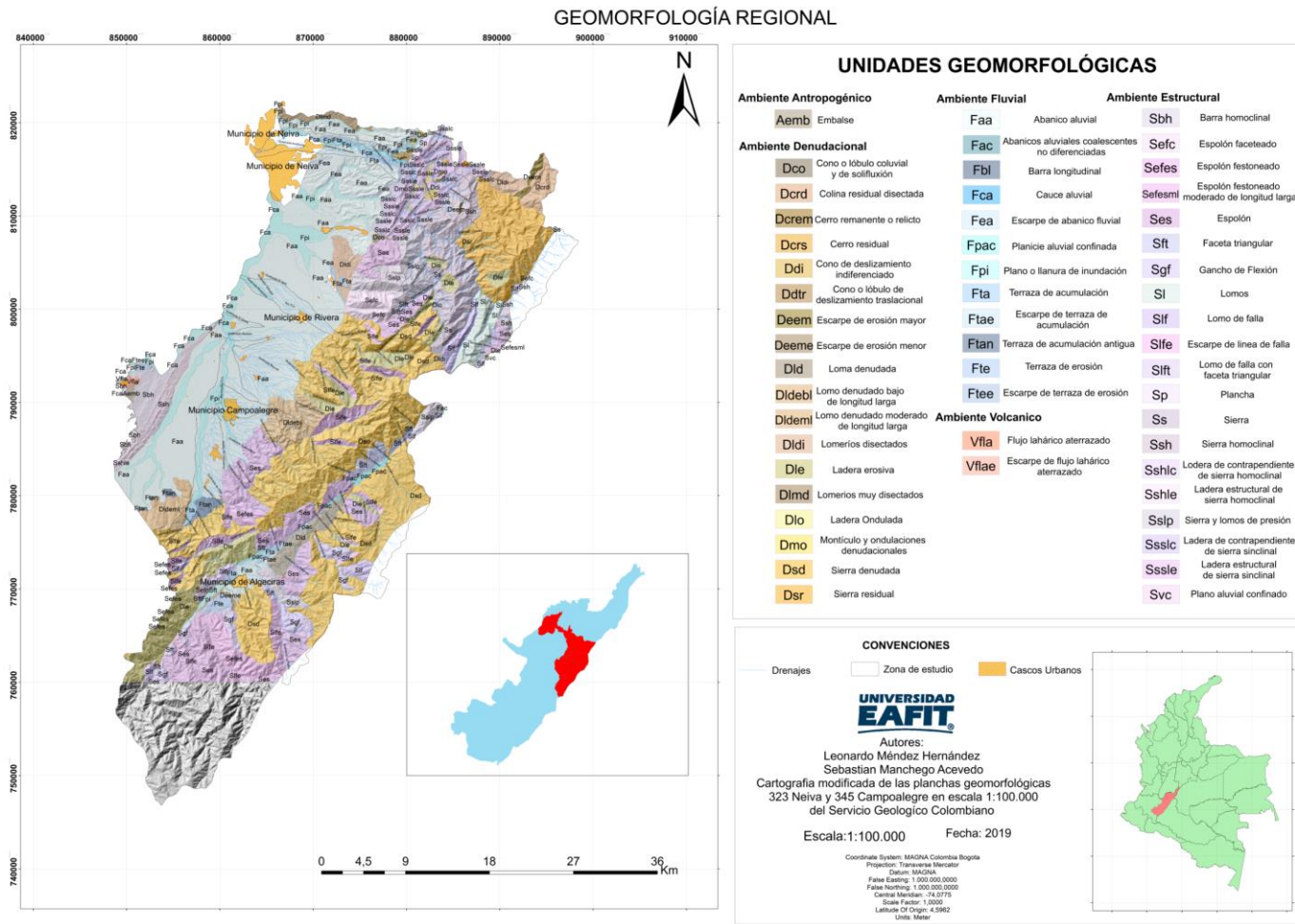


Figura 3. Mapa de la Geomorfología Regional de la Zona de Estudio, Modificado con base en la cartografía de las planchas 323 Neiva y 345 Campoalegre del

11 Geología Local y Formaciones Superficiales

En la zona de estudio se encuentran aflorando diferentes tipos de rocas, entre ellas están el Monzogranito de Algeciras, Migmatita de Garzón, Grupo Garzón y la Formación Saldaña, además de los diferentes depósitos de vertiente y cuaternarios. Los perfiles de alteración típicos se describieron teniendo en cuenta a la clasificación de (Deere, 1971), presentándose horizontes de roca poco meteorizada a suelo residual a lo largo y ancho de la zona de estudio.

11.1 Cuenca Río Ceibas

En esta cuenca afloran 17 unidades geológicas con edades desde el Precámbrico hasta el Neógeno, además, de 5 formaciones cuaternarias. La litología observada en campo está conformada por el Monzogranito de Algeciras (Ja), Formación Saldaña (Jsn), Depósitos coluviales (Qdc), Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr), Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfs) y los Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qdfa). Estas formaciones son descritas a continuación:

MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO CEIBAS

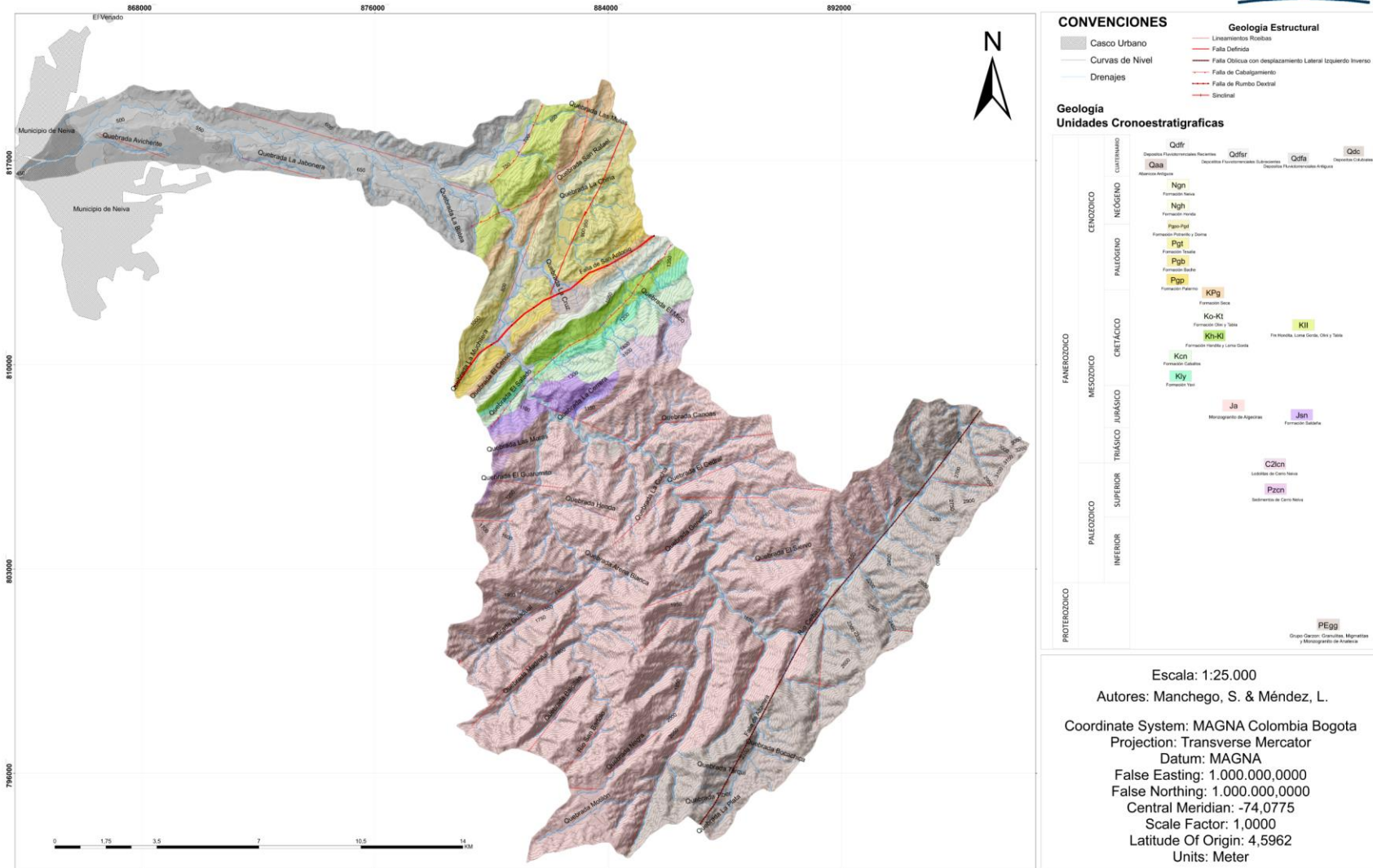


Figura 4. Geología de la Cuenca del Río Ceiba. Modificado con base en la cartografía de la plancha geológica 323 de Neiva del SGC.

11.1.1 Monzogranito de Algeciras (Ja).

Esta formación se localiza en la parte alta y media de la cuenca y su área es de 145 km² y es caracteriza por presentar la mayor extensión en el área de estudio. Este cuerpo presenta diferentes variaciones a lo largo de la zona de estudio, por ejemplo, en la cuenca del Río Ceibas se evidenció un afloramiento el cual se clasifica en un horizonte de meteorización IIB, donde la roca se encuentra moderadamente fracturada y con poca presencia de vegetación (Figura 5).



Figura 5. Monzogranito de Algeciras (Ja) de la cuenca del Río Ceibas

11.1.2 Formación Saldaña (Jsn).

Esta formación se ubica en la parte media de la cuenca ocupando un área de 4 km², predominando rocas ígneas efusivas especialmente piroclásticas, flujos de lavas y algunos cuerpos hipoabisales. Esta litología se presenta en la cuenca del Río Ceibas y solo fue posible observarla a distancia debido a las condiciones topográficas (Figura 6).



Figura 6. Formación Saldaña (Jsn) de la Cuenca del Río Ceibas

11.1.3 Depósitos Coluviales (Qdc).

Estos depósitos se encuentran en la parte media de la cuenca ocupando un área de 2 km². Generalmente se forman por acumulación en las laderas de materiales provenientes de masas de roca o suelo removidas desde las partes altas, transportadas con un comportamiento similar a los fluidos viscosos y depositados ladera abajo. En la cuenca del río Ceibas se encontraron nueve depósitos de este tipo, 2 en la parte alta de la cuenca observados mediante sensores remotos, 5 en la parte media de la cuenca de los cuales 3 se encontraban en la margen izquierda y 2 en la margen derecha del río Ceibas, estas últimas evidenciadas en el recorrido en campo, y 2 en la parte baja de la cuenca evidenciadas en el recorrido de campo en la margen derecha del río.

Los Depósitos Coluviales se presentan en la base de las laderas, compuesto por una matriz limo-arenosa, matriz-soportado, con clastos menores a 2 m, pero solo los ubicados en la parte baja de la cuenca están en contacto con las depósitos Fluviotorrenciales subrecientes, mientras que los localizados en la parte media y alta están en contacto con los depósitos fluviotorrenciales recientes.



Figura 7. Depósitos Coluviales (Qdc) de la Cuenca del Río Ceibas

11.1.4 Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr).

Se distribuyen a lo largo de todo el cauce principal ocupando un área de 9 km². Caracterizada por la disposición caótica de los depósitos, con alturas que varían entre los 0 a 4 metros, compuestos por sedimentos de tamaños heterogéneos, desde finos hasta bloques de roca, con una proporción mayor de clastos y bloques de detritos y una matriz limo-arenosa. Estos se encuentran a lo largo de las márgenes del río Ceibas, Se observaron varios depósitos con características que indican una génesis torrencial, debido a su depositación caótica, mal seleccionada y bloques (entre 5 a 7 m) superficiales que sobresalen; pero la redondez y esfericidad varía según donde se localicen los depósitos, en la parte alta se caracterizan por ser bloques, cantos y gravas muy angulosos y prismáticos a subprismáticos (Figura 8), en la parte media son cantos y gravas angulosos a subangulosos y subprismáticos a esféricos (Figura 8), y en la parte baja son cantos y gravas subredondeados a redondeados y subprismáticos a esféricos (Figura 9), la energía necesaria para la distribución de estos depósitos disminuye a media que la pendiente de la cuenca se vuelve llana en la parte baja de la cuenca del río Ceibas.



Figura 8. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr) Parte Alta (Izquierda) y Parte Media (Derecha)



Figura 9. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr) de la Cuenca del Río Ceibas Parte Baja

11.1.5 Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfrs).

Estos se localizan a lo largo de toda la cuenca, con un área de 14 km². Estos se caracterizan por tener una diferencia de altura con respecto al río Ceibas de 4 a 10 metros, poseen una disposición caótica, mal seleccionada, en su mayoría, son matriz-soportadas por arenas y limos finos, y están conformados por bloques y clastos subredondeados y subprismáticos, entre 20 cm a 3 m, lo que indica su origen torrencial y la alta energía necesaria para la generación de estos. La mayoría de estos depósitos están disectados por drenajes efímeros y en algunos márgenes

están en continua erosión fluvial, por lo que el retrabajamiento de estos es continuo, sobre todo en la parte alta, media y baja de la cuenca (Figura 10).



Figura 10. Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qtfr) Parte Alta (Izquierda) y Parte Media (Derecha)



Figura 11. Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qtfr) de la Cuenca del Río Ceibas Parte Baja

11.1.6 Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qdfa).

Estos se encuentran en la parte baja de la cuenca con un área de 18 km². Estos poseen características muy similares a las Depósitos Fluviotorrenciales Recientes, pero se diferencian en la altura con respecto al cauce principal, el cual varía entre 10 a 15 metros, solo se observan en la

parte baja de la cuenca, están disectados por drenajes permanentes y son afectados por movimientos gravitacionales y un nivel de erosión mayor.



Figura 12. Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qtfa) de la Cuenca del Río Ceibas

11.2 Cuenca Río Frío Rivera

En esta cuenca aflora el Monzogranito de Algeciras (Ja) de edad Jurásica, además, de 3 formaciones cuaternarias, Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr), Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfs) y los Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qdfa). A continuación, se describe cada formación:

MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO FRIO RIVERA

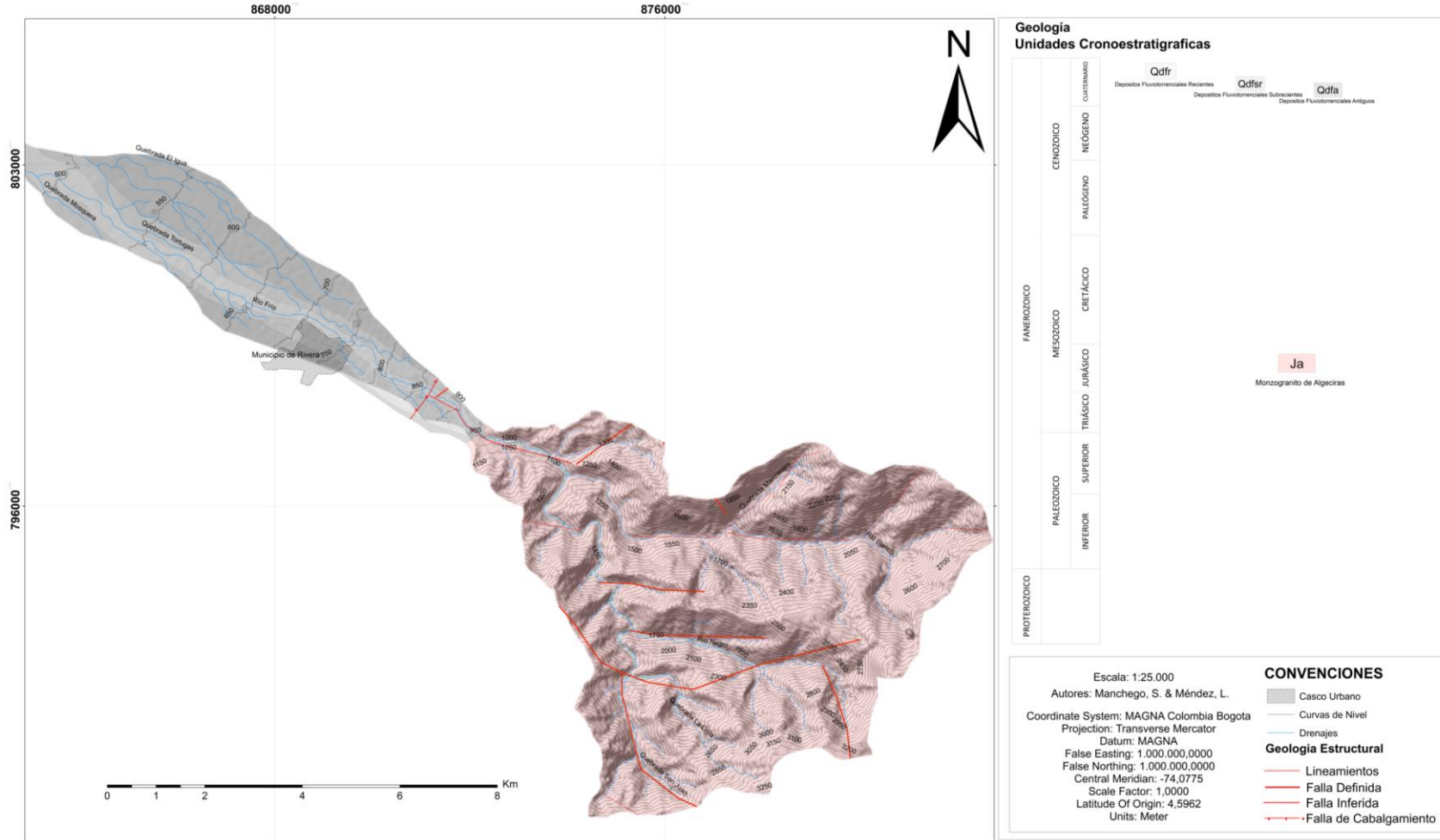


Figura 13. Geología de la Cuenca del Río Frio Rivera. Modificado con base en la cartografía de la plancha geológica 323 de Neiva del SGC.

11.2.1 Monzogranito de Algeciras (Ja).

Se localiza en la parte alta y media de la cuenca ocupando un área de 51 km². En el afloramiento se evidenció un horizonte de meteorización IIB, además, se observa un fracturamiento del macizo e intercalaciones por rocas graníticas máficas y félsicas siendo las últimas con mayor extensión (Figura 14).



Figura 14. Monzogranito de Algeciras (Ja) de la Cuenca del Río Frío Rivera

11.2.2 Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr).

Estos se encuentran desde la parte media a baja de la cuenca del río Frío de Rivera con una extensión de 5 km², están depositados de forma caótica y mal seleccionados variando desde arena y limo a bloques de 4 o 5 metros, generalmente son clasto-soportados y son subredondeados a redondeados y subprismáticos a esféricos, al tener un origen torrencial indica los altos niveles de energía necesario para mover estos sedimentos.

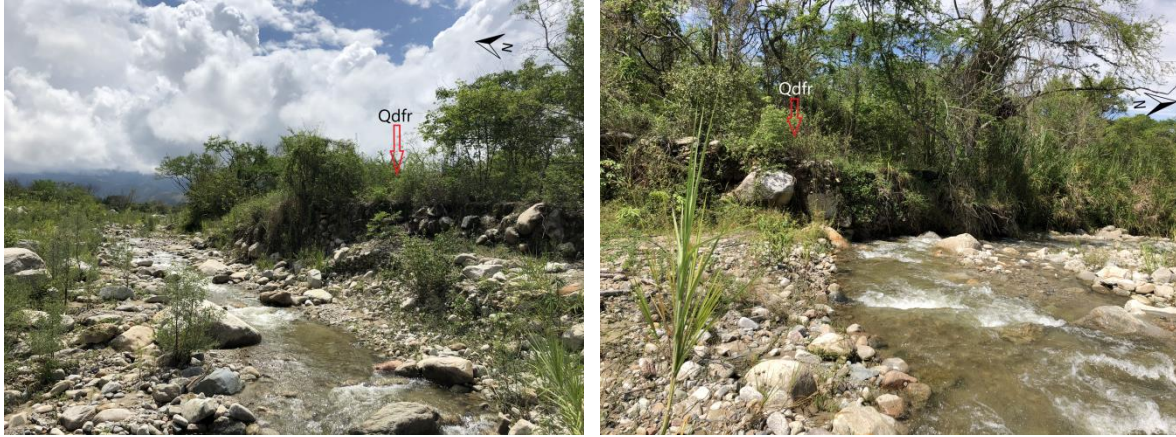


Figura 15. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr) de la Cuenca del Río Frío Rivera

11.2.3 Depósitos Fluviotorrencial Subrecientes (Qdfs).

Estos se localizan en la parte baja de la cuenca ocupando una extensión de 6 km^2 , con un espesor total entre 10 y 15 metros, poseen una sucesión de 3 eventos torrenciales (energía Alta) y 2 eventos de depositación fluvial normal (energía baja a moderada), el primer evento torrencial posee un espesor de 9 metros y esta compuesto por bloques (40 cm a 2 m), gravas y arenas, subredondeados y esféricos y clasto-soportado. El segundo evento torrencial tiene un espesor de 2 metros y está compuesto por gravas gruesas a limo, los clastos son subredondeados a redondeados y esféricos, y matriz-soportado. El ultimo evento posee un espesor de 1.5 metros y tiene la misma composición del evento anterior (Figura 16).



Figura 16. Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfr) de la Cuenca del Río Frio Rivera

11.2.4 Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qdfa).

Estos aunque no tienen una diferenciación muy alta según la elevación (10 a 15 m) y pendiente con respecto a las Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes, se caracterizan por ser disectadas por drenajes permanentes, tener una morfología ondulada y estar afectados por procesos erosivos; estos se localizan en la parte baja de la cuenca con una extensión de 8 km² (Figura 17).

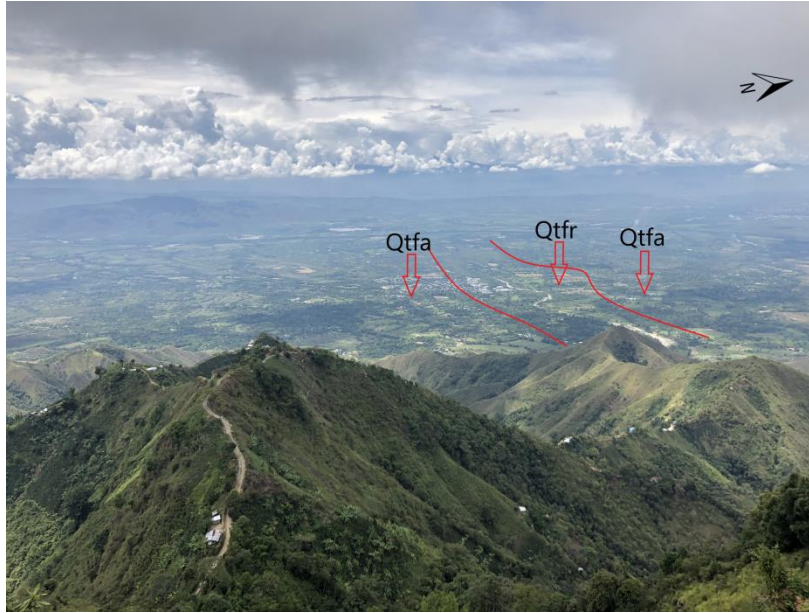


Figura 17. Depósitos Fluvio-torrenciales Antiguos (Qtfa) de la Cuenca del Río Frío Rivera

11.3 Cuenca Río Frío Campoalegre

En esta cuenca aflora el Monzogranito de Algeciras (Ja) de edad Jurásica, además, de 4 formaciones cuaternarias, Depósitos Fluvio-torrenciales Recientes (Qtfr), Depósitos Fluvio-torrenciales Subrecientes (Qtfsr) y los Depósitos Fluvio-torrenciales Antiguos (Qtfa). A continuación, se describe cada formación:

MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO FRÍO CAMPOALEGRE

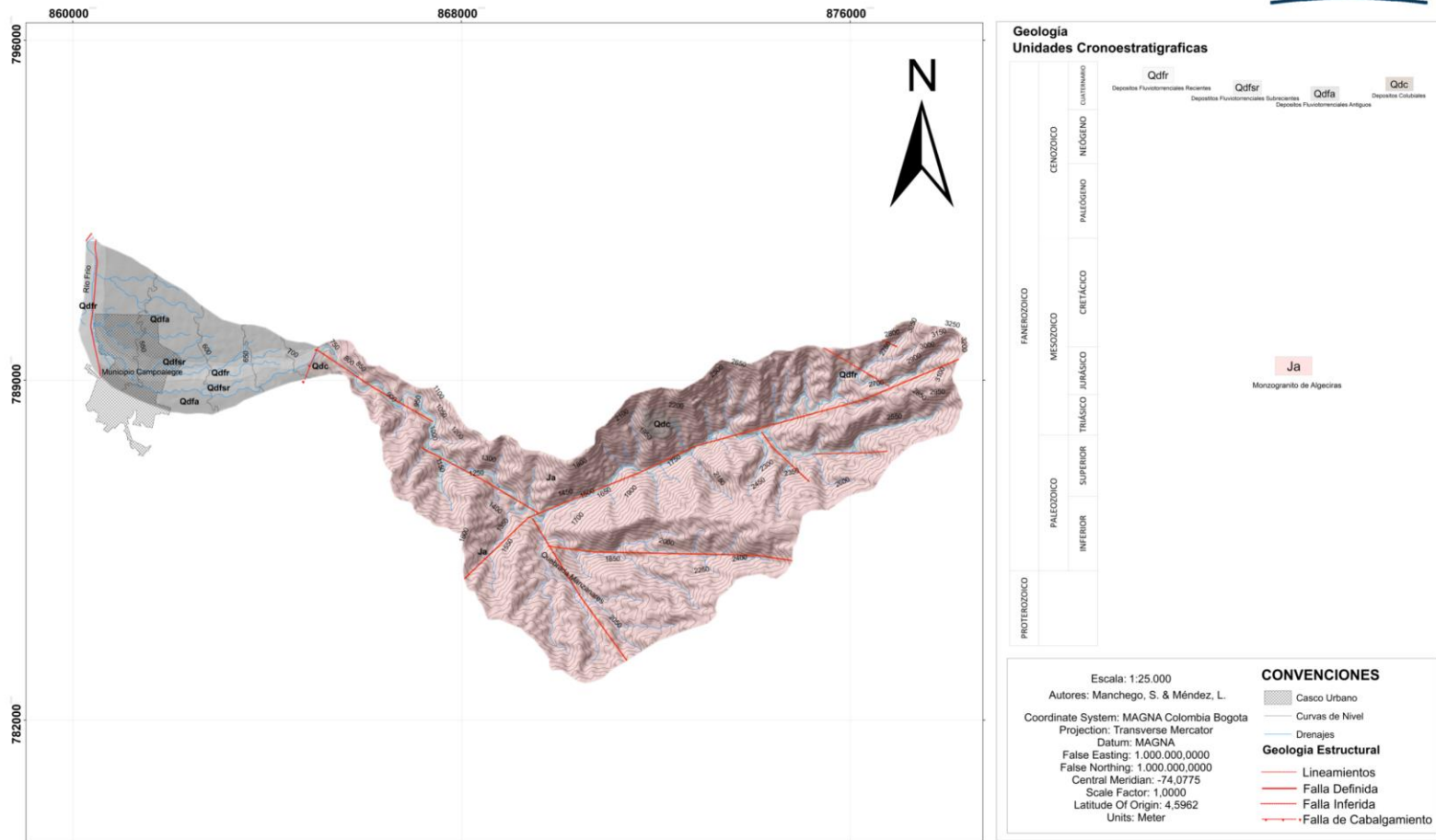


Figura 18. Geología de la Cuenca del Río Frío Campoalegre. Modificado con base en la cartografía de la plancha geológica 345 de Campoalegre del SGC.

11.3.1 Monzogranito de Algeciras (Ja).

Se localiza en la parte alta y media de la cuenca con una extensión de 44 km², Está compuesto por rocas graníticas félsicas y máficas; se observa la roca en buen estado clasificándose en un horizonte de meteorización III, y no se observa un fracturamiento sistemático del macizo rocoso.



Figura 19. Monzogranito de Algeciras (Ja) de la Cuenca del Río Frío Campoalegre

11.3.2 Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr).

Estos se encuentran desde la parte media a baja de la cuenca con una extensión de 4,5 km², están depositados de forma caótica y mal seleccionados variando desde arena y limo a bloques de 6 a 8 metros, generalmente son clasto-soportados y son subredondeados a redondeados y subprismáticos a esféricos, lo que evidencia su génesis torrencial y los altos niveles de energía necesarios para mover estos sedimentos, además de tener la particularidad de que su depositación está sobre los depósitos anteriores a este evento torrencial.



Figura 20. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr) Parte Alta (Izquierda) y Parte Baja (Derecha)

11.3.3 Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfr).

Estas se localizan en la parte baja de la cuenca, un área de 2 km² y un espesor total entre 3 a 5 metros, en su mayoría son matriz-soportadas, con una depositación caótica y mal seleccionada, los clastos generalmente son subredondeados a redondeados y subprismáticos a esféricos, su origen es netamente torrencial y los niveles de energía son altos.



Figura 21. Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfr) de la Cuenca del Río Frío Campoalegre

11.3.4 Depósitos Fluviotorrenciales Antiguas (Qdfa).

Se distribuyen en la parte baja de la cuenca con una extensión de 6 km². Estas aunque no tienen una diferenciación clara según la elevación (3 a 5 m) y pendiente con respecto a las Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes, se caracterizan por ser disectadas por drenajes permanentes y tener una morfología ondulada. (Se reconocieron mediante sensores remotos).

11.4 Cuenca Río Neiva

En esta cuenca aflora el Monzogranito de Algeciras (Ja) de edad Jurásica, el Grupo Garzón (PEgg) y las migmatitas del Grupo Garzón de edad Proterozoica, además, de 4 formaciones cuaternarias, Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr), Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfs), los Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qdfa) y Depósitos coluviales (Qdc). A continuación, se describe cada formación:

MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO NEIVA

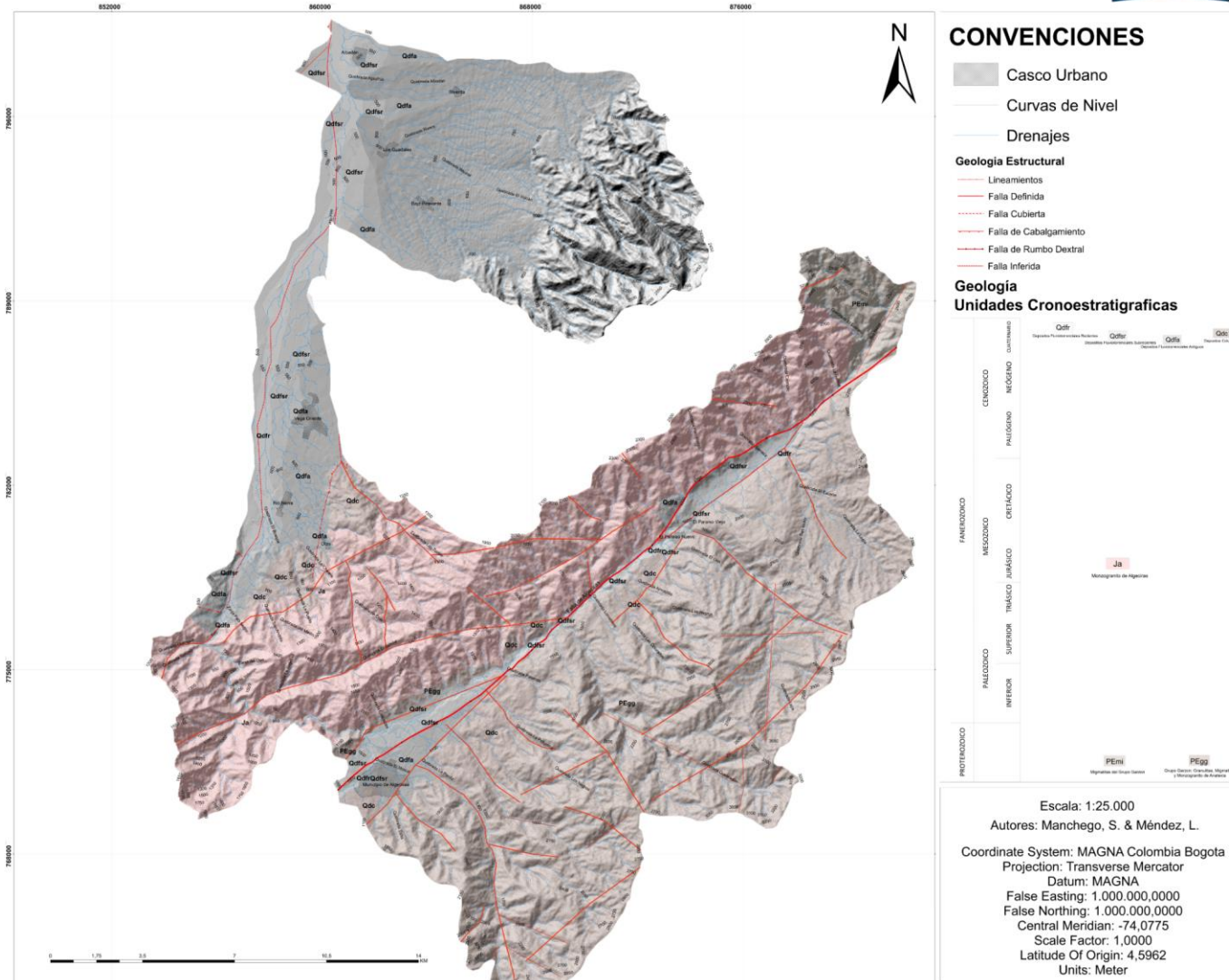


Figura 22. Geología de la Cuenca del Río Neiva. Modificado con base en la cartografía de la plancha geológica 345 de Campoalegre del SGC.

11.4.1 Monzogranito de Algeciras (Ja).

Se distribuye de SW-NE con una extensión de 128 km² en la cuenca, se evidencio un afloramiento correspondiente a este cuerpo, el cual se aprecia claramente una intercalación de rocas cristalinas máficas y félsicas de este cuerpo intrusivo. El macizo allí expone un horizonte meteorización IIB y se observa también un leve fracturamiento de la roca (Figura 23).



Figura 23. Monzogranito de Algeciras (Ja) de la Cuenca del Río Neiva

11.4.2 Grupo Garzón (PEgg).

Esta formación se evidenció en la cuenca alta sobre el margen derecho del río Neiva con un área de 191 km²; no fue posible realizar una estación litológica sobre toda la unidad debido a las condiciones topográficas del sector, pero cabe resaltar que el Grupo Garzón fue descrito en el capítulo de la geología regional. Además, es importante mencionar que se observa claramente un cambio de litología sobre ambos márgenes del río Neiva ya que allí se encuentra un contacto fallado producto de la Falla Algeciras.



Figura 24. Grupo Garzón (PEgg) y Monzogranito de Algeciras (Ja) de la Cuenca del río Neiva

11.4.3 Migmatitas del Grupo Garzón (PEmi).

Esta unidad litológica se evidenció en la parte alta de la cuenca del Río Neiva con una extensión de 12 Km². La roca está compuesta por minerales como cuarzo, plagioclasa y piroxeno, además, del bandeamiento característico de este tipo de rocas. El afloramiento presenta un horizonte de meteorización IIB-III y es claro observar las venas de cuarzo presentes en la roca (Figura 25).



Figura 25. Migmatitas del Grupo Garzón (PEmi) de la Cuenca del Río Neiva

11.4.4 Depósitos Coluviales (Qdc).

En la cuenca del río Neiva se encontraron ocho depósitos de este tipo, 6 en la parte media y 2 en la parte baja de la cuenca, abarcando un área total de 24,5 Km², estos últimos son la unión de varios depósitos coluviales contiguos generados por la erosión del Monzogranito de Algeciras y se depositan sobre los Depósitos Fluviotorrenciales Antiguas. En cuanto a la parte media de la cuenca, 2 se localizan en el margen derecho del río y están en contacto con los Depósitos Fluviotorrenciales Recientes, los 4 localizados en la margen izquierda del río 2 están en contacto con los Depósitos Fluviotorrenciales Recientes, 1 en contacto con los Depósitos Fluviotorrenciales Recientes y el de mayor extensión el cual es la unión de varios depósitos contiguos de génesis coluvial, se deposita sobre las Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas.



Figura 26. Depósitos Coluvial (Qdc) de la Cuenca del Río Neiva

11.4.5 Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr).

Estos se observaron desde la parte alta de la cuenca hasta la desembocadura del río Neiva en el río Magdalena, con un área de 23 Km², en la mayoría de estos se observa la reciente depositación del episodio torrencial del 21 de Febrero del 2017, lo que indica que la dinámica y el retrabajamiento de estos depósitos es continuo, además de tener una pobre selección y estar

depositados de forma caótica, compuestos por bloques (hasta de 5 metros), gravas y arenas gruesas, lo que evidencia los altos niveles de energía necesarios para mover estos sedimentos, generalmente son clasto-soportados y son subredondeados a redondeados y subprismáticos a esféricos.



Figura 27. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr) de la Cuenca del Río Neiva

11.4.6 Depósitos Fluviotorrenciales Subrecientes (Qdfr).

Estos se localizan desde la parte media de la cuenca hasta la parte baja de la misma, con una extensión de 30,5 Km², tienen alturas entre los 4 a 12 metros, con una composición mal seleccionada de bloques (2 a 5 metros), gravas y arena fina, depositados de forma caótica y con algunos bloques sobresaliendo en la superficie de estas, con génesis torrencial y niveles de energía altos, generalmente son matriz-soportados y los clastos generalmente son subredondeados a redondeados y subprismáticos a esféricos.



Figura 28. Depósitos Fluvio-torrenciales Subcrecientes (Qdfr) de la Cuenca del Río Neiva

11.4.7 Depósitos Fluvio-torrenciales Antiguos (Qdfa).

Estas se localizan desde la parte media a baja de la cuenca ocupando un área de 32 Km², teniendo alturas entre los 12 a 25 metros, con una composición mal seleccionada y caótica de bloques (1 a 3 metros), gravas, arenas y limos, son matriz-soportados y están disectados por drenajes permanentes y son afectados por movimientos gravitacionales y un nivel de erosión mayor, estos son determinados como mixtos debido a que cada episodio torrencial es espaciado por una depositación fluvial de baja energía.

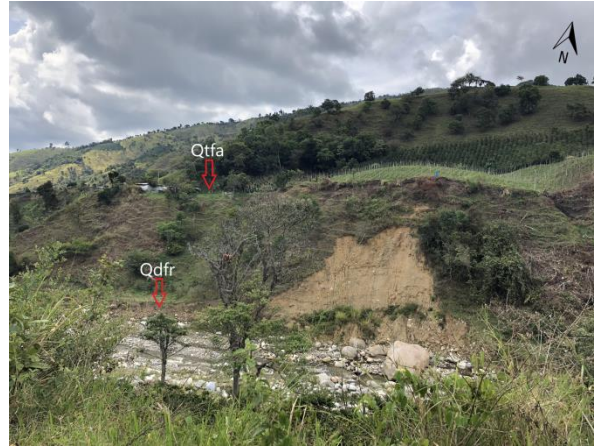


Figura 29. Depósitos Fluviotorrenciales Antiguos (Qdfa) de la Cuenca del Río Neiva

12 Geología Estructural

Las cuencas en estudio se localizan en la parte sur del Valle Superior del Magdalena, el Macizo de Garzón y el flanco este de la Cordillera Central. El área ha sido afectada por eventos tectónicos superpuestos que incluyen plegamiento y fallamiento. Los principales rasgos estructurales corresponden a fallas, pliegues, zonas de cizalla y lineamientos que controlan gran parte la topografía de la región.

Las cuencas dentro de la zona de estudio se encuentran dentro del área de influencia del Sistema de Fallas de Algeciras donde sobresalen algunas estructuras asociadas a este sistema como la Falla Algeciras, Falla Altamira, Falla San Antonio, Falla El Pital y Falla Buenavista.

El Sistema de Fallas de Algeciras constituye un conjunto de fallas con una cinemática transcurrente dextral, que se extiende con una orientación N40°E, a través de la parte central de la Cordillera Oriental en el suroccidente de Colombia y continua hacia el sur, en un tramo de más de 800 km dentro del Ecuador y el Golfo de Guayaquil (Acosta & Osorno, 1999).

La zona de falla principal presenta un ancho de 25 km aproximadamente, y está compuesta por segmentos de falla con dirección NE, que presentan un patrón anastomosado a manera de dúplex compresionales, controlado en sus límites por segmentos transcurrentes dispuestos en relevos a la derecha que forman pequeñas cuencas de tracción (Acosta & Osorno, 1999).

A continuación, se describen las principales características de las estructuras geológicas presentes en la zona de estudio y sus alrededores.

12.1 Falla San Antonio

Presenta una extensión de 23 km, su traza es ligeramente sinuosa. Al SW de la plancha 324, muestra una dirección de rumbo al NE en cercanías a San Antonio su rumbo es ENE. Es una

falla dextral con buzamiento subvertical y en bloque NW y se encuentra cortando el flanco Oriental del Sinclinal de San Antonio (Acosta & Osorno, 1999).

La Falla San Antonio se encuentra en el área de estudio atravesando la cuenca del Río Ceibas (Figura 30).

12.2 Falla El Pital

Corresponde a una estructura de cabalgamiento con dirección N-S que divide la Formación La Seca y la Formación Olini. Se encuentra en el costado nororiental de la cuenca del Río Ceibas donde es cortada por la Falla San Antonio que presenta en este punto una dirección NE-SW; la falla El Pital define el costado occidental del Sinclinal de San Antonio (Acosta & Osorno, 1999) (Figura 30).

12.3 Falla Buenavista

Se encuentra en el costado noroccidental de la zona de estudio al oriente de la cuenca del río Ceibas, corresponde a una estructura inferida en dirección N-S que se presenta en tramos como una falla de cabalgamiento buzando hacia el NW levantando las rocas del Grupo Honda sobre la Formación Gigante (Acosta & Osorno, 1999) (Figura 30).

12.4 Falla de Altamira

La Falla de Altamira se divide de la Falla Algeciras hacia la zona Sur del valle de Balsillas; se caracteriza por presentar un trazado hacia el NE en la zona Sur, posteriormente gira hacia el NNE en el sector central y toma vuelve a tomar un rumbo NE después de unirse con la Falla San Antonio; se encuentra controlando gran parte del Río Fortalecillas y parte de la Quebrada el Hoyo. Esta es de tipo inverso con componente dextral y el plano de falla es aproximadamente en 60° a 70° hacia el Sureste, presentado su vergencia al Noroeste (Acosta & Osorno, 1999).

La Falla Altamira se encuentra limitando al Oeste de la cuenca del Río Neiva el Monzogranito de Algeciras (Ja) y Grupo Garzón (PEgg) (Figura 33).

12.5 Falla Algeciras

La Falla de Algeciras se caracteriza por ser la traza principal del Sistema de Fallas Algeciras. Esta falla presenta una extensión de 60 km y una dirección de rumbo N45°E; esta además presenta en la zona Sur una dirección de rumbo N35°E, hacia el NE expone una curva hasta presentar una dirección predominante N55°E controlando el curso del Río Guayabero en la cuenca alta, donde se pueden evidenciar valles tectónicos con rellenos de sedimentos Cuaternarios (Acosta y Osorno, 1999).

La Falla Algeciras se encuentra trazada en la cuenca del Río Neiva la cual se encuentra limitando el Monzogranito de Algeciras (Ja) y Grupo Garzón (PEgg) (Figura 33).

12.6 Pliegues

Los pliegues corresponden a anticlinales relativamente estrechos y alargados y sinclinales amplios y de moderada extensión, con rumbo aproximado noreste- suroeste. Estos pliegues se relacionan básicamente con cabalgamientos. El origen y formación del cinturón de pliegues y cabalgamientos del piedemonte occidental de la Cordillera Oriental en este sector, obedece en gran parte a un mecanismo de propagación de fallas desde el basamento hacia niveles estratigráficos más altos en las secuencias del Paleógeno-Neógeno (Acosta & Osorno, 1999).

12.7 Sinclinal de San Antonio

Se caracteriza por exponer una forma asimétrica con dirección NNE Y con cabeceo al SSW; el flanco occidental presenta un buzamiento mayor que el flanco oriental. Tiene una amplitud de 8 km y se extiende longitudinalmente a lo largo de aproximadamente 15 km. El Sinclinal de San

Antonio está compuesto por las formaciones Hondita-Loma Gorda, Olini, La Tabla, La Seca entre otras.

El Sinclinal de San Antonio se encuentra en el área de estudio en gran parte sobre la cuenca del Río Ceibas y según (Acosta & Osorno, 1999) el núcleo de este es constituido por la Formación Tesalia y Baché (Figura 30).

Estas estructuras geológicas afectan específicamente a las siguientes cuencas:

MAPA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RIO CEIBAS

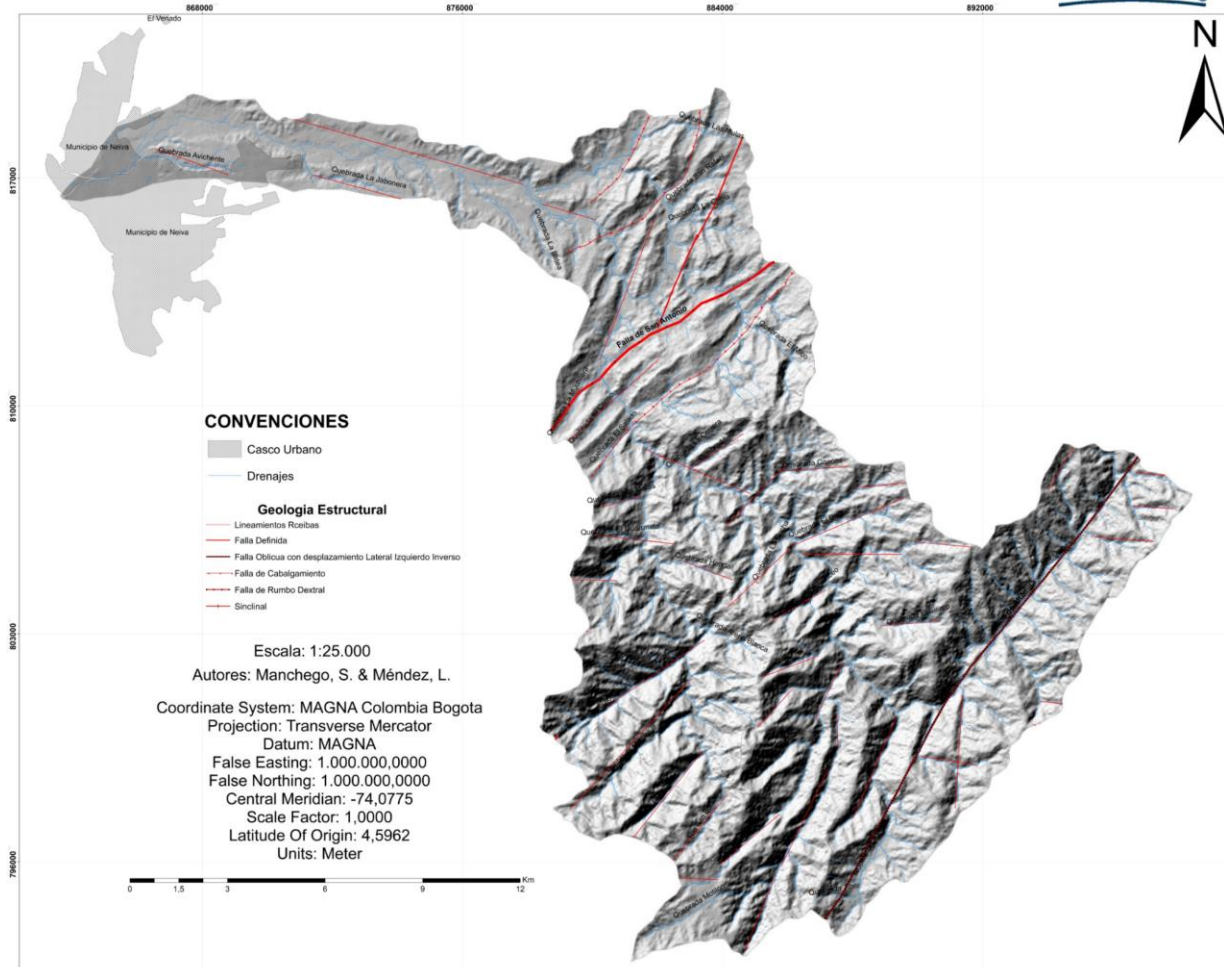


Figura 30. Geología Estructural de la Cuenca del Río Ceibas

En la cuenca del río Ceibas se observan diferentes estructuras entre ellas La Falla de Altamira la cual afecta la parte alta de la cuenca, controlando el cauce principal en sentido SW-NE; La Falla de San Antonio la cual afecta la zona media de la cuenca perjudicando a las formaciones cretácicas Bache, Seca y Palermo. Por otro lado el Sinclinal de San Antonio ubicado en la parte media de la cuenca el cual afecta las formaciones Cretácicas, Paleógenas y Neógenas. Por último se presentan tres fallas de cabalgamiento localizadas todas en la parte media de la cuenca, las cuales afectan a la Formación Yavi, Caballo, Hondita, Loma Gorda, Olini, Tabla y Seca.

MAPA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RIO FRIO RIVERA

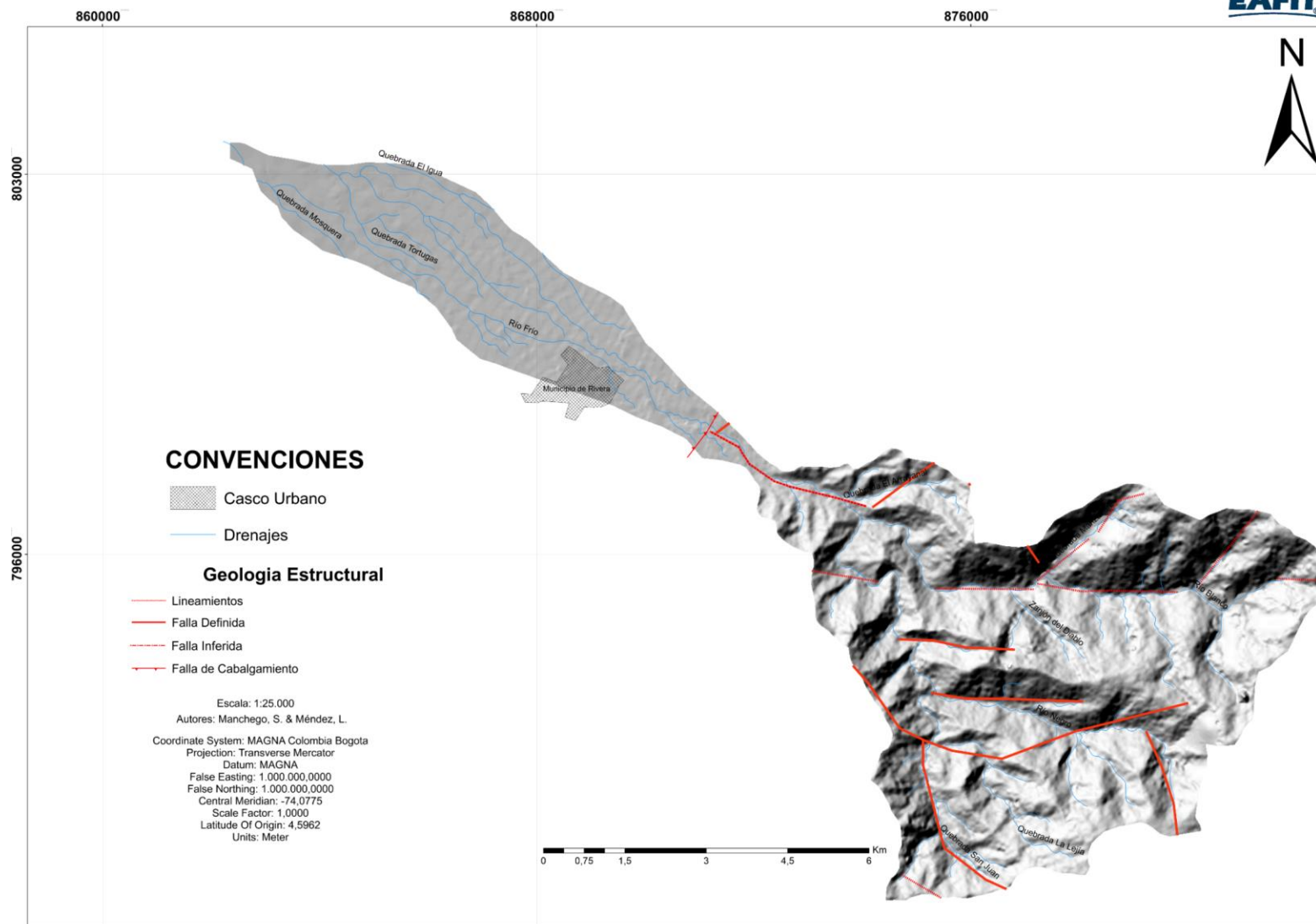


Figura 31. Geología Estructural de la Cuenca del Río Frio Rivera

En la cuenca del río Frío Rivera se encuentran varias fallas definidas (sin nombre) las cuales se distribuyen desde la parte alta hasta la zona media de la cuenca, con direcciones predominantes en sentido E-W (con variaciones en el buzamiento) y una falla de cabalgamiento en la parte baja de la cuenca la cual afecta a los depósitos cuaternarios. Además, de una falla inferida localizada en la zona media de la cuenca que afecta al Monzogranito de Algeciras y los depósitos cuaternarios.

MAPA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RIO FRIO CAMPOALEGRE

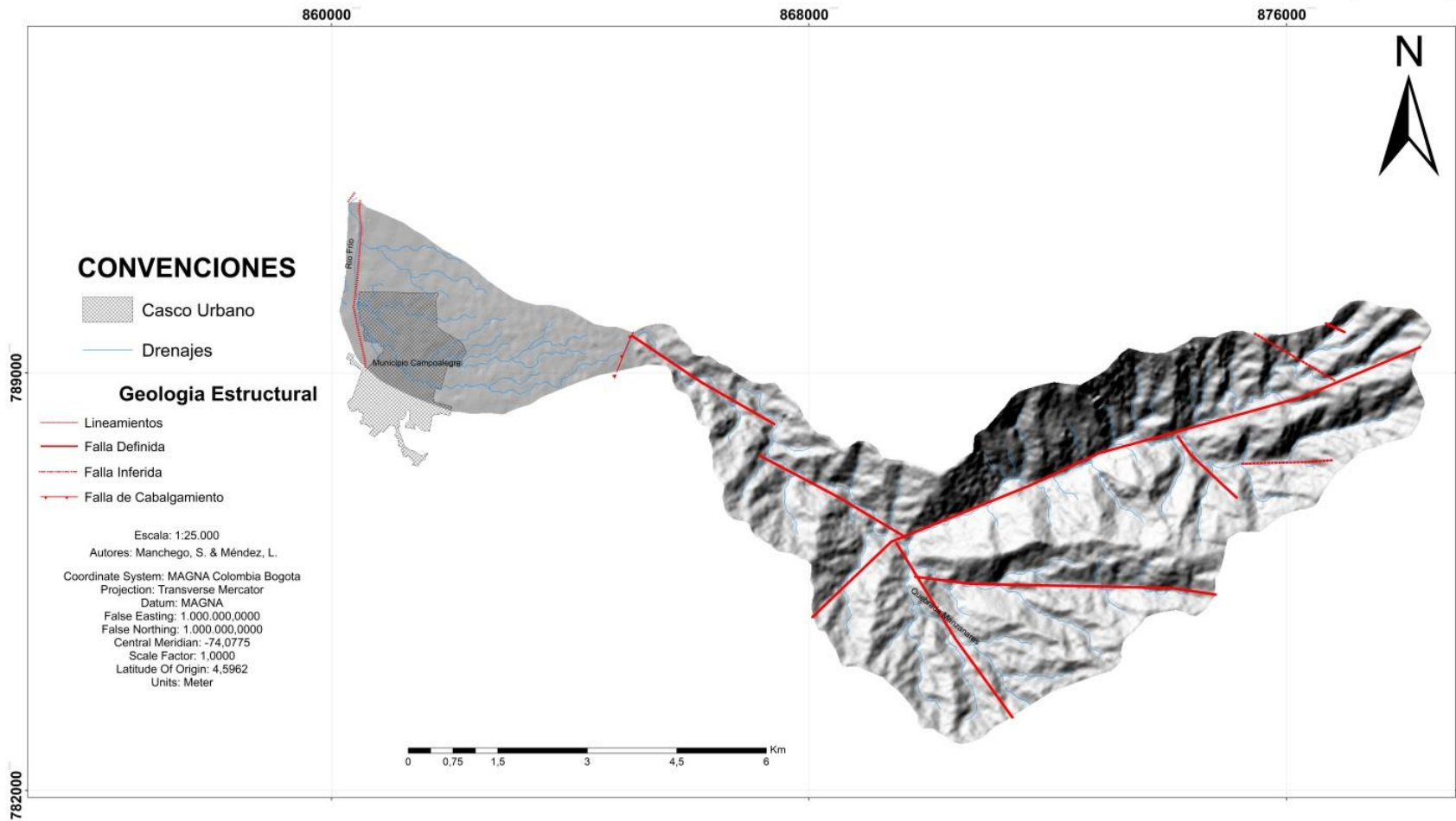


Figura 32. Geología Estructural de la Cuenca del Río Frio Campoalegre.

En la cuenca del río Frío Campoalegre se presentan diferentes fallas definidas (sin nombre) las cuales se encuentran desde la parte alta hasta la zona media de la cuenca, con direcciones predominantes en sentido E-W (con variaciones en el buzamiento) y una falla de cabalgamiento en la parte baja de la cuenca la cual afecta a los depósitos cuaternarios.

MAPA ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL RIO NEIVA

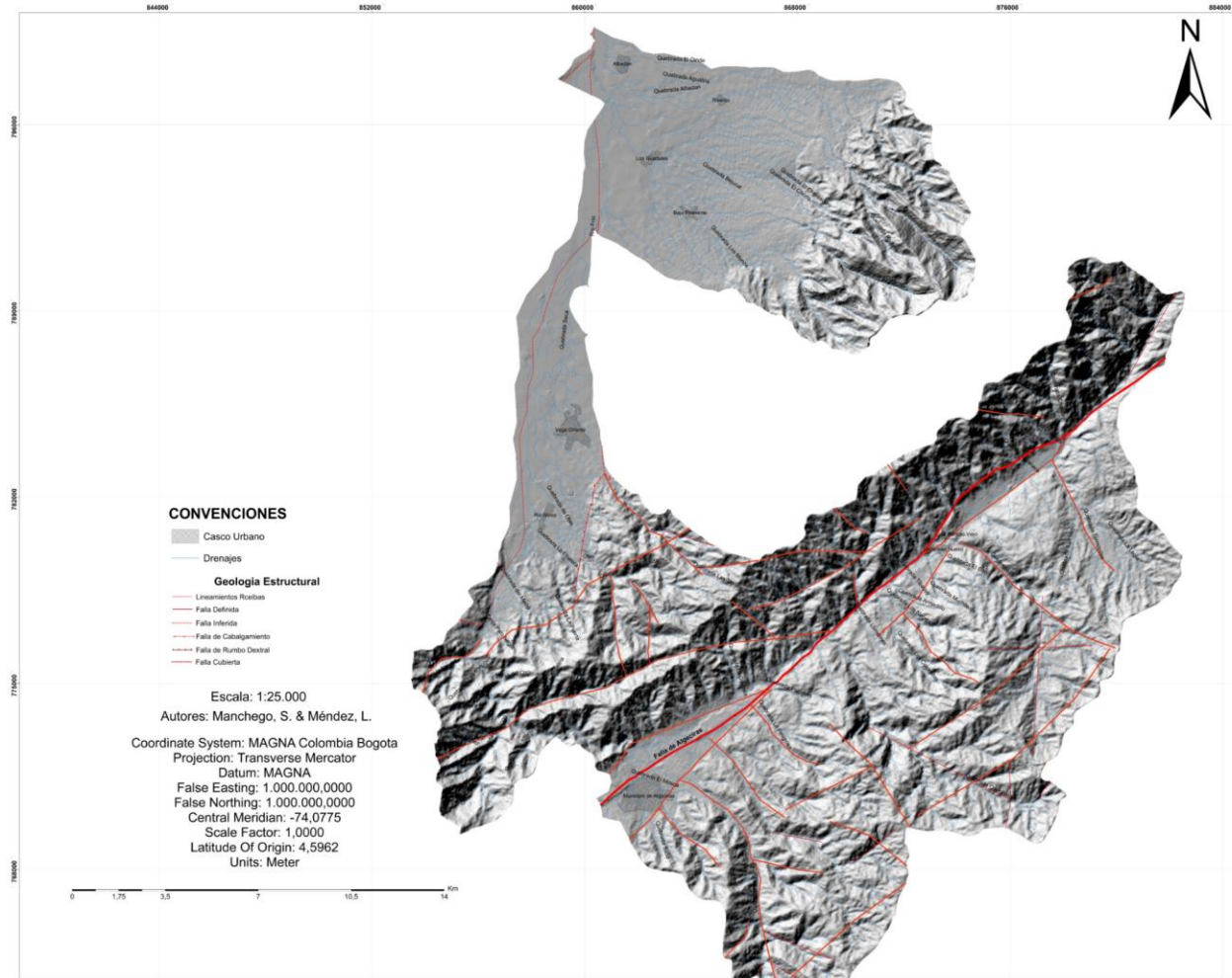


Figura 33. Geología Estructural de la Cuenca del Río Neiva.

En la cuenca del río Neiva se evidencian varias fallas definidas, inferidas y cubiertas, con dos direcciones predominantes: una en sentido SW-NE y la otra N-S, dos fallas de cabalgamiento en la parte baja de la cuenca las cuales afectan a los depósitos cuaternarios, y por último la Falla Algeciras caracterizada por ser de rumbo dextral y que ejerce un control sobre el río Neiva en la parte alta y media de la cuenca con dirección SW-NE.

12.8 Lineamientos

La identificación de los lineamientos se realizó a partir del Modelo de Elevación Digital de la zona de estudio, el criterio principal utilizado fue la repetición de alineaciones y la continuidad de estas en diferentes direcciones de iluminación para resaltar las características principales de los lineamientos perpendiculares a dicha dirección de iluminación. Además, se utilizaron criterios geomorfológicos, como redes lineales de drenaje, escarpes rectos, contraste de tonalidades, cambios de pendiente y variaciones altimétricas. De este análisis se reconocieron un total de 224 lineamientos que fueron cartografiados y posteriormente analizados en un diagrama de rosas (Figura 34).

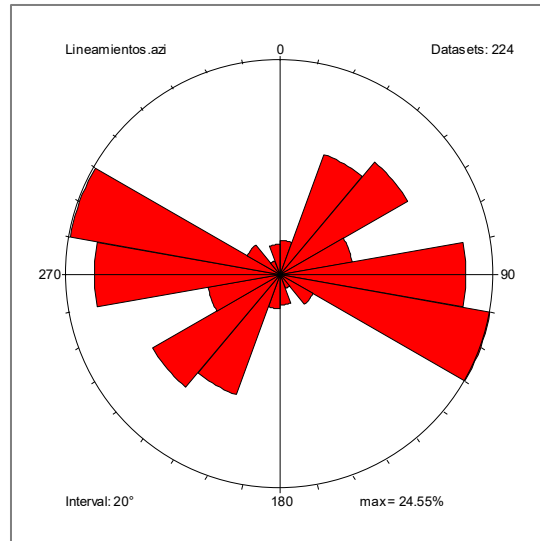


Figura 34. Diagrama de Rosas

La zona presenta tres direcciones preferenciales de lineamientos, una NW-SE, E-W y otra NE-SW. El diagrama de rosas de la (Figura 34) muestra como los lineamientos fueron agrupados en 3 tendencias de acuerdo con la frecuencia en que se encontraron dentro de la zona de estudio. En el diagrama se identificaron 3 orientaciones principales que varían entre los 20° y los 120° donde están las tendencias más relevantes de los lineamientos de la zona de estudio.

La orientación 280°-300° presenta la mayor frecuencia con el 24% del total de lineamientos (Figura 34), esta clase se encuentra distribuida a lo largo de la zona de estudio sin ninguna concentración predominante en alguna unidad geomorfológica. Los lineamientos con esta tendencia se encuentran asociados drenajes cortos de la zona de estudio.

La orientación 260°-280° presenta lineamientos con el 22% de la frecuencia total de lineamientos (Figura 34), esta clase se encuentra a lo largo de la zona de estudio. Los lineamientos de esta tendencia están asociados a drenajes largos que se encuentran en la zona de estudio. Además, presentan fuertes cambios de pendientes en los cañones de los drenajes.

La orientación 220°-240° presenta lineamientos con una dirección en sentido NE-SW con el 17% de frecuencia en el total de los lineamientos (Figura 34), esta tendencia se encuentra dispersa por toda la cuenca y está relacionada con los cañones profundos de los principales sistemas de drenaje de la zona de Estudio

La orientación 200°-220° abarca el 15% del total de los lineamientos encontrados (Figura 34), esta tendencia se encuentra dispersa en toda la zona de estudio. En general está asociada a drenajes rectos y largos dentro de la zona de estudio.

En la zona existen otras tendencias de lineamientos con frecuencias menores que suman el 22% de la frecuencia total de los lineamientos analizados. Estas tendencias se encuentran distribuidos a lo largo de la zona de estudio y no presentan una correlación espacial en la zona.

13 Geomorfología Local de las Cuencas

La caracterización geomorfológica de las cuencas de interés y la subdivisión de las unidades geomorfológicas se realizó con base en la interpretación de sensores remotos, fotografías aéreas, observaciones de campo y la Propuesta Metodológica Sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano; Subdividiendo las unidades geomorfológicas según su altura con respecto al nivel del mar y su longitud espacial en el terreno.

La zona de estudio se caracteriza por tener en la parte alta un relieve predominantemente montañoso con pendientes moderadas a fuertes, con escarpes verticales desarrollados en su mayoría sobre un sustrato rocoso de litología cristalina (Monzogranito de Algeciras y Grupo Garzón). En la parte baja hay un cambio abrupto en cuanto al relieve, desarrollándose pendientes más suaves en ambientes denudativos y fluvial.

En la cuenca se observaron 3 ambientes geomorfológicos: (1) ambiente denudacional, representado por lóbulos coluviales, cerros remanentes, cerros residuales, escarpes de erosión mayores y menores, lomas denudadas, lomeríos, laderas erosivas, sierras denudadas, entre otros; (2) ambiente Estructural, caracterizado por ser el de mayor influencia en las geoformas a escala regional, compuesta por Espolones, lomos de falla, escarpes de línea de falla, sierras homoclinales, entre otros; por último el (3) ambiente fluvial, observándose generalmente en la parte media y baja de las cuencas, las geoformas se encuentran adyacentes al cauce de los ríos de interés, conformado por depósitos recientes, subrecientes y antiguos.

13.1 Cuenca del río Ceibas

Esta cuenca se compone por 3 ambientes geomorfológicos: ambiente denudacional el cual se compone por Cerros Remanentes (Dcrem), Cerros Residuales (Dcrs), Escarpes de Erosión Menor (Deem), Lomeríos (Dldi), Laderas Erosivas (Del), Sierra Denudada (Dsd), Sierra Residual (Dsr), entre otras; ambiente estructural compuesto por Espolones (Ses), Ganchos de Flexión (Sgf), Lomos de Falla (Slf), Escarpe de Línea de Falla (Slfe), Planchas (Sp), Sierras Homoclinales (Ssh), Sierras (Ss), Laderas de Contrapendiente de Sierra Sinclinal (Ssslc) y Laderas Estructurales de Sierras Sinclinales (Sssle) entre otras. Por otro lado se encuentran las unidades de origen fluvial, Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (Ftfsr), Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfr) y Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa).

MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO CEIBAS

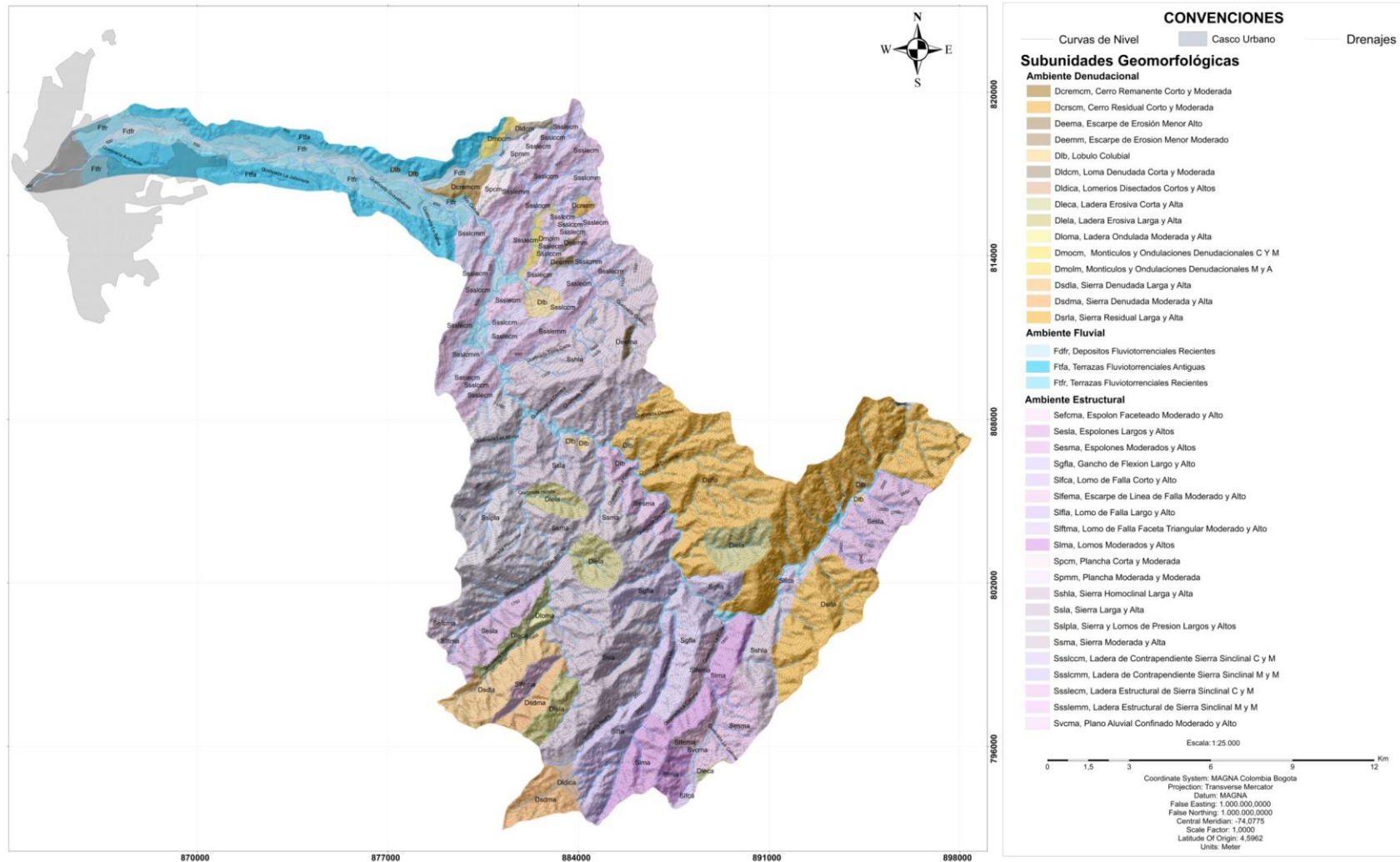


Figura 35. Geomorfología de la Cuenca del Río Ceibas. Modificado con base en la cartografía de la plancha geomorfológica 323 de Neiva del SGC.

13.1.1 Ambiente denudacional.

Cerro Remanente (Dcrem). Esta geoforma se caracteriza por presentar una morfología colinada a alomada que sobresale de la topografía circundante de cimas agudas a redondeadas, con laderas de longitud corta, con pendiente muy inclinadas a planas a suaves, y forma irregular, esta se subdividió como Cerro Remanente corto y moderado (Dcremcm), con un área de 1 Km².

Tabla 1. Subunidades Cerro Remanente Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------------|----------------------------------|---|
| Cerro Remanente | Cerro Remanente Corto y Moderado | Sobrepastoreo y Deslizamientos rotacionales |

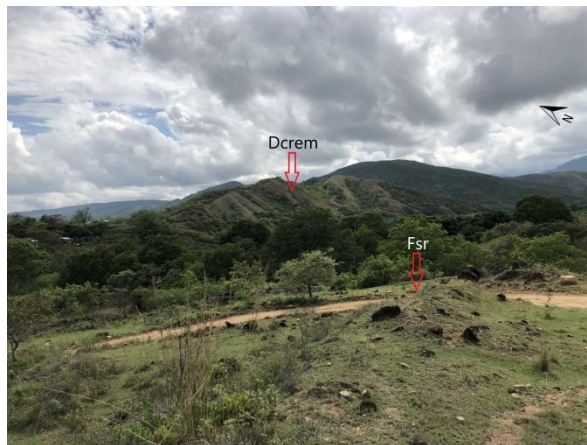


Figura 36. Cerró Remanente (Dcrem) y Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (Ftfsr) de la Cuenca del Río Ceibas

Cerro Residual (Dcrs). Geoforma que se distribuye con una mínima extensión, definida como pequeños cerros alomados que sobresalen a la superficie, con laderas de pendientes planas a suaves, de forma recta; se subdividió como Cerro Residual corto y moderado (Dcrscm), con un área de 0,5 Km².

Tabla 2. Subunidades Cerro Residual Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|----------------|---------------------------------|---|
| Cerro Residual | Cerro Residual Corto y Moderada | No presenta Movimientos Gravitacionales |

Escarpe de Erosión Menor (Deem). Es caracterizado por presentar laderas abruptas de longitud corta a muy corta, de forma cóncava a convexa, con pendientes escarpadas, originadas por la socavación fluvial lateral de los ríos Magdalena y Ceibas y, por procesos de erosión y movimientos en masa. Algunos de estos escarpes cubren parte del casco urbano de la ciudad de Neiva, lo que indica que la influencia antrópica favorece la alta susceptibilidad de movimientos en masa, este se subdividió en dos unidades Escarpe de Erosión Menor Alto (Deema) y Escarpe de Erosión Menor Moderado (Deemm), con una extensión de 1,5 km².

Tabla 3. Subunidades Escarpe de Erosión Menor Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Escarpe de Erosión Menor | Escarpe de Erosión Menor Alto | Deslizamientos Rotacionales |
| | Escarpe de Erosión Menor Moderado | Deslizamientos Traslacionales |

Lóbulo Coluvial (Dlb). Estas geoformas exponen formas de conos y lóbulos alomados bajos distribuyéndose a lo largo de la zona Oeste de Norte a Sur de la zona de estudio, hacia la parte baja de las provincias tectónicas central y occidental, encontrándose en contacto con unidades estructurales.

Su origen está relacionado por procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales, están constituidos por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a areno limo arcillosa, asociados a depósitos de pendiente y depósitos coluviales;

Además, se encuentra predominando un patrón de drenaje dendrítico y subdendrítico y en total ocupan un área de 5 km² (SGC Plancha 323-Neiva, 2014)

Tabla 4. Unidad Lóbulo Coluvial Río Ceibas

| Unidad | Procesos |
|-----------------|--|
| Lóbulo Coluvial | Deslizamientos Rotacionales y traslacionales |



Figura 37. Lóbulo Coluvial (Dlb) y Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (Ftsr) de la Cuenca del Río Ceibas

Loma Denudada (Dld). Salientes topográficas de alturas entre 100 m y 150 m, donde predomina una morfología alomada a colinada y elongada, laderas cortas a muy cortas, forma convexa y pendientes muy inclinadas a escarpadas; se encuentran definidas hacia el Sur y Noreste de la cuenca, su origen se relaciona con procesos de meteorización y erosión intensos. El patrón de drenaje es subdendrítico y dendrítico. Hacia el suroeste se registró dos movimientos en masa de tipo traslacional, el material se encuentra altamente meteorizado, que favorece a la inestabilidad de la zona, se subdividió en una Loma Denudada corta y moderada (Dldcm) y ocupa una extensión de 1 km².

Tabla 5. Subunidad Loma Denudada Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------|--------------------------------|---------------------|
| Loma Denudada | Loma Denudada Corta y Moderada | Erosión Superficial |

Lomeríos Disectados (Dldi). Muestra salientes topográficas de morfología alomada, con cimas redondeadas y semi agudas, de laderas corta a largas, de formas rectas, cóncavas y convexas, con pendientes muy inclinadas a muy abruptas e índice de relieve bajo. Se encuentran hacia el Suroeste de la cuenca. Su origen está relacionado principalmente a procesos de denudación intensos e influencia tectónica, por lo cual sus laderas presentan moderada disección, se subdividió en Lomeríos Disectados cortos y altos (Dldica), con un área de 1 km².

Tabla 6. Subunidades Lomeríos Disectados Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------------|------------------------------------|----------------|
| Lomeríos Disectados | Lomeríos Disectados Cortos y Altos | Deslizamientos |

Ladera Erosiva (Dle). Presenta áreas de terreno de morfología alomada, pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, con patrón de drenaje dendrítico a subparalelo. Exponen procesos erosivos de terracetas, surcos y laminar, y movimientos en masa de pequeñas dimensiones por causa de fallamiento por corte de las carreteras veredales; especialmente de suelo residual producto de la intensa meteorización que ha tenido el material rocoso.

Se desarrollan hacia la parte central, y principalmente Este de la zona de estudio, modelando Formaciones sedimentarias del cretácico e ígneas del jurásico y se subdividieron en Ladera Erosiva corta y Alta (Dleca) (1,5 km²) y Ladera Erosiva larga y alta (Dlela) (11 km²).

Tabla 7. Subunidades Ladera Erosiva Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Ladera Erosiva | Ladera Erosiva Corta y Alta | Deslizamientos |
| | Ladera Erosiva Larga y Alta | Sobrepastoreo y Deslizamientos |

Ladera Ondulada (Dlo). Superficie alomada a colinada, de pendiente inclinada a escarpada, longitud variable entre corta a larga. Predomina un patrón típico dendrítico a subparalelo. Esta unidad se desarrolla hacia la parte Sureste del área en contacto con unidades fluviales principalmente influenciadas por la densa red hídrica que la contiene. No se relacionan movimientos en masa sobre la unidad; sin embargo, presenta alta intensidad de procesos erosivos como surcos y laminar, se subdividió en Ladera Ondulada moderada y alta (Dloma), con un área de 0,5 km².

Tabla 8. Subunidades Ladera Ondulada Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------------|---------------------------------|---|
| Ladera Ondulada | Ladera Ondulada Moderada y Alta | No presenta Movimientos Gravitacionales |

Montículos y Ondulaciones Denudacionales (Dmo). Se distribuye hacia el Norte de la zona de estudio, con desarrollo de drenaje dendrítico de baja a media frecuencia y textura fina que desemboca en el río Magdalena; las laderas son muy cortas, irregulares e inclinadas; estas formas se asocian a procesos de meteorización y erosión por influencia fluvial; geológicamente esta unidad se desarrolla sobre depósitos aluviales, la intensidad de erosión es severa de tipo laminar y terracetas.

Se observan algunos procesos de remoción, la densidad de estos se interpreta que se presenta inestabilidad en la unidad o detonantes de tipo geológico como la litología que presumiblemente

presenta baja compactación o competencia y se subdividió en Montículos y Ondulaciones Denudacionales cortos y moderados (Dmocm) (1 km²) y Montículos y Ondulaciones Denudacionales moderados y altos (Dmoma) (0,5 km²).

Tabla 9. Subunidades Montículos y Ondulaciones Denudacionales Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|--|---|-------------------------------|
| Montículos y Ondulaciones Denudacionales | Montículos y Ondulaciones Denudacionales Cortos y Moderados | Deslizamientos Rotacionales |
| | Montículos y Ondulaciones Denudacionales Moderados y Altos | Deslizamientos Traslacionales |

Sierra Denudada (Dsd). Se encuentra distribuida hacia el Este de la cuenca. Modelando las unidades geológicas Ígneas (Monzogranito de Algeciras (Ja)); con prominencias topográficas de morfología montañosa y elongada, de relieve mayor a 400 metros, de laderas largas a moderadas, cóncavas, convexas e irregulares, drenaje dendrítico, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión como terracetos (“Sobrepastoreo”) y de movimientos en masa acentuados. Identificando un predominio de Deslizamientos traslacionales, su origen se asocia a procesos de erosión acentuada en sustrato rocoso homogéneo ígneo, se subdivide en Sierra Denudada larga y alta (Dsdla) (6 km²) y Sierra Denudada moderada y alta (Dsdma) (5 km²).

Tabla 10. Subunidades Sierra Denudada Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------|
| Sierra Denudada | Sierra Denudada Larga y Alta | Deslizamientos y Flujos |
| | Sierra Denudada Moderada y Alta | Deslizamientos |

Sierra Residual (Dsr). Se encuentra localizada hacia el Oriente de la zona. Posee una morfología montañosa, laderas largas, de forma recta y cóncavas, pendientes muy abruptas a escarpadas. Su génesis está relacionada a meteorización intensa de las rocas metamórficas del Grupo Garzón, debido a la influencia tectónica de fallas definidas. Predomina un patrón de drenaje dendrítico de alta frecuencia y densidad, se subdividió en Sierra Residual larga y alta (Dsrla) (52 km²).

Tabla 11. Subunidades Sierra Residual Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------------|------------------------------|-------------------------|
| Sierra Residual | Sierra Residual Larga y Alta | Deslizamientos y Flujos |

13.1.2 Ambiente estructural.

Espolón Faceteado (Sefc). Expone una morfología montañosa, laderas de longitud larga, con pendientes muy abruptas a escarpas, de forma cóncava y convexa. Definida geológicamente en el Monzogranito de Algeciras (Ja); el patrón de drenaje predominante es dendrítico de baja frecuencia y densidad, se subdivide en Espolón Faceteado moderado y alto (Sefcma) (1 km²).

Tabla 12. Subunidades Espolón Faceteado Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-------------------|-----------------------------------|----------|
| Espolón Faceteado | Espolón Faceteado Moderado y Alto | Flujos |

Espolones (Ses). Presenta una morfología montañosa, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, asociadas a fallas inferidas. Se identifican varias unidades en la parte alta de la cuenca (Sur y Centro). Se encuentra limitada por drenajes subparalelos; desarrollada sobre rocas ígneas del Monzogranito de Algeciras (Ja), moderada a altamente meteorizadas, con presencia de drenaje dendrítico y la intensidad de erosión es baja.

Se subdividió en Espolones largos y altos (Sesla) (11 km²) y Espolones moderados y altos (Sesma) (9 km²).

Tabla 13. Subunidades Espolones Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------|-----------------------------|----------|
| Espolones | Espolones Largos y Altos | Flujos |
| | Espolones Moderados y Altos | Flujos |

Gancho de Flexión (Sgf). Presenta una forma de espolón de morfología colinada a montañosa, geometría en planta en forma de gancho. Originada por el desplazamiento de dos lineamientos. Se caracteriza por exponer laderas muy abruptas a escarpadas, de forma recta generando valles en “V”; surcada por drenajes subparalelos. Desarrolla moderada a alta intensidad de erosión, aunque se encuentre modelada por rocas jurásicas, ígneas del Monzogranito de Algeciras, se subdividió en Gancho de Flexión largo y alto (Sgfla) (10 km²).

Tabla 14. Subunidades Gancho de Flexión Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Gancho de Flexión | Gancho de Flexión Largo y Alto | Flujos de bloques y detritos |

Lomo de Falla (Slf). Cerro elongado de morfología alomada, de laderas cortas a muy cortas, de forma convexa y recta; y con pendientes abruptas a escarpadas, localizados a lo largo de una fallas de rumbo, y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y el plano de falla, los cuales determinan la expulsión hacia arriba de un bloque de terreno, localizados hacia el Sur y Centro de la cuenca, subdivididos en Lomo de Falla corto y alto (Slfca) (1 km²) y Lomo de Falla largo y alto (8 km²) (área).

Tabla 15. Subunidades Lomo de Falla Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------|----------------------------|---|
| Lomo de Falla | Lomo de Falla Corto y Alto | No presenta Movimientos Gravitacionales |
| | Lomo de Falla Largo y Alto | No presenta Movimientos Gravitacionales |

Escarpe de Línea de Falla (Slfe). Esta geoforma se define como un escarpe cuya ladera es moderada, de pendiente abrupta, originado por erosión acentuada a lo largo de una línea de falla posiblemente asociada a la Falla Altamira, definida por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas; con un patrón de drenaje dendrítico predominantemente, se ubican hacia el Sur de la cuenca y se subdividió en Escarpe de Línea de Falla moderado y alto (Slfema) (5 km²).

Tabla 16. Subunidades Escarpe de Línea de Falla Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------------------|---|----------------|
| Escarpe de Línea de Falla | Escarpe de Línea de Falla Moderado y Alto | Deslizamientos |

Lomo de Falla con Faceta Triangular (Slft). Morfología definida como saliente topográfica, con laderas moderadamente largas de pendientes muy abruptas a escarpadas y forma triangular. Modela las rocas metamórficas del Grupo Garzón e ígneas del Monzogranito de Algeciras, que se presentan moderada a altamente meteorizadas, localizadas hacia el Sur de la cuenca y se subdivide en Lomo de Falla con Faceta Triangular moderado y alto (Slftma) (0,5 km²).

Tabla 17. Subunidades Lomo de Falla con Faceta Triangular Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-------------------------------------|---|---|
| Lomo de Falla con Faceta Triangular | Lomo de Falla con Faceta Triangular Moderado y Alto | No presenta Movimientos Gravitacionales |

Lomos (Sl). Prominencias topográficas conformadas por sistemas o conjuntos de filos ubicados a diferentes alturas; caracterizados por presentar cimas alargadas, con topes agudos a redondeados que siguen la tendencia estructural predominante en la región, laderas moderadamente largas de formas cóncavas a rectas y pendientes inclinadas a abruptas. Su origen se asocia a la acción conjunta de procesos tectónicos moderados a intensos y procesos de meteorización y denudación, se pueden observar hacia el Suroriente de la cuenca y se subdivide en Lomos moderados y altos (SI_{ma}) (10 km²).

Tabla 18. Subunidades Lomos Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|--------|-------------------------|----------|
| Lomos | Lomos Moderados y Altos | Flujos |

Plancha (Sp). Ladera en capas o estratos inclinados a favor de la pendiente, de longitud variable, que se presentan como laderas festoneadas o dentadas hacia arriba con pendientes muy abruptas a escarpadas; caracterizada por presentar una red de drenaje subparalela, localizadas hacia el Noreste de la cuenca y se subdivide en Plancha corta y moderada (Sp_{cm}) (1 km²) y Plancha moderada y moderada (Sp_{mm}) (1 km²).

Tabla 19. Subunidades Plancha Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------|-----------------------------|--|
| Plancha | Plancha Corta y Moderada | Deslizamientos Traslacionales |
| | Plancha Moderada y Moderada | Flujos y Deslizamientos Traslacionales |

Sierra (Ss): Prominencia topográfica de morfología montañosa, de laderas simétricas o asimétricas, de longitudes largas a extremadamente largas, formas cóncavas, convexas o rectas, con pendientes muy inclinadas a escarpadas. Su origen se encuentra asociado a procesos de

fallamiento intenso en macizos rocosos ígneos, metamórficos y sedimentarios, se ubican en el Este de la cuenca y se subdivide en Sierra larga y alta (Ssla) (27 km²) y Sierra moderada y alta (Ssma) (k Km²).

Tabla 20. Subunidades Sierra Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|--------|------------------------|----------|
| Sierra | Sierra Larga y Alta | Flujos |
| | Sierra Moderada y Alta | Flujos |

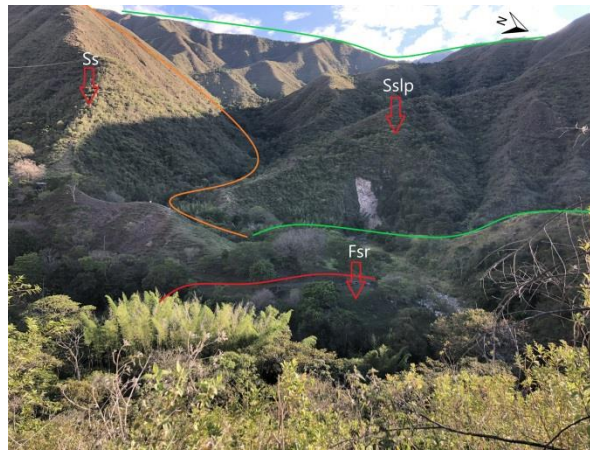


Figura 38. Sierra (Ss), Sierra y lomos de Presión (Sslp) y Terrazas Fluvio-torrenciales Subrecientes (Ffsr) de la Cuenca del Río Ceibas

Sierra Homoclinal (Ssh). Sierra topográfica levemente simétrica de morfología colinada, cimas agudas, definida por una secuencia de estratos de shale de Formación Hondita inclinados (> 35°) en una misma dirección. Esta se encuentra localizada en la zona Suroeste del área de estudio, paralela a la falla de Altamira. Expone un patrón de drenaje dendrítico de moderada intensidad y frecuencia, la intensidad de erosión moderada, se subdivide en Sierra Homoclinal larga y alta (Sshla) (26 km²).

Tabla 21. Subunidades Sierra Homoclinal Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-------------------|--------------------------------|--|
| Sierra Homoclinal | Sierra Homoclinal Larga y Alta | Caída de Rocas y Deslizamientos Traslacionales |



Figura 39. Sierra Homoclinal (Ssh) de la Cuenca del Río Ceibas

Sierra y Lomos de Presión (Sslp). Esta unidad expone una prominencia topográfica de morfología montañosa con índice de relieve moderado formada por la intervención estructural de fallas inferidas presentes en la zona de estudio. De laderas moderadamente largas a largas, de forma recta y cóncava, con pendientes muy abruptas a escarpadas.

Predomina un patrón de drenaje dendrítico subparalelo; y las pendientes varían entre muy inclinadas a muy abruptas generalmente sobre materiales afectados por meteorización diferencial intensa de las unidades geológicas, se pueden observar hacia el Este de la cuenca y se subdivide en Sierra y Lomos de Presión largos y altos (Sslpla) (19 km²).

Tabla 22. Subunidades Sierra y Lomos de Presión Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------------------|--|--|
| Sierra y Lomos de Presión | Sierra y Lomos de Presión Largos y Altos | Flujos y Deslizamientos Traslacionales |

Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal (Ssslc). Esta unidad generalmente denudada, se caracteriza por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, de longitud moderada a larga, de forma cóncava; escalonada, y con pendientes abruptas a escarpadas. Es compuesta de una interestratificación de rocas duras, intermedias y blandas de conglomerados de cuarzo, conglomerados de chert, areniscas de grano grueso y areniscas de grano fino y lodolitas rojizas y moteadas de las Formaciones Seca, Palermo, Baché y Doima.

Se observan altamente meteorizadas y se muestran varios movimientos en masa, donde predominan los deslizamientos rotacionales y flujos. Se identifica un patrón de drenaje dendrítico; la erosión típica es terracetas (“sobrepastoreo”) y laminar, se localizan en la parte media-baja de la cuenca y se subdividen en Ladearea de Contrapendiente de Sierra Sinclinal corta y moderada (Ssslccm) (10,5 km²) y Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal moderada y moderada (Ssslmmm) (8 km²).

Tabla 23. Subunidades Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---|---|--------------------------------------|
| Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal | Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal Corta y Moderada | Deslizamientos Rotacionales y Flujos |
| | Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal Moderada y Moderada | Deslizamientos Rotacionales y Flujos |

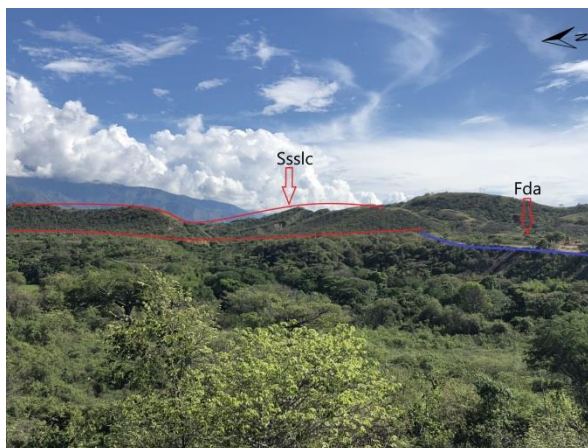


Figura 40. Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal (Ssslc) y Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa)

Ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle). Ladera de sierra homoclinal, de longitud corta a moderadamente de formas rectas a convexas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas. Se encuentra constituida por rocas sedimentarias consolidadas, asociando intercalaciones de conglomerados de cuarzo lechoso, líticos metamórficos, areniscas conglomeráticas y lodolitas rojas, para la primera; areniscas blancas de grano grueso a conglomerático para la segunda, localizadas en la parte media-baja de la cuenca y se subdivide en Ladera Estructural de Sierra Sinclinal corta y moderada (Ssslecm) (16,5 km²) y Ladera Estructural de Sierra Sinclinal moderada y moderada (Ssslemm) (4 km²).

Tabla 24. Subunidades Ladera Estructural de Sierra Sinclinal Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|--|--|--|
| Ladera Estructural de Sierra Sinclinal | Ladera Estructural de Sierra Sinclinal Corta y Moderada | Deslizamientos Traslacionales y Rotacionales |
| | Ladera Estructural de Sierra Sinclinal Moderada y Moderada | Deslizamientos Traslacionales y Rotacionales |



Figura 41. Ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle) de la Cuenca del Río Ceibas

Plano Aluvial Confinado (Svc). Se caracteriza por mostrar una superficie de pendiente plana a suavemente inclinada, limitada por elevaciones a manera de un valle cerrado. Su origen es relacionado al bloqueo temporal de un cauce fluvial generado por fallamiento. Su depósito está compuesto por materiales aluviales finos y rocas muy fracturadas (SGC, Plancha 431, 2015), se localiza hacia el Sureste de la cuenca y se subdivide en Plano Aluvial Confinado moderado y alto (Svcma) (0,5 km²).

Tabla 25. Subunidades Plano Aluvial Confinado Río Ceibas

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-------------------------|---|---|
| Plano Aluvial Confinado | Plano Aluvial Confinado Moderado y Alto | No presenta Movimientos Gravitacionales |

13.1.3 Ambiente fluvial

Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdftr). Estos se caracterizan por su cercanía a los drenajes y tener un nivel similar a estos, pero en zonas de mayor incisión se observa una diferencia de unos pocos metros (1 a 2 m), su morfología es plana y tener bloques que sobresalen de la vegetación, la pendiente es muy baja a baja, se extienden a lo largo del cauce principal y con un área total de 9 km².

Tabla 26. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes Río Ceibas

| Unidad | Procesos |
|--|-----------------|
| Depósitos Fluviotorrenciales Recientes | Erosión Fluvial |



Figura 42. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdr) y Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (Fdsr) de la Cuenca del Río Ceibas

Terrazas Fluviotorrenciales Recientes (Ftfr). Se diferencian por el contraste de altura con el cauce la cual está entre los 4 a 10 metros, la superficie de estos niveles es ondulada con una disección moderada, con una pendiente baja, también se evidencian bloques que sobresalen de la vegetación, se localizan en la parte media y baja de la cuenca, con un área total 20 km².

Tabla 27. Terrazas Fluviotorrenciales Recientes Río Ceibas

| Unidad | Procesos |
|---------------------------------------|-----------------|
| Terrazas Fluviotorrenciales Recientes | Erosión Fluvial |

Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa). Estos son los que poseen una mayor diferencia de altura con respecto del cauce (10 a 15 metros), la superficie es ondulada y con altos niveles de disección, con pendientes bajas a moderadas, se localizan en la parte baja de la cuenca y con una extensión de 18 km².

Tabla 28. Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas Río Ceibas

| Unidad | Procesos |
|--------------------------------------|--|
| Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas | Erosión Fluvial y Deslizamientos Rotacionales y Traslacionales |

13.2 Cuenca del río Frío Rivera

Esta cuenca se compone por 3 ambientes geomorfológicos: ambiente denudacional el cual se compone por Laderas Erosivas (Del) y Sierra Denudada (Dsd), ambiente estructural compuesto por Espolones (Ses) y Escarpe de Línea de Falla (Slfe). Por otro lado se encuentran las unidades de origen fluvial, Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (Ftfsr), Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfr) y Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa).

MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO FRIO RIVERA

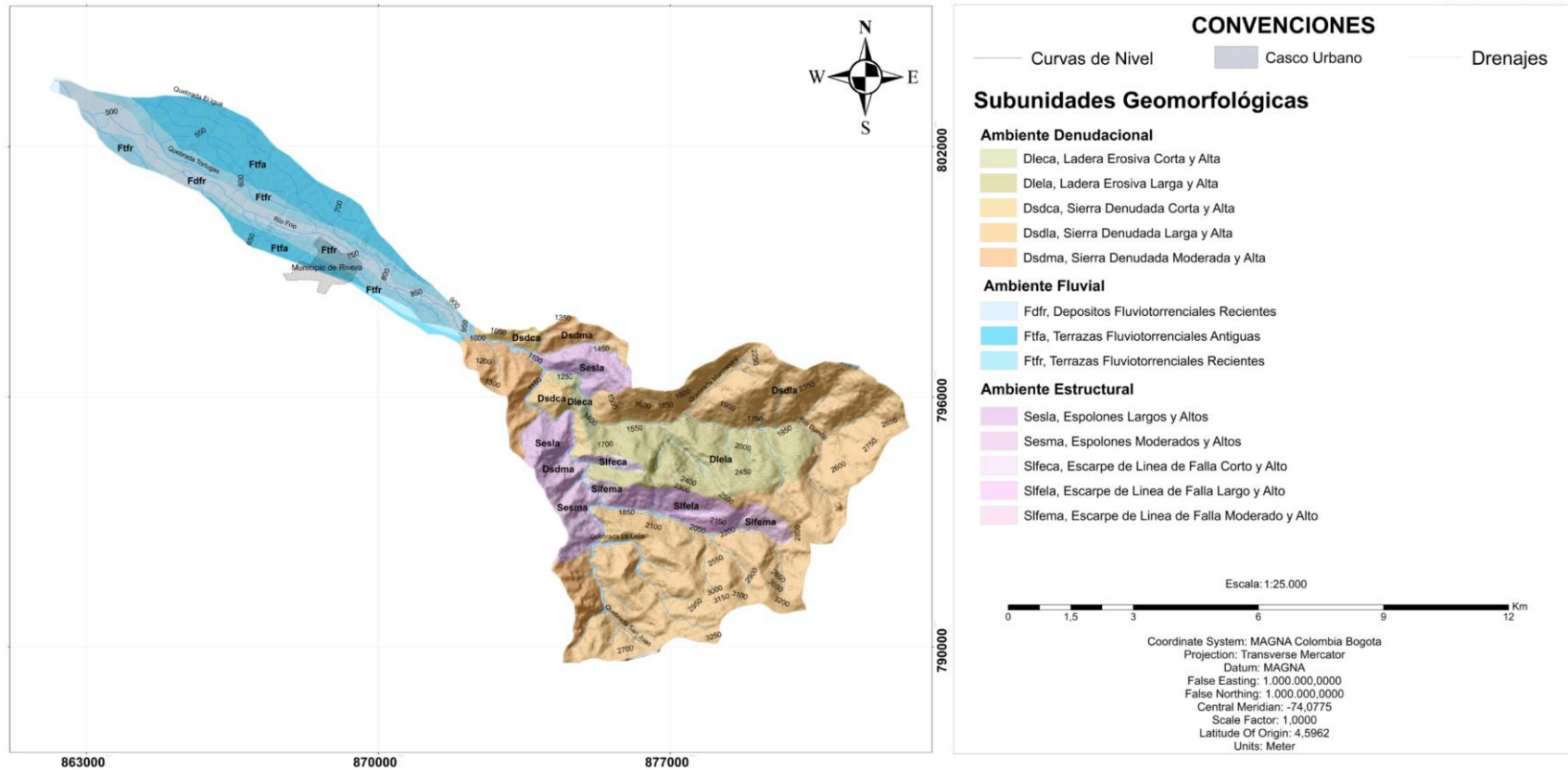


Figura 43. Geomorfología de la Cuenca del Río Frío Rivera. Modificado con base en la cartografía de la plancha geomorfológica 323 de Neiva del SGC.

13.2.1 Ambiente denudacional.

Ladera Erosiva (Dle). Presenta áreas de terreno de morfología alomada, pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, con patrón de drenaje dendrítico a subparalelo. Exponen procesos erosivos de terracetos, surcos y laminar, y movimientos en masa de pequeñas dimensiones por causa de fallamiento por corte de las carreteras veredales; especialmente de suelo residual producto de la intensa meteorización que ha tenido el material rocoso.

Se desarrollan hacia la parte central, y principalmente Oeste de la zona de estudio, modelando Formaciones ígneas del jurásico y se subdividieron en Ladera Erosiva corta y Alta (Dleca) (1 km²) y Ladera Erosiva larga y alta (Dlela) (8 km²).

Tabla 29. Subunidades Ladera Erosiva Río Frío Rivera

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|----------------|-----------------------------|---|
| Ladera Erosiva | Ladera Erosiva Corta y Alta | No presenta Movimientos Gravitacionales |
| Ladera Erosiva | Ladera Erosiva Larga y Alta | Flujos y Deslizamientos Traslacionales |

Sierra Denudada (Dsd). Se encuentra distribuida hacia el Oeste de la cuenca. Modelando las unidades geológicas Ígneas (Monzogranito de Algeciras (Ja)); con prominencias topográficas de morfología montañosa y elongada, de laderas largas a cortas, cóncavas, convexas e irregulares, drenaje dendrítico, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión como terracetos (“Sobrepastoreo”) y de movimientos en masa acentuados. Identificando un predominio de Deslizamientos traslacionales, su origen se asocia a procesos de erosión acentuada en sustrato rocoso homogéneo ígneo, se subdivide en Sierra Denudada larga y alta (Dsdla) (30 km²), Sierra Denudada moderada y alta (Dsdma) (8 km²) y Sierra Denudada corta y alta (Dsdca) (2 km²).

Tabla 30. Subunidades Sierra Denuada Río Frío Rivera

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|----------------|--------------------------------|---|
| Sierra Denuada | Sierra Denuada Corta y Alta | No presenta Movimientos Gravitacionales |
| Sierra Denuada | Sierra Denuada Moderada y Alta | Flujos y Deslizamientos Rotacionales |
| Sierra Denuada | Sierra Denuada Larga y Alta | Flujos y Deslizamientos Traslacionales |



Figura 44. Sierra Denuada (Dsd) de la Cuenca del Río Frío Rivera

13.2.2 Ambiente estructural.

Espolones (Ses). Presenta una morfología montañosa, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, asociadas a fallas inferidas. Se identifican varias unidades en la parte alta de la cuenca (Sur y Centro). Se encuentra limitada por drenajes subparalelos; desarrollada sobre rocas ígneas del Monzogranito de Algeciras (Ja), moderada a altamente meteorizadas, con presencia de drenaje dendrítico y la intensidad de erosión es baja. Se subdividió en Espolones largos y altos (Sesla) (3 km²) y Espolones moderados y altos (Sesma) (2 km²).

Tabla 31. Subunidades Espolones Río Frío Rivera

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------|-----------------------------|--|
| Espolones | Espolones Moderados y Altos | Deslizamientos Traslacionales y Flujos |
| Espolones | Espolones Largos y Altos | Deslizamientos Traslacionales y Flujos |



Figura 45. Espolones (Ses) y Sierra Denudada (Dsd) de la Cuenca del Río Frío Rivera

Escarpe de Línea de Falla (Slfe). Esta geoforma se define como un escarpe cuya ladera es moderada, de pendiente abrupta, originado por erosión acentuada a lo largo de una línea de falla definida por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas; con un patrón de drenaje dendrítico predominantemente, se ubican hacia el Suroriente de la cuenca y se subdividió en Escarpe de Línea de Falla corto y alto (Slfeca) (0,5 km²), Escarpe de Línea de Falla moderado y alto (Slfema) (1,5 km²) y Escarpe de Línea de Falla largo y alto (Slfela) (2 km²).

Tabla 32. Subunidades Escarpe de Línea de Falla Río Frío Rivera

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------------------|---|---|
| Escarpe de Línea de Falla | Escarpe de Línea de Falla Corto y Alto | No presenta Movimientos Gravitacionales |
| Escarpe de Línea de Falla | Escarpe de Línea de Falla Moderado y Alto | Flujos |
| Escarpe de Línea de Falla | Escarpe de Línea de Falla Largo y Alto | Flujos |

13.2.3 Ambiente fluvial.

Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfrr). Estos se caracterizan por su cercanía a los drenajes y tener un nivel similar a estos, pero en zonas de mayor incisión se observa una diferencia de unos pocos metros (2 a 4 m), su morfología es ondulada y tener bloques que

sobresalen de la vegetación, la pendiente es muy baja a baja, se extienden a lo largo de cauce principal, con un área total de 5 Km².

Tabla 33. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes Río Frío Rivera

| Unidad | Procesos |
|--|-----------------|
| Depósitos Fluviotorrenciales Recientes | Erosión Fluvial |

Terrazas Fluviotorrenciales Recientes (Ftfr). Se diferencian por el contraste de altura con el cauce la cual está entre los 10 a 15 metros, la superficie de estos niveles es ondulada con una disección moderada, con una pendiente baja, también se evidencian bloques que sobresalen de la vegetación, se localizan en la parte baja de la cuenca, con una extensión de 6 km².

Tabla 34. Terrazas Fluviotorrenciales Recientes Río Frío Rivera

| Unidad | Procesos |
|---------------------------------------|-----------------|
| Terrazas Fluviotorrenciales Recientes | Erosión Fluvial |



Figura 46. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdr) y Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (Fdsr) de la Cuenca del Río Frío Rivera

Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa). Estos son los que poseen una mayor diferencia de altura con respecto del cauce, la superficie es ondulada y con altos niveles de disección, con pendientes bajas a moderadas, estos tienen la particularidad de no tener una diferencia clara de altura con las Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (10 a 15 m), pero se diferencian según su

proximidad con el cauce y lo nivel de disección, se ubican en la parte baja de la cuenca, con un área total de 8 km².

Tabla 35. Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas Río Frío Rivera

| Unidad | Procesos |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas | Erosión Fluvial y Deslizamientos |

13.3 Cuenca del río Frío Campoalegre

Esta cuenca se compone por 3 ambientes geomorfológicos: ambiente denudacional el cual se compone por Sierra Denudada (Dsd), Lomo Denudado (Dlde) y Lóbulo Coluvial (Dlb); ambiente estructural compuesto por Escarpe de Línea de Falla (Slfe). Por otro lado se encuentran las unidades de origen fluvial, Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (Ftfsr), Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfr) y Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa).

MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO CAMPOALEGRE

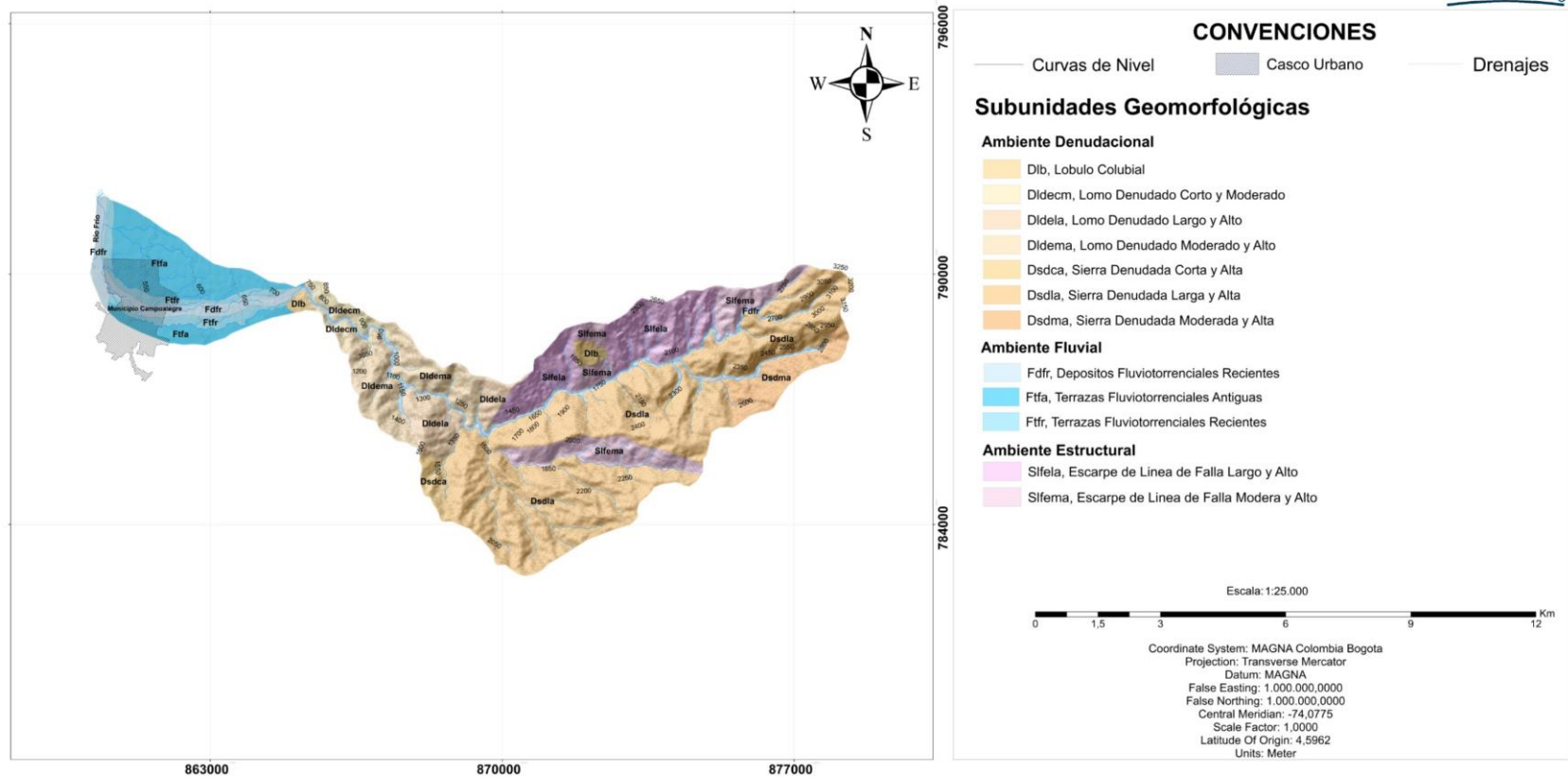


Figura 47. Geomorfología de la Cuenca del Río Frío Campoalegre. Modificado con base en la cartografía de la plancha geomorfológica 345 de Campoalegre del SGC.

13.3.1 Ambiente denudacional.

Lóbulo Coluvial (Dlb). Esta geoforma expone forma de cono y lóbulo alomado bajo distribuyéndose en la zona Noroeste, hacia la parte baja de las provincias tectónicas central, encontrándose en contacto con unidades estructurales.

Su origen está relacionado por procesos de transporte y deposición de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales, están constituidos por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a arena limo arcillosa, asociados a depósitos de pendiente y depósitos coluviales; Además, se encuentra predominando un patrón de drenaje dendrítico y subdendrítico y en total ocupan un área de 0,5 km².

Tabla 36. Lóbulo Coluvial Río Frío Campoalegre

| Unidad | Procesos |
|-----------------|---|
| Lóbulo Coluvial | No presenta Movimientos Gravitacionales |

Lomo Denudado (Dld): Sistemas de lomos alargados perpendicular al drenaje principal de morfología alomada a colinada ubicados a diferentes alturas con índice de relieve relativo entre 250 y 500 m y la longitud del eje principal es mayor a 1000m. Se define hacia la parte Nororiental de la zona de estudio. Presenta laderas rectas a cóncavas, escarpadas a muy escarpadas, se subdivide en Lomo Denudado corto y moderado (Dldcm) (1,5 km²), Lomo Denudado moderado y alto (Dldma) (4 km²) y Lomo Denudado largo y alto (Dldla) (3 km²).

Tabla 37. Subunidades Lomo Denudado Río Frío Campoalegre

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------|--------------------------------|---|
| Lomo Denudado | Lomo Denudado Corto y Moderado | No presenta Movimientos Gravitacionales |
| Lomo Denudado | Lomo Denudado | No presenta |

| | | |
|---------------|----------------------------|---|
| | Moderado y Alto | Movimientos Gravitacionales |
| Lomo Denudado | Lomo Denudado Largo y Alto | No presenta Movimientos Gravitacionales |



Figura 48. Lomo Denudado (Dld) de la Cuenca del Río Frío Campoalegre

Sierra Denudada (Dsd): Se encuentra distribuida hacia el Oeste de la cuenca. Modelando las unidades geológicas Ígneas (Monzogranito de Algeciras (Ja)); con prominencias topográficas de morfología montañosa y elongada, de laderas largas a cortas, cóncavas, convexas e irregulares, drenaje dendrítico, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión como terracetos (“Sobrepastoreo”) y de movimientos en masa acentuados. Identificando un predominio de Deslizamientos traslacionales, su origen se asocia a procesos de erosión acentuada en sustrato rocoso homogéneo ígneo, se subdivide en Sierra Denudada larga y alta (Dsdla) (14 km²), Sierra Denudada moderada y alta (Dsdma) (2 km²) y Sierra Denudada corta y alta (Dsdca) (1 km²).

Tabla 38. Subunidades Sierra Denudada Río Frío Campoalegre

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------------|------------------------------|---|
| Sierra Denudada | Sierra Denudada Corta y Alta | No presenta Movimientos Gravitacionales |

| | | |
|----------------|--------------------------------|--|
| Sierra Denuada | Sierra Denuada Moderada y Alta | Deslizamientos Traslacionales y Flujos |
| Sierra Denuada | Sierra Denuada Larga y Alta | Deslizamientos Traslacionales, Flujos y Flujos de detritos |



Figura 49. Sierra Denuada (Dsd) de la Cuenca del Río Frio Campoalegre

13.3.2 Ambiente estructural

Escarpe de Línea de Falla (Slfe). Esta geoforma se define como un escarpe cuya ladera es moderada, de pendiente abrupta, originado por erosión acentuada a lo largo de una línea de falla definida por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas; con un patrón de drenaje dendrítico predominantemente, se ubican hacia el Suroriente de la cuenca y se subdividió en Escarpe de Línea de Falla moderado y alto (Slfema) (4 km²) y Escarpe de Línea de Falla largo y alto (Slfela) (6 km²).

Tabla 39. Subunidades Escarpe de Línea de Falla Río Frio Campoalegre

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------------------|---|--------------------------------------|
| Escarpe de Línea de Falla | Escarpe de Línea de Falla Largo y Alto | Deslizamientos Rotacionales y Flujos |
| Escarpe de Línea de Falla | Escarpe de Línea de Falla Moderado y Alto | Deslizamientos Rotacionales y Flujos |

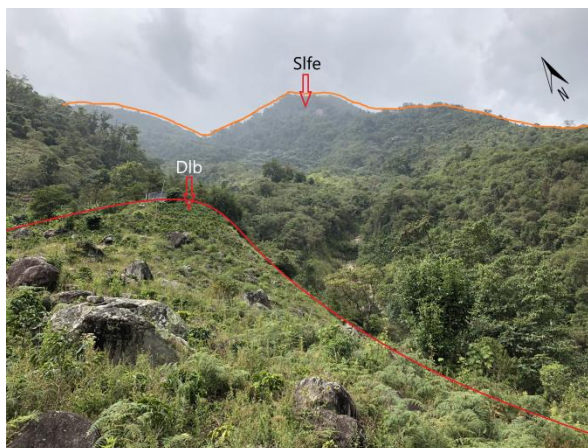


Figura 50. Escarpa de Línea de Falla (Sife) y Lóbulo Coluvial (Dlb) de la Cuenca del Río Frío Campoalegre

13.3.3 Ambiente fluvial

Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfr). Estos se caracterizan por su cercanía a los drenajes y tener un nivel similar a estos, pero en zonas de mayor incisión se observa una diferencia de unos pocos metros (1 a 2m), su morfología es ondulada y tener bloques que sobresalen de la vegetación, la pendiente es muy baja a baja, se distribuyen a lo largo del cauce principal, con un área de 4,5 km².

Tabla 40. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes Río Frío Campoalegre

| Unidad | Procesos |
|--|-----------------|
| Depósitos Fluviotorrenciales Recientes | Erosión Fluvial |

Terrazas Fluviotorrenciales Recientes (Ftfr). Se diferencian por el contraste de altura con el cauce la cual está entre los 3 a 5 metros, la superficie de estos niveles es ondulada con una disección moderada, con una pendiente baja, también se evidencian bloques que sobresalen de la vegetación, se localizan en la parte baja de la cuenca y poseen un área de 2 km².

Tabla 41. Terrazas Fluviotorrenciales Recientes Río Frío Campoalegre

| Unidad | Procesos |
|---------------------------------------|-----------------|
| Terrazas Fluviotorrenciales Recientes | Erosión Fluvial |

Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa). Estos son los que poseen una mayor diferencia de altura con respecto del cauce, la superficie es ondulada y con altos niveles de disección, con pendientes bajas a moderadas, estos tienen la particularidad de no tener una diferencia clara de altura con las Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (3 a 5m), pero se diferencian según su proximidad con el cauce y lo nivel de disección, se ubican en la parte baja de la cuenca y poseen un área de 6 km².

Tabla 42. Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas Río Frío Campoalegre

| Unidad | Procesos |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas | Erosión Fluvial y Deslizamientos |

13.4 Cuenca del Río Neiva

Esta cuenca se compone por 3 ambientes geomorfológicos: ambiente denudacional el cual se compone por Lóbulo Coluvial (Dlb), Laderas Erosivas (Del), Sierra Denudada (Dsd) y Lomo Denudado (Dlde); ambiente estructural compuesto por Espolones (Ses), Ganchos de Flexión (Sgf), Lomos de Falla (Slf), Escarpe de Línea de Falla (Slfe), entre otras. Por otro lado se encuentran las unidades de origen fluvial, Terrazas Fluviotorrenciales Subrecientes (Ftfsr), Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfr) y Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa).

MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO NEIVA

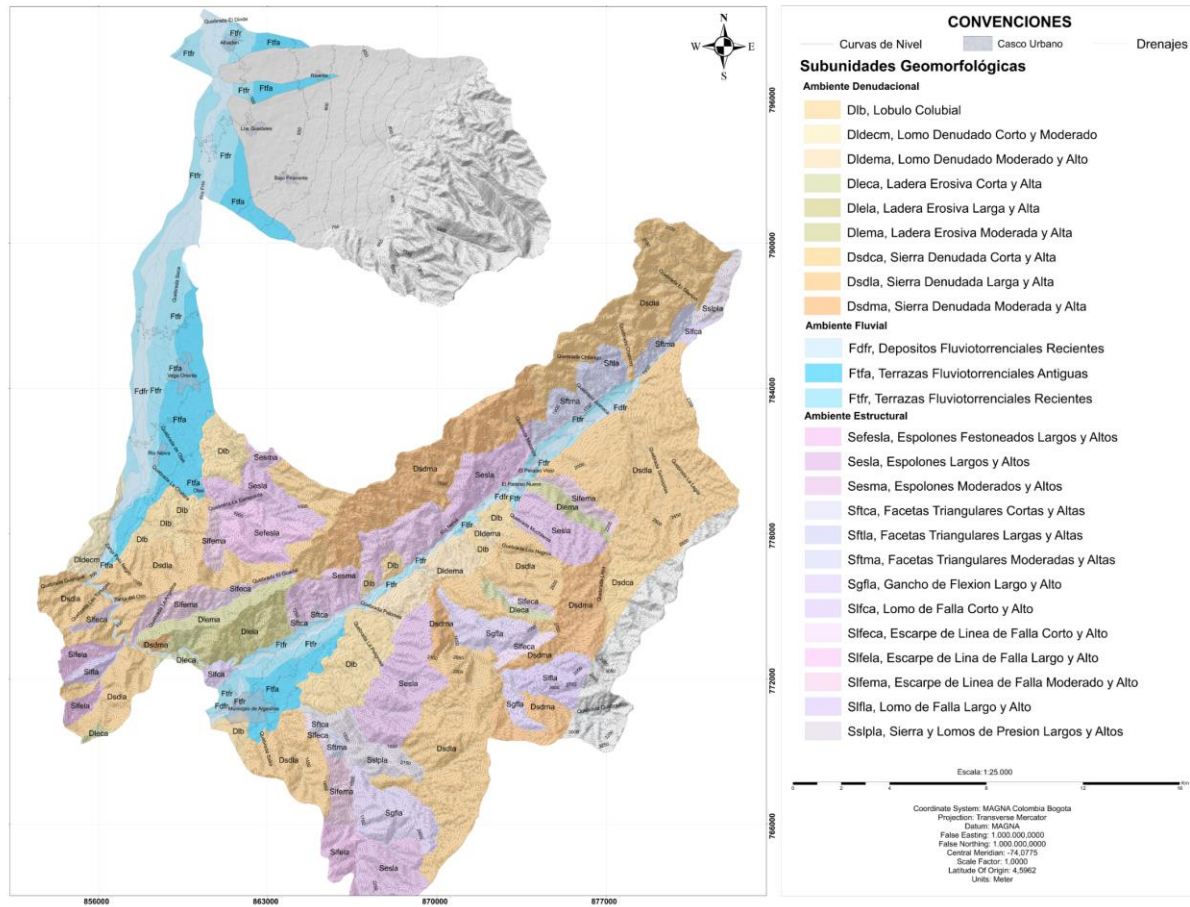


Figura 51. Geomorfología de la Cuenca del Río Neiva. Modificado con base en la cartografía de la plancha geológica 345 de Campoalegre del SGC.

13.4.1 Ambiente denudacional.

Lóbulo Coluvial (Dlb). Esta geoforma expone forma de cono y lóbulo alomado bajo distribuyéndose en la zona Suroeste y Este, hacia la parte baja de las provincias tectónicas central, encontrándose en contacto con unidades estructurales.

Su origen está relacionado por procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales, están constituidos por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a arena limo arcillosa, asociados a depósitos de pendiente y depósitos coluviales; Además, se encuentra predominando un patrón de drenaje dendrítico y subdendrítico y en total ocupan un área de 24,5 km².

Tabla 43. Lóbulo Coluvial Río Neiva

| Unidad | Procesos |
|-----------------|---|
| Lóbulo Coluvial | Reptación, Deslizamientos Rotacionales y Flujos |

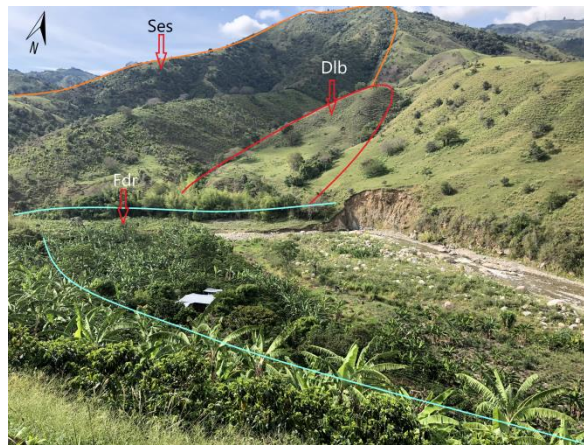


Figura 52. Espolones (Ses), Lóbulo Coluvial (Dlb) y Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdf) de la Cuenca del Río Neiva

Lomo Denudado (Dld). Sistemas de lomos alargados perpendicular al drenaje principal de morfología alomada a colinada ubicados a diferentes alturas con índice de relieve relativo entre

250 y 500 m y la longitud del eje principal es mayor a 1000m. Se define hacia el Centro-Norte de la zona de estudio. Presenta laderas rectas a cóncavas, escarpadas a muy escarpadas, se subdivide en Lomo Denudado corto y moderado (Dldcm) (3 km²) y Lomo Denudado moderado y alto (Dldma) (7 km²).

Tabla 44. Subunidades Lomo Denudado Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------|--------------------------------|---|
| Lomo Denudado | Lomo Denudado Corto y Moderado | Deslizamientos Rotacionales, Flujos y Erosión Fluvial |
| Lomo Denudado | Lomo Denudado Moderado y Alto | Deslizamientos Rotacionales y Erosión Fluvial |

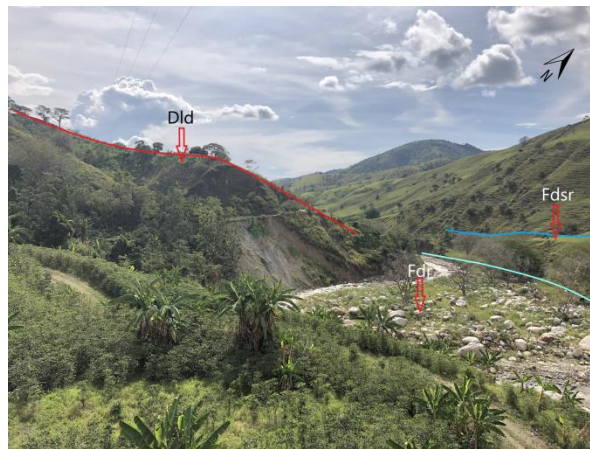


Figura 53. Lomo Denudado (Dld), Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdf) y Depósitos Subrecientes (Fdsr)

Ladera Erosiva (Dle). Presenta áreas de terreno de morfología alomada, pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, con patrón de drenaje dendrítico a subparalelo. Exponen procesos erosivos de terracetas, surcos y laminar, y movimientos en masa de pequeñas dimensiones por causa de fallamiento por corte de las carreteras veredales; especialmente de suelo residual producto de la intensa meteorización que ha tenido el material rocoso.

Se desarrollan hacia la parte Oeste, y principalmente Este de la zona de estudio, modelando Formaciones ígneas del jurásico y se subdividieron en Ladera Erosiva corta y Alta (Dleca) (2,5 km²), Ladera Erosiva Moderada y Alta (Dlema) (7 km²) y Ladera Erosiva larga y alta (Dlela) (7 km²).

Tabla 45. Subunidades Ladera Erosiva Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|----------------|--------------------------------|---|
| Ladera Erosiva | Ladera Erosiva Corta y Alta | Deslizamientos Traslacionales |
| Ladera Erosiva | Ladera Erosiva Moderada y Alta | Deslizamientos Traslacionales, Erosión Fluvial y Caída de rocas |
| Ladera Erosiva | Ladera Erosiva Larga y Alta | Deslizamientos Traslacionales, Erosión Fluvial y Caída de rocas |



Figura 54. Ladera Erosiva (Dle) de la Cuenca del Río Neiva

Sierra Denudada (Dsd): Se encuentra distribuida en la parte media y alta de la cuenca. Modelando las unidades geológicas ígneas y metamórficas (Monzogranito de Algeciras (Ja) y Grupo Garzón (PEgg)); con prominencias topográficas de morfología montañosa y elongada, de laderas largas a cortas, cóncavas, convexas e irregulares, drenaje dendrítico, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión como terracetas (“Sobrepastoreo”) y de movimientos en masa acentuados. Identificando un predominio de Deslizamientos

traslacionales, su origen se asocia a procesos de erosión acentuada en sustrato rocoso homogéneo ígneo, se subdivide en Sierra Denudada larga y alta (Dsdla) (134 km²), Sierra Denudada moderada y alta (Dsdma) (área), Sierra Denudada corta y alta (Dsdca) (3 km²) y Sierra Denudada larga y alta (Dsdma) (37 km²).

Tabla 46. Subunidades Sierra Denudada Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Sierra Denudada | Sierra Denudada Corta y Alta | Deslizamientos y Reptación |
| Sierra Denudada | Sierra Denudada Moderada y Alta | Deslizamientos, Flujos y Reptación |
| Sierra Denudada | Sierra Denudada Larga y Alta | Deslizamientos, Flujos y Reptación |

13.4.2 Ambiente estructural

Espolones (Ses). Presenta una morfología montañosa, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, asociadas a fallas inferidas. Se identifican varias unidades en la parte alta y media de la cuenca. Se encuentra limitada por drenajes subparalelos; desarrollada sobre rocas ígneas del Monzogranito de Algeciras (Ja), moderada a altamente meteorizadas, con presencia de drenaje dendrítico y la intensidad de erosión es baja. Se subdividió en Espolones largos y altos (Sesla) (42 km²) y Espolones moderados y altos (Sesma) (12 km²).

Tabla 47. Subunidades Espolones Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------|-----------------------------|--|
| Espolones | Espolones Moderados y Altos | Deslizamientos Traslacionales y Flujos |
| Espolones | Espolones Largos y Altos | Flujos de Lodos y detritos |

Espolones Festoneados (Sefes): Laderas y crestas simétricas de morfología alomada cimas redondeadas dispuestas perpendicularmente al rumbo fallas inferidas y definidas; definen salientes cortas y largas. El índice relativo de relieve es bajo.

Las pendientes varían entre muy inclinadas a muy abruptas con formas rectas y cóncavas; estas unidades no presentan meteorización suficiente que desestabilice el terreno y así genere movimientos en masa. El tipo de erosión que predomina es laminar y terracetas (“sobrepastoreo”), en términos de intensidad es moderada a baja, se localizan en la parte media de la cuenca y se subdivide en Espolones Festoneados largos y altos (Sefesla) (6 km²).

Tabla 48. Subunidades Espolones Festoneados Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-----------------------|--------------------------------------|---|
| Espolones Festoneados | Espolones Festoneados Largos y Altos | No presenta Movimientos Gravitacionales |

Facetas Triangulares (Sft). En esta unidad predomina una superficie planar abrupta, recta, cuyo origen se debe al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral de relieves estructurales o interfluvios por procesos de fallamiento y erosión diferencial posterior, se pueden observar en la parte alta de la cuenca y se subdivide en Faceta Triangular corta y alta (Sftca) (2 km²), Faceta Triangular moderada y alta (Sftma) (8 km²) y Faceta Triangular larga y alta (Sftla) (2 km²).

Tabla 49. Subunidades Facetas Triangulares Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-------------------|-----------------------------------|--|
| Faceta Triangular | Faceta Triangular Corta y Alta | No presenta Movimientos Gravitacionales |
| Faceta Triangular | Faceta Triangular Moderada y Alta | No presenta Movimientos Gravitacionales |
| Faceta Triangular | Faceta Triangular Larga y Alta | Deslizamientos Rotacionales y Traslacionales |

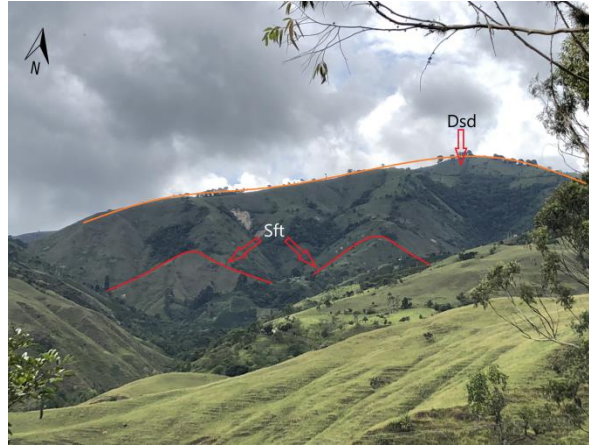


Figura 55. Sierra Denudad (Dsd) y Facetas Triangulares (Sft) de la Cuenca del Río Neiva

Gancho de Flexión (Sgf). Presenta una forma de espolón de morfología colinada a montañosa, geometría en planta en forma de gancho. Originada por el desplazamiento de dos lineamientos. Se caracteriza por exponer laderas muy abruptas a escarpadas, de forma recta generando valles en “V”; surcada por drenajes subparalelos. Desarrolla moderada a alta intensidad de erosión, aunque se encuentre modelada por rocas jurásicas, ígneas del Monzogranito de Algeciras, se subdividió en Gancho de Flexión largo y alto (Sgfla) (14 km²).

Tabla 50. Subunidades Gancho de Flexión Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Gancho de Flexión | Gancho de Flexión Largo y Alto | Flujos y Deslizamientos Rotacionales |

Lomo de Falla (Slf). Cerro elongado de morfología alomada, de laderas cortas a muy cortas, de forma convexa y recta; y con pendientes abruptas a escarpadas, localizados a lo largo de una fallas de rumbo, y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y el plano de falla, los cuales determinan la expulsión hacia arriba de un bloque de terreno, localizados hacia el Noroeste y el Suroeste de la cuenca, subdivididos en Lomo de Falla corto y alto (Slfca) (2 km²) y Lomo de Falla largo y alto (Slfla) (6 km²).

Tabla 51. Subunidades Lomo de Falla Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------|----------------------------|---|
| Lomo de Falla | Lomo de Falla Corto y Alto | No presenta Movimientos Gravitacionales |
| Lomo de Falla | Lomo de Falla Largo y Alto | Flujos |

Escarpe de Línea de Falla (Slfe). Esta geoforma se define como un escarpe cuya ladera es moderada, de pendiente abrupta, originado por erosión acentuada a lo largo de una línea de falla definida por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas; con un patrón de drenaje dendrítico predominantemente, se ubican hacia el Este de la cuenca y se subdividió en Escarpe de Línea de Falla corto y alto (Slfeca) (5 km²), Escarpe de Línea de Falla moderado y alto (Slfema) (11 km²) y Escarpe de Línea de Falla largo y alto (Slfela) (8 km²).

Tabla 52. Subunidades Escarpe de Línea de Falla Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------------------|---|-----------------|
| Escarpe de Línea de Falla | Escarpe de Línea de Falla Corto y Alto | Flujos |
| Escarpe de Línea de Falla | Escarpe de Línea de Falla Moderado y Alto | Flujos de Lodos |
| Escarpe de Línea de Falla | Escarpe de Línea de Falla Largo y Alto | Flujos |

Sierra y Lomos de Presión (Sslp). Esta unidad expone una prominencia topográfica de morfología montañosa con índice de relieve moderado formada por la intervención estructural de fallas inferidas presentes en la zona de estudio. De laderas moderadamente largas a largas, de forma recta y cóncava, con pendientes muy abruptas a escarpadas.

Predomina un patrón de drenaje dendrítico subparalelo; y las pendientes varían entre muy inclinadas a muy abruptas generalmente sobre materiales afectados por meteorización diferencial intensa de las unidades geológicas, se pueden observar hacia el Noroeste de la cuenca y se subdivide en Sierra y Lomos de Presión largos y altos (Sslpla) (7 km²).

Tabla 53. Subunidades Sierra y Lomos de Presión Río Neiva

| Unidad | Subunidad | Procesos |
|---------------------------|--|--|
| Sierra y Lomos de Presión | Sierra y Lomos de Presión Largos y Altos | Deslizamientos Traslacionales y Rotacionales |



Figura 56. Sierra y Lomos de Presión (Sslp) de la Cuenca del Río Neiva

13.4.3 Ambiente Fluvial

Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfr). Estos se caracterizan por su cercanía a los drenajes y tener un nivel similar a estos, pero en zonas de mayor incisión se observa una diferencia de unos pocos metros (1 a 4 m), su morfología es ondulada y tener bloques que sobresalen de la vegetación, la pendiente es muy baja a baja, se extienden a lo largo del cauce principal con una área total de 23 km².

Tabla 54. Depósitos Fluviotorrenciales Recientes Río Neiva

| Unidad | Procesos |
|--|-----------------|
| Depósitos Fluviotorrenciales Recientes | Erosión Fluvial |

Terrazas Fluviotorrenciales Recientes (Ftfr). Se diferencian por el contraste de altura con el cauce la cual está entre los 4 a 15 metros, la superficie de estos niveles es ondulada con una disección moderada, con una pendiente baja, también se evidencian bloques que sobresalen de la vegetación, se observan a lo largo de todo el drenaje principal y posee un área total de 30 km².

Tabla 55. Terrazas Fluviotorrenciales Recientes Río Neiva

| Unidad | Procesos |
|---------------------------------------|-----------------|
| Terrazas Fluviotorrenciales Recientes | Erosión Fluvial |

Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa). Estos son los que poseen una mayor diferencia de altura con respecto del cauce (15 a 30 metros), la superficie es ondulada y con altos niveles de disección, con pendientes bajas a moderadas, se observan en la parte media y baja de la cuenca, con un área total de 28 km².

Tabla 56. Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas Río Neiva

| Unidad | Procesos |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas | Erosión Fluvial y Deslizamientos |

14 Procesos Morfodinámicos

Los procesos morfodinámicos corresponden a una serie de acciones sucesivas y/o contemporáneas y sinérgicas a través de las cuales los agentes morfogenéticos, resaltando los externos, son capaces de modelar las formas de la superficie terrestre. En cada una de las cuencas de interés (cuenca Río Neiva, cuenca Río Ceibas, cuenca Río Frío Rivera y cuenca Río Frío Campoalegre) se llevó a cabo un análisis de los procesos morfodinámicos utilizando sensores remotos como imágenes satelitales y fotografías aéreas, además de observaciones en campo. Estos procesos fueron agrupados en dos grupos diferentes, movimientos en masa y procesos erosivos. Teniendo como resultado un inventario cuantitativo de los procesos morfodinámicos de las cuencas de interés, con su respectiva distribución espacial.

14.1 Movimientos en Masa

El termino movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo o de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. Esto se clasifica según el tipo de materiales, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación (GEMMA, 2007).

14.1.1 Cuenca Río Ceibas.

En esta cuenca se identificaron principalmente deslizamientos de tipo traslacional y rotacional en la parte alta y media de la cuenca, sin embargo también fueron cartografiados diferentes procesos entre ellos erosivos. Estos son descritos a continuación:

Deslizamientos. Se cartografiaron 18 deslizamientos de los cuales 8 son de tipo rotacional y los 10 restantes son de tipo traslacional. Los deslizamientos de tipo rotacional principalmente se observan en la parte media a alta de la cuenca, generándose principalmente en rocas de origen

sedimentario (en la parte media) y algunos en suelos residuales de rocas ígneas intrusivas (en la parte alta); algunas de estas unidades cronoestratigráficas afectadas por procesos morfodinámicos son: Monzogranito de Algeciras, Formación Saldaña, Formación Neiva, Formación Hondita y Loma Gorda. En cuanto a las unidades geomorfológicas principalmente afectas son: Sierra homoclinal, Sierra residual, Escarpes de abanicos fluviales y laderas estructurales de sierra sinclinal.



Figura 57. Deslizamientos Rotacionales de la Cuenca del Río Ceibas

Los deslizamientos traslacionales se generan en la parte alta de la cuenca donde el perfil de suelo aún no se encuentra bien desarrollado y las laderas poseen pendientes muy altas. Las imágenes satelitales y las observaciones en campo permiten comprobar la existencia de zonas deforestadas y otras desprovistas de vegetación que representan las cicatrices de estos movimientos en masa.



Figura 58. Deslizamiento Traslacional de la Cuenca del Río Ceibas

Flujos. Los flujos se presentan en menor cantidad que los deslizamientos y se limitan a la parte alta de la cuenca, de los cuales fueron cartografiados 9. Se caracterizan por áreas sin vegetación con forma alargada, de poca profundidad y generalmente angostos, estos siguen el curso de los cauces menores de la cuenca. Estos se concentran generalmente en el Monzogranito de Algeiras y en el Grupo Garzón. En cuanto a la geomorfología se observan en las Sierras residuales altas y en los lomos altos y de diferentes longitudes.



Figura 59. Flujo de Detritos y Bloques de la Cuenca del Río Ceibas

Caída de rocas. Se conocen como una masa generalmente de rocas que se desprende de un talud abrupto, mediante una superficie de corte generalmente pequeña, los materiales descienden por caída libre si la ladera es subvertical. Se cartografiaron 3 procesos de caídas de rocas que se

ubican generalmente en la parte alta de la cuenca, afectando principalmente el Monzogranito de Algeciras y el Grupo Garzón.



Figura 60. Caída de Rocas de la Cuenca del Río Ceibas

Reptación. Este proceso consiste en el deslizamiento del suelo superficial y subsuperficial de forma muy lenta (cm o mm/ año) sin una superficie de falla definida. En la cuenca se observaron varios procesos de este tipo generados por el sobrepastoreo, el mal uso del suelo y la saturación del terreno. Estos se encuentran desde la parte baja a la parte media de la cuenca.



Figura 61. Reptación de la Cuenca del Río Ceibas

14.2 Procesos Erosivos

Estos son generados por la influencia hídrica o por acciones derivadas de la actividad humana. En la cuenca se observaron 2 procesos erosivos considerables y varios menores, específicamente la socavación lateral generada por la acción erosiva de los drenajes. Estos afectan principalmente a los depósitos cuaternarios.



Figura 62. Procesos Erosivos Fluviales de la Cuenca del Río Ceibas

14.2.1 Cuenca Río Frío Rivera.

En esta cuenca se evidenciaron principalmente deslizamientos de tipo traslacional en la parte alta de la cuenca, sin embargo también fueron cartografiados procesos erosivos. A continuación se describen los procesos evidenciados.

Deslizamientos. Se cartografiaron 10 deslizamientos de los cuales todos se clasificaron traslacionales; se ubican generalmente en la parte alta de la cuenca y afectan la unidad del Monzogranito de Algeciras y geomorfológicamente la Sierra denudada.



Figura 63. Flujos de Bloques y Detritos y Deslizamientos Traslacional de la Cuenca del Río Frío Campoalegre

Flujos. Se evidenciaron 3 procesos de este tipo los cuales se localizan en la parte alta de la cuenca donde afectan principalmente el Monzogranito de Algeciras y la unidad geomorfológica Sierra desnuda.

Caída de rocas. Fueron cartografiados 4 que se localizan en la parte media y alta de la cuenca generando una afectación en la unidad geológica Monzogranito de Algeciras y geomorfológicamente el escarpe de línea de falla.



Figura 64. Caída de Rocas de la Cuenca del Río Frío Rivera

14.3 Procesos Erosivos

En la cuenca se observaron 3 procesos erosivos mayores y algunos menores a lo largo de la cuenca, específicamente la socavación lateral generada por la acción erosiva de los drenajes. Estos afectan principalmente a los depósitos cuaternarios.



Figura 65. Procesos Erosivos Fluviales de la Cuenca del Río Frío Rivera

14.3.1 Cuenca Río Frío Campoalegre.

En esta cuenca se identificaron principalmente movimientos en masa en su mayoría de tipo flujos localizados en la parte alta de la cuenca, sin embargo también fueron cartografiados diferentes procesos los cuales se describen a continuación:

Deslizamientos. Se evidenciaron 2 deslizamientos traslacionales de los cuales uno se localiza en la parte media de la cuenca y el otro en la parte alta afectando específicamente el Monzogranito de Algeciras y la unidad geomorfológica escarpe de línea de falla y a la sierra denudada.



Figura 66. Deslizamiento Traslacional de la Cuenca del Río Frío Campoalegre

Flujos. Se cartografiaron 12 procesos de este tipo que se localizan en la parte alta de la cuenca generando afectación en el Monzogranito de Algeciras y en las sierras denudadas.



Figura 67. Flujos de Detritos y Arena de la Cuenca del Río Frío Campoalegre



Figura 68. Procesos Erosivos Fluviales de la Cuenca del Río Frío Campoalegre

14.3.2 Cuenca Río Neiva.

En esta cuenca se identificaron principalmente deslizamientos de tipo rotacional y traslacional en la parte media y alta de la cuenca. Además de diferentes procesos como se mencionan a continuación:

Deslizamientos. Se cartografiaron 24 deslizamientos de los cuales 11 se clasificaron rotacionales y 13 traslacionales; estos se localizan en la parte media y alta de la cuenca y se encuentran afectando el Grupo Garzón, el Monzogranito de Algeciras y las unidades geomorfológicas sierras denudadas, sierras y lomos de presión, lomo de falla, facetas triangulares, espolones, lomas denudadas y laderas erosivas.



Figura 69. Deslizamientos Rotacionales y Traslacionales de la Cuenca del Río Neiva

Caída de rocas. Se evidenció solo un proceso de este tipo en la parte media de la cuenca, el cual se encuentra afectando el Monzogranito de Algeciras y el Grupo de Garzón y geomorfológicamente afecta las laderas erosivas y las sierras y lomos de presión.



Figura 70. Caída de Rocas de la Cuenca del Río Frio Neiva

Flujos. Se cartografiaron 4 los cuales todos se localizan en la parte alta de la cuenca afectando el Monzogranito de Algeciras y el Grupo Garzón y geomorfológicamente las sierras denudadas y las facetas triangulares.



Figura 71. Flujo de Detritos y Arenas de la Cuenca del Río Neiva

Reptación. Este proceso se presenta en repetidas ocasiones en la parte media y alta de la cuenca principalmente, afectando generalmente el Monzogranito y el Grupo Garzón y las unidades geomorfológicas sierra desnuda, facetas triangulares, espolones loma desnuda y laderas erosivas.



Figura 72. Reptación y Sobrepastoreo de la Cuenca del Río Neiva

14.4 Procesos Erosivos

Se evidenciaron 14 procesos erosivos mayores en la parte media a alta de la cuenca y varios menores a lo largo de la cuenca. Estos afectan principalmente el Monzogranito de Algeciras y el Grupo Garzón y geomorfológicamente los espolones, la sierra denudada, los depósitos y escarpes de terraza.



Figura 73. Procesos Erosivos Fluviales de la Cuenca del Río Neiva

15 Análisis Morfométrico De Cuencas

La morfometría es el estudio cuantitativo de las particularidades físicas de una cuenca hidrográfica, se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos (Lux Cordoba, 2016). Esta área utiliza el análisis de la forma de una cuenca siendo la configuración geométrica proyectada en el plano horizontal la que influye en la tasa de suministro de agua al cauce principal durante su recorrido inicial hasta su desembocadura, es decir, que la forma se relaciona con el comportamiento hidrológico de la cuenca (Guerra, 2015)

Dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje: las que condicionan el volumen de escurrimiento como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de respuesta como el orden de corriente, la pendiente, la sección transversal, etc. (Yepes P. , 2013).

De esta manera se puede observar una estrecha correspondencia entre el régimen hidrológico y dichos elementos por lo cual el conocimiento de éstos reviste gran utilidad práctica, ya que, al establecer relaciones y comparaciones de generalización de ellos con datos hidrológicos conocidos, pueden determinarse indirectamente valores hidrológicos en secciones de interés prácticas donde falten datos o donde por razones de índole fisiográfica o económica no sea factible la instalación de estaciones hidrométricas (Yepes P. , 2013).

15.1 Parámetros Asociados a la Forma de la Cuenca

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrógrama de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de avenidas máximas, específicamente, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrógramas diferentes. Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con esas de otras cuencas (Hernández J. , 2019).

La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente. La medición de los factores de forma de una cuenca se realiza por medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos. El primero, es que permite comparar la forma de la cuenca con figuras geométricas conocidas; el segundo, es que permite comparar los resultados de las mediciones, los cuales algunos son adimensionales, con los obtenidos en otras cuencas en las que se puede tener mayor información histórica de su comportamiento hidrológico (Hernández J. , 2019).

15.1.1 Área (A).

Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en km^2 . Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide

directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor (Hernández J. D., 2019).

15.1.2 Perímetro (P).

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros (Hernández J. D., 2019).

15.1.3 Longitud de la cuenca (L).

Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (estación de aforo) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca (Hernández J. D., 2019).

15.1.4 Ancho de la cuenca (B).

Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca y se designa por la letra “W”, de forma que: $W = \frac{A}{L}$. (Villegas Yepes, 2017)

15.1.5 Factor de Forma de Horton (Kf).

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca (Figura 74). Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma. Principalmente, los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Un valor de K_f superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella (Tabla 57) o de un río principal corto y por

consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas (Hernández J. D., 2019).

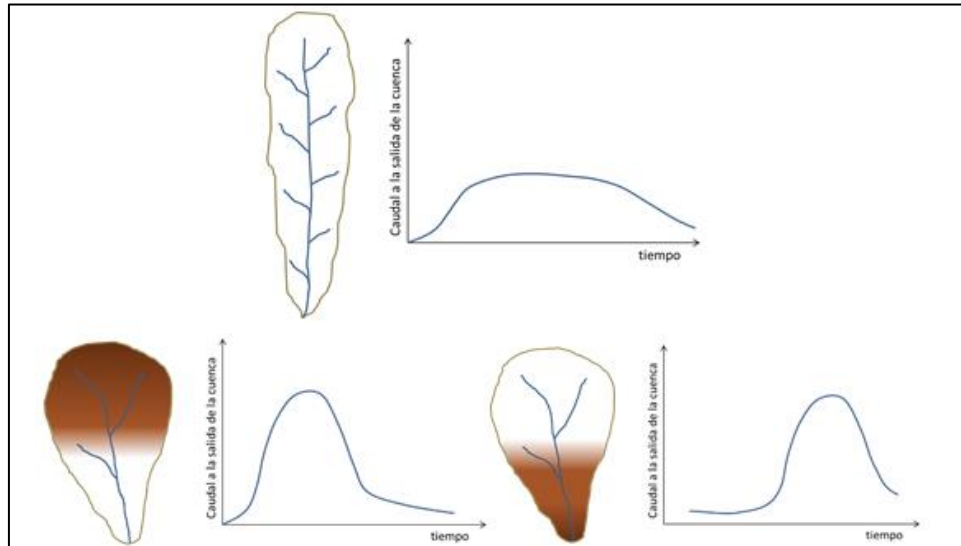


Figura 74. Influencia de la red Hidrológica en la descarga

Tabla 57. Valores del factor Forma (Córdova, 2016)

| Factor de forma (valores aproximados) | Forma de la cuenca |
|---------------------------------------|---------------------------|
| <0.22 | Muy alargada |
| 0.22 a 0.30 | Alargada |
| 0.30 a 0.37 | Ligeramente alargada |
| 0.37 a 0.45 | Ni alargada ni ensanchada |
| 0.45 a 0.60 | Ligeramente ensanchada |
| 0.60 a 0.80 | Ensanchada |
| 0.80 a 1.20 | Muy ensanchada |
| >1.20 | Rodeando el desagüe |

15.1.6 Coeficiente de compacidad (kc).

Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud de la divisoria de agua que la encierra y el

perímetro de la circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular (Figura 75) (Tabla 58) (Lux Cordoba, 2016). Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua (Hernández J. D., 2019).

$$K_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R} = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde, P es el perímetro de la cuenca (longitud de la línea parte aguas), Pc es el perímetro de la circunferencia y R es el radio de la circunferencia. Se han establecido tres categorías para la clasificación de acuerdo con este parámetro:

Tabla 58. Valores de referencia del coeficiente de Compacidad. (Hernández J. D., 2019)

| Valores de Kc | Forma |
|----------------------|---------------------------------------|
| 1.00 – 1.25 | Redonda a oval redonda |
| 1.25 – 1.50 | De oval redonda a oval oblongo |
| 1.50 -1.75 | De oval oblongo a rectangular oblonga |

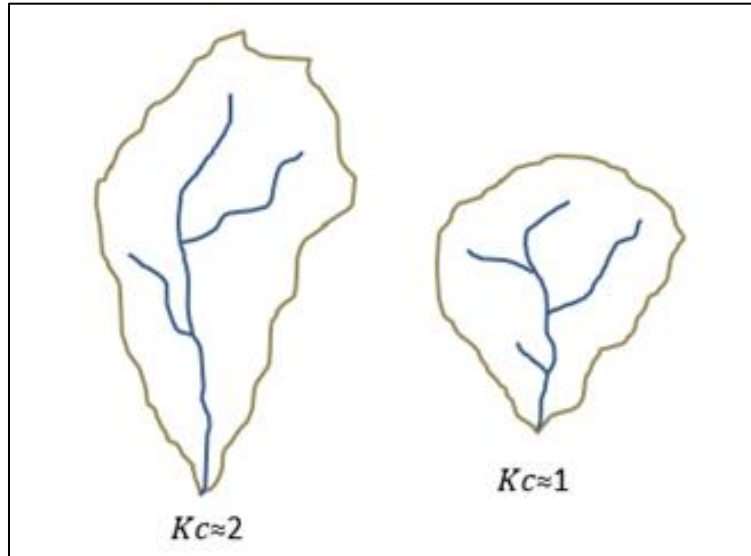


Figura 75. Comparación de la forma de la cuenca según el K_f

La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir avenidas superiores dadas su simetría. Sin embargo, este índice de forma ha sido criticado pues las cuencas en general tienden a tener la forma de pera (Hernández J. D., 2019).

15.1.7 Relación de elongación (R_e).

Esta relación fue definida por S. A. Schumm como la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tiene la misma área de la cuenca (A) y la longitud máxima de la cuenca (L_c) (Lux Cardona, 2016).

$$R_e = \frac{D}{L_c} = (1.128 \times \sqrt{A})/L_c$$

Se ha encontrado que R_e está fuertemente relacionado con el relieve, regiones con bajo relieve presentan valores de $0.6 < R_e < 0.1$, mientras que regiones con alto relieve y pendientes fuertes presentan valores de $R_e \leq 0.4$ y regiones con relieve moderado presentan valores de R_e

entre 0.4 a 0.6, en algunos casos se han presentado en regiones con alto relieve y pendiente fuerte valores de Re entre 0.6 a 0.8

15.2 Parámetros relativos al relieve

Es uno de los parámetros más determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la cuenca. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio (Rojo, S.A.).

A continuación, se describen los elementos más representativos de las cuencas, derivados de la elevación.

- Cota mayor de la cuenca (CM)

Es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de la cuenca (m.s.n.m).

- Cota menor de la cuenca (Cm)

Es la cota sobre la cual la cuenca entrega sus aguas a un cauce superior (m.s.n.m).

- Elevación promedia del relieve

Es la elevación promedia de la cuenca referida al nivel del mar.

- Histograma de frecuencias altimétricas

Corresponde a la estimación del histograma de frecuencias de las elevaciones en la cuenca.

15.2.1 Pendiente.

- Pendiente media de la cuenca (S): es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca.

- Histograma de pendientes: permite conocer la distribución el porcentaje asociado a cada tipo de pendientes. (Tabla 59).

Tabla 59. Clasificación de pendientes.

| Valor de la Pendiente (%) | Descripción |
|---------------------------|-------------|
| 0 - 3 | Plana |
| 3 - 10 | Muy Suave |
| 10 - 25 | Suave |
| 25 - 40 | Moderada |
| 40 - 60 | alta |
| 60 - 100 | Muy alta |
| >100 | Escarpada |

15.2.2 Curva Hipsométrica.

Es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, por medio de una curva tal, que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por encima de esa altura. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas (Figura 76).

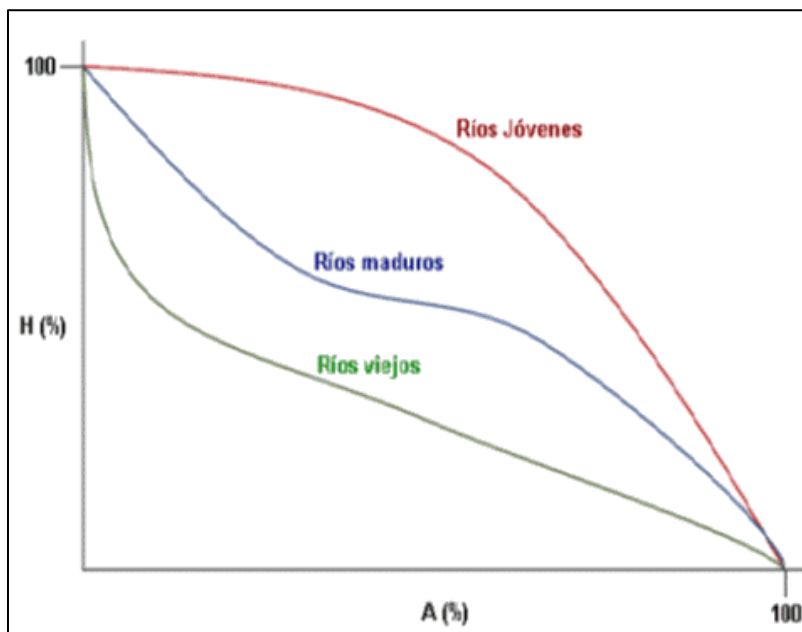


Figura 76. Edad de los drenajes según la curva Hipsométrica

15.3 Parámetros relativos al perfil

15.3.1 Cota mayor de cauce (CMc).

Elevación del punto más alto del cauce (m.s.n.m).

15.3.2 Cota menor de cauce (Cmc).

Coincide con la cota menor de la cuenca (m.s.n.m).

15.3.3 Pendiente promedio del cauce (S_0).

Con base en el perfil altimétrico a lo largo del río se puede encontrar la pendiente de la recta ajustada a parejas de valores obtenidos en intervalos iguales a lo largo del cauce. Se aplica la técnica de los mínimos cuadrados.

15.3.4 Longitud del cauce principal (L_c).

Corresponde a la longitud del cuerpo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio, en este parámetro se tienen en cuenta la sinuosidad cauce; este parámetro se expresa normalmente en kilómetros (Hernández J. D., 2019).

15.4 Parámetros relativos al drenaje

15.4.1 Orden de los cauces.

El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación. En este caso se optó por el método de Horton, el cual se fundamenta en los siguientes criterios: Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se une, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una corriente de orden

i+1. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden (Figura 77).

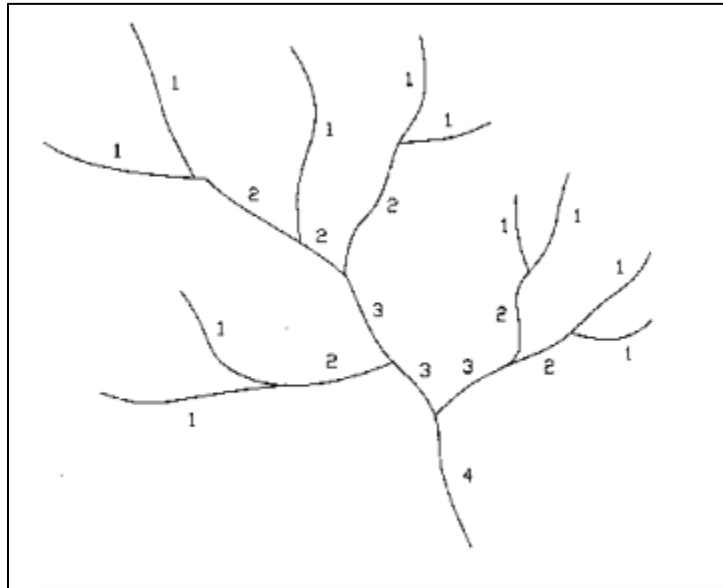


Figura 77. Clasificación del orden de drenajes según Horton

15.4.2 Longitud de los cauces de orden uno (L1).

Una vez establecidos los cauces de orden uno, se miden las longitudes de dichas corrientes.

15.4.3 Densidad de drenaje (Dd).

Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas.

$$D_d = \frac{\text{Longitud de corrientes (Km)}}{\text{Área de la cuenca (Km}^2\text{)}}$$

Con el fin de catalogar una cuenca como bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de densidad de drenaje próximo a 0.5 km/km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje (Hernández J. D., 2019).

15.4.4 Coeficiente de torrencialidad (Ct).

Índice que mide el grado de torrencialidad de la cuenca, por medio de la relación del número de cauces de orden uno con respecto al área total de la misma. A mayor magnitud, mayor grado de torrencialidad presenta una cuenca.

$$C_t = \frac{\# \text{Cauces orden 1}}{\text{Área Cuenca (Km}^2\text{)}}$$

La descripción de las características morfométricas, fisiográficas, hidrológicas e hidráulicas entre otros, permite un mejor entendimiento del comportamiento del flujo de agua en la cuenca.

15.4.5 Tiempo de Concentración (Tc).

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. Para la estimación del tiempo de concentración se recomienda emplear varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica, se considera apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes (Hernández J. D., 2019).

Ramser y Kirpich lo definen como el tiempo al pico T_p , Viessman (1977) lo define como el tiempo comprendido entre el final de la precipitación efectiva y el final de la escorrentía superficial directa. Siendo este último valor, el punto de inflexión del hidrógrama después del caudal pico. Témez (1978) lo define como la diferencia entre el tiempo de finalización del hidrógrama de escorrentía superficial directa y el tiempo de finalización de la precipitación efectiva (Hernández J. D., 2019).

En la literatura se encuentran numerosas expresiones para determinar el tiempo de concentración T_c de las cuencas hidrográficas, desarrolladas por diferentes autores para diferentes regiones del mundo. A continuación, se presentan las dos utilizadas en este trabajo.

California Culvert Practice (1942):

$$T_c = \left(0.87 \frac{L_c^3}{H} \right)^{0.385}$$

T_c es el tiempo de concentración en horas.

H es la diferencia entre la cota mayor y la cota menor de la cuenca en metros.

L_c es la longitud del cauce principal en kilómetros.

Kirpich (1942):

$$T_c = 0.666 \left(\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0.76}$$

T_c es el tiempo de concentración en horas.

L_c es la longitud del cauce principal en kilómetros.

S_0 es la pendiente promedio del cauce principal en porcentaje.

16 Cálculo De Los Parámetros Morfométricos De Las Diferentes Cuencas De Estudio.

Para todas las cuencas el cálculo de los parámetros morfométricos fue ejecutado de la misma manera y con la misma metodología, teniendo siempre como guía las definiciones presentadas en este capítulo así como las diferentes ecuaciones para sus cálculos.

El software ArcGis 10.x fue la herramienta principal en el proceso del cálculo, por medio de su módulo Hydrology como una herramienta clave para poder delimitar las cuencas y conseguir datos precisos de cada una de ellas.

A continuación se presentará cada una de estas cuencas con sus diferentes parámetros y el análisis de cada uno de ellos.

16.1 Cuenca río Neiva

Se procedió a calcular los parámetros morfométricos de la cuenca asociado al aspecto general de la forma. Dentro de estos se obtuvo el **área** y el **perímetro** de la cuenca con valores de 228,51 Km² y 191,09 Km respectivamente. Con el valor obtenido para el área se puede concluir con base en la clasificación de rangos de áreas realizada por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Suelos (CIDIAT-MARNR) que las zonas con un área mayor a 10.000 ha se denominan en su estricto cuenca.

La **longitud máxima de la cuenca** es de 25,30 Km, y el **ancho** de la cuenca de 9,03 Km, lo cual permite determinar los parámetros morfométricos asociados a la forma, estos son:

El **Factor Forma (Kf)** da un valor de 0,3570 definiendo así una cuenca ligeramente alargada, y con poca probabilidad de generar grandes crecidas. Las descargas son de menor volumen

debido a que el cauce de agua principal es más largo que los cauces secundarios y los tiempos de concentración para eventos de precipitación son distintos (Córdova, 2016).

El **coeficiente de compacidad (Kc)** arroja un resultado de 3,5693, lo cual define que la cuenca es de forma oval oblonga a rectangular oblonga y por presentar un valor tan alejado a la unidad se puede deducir que no es una cuenca que acumule mucha agua de escorrentías, y esto a su vez está relacionado a que los tiempos de concentración son diferentes para cada punto de la cuenca lo que permite concluir que abra poca coincidencia de crecientes e inundaciones súbitas de caudal.

Con el **coeficiente de circularidad Rc**, en la Tabla 64, podemos definir que la cuenca posee una forma alejada de la forma de un círculo o en su defecto a presentar un aspecto más alargado que circular. Por último se cuenta con el parámetro de **elongación Re**, en la Tabla 65, el cual al ser un valor menor que 1, implica que la cuenca posee una forma alargada y al ser ligeramente mayor a 0,6 se puede deducir que la cuenca predomina una zona de bajo relieve.

Es así que todos los parámetros de forma indican que la cuenca posee predominantemente una forma alargada y donde la probabilidad de generar crecidas súbitas es baja.

Tabla 60. Parámetros morfométricos generales de la cuenca del río Neiva

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES | | |
|------------------------------------|----------------|--------------|
| <i>Parámetro</i> | <i>Símbolo</i> | <i>Valor</i> |
| Perímetro (km) | P | 191,09 |
| Área (Km ²) | A | 228,51 |
| Longitud Máxima (Km) | LM | 25,30 |
| Longitud Cauce Principal (Km) | LCP | 60,20 |
| Ancho de la Cuenca | AC | 9,03 |
| Desnivel altitudinal (m) | DA | 2804,33 |

Tabla 61. Parámetros de forma de la cuenca del río Neiva

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA | | |
|--|----------------|--------------|
| <i>Parámetro</i> | <i>Símbolo</i> | <i>Valor</i> |
| Factor Forma | FF | 0,3570 |
| Coefficiente de Compacidad | Kc | 3,5396 |
| Coefficiente de Circularidad | Rc | 0,0786 |
| Relación de elongación | Re | 0,6742 |

GREGORY y WALLING (1973) señalaron que cuanto más redonda es una cuenca más retardo existe entre el momento de precipitación y el momento de crecida en la desembocadura, pero al mismo tiempo, más acusada y súbita es la misma crecida, y por tanto más alto el riesgo de inundaciones (SALA y GAY, 1981). De modo que cabe esperar que apenas se den crecidas repentinas en ningún cauce de la red de drenaje, y por tanto sean muy escasas las crecidas relámpago, predominando las crecidas de valle, que son bastante previsibles (Matauco, 2004)

sí mismo se encuentra ubicada en una zona de media montaña con pendiente media de 11,08% clasificando el tipo de relieve como poco accidentado. La pendiente del terreno varía principalmente entre 20 – 30° con una extensión de 65,15 Km², área en la cual se puede ver que la pendiente media de la cuenca se encuentra clasificada (Figura 78)

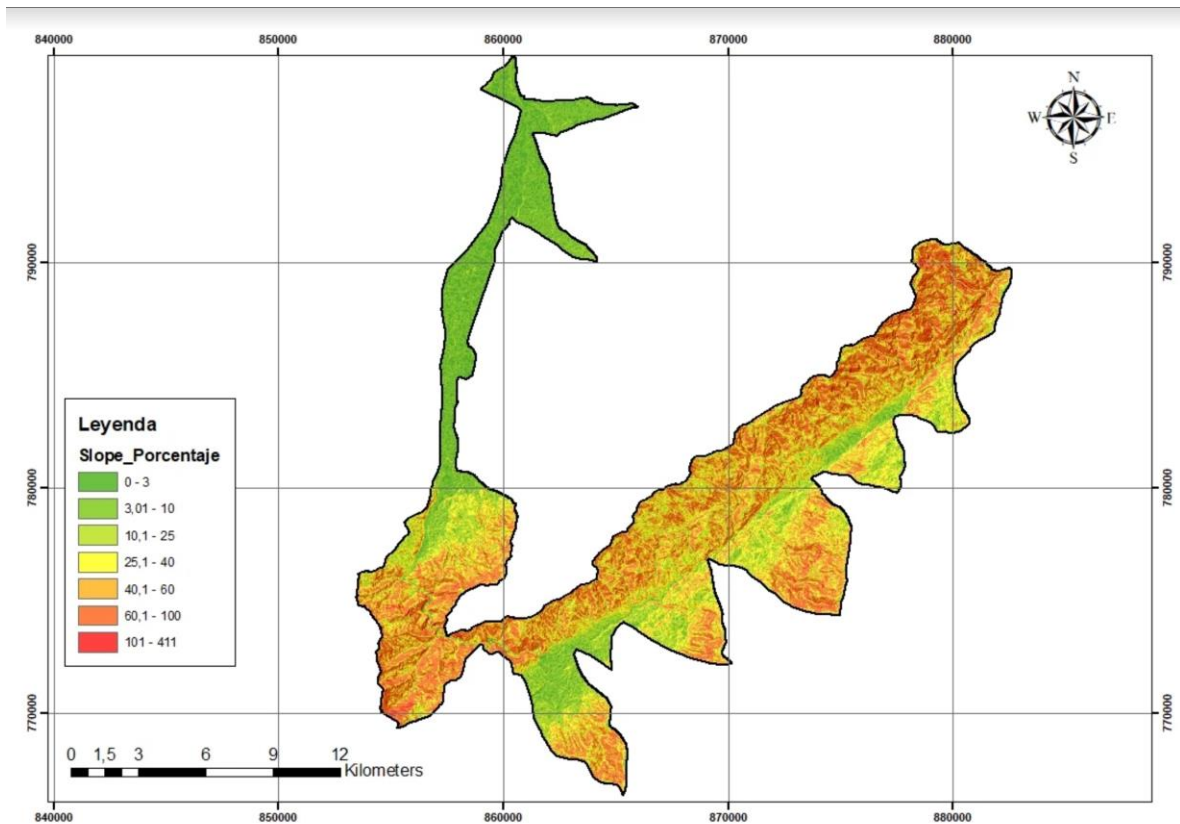


Figura 78. Pendientes de la Cuenca del río Neiva

Por otra parte los parámetros morfométricos también dan indicios del tipo de relieve en el que la cuenca posee injerencia y es así que se determinan de igual forma otras características. Inicialmente se parte de la caracterización de las alturas de la cuenca donde la **cota máxima** de esta tiene un valor de 3282,2 m. s. n. m y, la **cota mínima** posee un valor de 479 m. s. n. m. Posterior al tener las cotas y con ella el **desnivel altitudinal** de la cuenca de 2804,33 m.s.n.m, se procede a realizar un histograma de frecuencias altimétricas (Figura 79) y así calcular la elevación promedio de la cuenca.

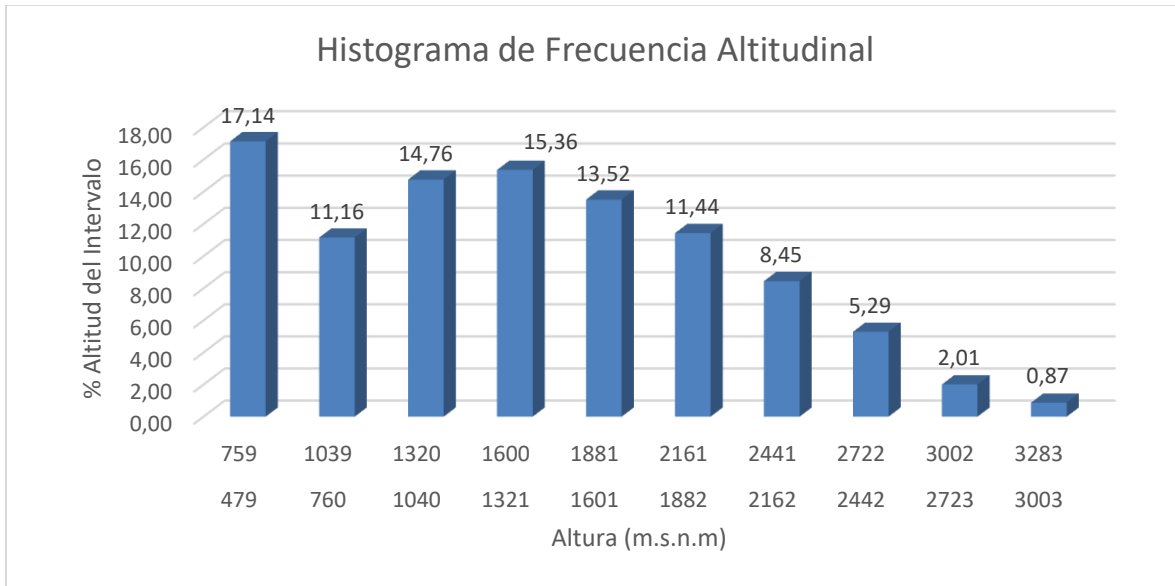


Figura 79. Histograma de frecuencias de altitud

Con este insumo calculado el cual sale de definir unos rangos de alturas característicos, que en este caso fueron 10 rangos del mismo tamaño, y luego obtener sus frecuencias permite concluir que la **altura de mayor frecuencia** para la cuenca es 566,52 m. s. n. m, y, la **altitud media de la cuenca** es de 1775,0 m. s. n. m., siendo el punto con la mayor probabilidad de concentración de caudal.

Con base en toda la información estadística con respecto a las alturas de la cuenca, sus áreas y valores medios se llegan a cálculos de la **curva hipsométrica** de la cuenca, la cual se presenta a continuación:

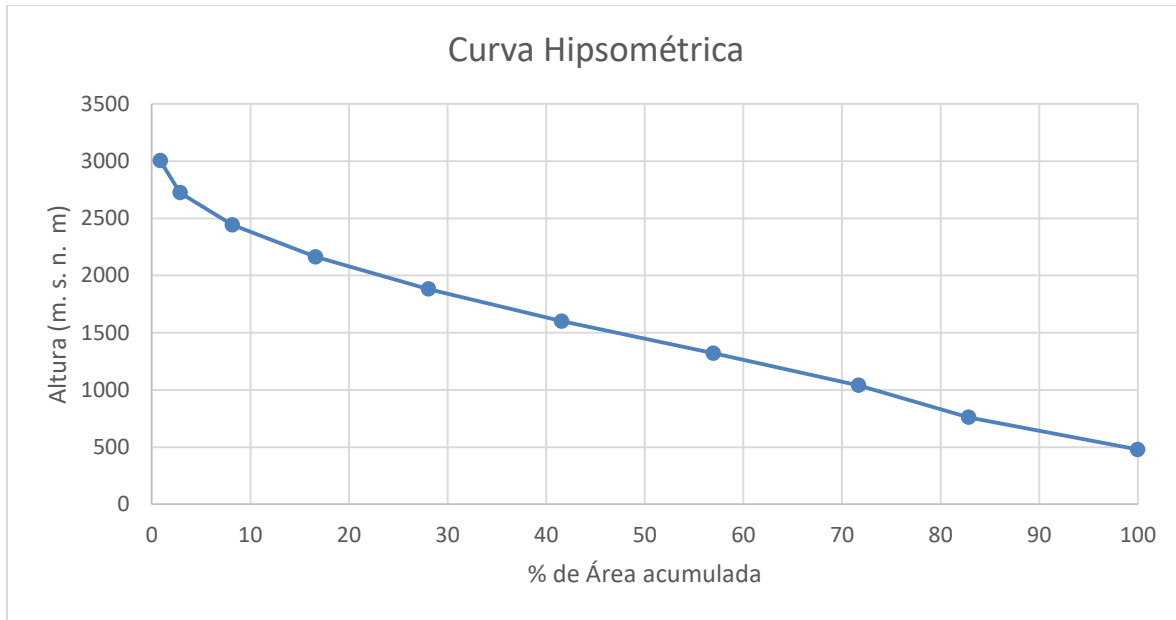


Figura 80. Curva Hipsométrica de la cuenca del río Neiva

La **curva hipsométrica** de la cuenca (Figura 80) obtenida, nos permite deducir, que la cuenca del río Neiva está en una etapa entre ríos maduros a ríos viejos. Así mismo se observa que la gran mayoría de las alturas de la cuenca están por debajo del valor medio altitudinal en la cuenca, lo que permite inferir que es una cuenca donde su evolución ha sido tal que la estabilidad de los procesos denudativos y acumulativos pueden estar llegando a puntos de balances. De igual forma la mayor energía cinética se genera en la parte alta de la cuenca, donde están las pendientes más elevadas, sin embargo, no superan más del 10% de área acumulada en la cuenca, así mismo, es fácilmente dispersada en el resto del recorrido de la cuenca por el predominio de las moderadas a bajas pendientes.

Después de analizar los diferentes aspectos de forma de la cuenca del río Neiva se pasa a analizar aspectos **relacionados a su red hídrica** que permitan de igual manera conocer la cuenca e identificar así aspectos de importancia para los análisis de torrencialidad de la misma.

De esta manera, se parte de una **red de drenaje sub-dendrítico a sub-paralelo** para la cuenca del río Neiva, en donde sus drenajes generalmente se encuentran con un nuevo cauce en ángulos agudos. Esta particularidad del drenaje puede estar asociada al desarrollo de suelo de rocas de origen sedimentario o posiblemente ígneo.

Esta red de drenajes se ha constituido como un **sistema de drenajes de quinto orden** (Figura 81), lo que permite concluir que es una red con buena capacidad de evacuación de agua en momento picos de escorrentías. En este sistema la **longitud del cauce principal** alcanza aproximadamente 60,20 Km y la **longitud total de la red de drenaje** se calcula en 410,86Km. En conclusión las **corrientes tributarias del cauce principal** están conformadas por 350,66 Km, donde las corrientes tributarias de primer orden se calcula que tiene un número de drenajes de primer de 399.

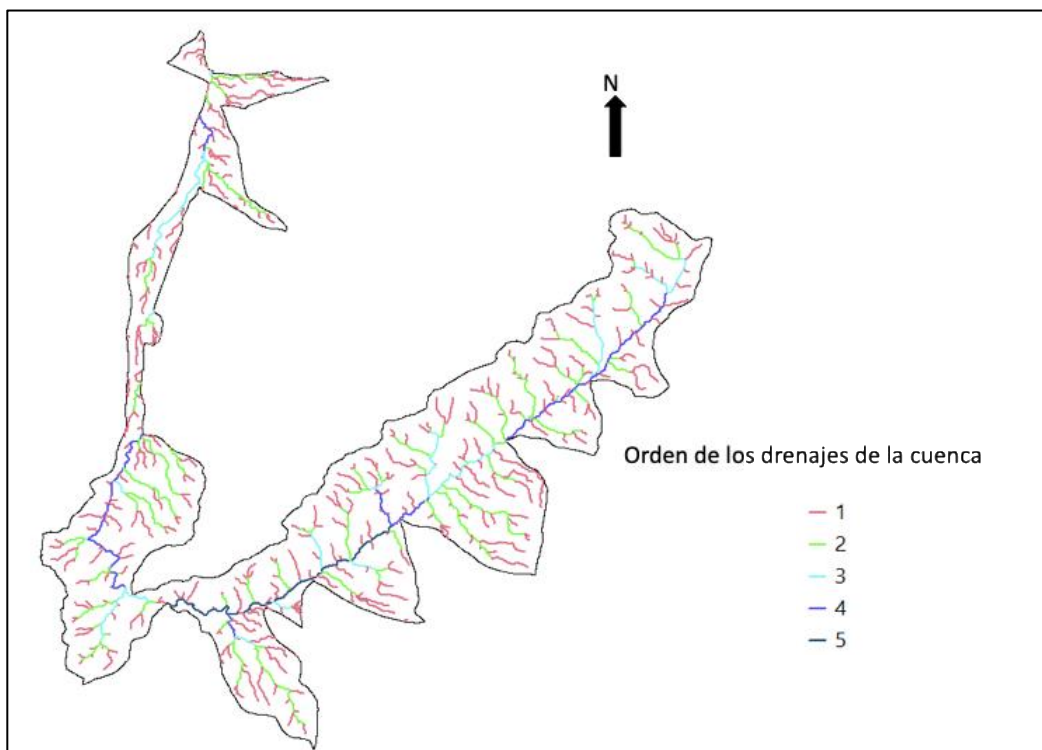


Figura 81. Orden de los Drenajes de la cuenca del río Neiva

Por otro lado, se concluye que esta cuenca a pesar de que tiene una densidad de drenaje baja, es bien drenada como lo define la **densidad de drenaje** de 1.80Km/Km² por lo tanto tiene moderado volumen de escurrimiento lo que influye en la velocidad de desplazamiento de las aguas, lo cual contrasta con el tiempo de concentración que una gota de agua recorre para llegar a la salida de la cuenca, condición sujeta en este caso al área de la cuenca y a las pendiente predominantes en esta, la cual permite inferir el porqué de un valor del tiempo de escurrimiento de 5,67h con el método de Kirpich de 1973. (Tabla 62)

Tabla 62. Parámetros morfométricos asociados a la red de drenaje.

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE | | |
|---|----------------|--------------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Orden de la Cuenca | Oc | 5,00 |
| Longitud Total de drenajes (Km) | Lt | 410,86 |
| Densidad de Drenaje (Km/Km ²) | DD | 1,80 |
| Frecuencia de drenajes | F | 2,69 |
| # de drenajes orden 1 | | 399,00 |
| Coefficiente de Torrencialidad | Ct | 1,75 |
| Pendiente del Cauce (m/m) | | 0,03 |
| Tiempo de Concentración (Culvert Practive) | Tc | 5,07 |
| Tiempo de Concentración (Kirpich) | Tc | 5,67 |

Por último y dentro de los aspectos de gran relevancia está el cálculo del coeficiente de torrencialidad el cual para esta cuenca dio una valor de 1,75. Este valor es directamente proporcional a la cantidad de drenajes de orden 1 en la cuenca y debido al valor obtenido permite concluir que la torrencialidad de la cuenca del río Neiva seria baja. Esto fue comparado con un método propuesto por el IDEAM en el 2013 donde por medio de un cálculo de un índice morfométricos torrencial el cual relaciona varias variables morfométricas permite obtener el grado de vulnerabilidad para una cuenca a sufrir avenidas torrenciales.

Para esto nos valemos de las siguientes tablas:

Tabla 63 Relaciones para categorizar el índice morfométricos. IDEAM 2013

| Índice morfométrico | Escala | Área de la cuenca de drenaje (km ²) | Categorías | | | | |
|---|-----------|---|------------------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Densidad de drenaje (km/km ²) | 1:10.000 | <15 | <1,50 | 1,51 – 2.00 | 2,01 – 2.50 | 2,51 – 3,00 | > 3 |
| | 1:25.000 | 16 a 50 | <1,20 | 1,21 – 1,80 | 1,81 – 2.00 | 2,01 – 2,50 | > 2,5 |
| | 1:100.000 | >50 | <1,00 | 1,01 – 1,50 | 1,51 – 2.00 | 2,01 – 2,50 | > 2,5 |
| | | | Baja | Moderada | Moderada Alta | Alta | Muy Alta |
| Pendiente media de la cuenca (%) | 1:10.000 | <15 | <20 | 21 – 35 | 36 – 50 | 51 – 75 | >75 |
| | 1:100.000 | >50 | <15 | 16 – 30 | 30 – 45 | 46 – 65 | >65 |
| | | | Accidentado | Fuerte | Muy Fuerte | Escarpado | Muy Escarpado |
| Coeficiente de compacidad | | | <1,625 | 1,376 -1,50 | 01,251- 1,375 | 1,126 – 1,250 | 1,00 – 1,125 |
| | | | Oval-oblonga a rectangular-oblonga | Oval-redonda a oval-oblonga | | Casi redonda | |

| | | Pendiente media de la cuenca | | | | | |
|---------------------|-----|------------------------------|-----|-----|-----|-----|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Densidad de drenaje | 1 | 111 | 121 | 131 | 141 | 151 | 1 |
| | | 112 | 122 | 132 | 142 | 152 | 2 |
| | | 113 | 123 | 133 | 143 | 153 | 3 |
| | | 114 | 124 | 134 | 144 | 154 | 4 |
| | | 115 | 125 | 135 | 145 | 155 | 5 |
| | 2 | 211 | 221 | 231 | 241 | 251 | 1 |
| | | 212 | 222 | 232 | 242 | 252 | 2 |
| | | 213 | 223 | 233 | 243 | 253 | 3 |
| | | 214 | 224 | 234 | 244 | 254 | 4 |
| | | 215 | 225 | 235 | 245 | 255 | 5 |
| | 3 | 311 | 321 | 331 | 341 | 351 | 1 |
| | | 312 | 322 | 332 | 342 | 352 | 2 |
| | | 313 | 323 | 333 | 343 | 353 | 3 |
| | | 314 | 324 | 334 | 344 | 354 | 4 |
| | | 315 | 325 | 335 | 345 | 355 | 5 |
| 4 | 411 | 421 | 431 | 441 | 451 | 1 | |
| | 412 | 422 | 432 | 442 | 452 | 2 | |
| | 413 | 423 | 433 | 443 | 453 | 3 | |
| | 414 | 424 | 434 | 444 | 454 | 4 | |
| | 415 | 425 | 435 | 445 | 455 | 5 | |
| 5 | 511 | 521 | 531 | 541 | 551 | 1 | |
| | 512 | 522 | 532 | 542 | 552 | 2 | |
| | 513 | 523 | 533 | 543 | 553 | 3 | |
| | 514 | 524 | 534 | 544 | 554 | 4 | |
| | 515 | 525 | 535 | 545 | 555 | 5 | |

■ Muy alta

■ Baja

■ Muy baja

■ Alta

■ Moderada

Tabla 64. Relación entre variables para el índice morfométricos. IDEAM 2013

Como se puede ver en cada una de estas tablas se utilizan los parámetros de densidad de drenaje, pendiente media de la cuenca y coeficiente de Forma para poder llegar a una clasificación de la cuenca. De esta manera el índice obtenido de la Tabla 63 es un valor de 3 para la densidad de drenaje, 1 para la pendiente de la cuenca y 1 para el coeficiente de Compacidad, lo cual lleva finalmente a tener un valor de 311 de la Tabla 64, clasificando a la cuenca como de baja vulnerabilidad a las avenidas torrenciales.

El cálculo de las características morfométricas de las otras cuencas faltantes, que en este caso es la Ceibas y río Frío vereda Rivera y Campoalegre se presentará de manera resumida, anteriores de no entrar en repetir tanta información ya presentada en ítems anteriores que sirven de referencia.

16.2 Cuenca río Ceibas

El **área y el perímetro** de esta cuenca son 161,31 Km² y 111,11 Km respectivamente. Con el valor obtenido para el área se puede concluir que es en su estricto una cuenca.

La **longitud máxima de la cuenca** es de 34,53 Km, y el **ancho** de la cuenca de 4,67 Km, lo cual permite determinan los parámetros morfométricos asociados a la forma, estos son:

El **Factor Forma (Kf)** da un valor de 0,1353 definiendo una cuenca muy alargada, y con poca probabilidad de generar grandes crecidas. Las descargas son de menor volumen debido a que el cauce de agua principal es más largo que los cauces secundarios (Córdova, 2016).

El **coeficiente de compacidad (Kc)** arroja un resultado de 2,4496, lo cual define que la cuenca es de forma oval oblonga a rectangular oblonga y por presentar un valor tan alejado a la unidad se puede deducir que no es una cuenca que acumule mucha agua de escorrentías, y esto a su vez está relacionado a que los tiempos de concentración son diferentes para cada punto de la

cuenca lo que permite concluir que habrá poca coincidencia de crecientes y crecidas súbitas de caudal.

Con el **coeficiente de circularidad Rc**, en la Tabla 65, podemos definir que la cuenca posee una forma alejada de la forma de un círculo. Por último se cuenta con el parámetro de **elongación Re**, en la Tabla 66, el cual al ser un valor menor que 1, implica que la cuenca posee una forma alargada y al ser ligeramente mayor a 0,4 se puede deducir que la cuenca predomina una zona de moderado relieve.

Es así que todos los parámetros de forma indican que la cuenca posee predominantemente una forma alargada y donde la probabilidad de generar inundaciones súbitas es baja.

Tabla 65. Parámetros morfométricos generales de la cuenca del río Ceibas

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES | | |
|---|---------|---------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Perímetro (km) | P | 111,11 |
| Área (Km ²) | A | 161,31 |
| Longitud Máxima (Km) | Lm | 34,53 |
| Longitud Cauce Principal (Km) | Lcp | 52,67 |
| Ancho de la Cuenca | AC | 4,67 |
| Desnivel altitudinal (m) | DA | 2765,00 |

Tabla 66. Parámetros de forma de la cuenca del río Ceibas

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA | | |
|---|---------|--------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Factor Forma | Kf | 0,1353 |
| Coeficiente de Compacidad | Kc | 2,4496 |
| Coeficiente de Circularidad | CC | 0,1642 |
| Relación de elongación | Re | 0,4149 |

Esta cuenca se encuentra ubicada en una zona de media montaña con pendiente media de 8,01% clasificando el tipo de relieve como poco accidentado. La pendiente del terreno varía

principalmente entre 20 – 30° con una extensión de 44,28 Km², seguida de esta se encuentran pendientes entre 30 - 45° con un área 42,07 Km² y finalmente las pendientes entre 10 - 20° con un extensión de superficie de 36,24 Km², del total de la superficie (Figura 82)

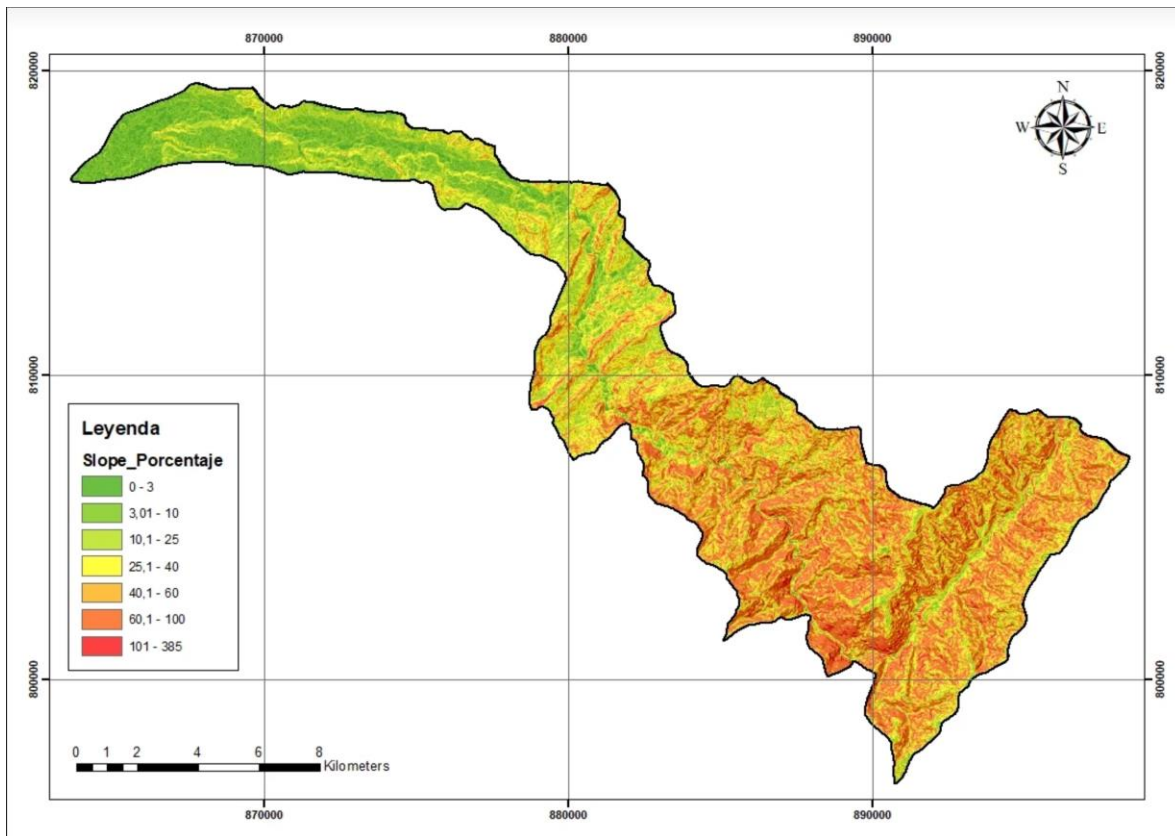


Figura 82. Pendientes de la cuenca del río Ceibas

Por otra parte, los parámetros morfométricos también dan indicios del tipo de relieve en el que la cuenca. De esta forma se pasa a caracterizar las alturas de la cuenca donde la **cota máxima** de esta tiene un valor de 3215,0 m. s. n. m y, la **cota mínima** posee un valor de 450,0 m. s. n. m. Posterior al tener las cotas y con ella el **desnivel altitudinal** de la cuenca de 2765,0 m. s. n. m, se procede a realizar un histograma de frecuencias altimétricas (Figura 83) y así calcular la elevación promedio de la cuenca.

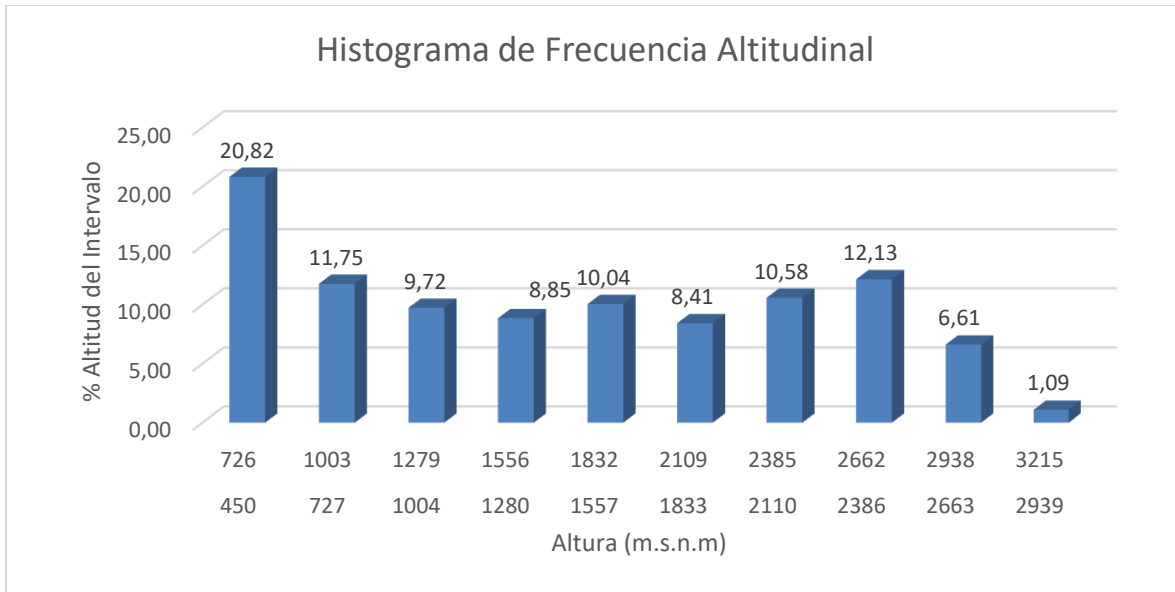


Figura 83. Histograma de frecuencia de altitud

Con este insumo calculado se concluye que la **altura de mayor frecuencia** para la cuenca es 575,86 m. s. n. m, y, la **altitud media de la cuenca** es de 1730,84 m. s. n. m., siendo el punto con la mayor probabilidad de concentración de caudal.

Con base en toda la información estadística con respecto a las alturas de la cuenca, sus áreas y valores medios se llegan a cálculos de la **curva hipsométrica** de la cuenca, la cual se presenta a continuación:

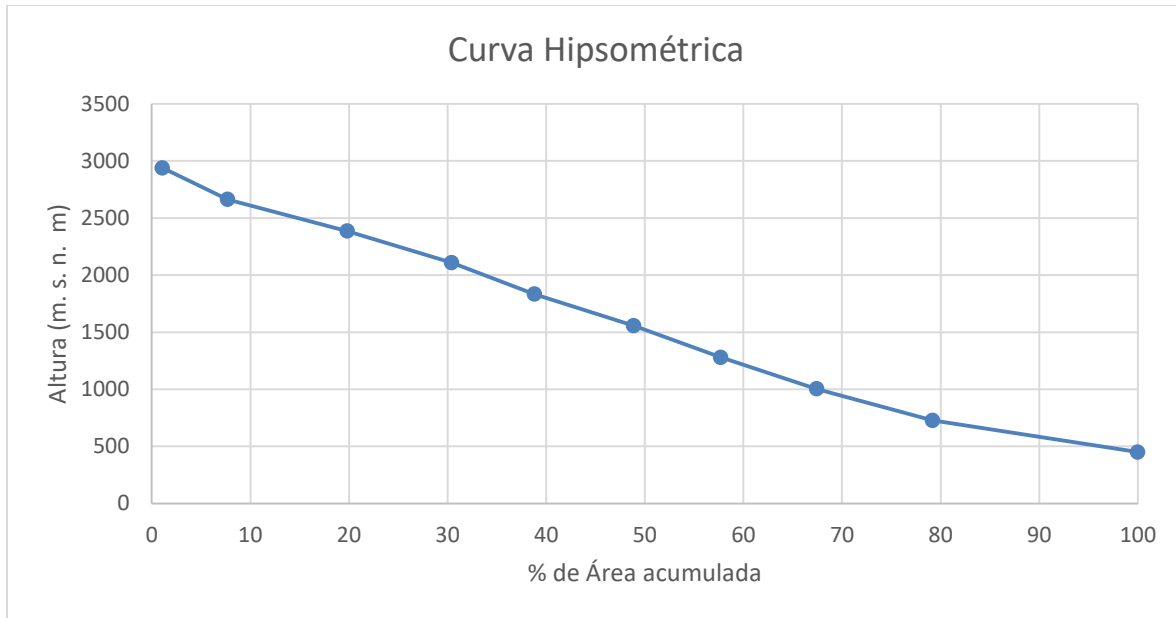


Figura 84. Curva Hipsométrica de la cuenca del río Ceibas

La **curva hipsométrica** de la cuenca (Figura 84) obtenida, nos permite deducir, que la cuenca del río Ceibas está en una etapa entre ríos maduros y ríos jóvenes. Así mismo se observa que la gran mayoría de las alturas de la cuenca están por debajo del valor medio altitudinal en la cuenca. Se puede observar de acá que la mayor energía cinética se genera en la parte alta de la cuenca, donde están las pendientes más elevadas, sin embargo, estas pendientes de mayor valor difícilmente superan los 40°, presentando como valor medio para las zonas altas valores de 35°.

Después de analizar los diferentes aspectos de forma de la cuenca del río Ceibas se pasa a analizar aspectos **relacionados a su red hídrica**. De esta manera, se parte de una **red de drenaje sub-dendrítico a sub-paralelo** para la cuenca del río Ceibas, en donde sus drenajes generalmente se encuentran con un nuevo cauce en ángulos agudos y algunos a casi 90°. Esta particularidad del drenaje puede estar asociado a las unidades litológicas y el tipo de suelo que generan.

Esta red de drenajes se ha constituido como un **sistema de drenajes de cuarto orden** (Figura 85) lo que permite concluir que es una red con buena capacidad de evacuación de agua en momento picos de escorrentías. En este sistema la **longitud del cauce principal** alcanza aproximadamente 52,67 Km y la **longitud total de la red de drenaje** se calcula en 272,87 Km. En conclusión las **corrientes tributarias del cauce principal** están conformadas por 220,20 Km, donde las corrientes tributarias de primer orden se calcula que tiene un número de drenajes de orden 1 de 274.

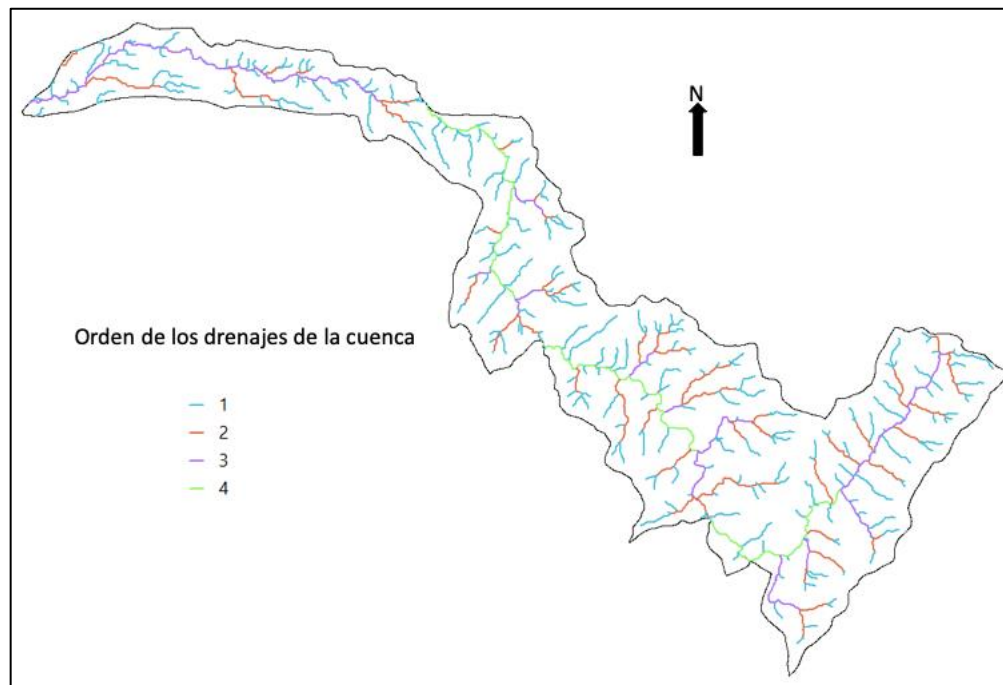


Figura 85. Orden de los drenajes de la cuenca del río Ceibas

Por otro lado, se concluye que esta cuenca a pesar de que tiene una densidad de drenaje baja, es bien drenada como lo define la **densidad de drenaje** de 1,69Km/Km² por lo tanto tiene moderado volumen de escurrimiento lo que influye en la velocidad de desplazamiento de las aguas, lo cual contrasta con el tiempo de concentración que una gota de agua recorre para llegar

a la salida de la cuenca, condición sujeta en este caso al área de la cuenca y a las pendiente predominantes en esta, la cual permite inferir el porqué de un valor del tiempo de escurrimiento de 5,18h con el método de Kirpich de 1973. (Tabla 67).

Tabla 67. Parámetros morfométricos asociados a la red de drenaje.

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE | | |
|---|---------|--------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Orden de la Cuenca | Oc | 4,00 |
| Longitud Total de drenajes (Km) | Lt | 272,87 |
| Densidad de Drenaje | DD | 1,69 |
| Frecuencia de drenajes | F | 3,81 |
| # de drenajes orden 1 | | 274,00 |
| Coefficiente de Torrencialidad | Ct | 1,70 |
| Pendiente del Cauce (m/m) | | 0,03 |
| Tiempo de Concentración (Culvert Practice) | Tc | 4,37 |
| Tiempo de Concentración (Kirpich) | Tc | 5,18 |

El cálculo del coeficiente de torrencialidad para esta cuenca dio un valor de 1,70. Este valor permite concluir que la torrencialidad de la cuenca del río Ceibas sería baja. En comparación con el método del IDEAM en el 2013 el índice morfométrico de torrencialidad (Tabla 63 y Tabla 64) arrojó un valor de 311 lo cual concluye que es una zona de baja vulnerabilidad igual que la cuenca anterior del río Neiva.

16.3 Cuenca río Frío - Campoalegre

El **área y el perímetro** de esta cuenca son 56,08 Km² y 50,93 Km respectivamente. Con el valor obtenido para el área se puede concluir que es en su estricto una microcuenca.

La **longitud máxima de la cuenca** es de 15,77 Km, y el **ancho** de la cuenca de 3,56 Km, lo cual permite determinar los parámetros morfométricos asociados a la forma, estos son:

El **Factor Forma (Kf)** da un valor de 0,2255 definiendo una microcuenca alargada, y con poca probabilidad de generar grandes crecidas. Las descargas son de menor volumen debido a que el cauce de agua principal es más largo que los cauces secundarios (Córdova, 2016).

El **coeficiente de compacidad (Kc)** arroja un resultado de 1,9043, lo cual define que la cuenca es de forma oval oblonga a rectangular oblonga. Se puede deducir que no es una cuenca que acumule mucha agua de escorrentías, y esto a su vez está relacionado a que los tiempos de concentración son diferentes para cada punto de la cuenca.

Con el **coeficiente de circularidad Rc**, en la Tabla 68, podemos definir que la cuenca posee una forma alejada de la forma de un círculo. Por último se cuenta con el parámetro de **elongación Re**, en la Tabla 69, el cual al ser un valor menor que 1, implica que la cuenca posee una forma alargada y al ser ligeramente mayor a 0,5 se puede deducir que la cuenca predomina una zona de relieve moderado.

Es así que todos los parámetros de forma indican que la cuenca posee predominantemente una forma alargada y donde la probabilidad de generar crecidas súbitas es baja.

Tabla 68. Parámetros morfométricos generales de la cuenca del río frío - Campoalegre

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES | | |
|---|---------|---------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Perímetro (km) | P | 50,93 |
| Área (Km ²) | A | 56,08 |
| Longitud Máxima (Km) | LM | 15,77 |
| Longitud Cauce Principal (Km) | LCP | 21,36 |
| Ancho de la Cuenca | AC | 3,56 |
| Desnivel altitudinal (m) | DA | 2773,00 |

Tabla 69. Parámetros de forma de la cuenca del río Frío - Campoalegre

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA | | |
|---|---------|--------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Factor Forma | Kf | 0,2255 |
| Coefficiente de Compacidad | Kc | 1,9043 |
| Coefficiente de Circularidad | CC | 0,2717 |
| Relación de elongación | Re | 0,5357 |

Esta cuenca se encuentra ubicada en una zona de media montaña con pendiente media de 17,58% clasificando el tipo de relieve como poco a moderadamente accidentado. La pendiente del terreno varía principalmente entre 30 – 45° con una extensión de 20,61 Km², seguida de esta se encuentran pendientes entre 20 - 30° con un área 15,42 Km², del total de la superficie (Figura 86).

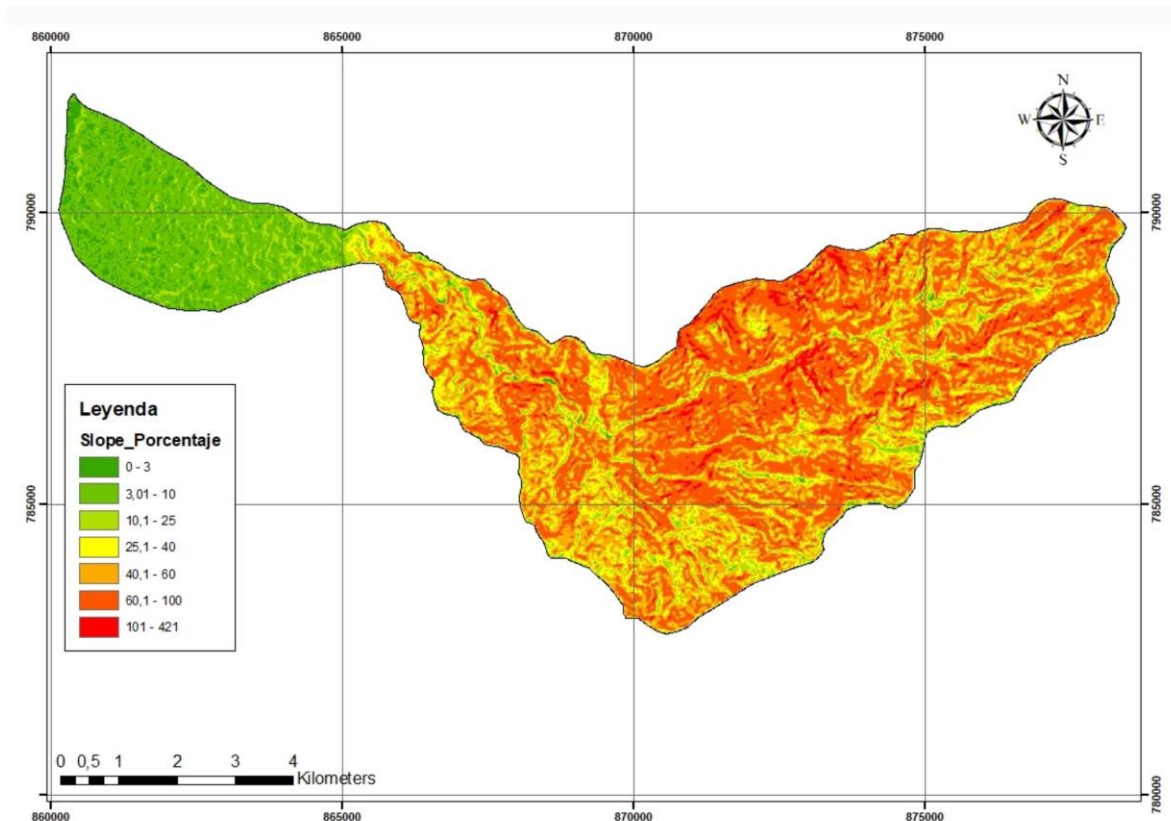


Figura 86. Pendientes de la Cuenca del río Frío Campoalegre

Por otra parte, los parámetros morfométricos también dan indicios del tipo de relieve en el que la cuenca. De esta forma se pasa a caracterizar las alturas de la cuenca donde la **cota máxima** de esta tiene un valor de 3284,0 m. s. n. m y, la **cota mínima** posee un valor de 511,0 m. s. n. m. Posterior al tener las cotas y con ella el **desnivel altitudinal** de la cuenca de 2773,0 m. s. n. m, se procede a realizar un histograma de frecuencias altimétricas (Figura 87) y así calcular la elevación promedio de la cuenca.

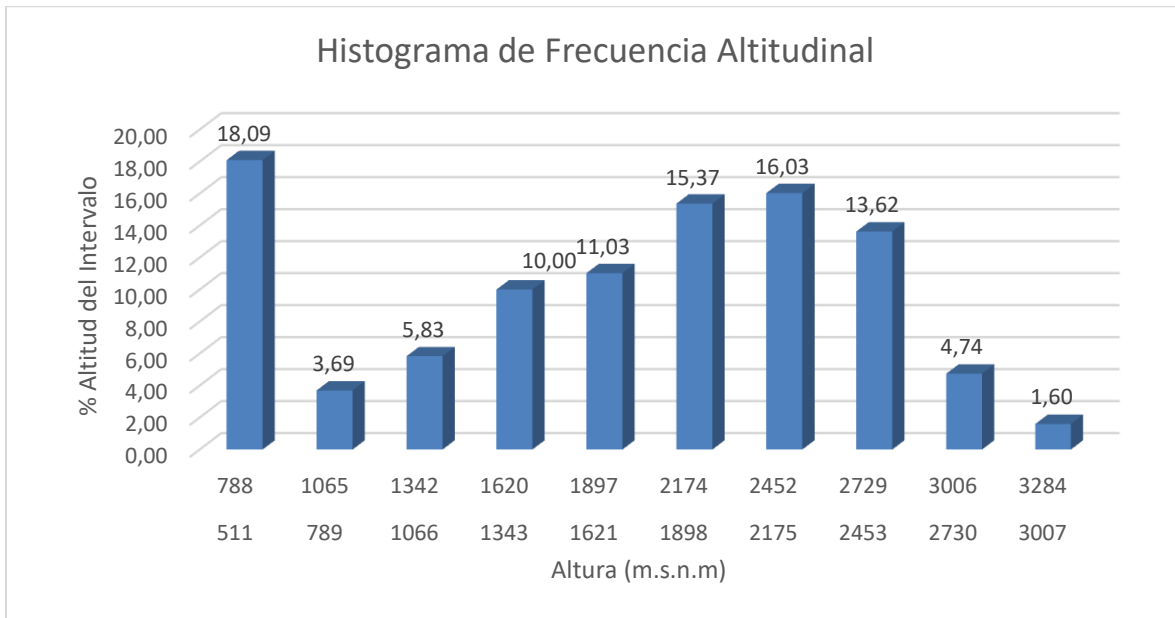


Figura 87. Histograma de frecuencias de altitud

Con este insumo calculado se concluye que la **altura de mayor frecuencia** para la cuenca es 589,33 m.s.n.m, y, la **altitud media de la cuenca** es de 1934,04 m. s. n. m., siendo el punto con la mayor probabilidad de concentración de caudal.

Con base en toda la información estadística con respecto a las alturas de la cuenca, sus áreas y valores medios se llegan a cálculos de la **curva hipsométrica** de la cuenca, la cual se presenta a continuación:

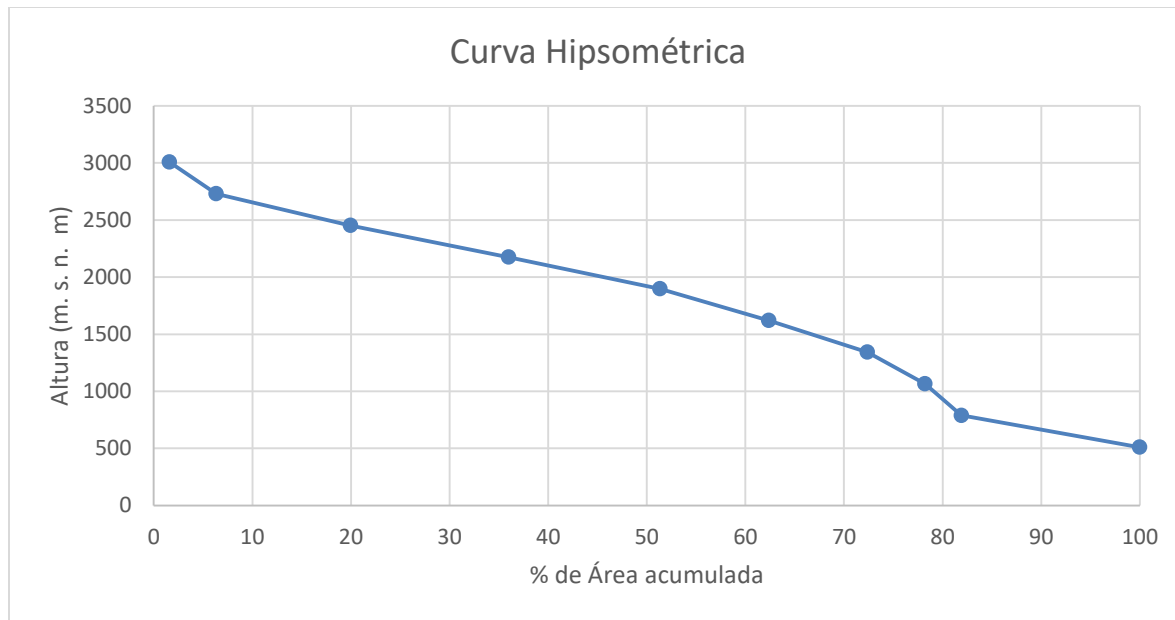


Figura 88. Curva Hipsométrica de la cuenca del río Frío Campoalegre

La **curva hipsométrica** de la cuenca (Figura 88) obtenida, nos permite deducir, que la cuenca del río Frío - Campoalegre está en una etapa de ríos jóvenes. En esta cuenca se puede observar un comportamiento particular ya que las alturas que abarcan la mayor cantidad de área e importancia están distribuidas en diferentes etapas de la cuenca. En la parte alta de la cuenca se inicia con pendientes entre los 30 - 45°, luego la pendiente a medida que se desciende se suaviza y pasa a una pendiente entre los 20 - 30°, lo cual transcurre hasta la mitad de la cuenca. Posterior a esto se repite nuevamente las pendientes altas entre los 30 - 45° y por último en el punto de desfogue de la cuenca se obtiene un tramo con pendientes no mayores a los 15°. Lo que es posible esté marcando ese proceso evolutivo en el que se encuentra aún la cuenca.

Después de analizar los diferentes aspectos de forma de la cuenca del río Frío - Campoalegre se pasa analizar aspectos **relacionados a su red hídrica**. De esta manera, se parte de una **red de drenaje dendrítica** en la parte media a alta de la cuenca a **una red de drenaje paralela** en la parte baja de cuenca del río Frío, en donde sus drenajes generalmente se encuentran con un

nuevo cauce en ángulos agudos y algunos a casi 90°. Esta particularidad del drenaje puede estar asociado a las unidades litológicas y el tipo de suelo que generan.

Esta red de drenajes se ha constituido como un **sistema de drenajes de cuarto orden** (Figura 89) lo que permite concluir que es una red con buena capacidad de evacuación de agua en momento picos de escorrentías. En este sistema la **longitud del cauce principal** alcanza aproximadamente 21,36 Km y la **longitud total de la red de drenaje** se calcula en 98,91 Km. En conclusión las **corrientes tributarias del cauce principal** están conformadas por 77,55 Km, donde las corrientes tributarias de primer orden se calcula que tiene un número de drenajes orden 1 de 88.

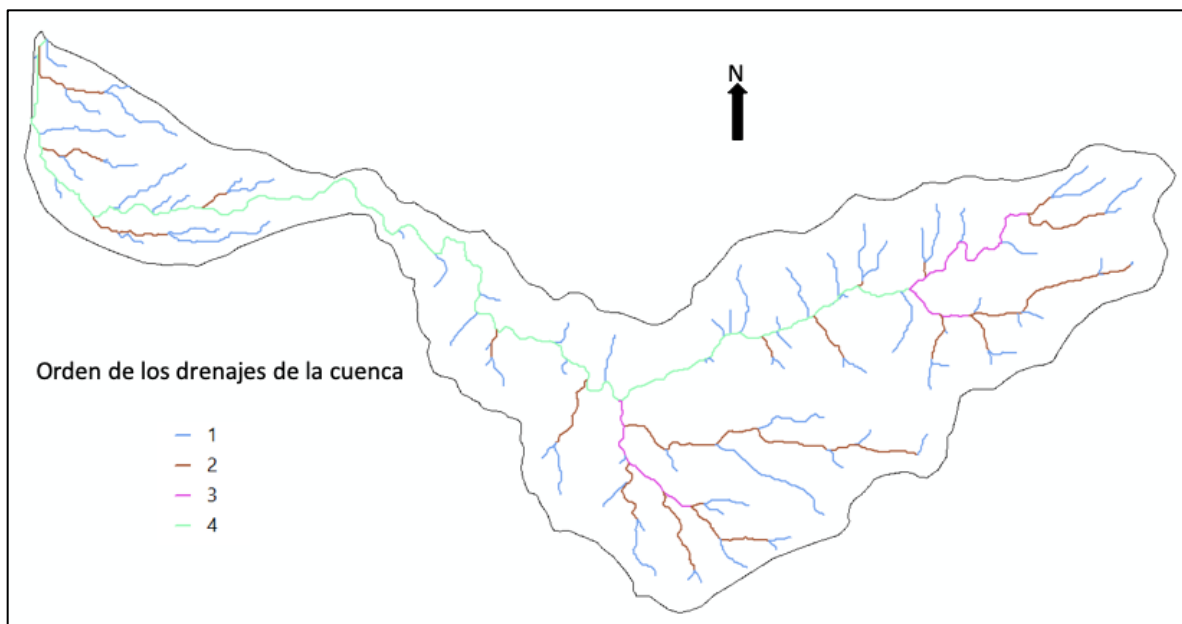


Figura 89. Orden de los drenajes de la cuenca del río Frío Campoalegre

Por otro lado, se concluye que esta cuenca a pesar de que tiene una densidad de drenaje baja, es bien drenada como lo define la **densidad de drenaje** de 1,76Km/Km² por lo tanto tiene moderado volumen de escurrimiento lo que influye en la velocidad de desplazamiento de las aguas, lo cual es concordante con el tiempo de concentración que una gota de agua recorre para

llegar a la salida de la cuenca, condición sujeta en este caso al área de la cuenca y a las pendiente predominantes en esta, la cual permite inferir el porqué de un valor del tiempo de escurrimiento de 1,91h con el método de Kirpich de 1973. (Tabla 70.

Tabla 70. Parámetros morfométricos asociados a la red de drenaje.

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE | | |
|---|---------|-------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Orden de la Cuenca | Oc | 4,00 |
| Longitud Total de drenajes (Km) | Lt | 98,91 |
| Densidad de Drenaje | DD | 1,76 |
| Frecuencia de drenajes | F | 10,97 |
| # de drenajes orden 1 | | 88,00 |
| Coefficiente de Torrencialidad | Ct | 1,57 |
| Pendiente del Cauce (m/m) | | 0,07 |
| Tiempo de Concentración (Culvert Practice) | Tc | 1,54 |
| Tiempo de Concentración (Kirpich) | Tc | 1,91 |

El cálculo del coeficiente de torrencialidad para esta cuenca dio una valor de 1,57. Este valor permite concluir que la torrencialidad de la cuenca del río Ceibas sería baja a media. En comparación con el método del IDEAM en el 2013 el índice morfométrico de torrencialidad (Tabla 63 y Tabla 64) arrojó un valor de 321 lo cual concluye que es una zona o microcuenca de baja vulnerabilidad.

16.4 Cuenca río Frío - Rivera

El **área y el perímetro** de esta cuenca son 38,32 Km² y 53,43 Km respectivamente. Con el valor obtenido para el área se puede concluir que es en su estricto una microcuenca.

La **longitud máxima de la cuenca** es de 21,64 Km, y el **ancho** de la cuenca de 1,77 Km, lo cual permite determinar los parámetros morfométricos asociados a la forma, estos son:

El **Factor Forma (Kf)** da un valor de 0,081 definiendo una microcuenca muy alargada, y con poca probabilidad de generar grandes crecidas. Las descargas son de menor volumen debido a que el cauce de agua principal es más largo que los cauces secundarios (Córdova, 2016).

El **coeficiente de compacidad (Kc)** arroja un resultado de 2,4167 lo cual define que la cuenca es de forma oval oblonga a rectangular oblonga. Se puede deducir que no es una cuenca que acumule mucha agua de escorrentías, y esto a su vez está relacionado a que los tiempos de concentración son diferentes para cada punto de la cuenca.

Con el **coeficiente de circularidad Rc**, en la Tabla 71, podemos definir que la cuenca posee una forma alejada de la forma de un círculo. Por último se cuenta con el parámetro de **elongación Re**, en la Tabla 72, el cual al ser un valor menor que 1, implica que la cuenca posee una forma alargada y al ser ligeramente mayor a 0,3 se puede deducir que la cuenca predomina una zona de relieve alto.

Es así que todos los parámetros de forma indican que la cuenca posee predominantemente una forma alargada y donde la probabilidad de generar inundaciones súbitas es baja.

Tabla 71. Parámetros morfométricos generales de la cuenca del río frío - Rivera

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES | | |
|---|---------|---------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Perímetro (km) | P | 53,43 |
| Área (Km ²) | A | 38,32 |
| Longitud Máxima (Km) | Lm | 21,64 |
| Longitud Cauce Principal (Km) | Lcp | 25,58 |
| Ancho de la Cuenca | AC | 1,77 |
| Desnivel altitudinal (m) | DA | 2772,00 |

Tabla 72. Parámetros de forma de la cuenca del río Frío - Rivera

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA | | |
|---|---------|--------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Factor Forma | Kf | 0,0818 |
| Coefficiente de Compacidad | Kc | 2,4167 |
| Coefficiente de Circularidad | CC | 0,1687 |
| Relación de elongación | Re | 0,3227 |

Esta cuenca se encuentra ubicada en una zona de media montaña con pendiente media de 12,81% clasificando el tipo de relieve como poco a moderadamente accidentado. La pendiente del terreno varía principalmente entre 30 – 45° con una extensión de 14,39 Km², seguida de esta se encuentran pendientes entre 2 - 5° con un área 6,51 Km², del total de la superficie, el resto de los intervalos de pendientes se reparten de forma uniforme. (Figura 90).

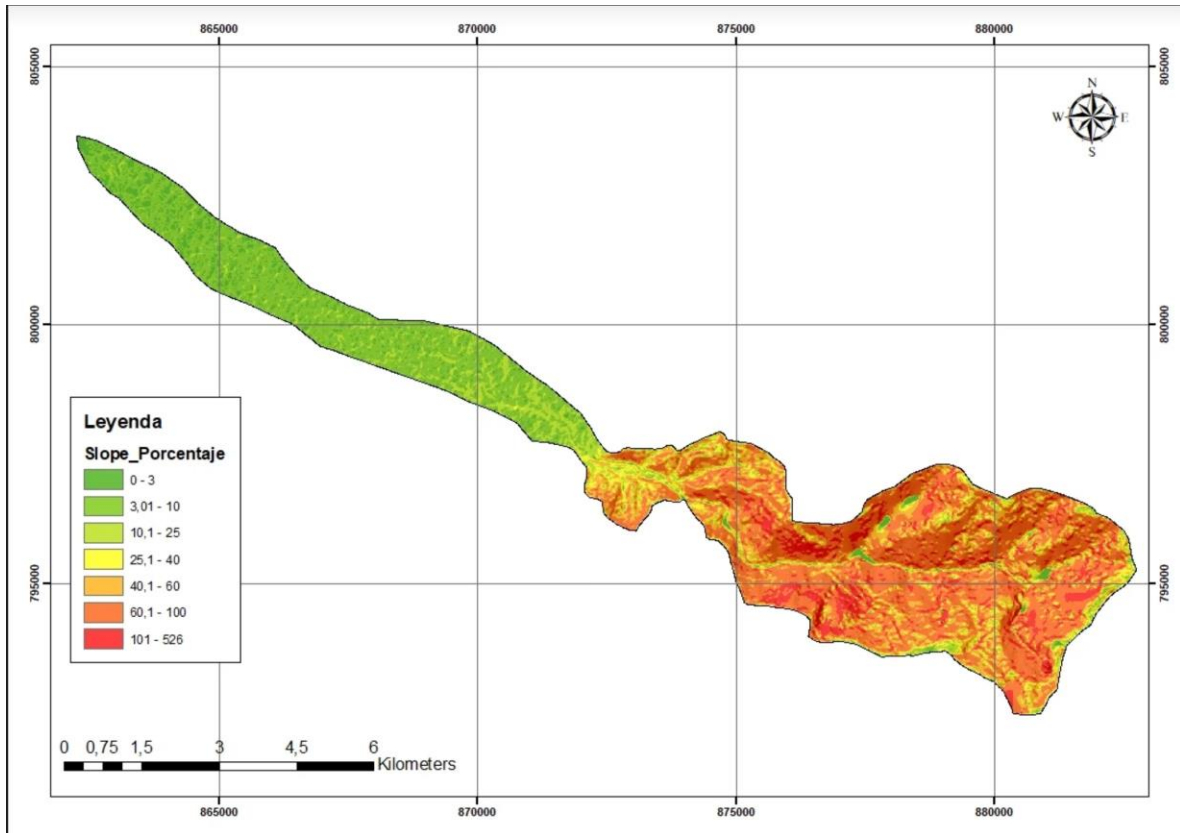


Figura 90. Pendientes de la cuenca del río Frío Rivera

Por otra parte, los parámetros morfométricos también dan indicios del tipo de relieve en el que la cuenca. De esta forma se pasa a caracterizar las alturas de la cuenca donde la **cota máxima** de esta tiene un valor de 3250,0 m. s. n. m y, la **cota mínima** posee un valor de 478,0 m. s. n. m. Posterior al tener las cotas y con ella el **desnivel altitudinal** de la cuenca de 2772,0 m. s. n. m, se procede a realizar un histograma de frecuencias altimétricas (Figura 91) y así calcular la elevación promedio de la cuenca.

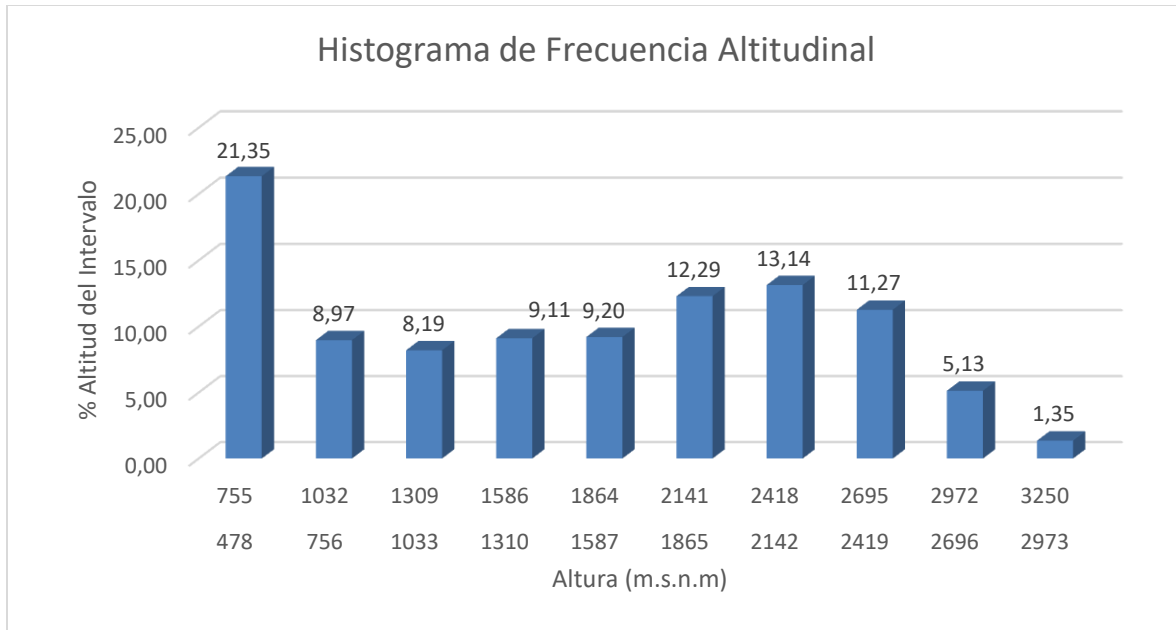


Figura 91. Histograma de frecuencias de altitud

Con este insumo calculado se concluye que la **altura de mayor frecuencia** para la cuenca es 595,06 m. s. n. m, y, la **altitud media de la cuenca** es de 1848,63 m. s. n. m., siendo el punto con la mayor probabilidad de concentración de caudal.

Con base en toda la información estadística con respecto a las alturas de la cuenca, sus áreas y valores medios se llegan a cálculos de la **curva hipsométrica** de la cuenca, la cual se presenta a continuación:

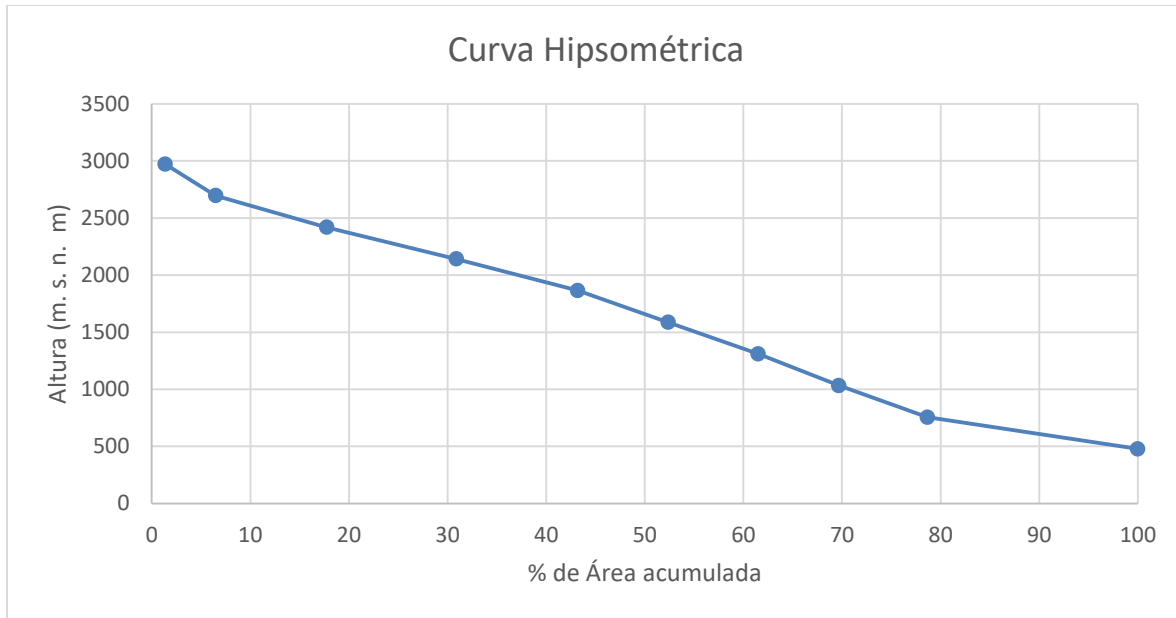


Figura 92. Curva Hipsométrica de la cuenca del río Frío Rivera

La **curva hipsométrica** de la cuenca (Figura 92) obtenida, nos permite deducir, que la cuenca del río Frío - Rivera está en una etapa entre ríos jóvenes y ríos maduros, pero tiende a ser una cuenca más joven. En esta cuenca se puede observar un comportamiento particular ya que las alturas que abarcan la mayor cantidad de área e importancia están distribuidas en diferentes etapas de la cuenca. En la parte alta de la cuenca se inicia con pendientes entre los 30 - 45°, luego el resto de las pendientes se tratan de distribuir de forma un tanto uniforme en toda la cuenca, predominado claramente para el punto de desfogue pendientes muy suaves y a media ladera pendientes moderadas.

Después de analizar los diferentes aspectos de forma de la cuenca del río Frío - Rivera se pasa a analizar aspectos **relacionados a su red hídrica**. De esta manera, se parte de una **red de drenaje paralela** en la parte baja de cuenca del río Frío, en donde sus drenajes generalmente se encuentran con un nuevo cauce en ángulos agudos. Esta particularidad del drenaje puede estar asociado a las unidades litológicas y el tipo de suelo que generan.

Esta red de drenajes se ha constituido como un **sistema de drenajes de tercer orden** (Figura 93) lo que permite concluir que es una red con buena capacidad de evacuación de agua en momento picos de escorrentías. En este sistema la **longitud del cauce principal** alcanza aproximadamente 25,58 Km y la **longitud total de la red de drenaje** se calcula en 66,22 Km. En conclusión las **corrientes tributarias del cauce principal** están conformadas por 40,64 Km, donde las corrientes tributarias de primer orden se calcula que son 70.

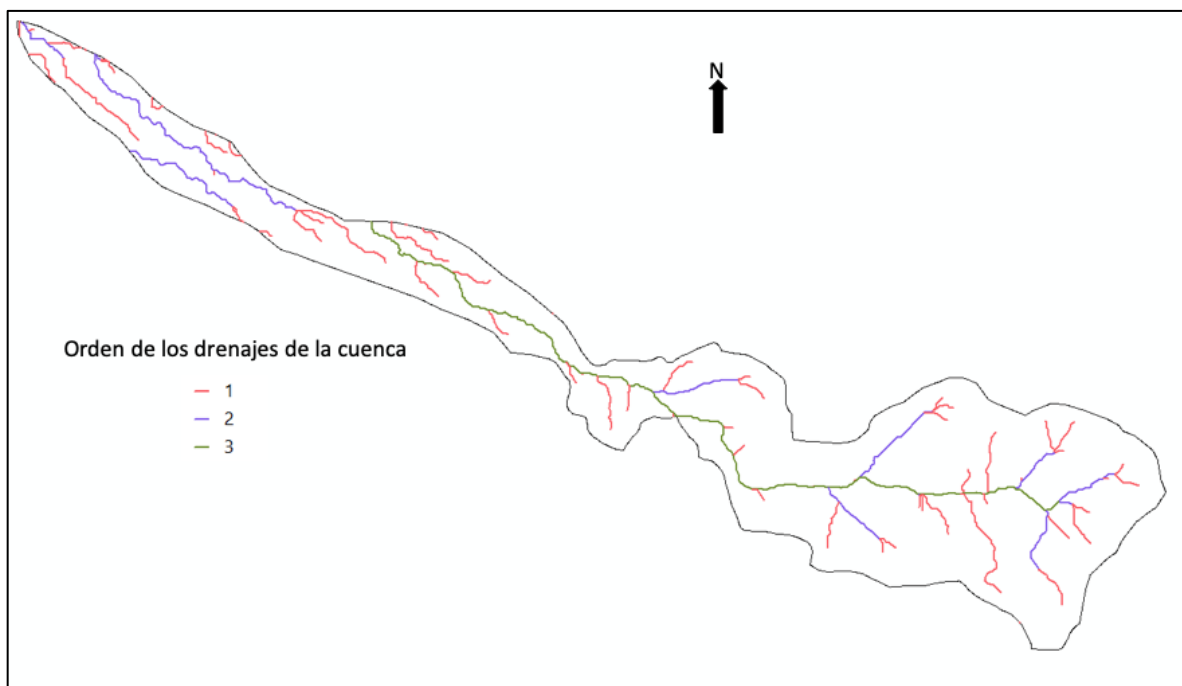


Figura 93. Orden de los drenajes de la cuenca del río Frío Rivera

Por otro lado, se concluye que esta cuenca a pesar de que tiene una densidad de drenaje baja, es bien drenada como lo define la **densidad de drenaje** de 1,73 Km/Km² por lo tanto tiene moderado volumen de escurrimiento lo que influye en la velocidad de desplazamiento de las aguas, lo cual es concordante con el tiempo de concentración que una gota de agua recorre para llegar a la salida de la cuenca, condición sujeta en este caso al área de la cuenca y a las pendiente

predominantes en esta, la cual permite inferir el porqué de un valor del tiempo de escurrimiento de 2,29h con el método de Kirpich de 1973. (Tabla 73).

Tabla 73. Parámetros morfométricos asociados a la red de drenaje.

| PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE | | |
|---|---------|-------|
| Parámetro | Símbolo | Valor |
| Orden de la Cuenca | Oc | 3,00 |
| Longitud Total de drenajes (Km) | Lt | 66,22 |
| Densidad de Drenaje | DD | 1,73 |
| Frecuencia de drenajes | F | 16,05 |
| # de drenajes orden 1 | | 70,00 |
| Coefficiente de Torrencialidad | Ct | 1,83 |
| Pendiente del Cauce (m/m) | | 0,07 |
| Tiempo de Concentración (Culvert Practice) | Tc | 1,89 |
| Tiempo de Concentración (Kirpich) | Tc | 2,29 |

El cálculo del coeficiente de torrencialidad para esta cuenca dio un valor de 1,83. Este valor permite concluir que la torrencialidad de la cuenca del río Ceibas sería baja a media. En comparación con el método del IDEAM en el 2013 el índice morfométrico de torrencialidad (Tabla 63 y Tabla 64) arrojó un valor de 211 lo cual concluye que es una zona o microcuenca de baja vulnerabilidad.

17 Resumen Del Análisis De Los Parámetros Morfométricos

En este capítulo se recopila gran parte de la información más relevante suministrada en el capítulo anterior y las similitudes y diferencias de los parámetros obtenidos para cada cuenca y su nivel de torrencialidad. Además, se muestra una tabla comparativa de todos los parámetros para cada una de las cuencas.

Tabla 74. Resumen Parámetros Morfométricos Cuencas de Interés

| Parámetro | Símbolo | Cuenca | | | |
|---|---------|-----------|------------|----------------------|-----------------|
| | | Río Neiva | Río Ceibas | Río Frío Campoalegre | Río Frío Rivera |
| Parámetros Morfométricos Generales | | | | | |
| Perímetro (km) | P | 191,09 | 111,11 | 50,93 | 53,43 |
| Área (Km ²) | A | 228,51 | 161,31 | 56,08 | 38,32 |
| Longitud Máxima (Km) | LM | 25,3 | 34,53 | 15,77 | 21,64 |
| Longitud Cauce Principal (Km) | LCP | 60,2 | 52,67 | 21,36 | 25,58 |
| Ancho de la Cuenca | AC | 9,03 | 4,67 | 3,56 | 1,77 |
| Desnivel altitudinal (m) | DA | 2804,33 | 2765 | 2773 | 2772 |
| Parámetros Asociados a la Forma de la Cuenca | | | | | |
| Factor Forma | Kf | 0,357 | 0,1353 | 0,2255 | 0,0818 |
| Coefficiente de Compacidad | Kc | 3,5649 | 2,4496 | 1,9043 | 2,4167 |
| Coefficiente de Circularidad | CC | 0,0786 | 0,1642 | 0,2717 | 0,1687 |
| Relación de elongación | Re | 0,6742 | 0,4149 | 0,5357 | 0,3227 |
| Parámetros Asociados a la Forma del Relieve | | | | | |
| Cota Máxima (m.s.n.m) | cmax | 3283,33 | 3215 | 3284 | 3250 |
| Cota Mínima (m.s.n.m) | cmin | 479 | 450 | 511 | 478 |
| Altitud Media (m.s.n.m) | Am | 1775 | 1730,84 | 1939,04 | 1848,63 |
| Altitud más Frecuente (m.s.n.m) | Af | 566,52 | 575,86 | 589,33 | 595,06 |
| Altitud Mayor del cauce | Amc | 2547 | 2200 | 2061 | 2144 |
| Altitud menor del cauce | Amec | 479 | 451 | 512 | 478 |
| Pendiente Promedio de la Cuenca (%) | Smed | 11,08 | 8,01 | 17,58 | 12,81 |
| Parámetros Asociados a la Red de Drenaje | | | | | |
| Orden de la Cuenca | Oc | 5,00 | 4,00 | 4,00 | 3,00 |
| Longitud Total de drenajes (Km) | Lt | 410,86 | 272,87 | 98,91 | 66,22 |
| Densidad de Drenaje | DD | 1,8 | 1,69 | 1,76 | 1,73 |
| Frecuencia de drenajes | F | 2,69 | 3,81 | 10,97 | 16,05 |
| # de drenajes orden 1 | | 399 | 274 | 88 | 70 |
| Coefficiente de Torrencialidad | Ct | 1,75 | 1,70 | 1,57 | 1,83 |

| | | | | | |
|--|----|------|------|------|------|
| Pendiente del Cauce (m/m) | | 0,03 | 0,03 | 0,07 | 0,07 |
| Tiempo de Concentración (Culvert Practice) | Tc | 5,07 | 4,37 | 1,54 | 1,89 |
| Tiempo de Concentración (Kirpich) | Tc | 5,67 | 5,18 | 1,91 | 2,29 |

La cuenca del río Neiva se destaca de las demás por ser la de mayor extensión presentando un área de 228,51 Km² y una longitud máxima de 25,30 Km, a diferencia de la cuenca del río Frío Rivera que tiene un área de 38,32 Km² y una longitud máxima de 21, 64 Km siendo la de menor extensión. Es importante resaltar algunas similitudes y diferencias en los parámetros entre las distintas cuencas. Por ejemplo, una semejanza entre las cuatro cuencas (río Neiva, río Ceibas, río Frío Campoalegre y río Frío Rivera) es la forma de cada una de ellas, ya que todas se clasificaron como alargadas; de igual forma es importante anotar que según el coeficiente de torrencialidad todas presentan un nivel de torrencialidad bajo. Por otro lado, también hay paridad en la densidad de drenaje ya que todas se destacaron por tener una densidad de drenaje baja y poseer un moderado volumen de escurrimiento. Respecto al sistema de drenajes y a la red de drenajes, se expone una corta variación, ya que estos varían del quinto orden al tercer orden siendo el mayor para la cuenca del río Neiva y el menor para la cuenca del río Frío Rivera y la red de drenaje entre sub-dendrítico, dendrítico, sub-paralelo y paralelo (Tabla 74).

18 Caracterización De La Precipitación

En este capítulo se analiza la distribución y magnitud de la precipitación antecedente (30 días antes) y posterior (15 días después) al 21 de Febrero del 2017 (día de los eventos), para esto se tomaron los datos de 6 estaciones pluviométricas, las cuales son las más cercanas y de las únicas que se pudo obtener un registro completo. Los valores totales de precipitación diaria (mm) fueron recopilados de la base de datos del IDEAM, seleccionando los valores desde la instalación de cada estación hasta 15 días después de los eventos.

Para la cuenca del río Ceibas se tomaron los datos de las estaciones “ST Helena” con el código 21110400 y “Gironda la HD ” con código 21110430; para la cuenca del río Frío Rivera se analizaron los datos de la estación “Guadual El” con código 21110440; para la cuenca del río Frío Campoalegre se obtuvieron los datos de la estación “Potosi HD ” con código 21105040 y para la cuenca del río Neiva se examinaron los datos de las estaciones “ r cadia La” con código 21100140 y “Nuevo Paraíso” con código 21100080. continuación se muestran los datos antecedentes y posteriores al día del evento por estaciones, resaltando en rojo un día antes del evento, el día del evento y un día después del evento:

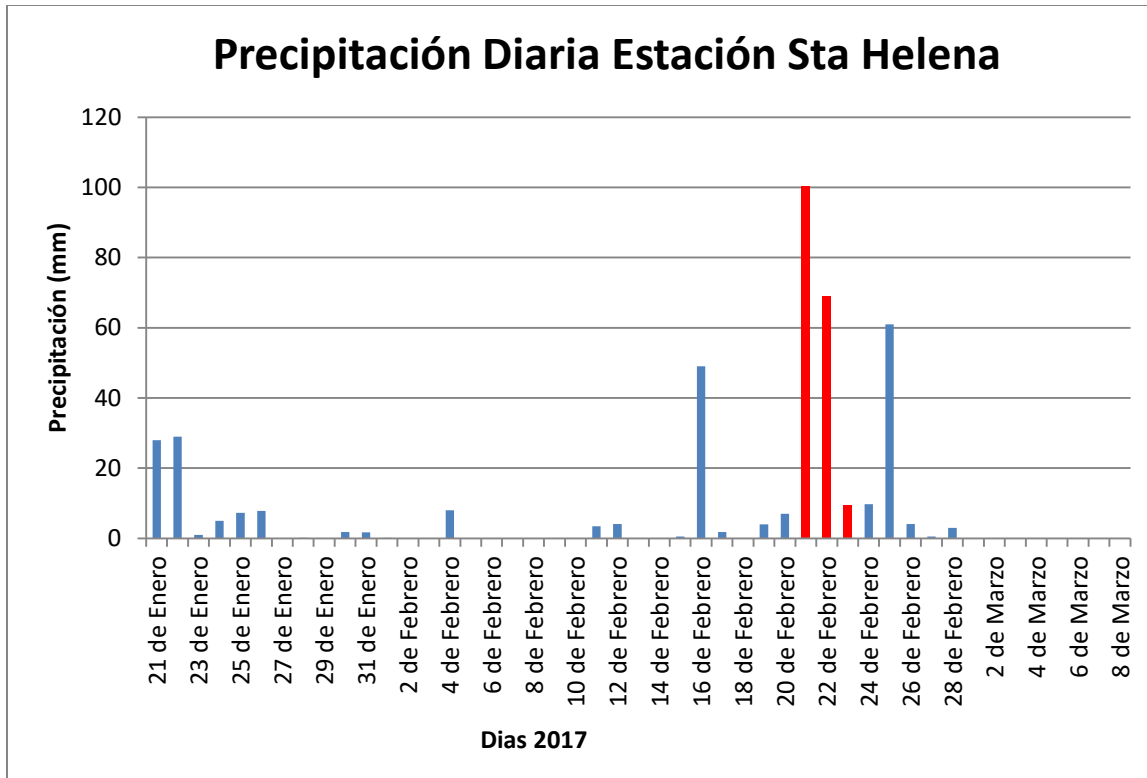


Figura 94. Grafica de precipitación diaria de la estación Sta Helena de los 30 días precedentes al evento y 15 días después del evento para la cuenca del río Ceibas.

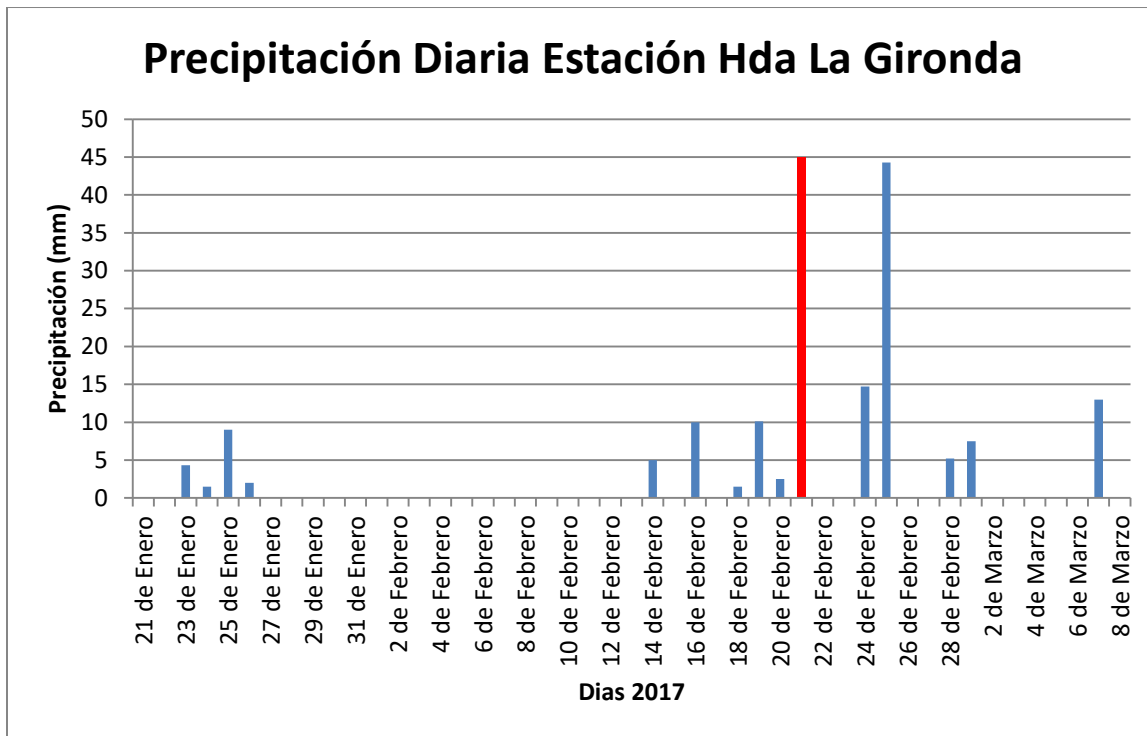


Figura 95. Grafica de precipitación diaria de la estación Hda La Gironda de los 30 días precedentes al evento y 15 días después del evento para la cuenca del río Ceibas.

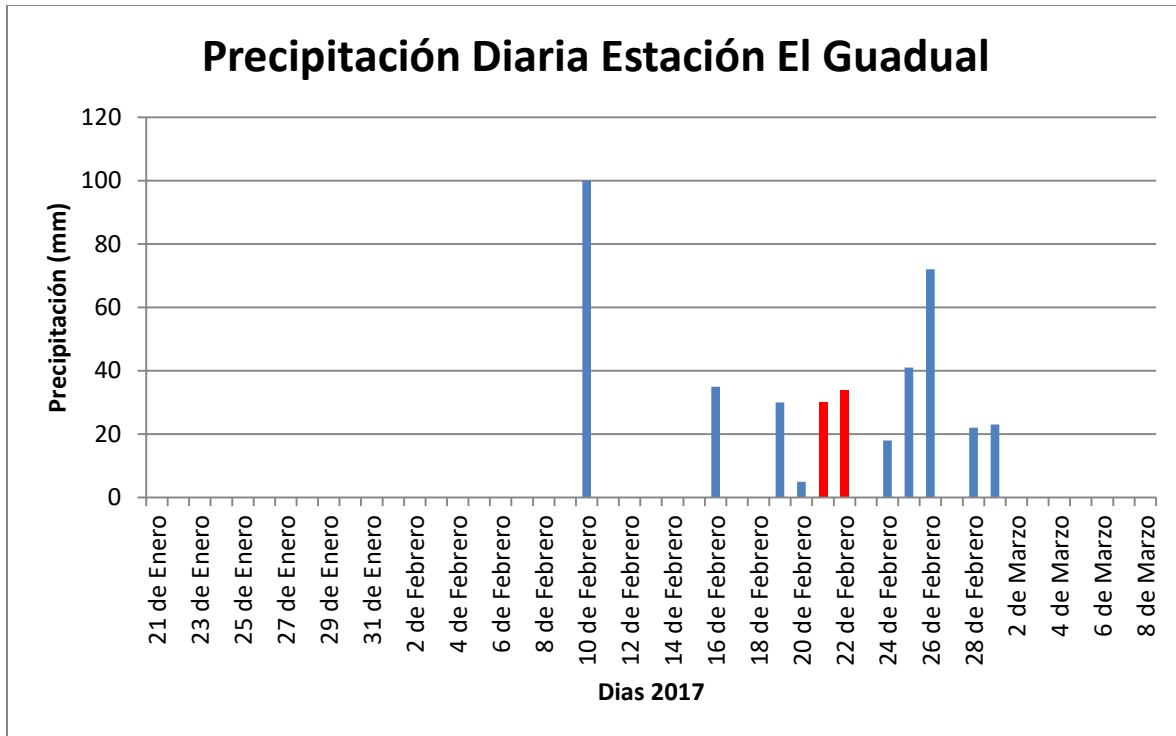


Figura 96. Grafica de precipitación diaria de la estación El Guadual de los 30 días precedentes al evento y 15 días después del evento para la cuenca del río Frío Rivera.

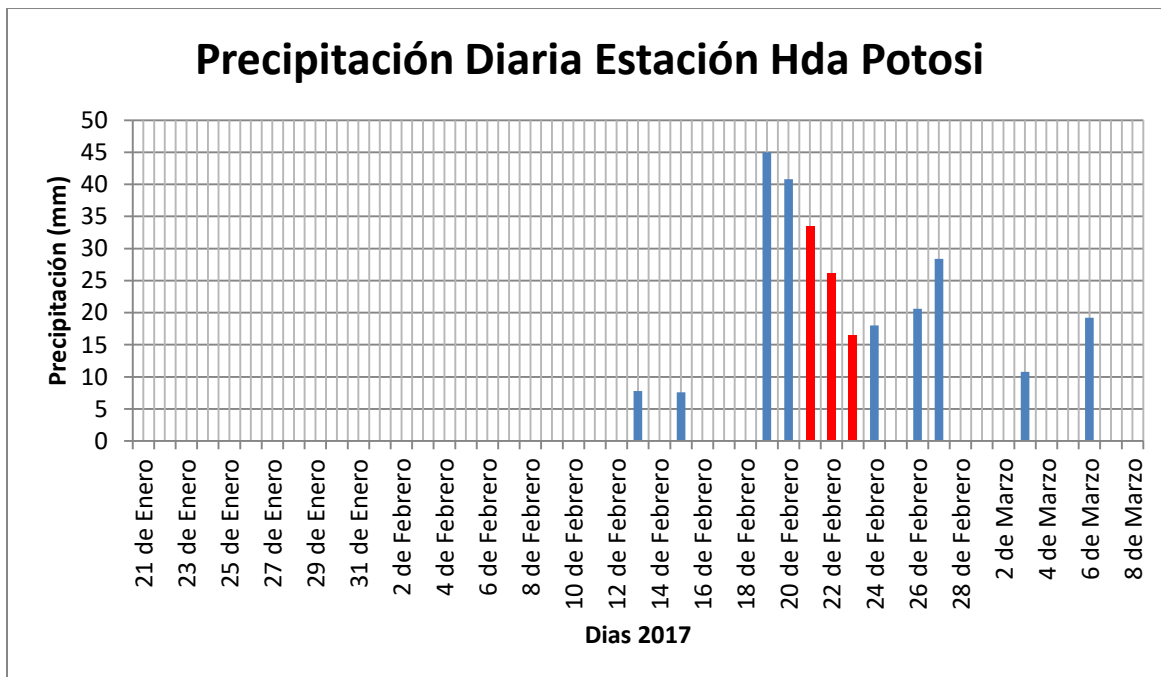


Figura 97. Grafica de precipitación diaria de la estación Hda Potosi de los 30 días precedentes al evento y 15 días después del evento para la cuenca del río Frío Campoalegre.

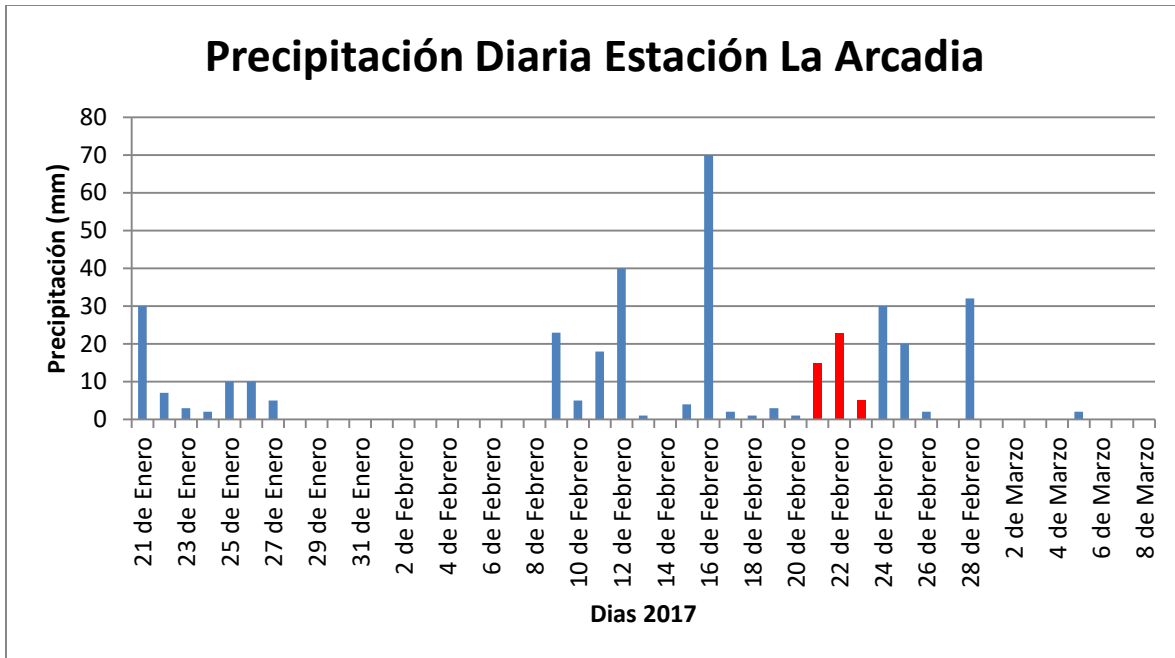


Figura 98. Grafica de precipitación diaria de la estación La Arcadia de los 30 días precedentes al evento y 15 días después del evento para la cuenca del río Neiva.

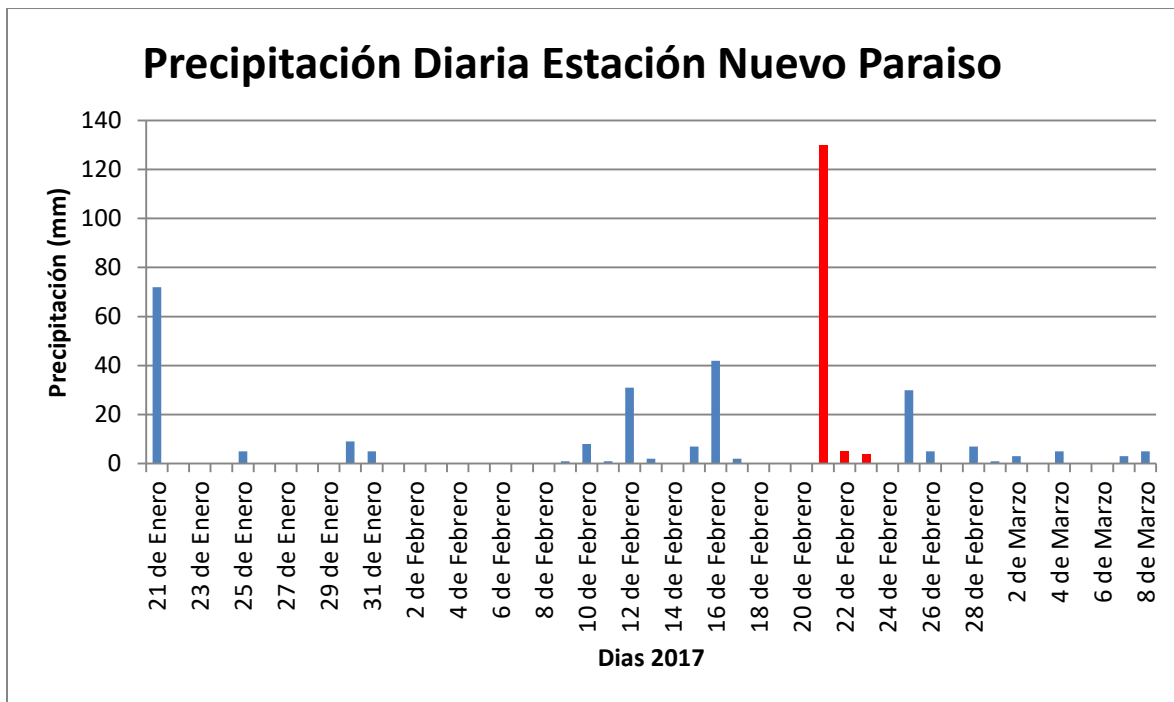


Figura 99. Grafica de precipitación diaria de la estación Nuevo Paraiso de los 30 días precedentes al evento y 15 días después del evento para la cuenca del río Neiva.

Según las anteriores graficas se puede observar que hay dos tipos de comportamientos en las estaciones, uno de acumulación de precipitaciones moderadas y otro de precipitaciones de gran

magnitud el día del evento, las primeras son “El Guadual”, “HD Potosi” y “La r cadia”; las segundas son “ST Helena”, “Hda La Gironda” y “Nuevo Paraíso”, pero todas indican una posible saturación de los suelos, en especial lo que poseen mayor grado de meteorización (suelos del Monzogranito de Algeciras y el Grupo Garzón). Para determinar la distribución y magnitud de la precipitación en el área de estudio se realizó un mapa de isoyetas con los valores de precipitación del 21 de Febrero del 2017:

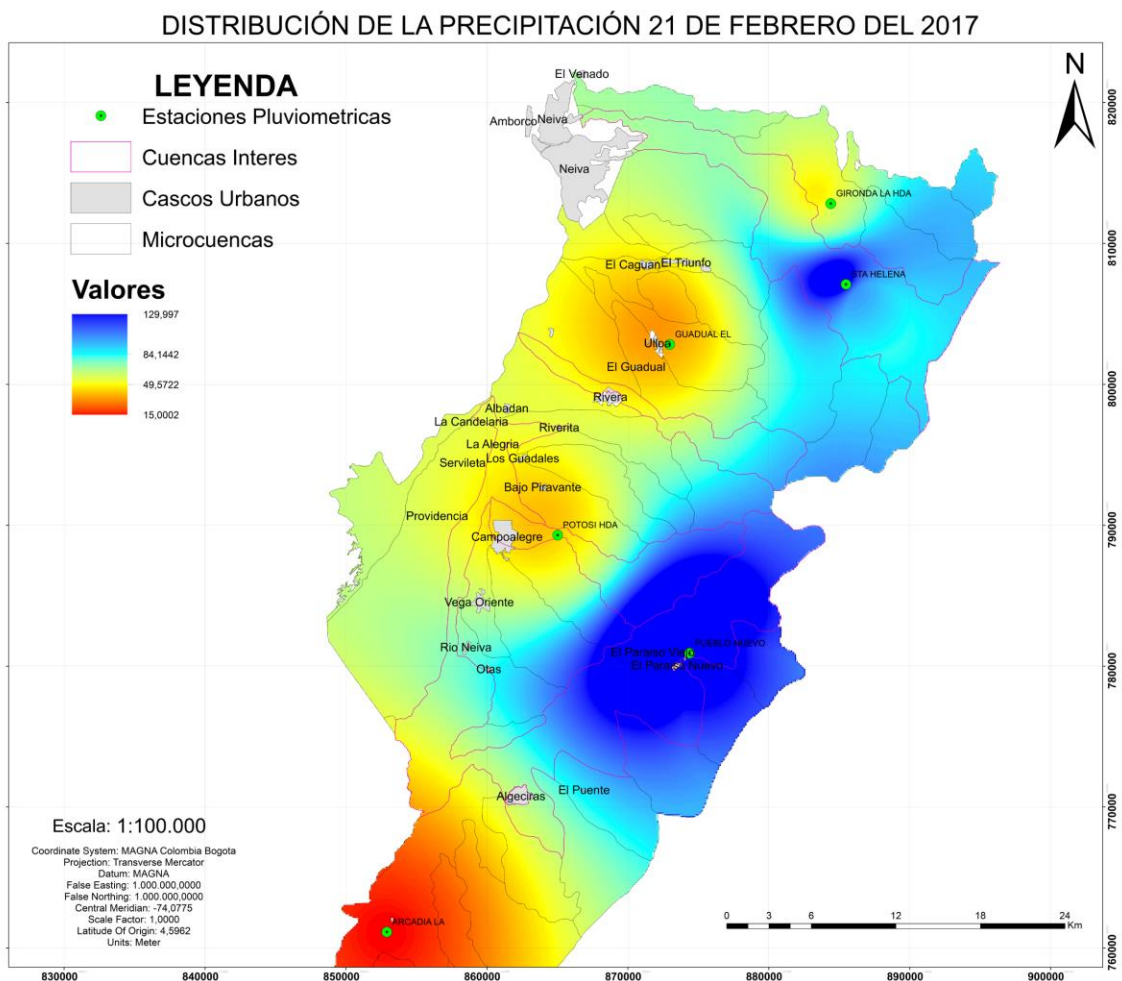


Figura 100. Mapa de isoyetas de la distribución de la precipitación del 21 de Febrero del 2017.

Como se puede observar en el mapa, la distribución de los valores de mayor magnitud de precipitación (mm/día) se encuentra en las partes altas de las cuencas de interés, localizadas hacia la Cordillera Oriental, y disminuye hacia el Oeste del área, además de que la magnitud de

la precipitación hacia el sur de la zona es muy baja. Lo anterior puede evidenciar o determinar que el factor de la precipitación es uno de los más importantes en este caso de estudio, conjuntamente en las observaciones de campo se determinó que los movimientos gravitacionales que originaron los eventos de torrencialidad o flujos hiperconcentrados se ubican en las partes altas de las cuencas de interés (Cordillera Oriental), siendo esta zona la que tuvo los valores más altos de precipitación.

Para determinar de forma parcial cual es el nivel de potencialidad de generación de movimientos en masa a partir de los datos de precipitación, se usa el modelo planteado por (Aristizábal, Gamboa, & Leoz, 2010) el cual consiste en determinar la potencialidad de generación de movimientos gravitacionales a partir de la precipitación acumulada de los 15 días precedentes al evento (X) y la precipitación acumulada de los 3 días antecedes al evento (Y); mediante esta metodología se puede llegar a predecir la probabilidad de generarse movimientos en masa y por la acumulación de estos formarse un episodio de torrencialidad en la cuenca afectada, en las siguientes graficas se determinara esta posibilidad según los valores obtenidos de las estaciones pluviométricas para cada cuenca de interés en el área de estudio:

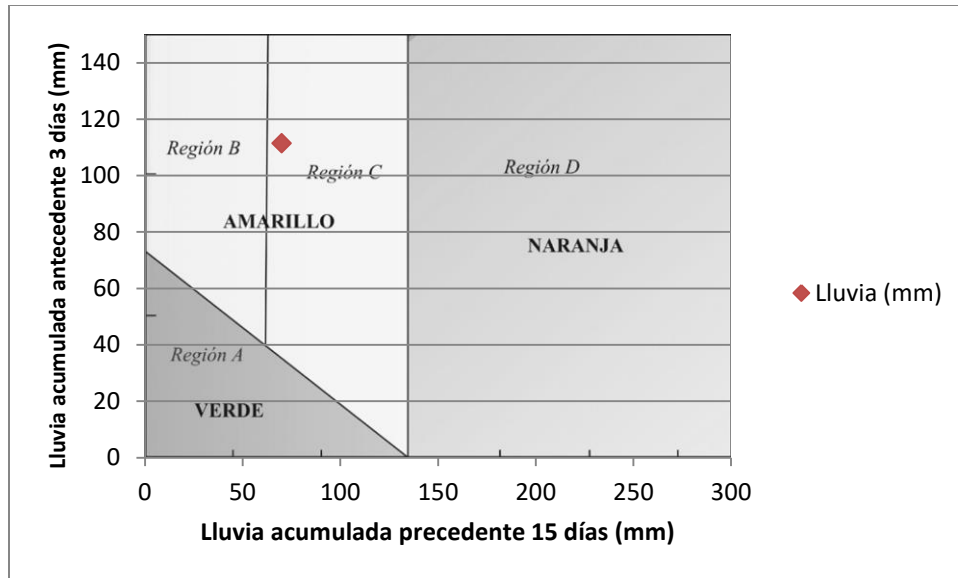


Figura 101. Umbrales de lluvia empíricos para la estación Sta Helena, para el 21 de Febrero (río Ceibas).

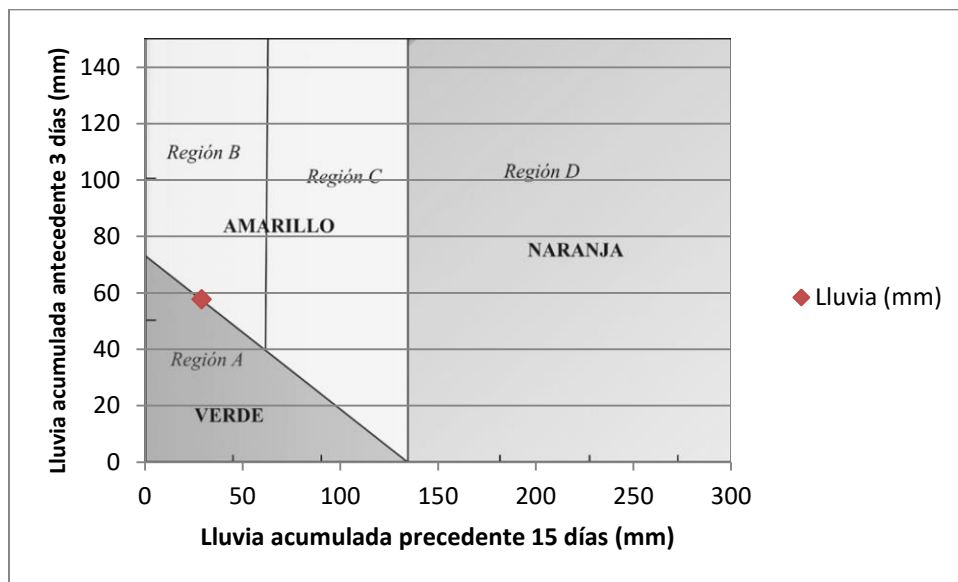


Figura 102. Umbrales de lluvia empíricos para la estación Hda La Gironda, para el 21 de Febrero (río Ceibas).

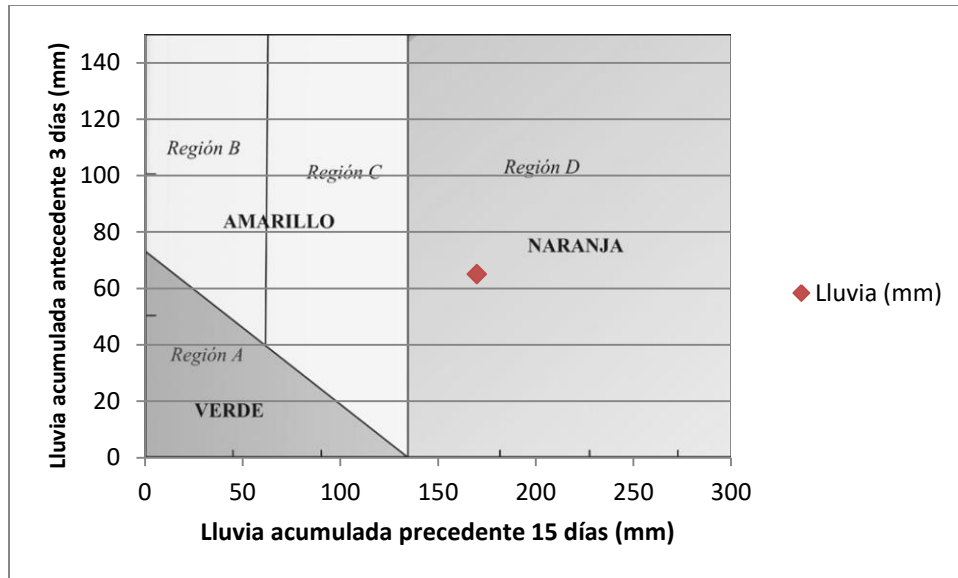


Figura 103. Umbrales de lluvia empíricos para la estación El Guadual, para el 21 de Febrero (río Frio Rivera).

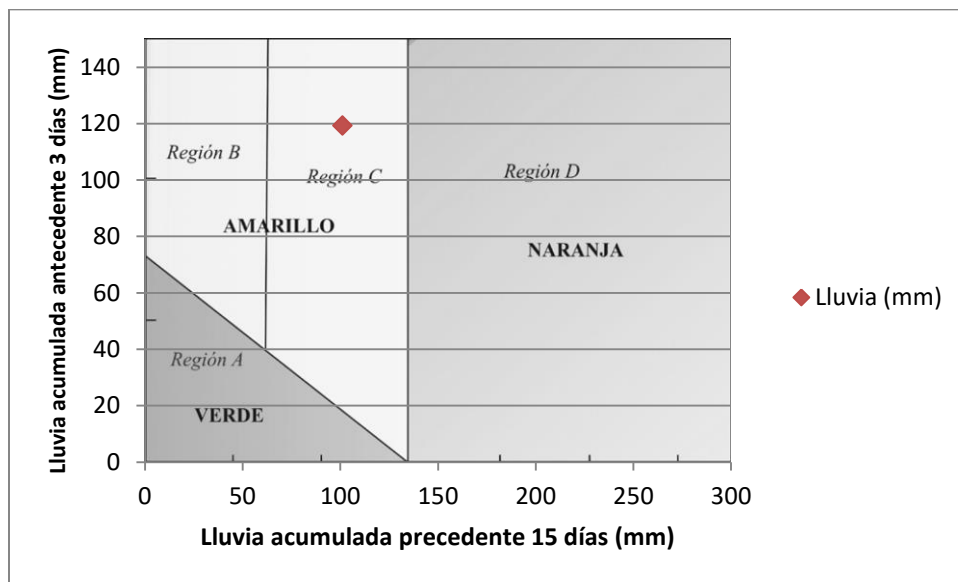


Figura 104. Umbrales de lluvia empíricos para la estación Hda Potosi, para el 21 de Febrero (río Frio Campoalegre).

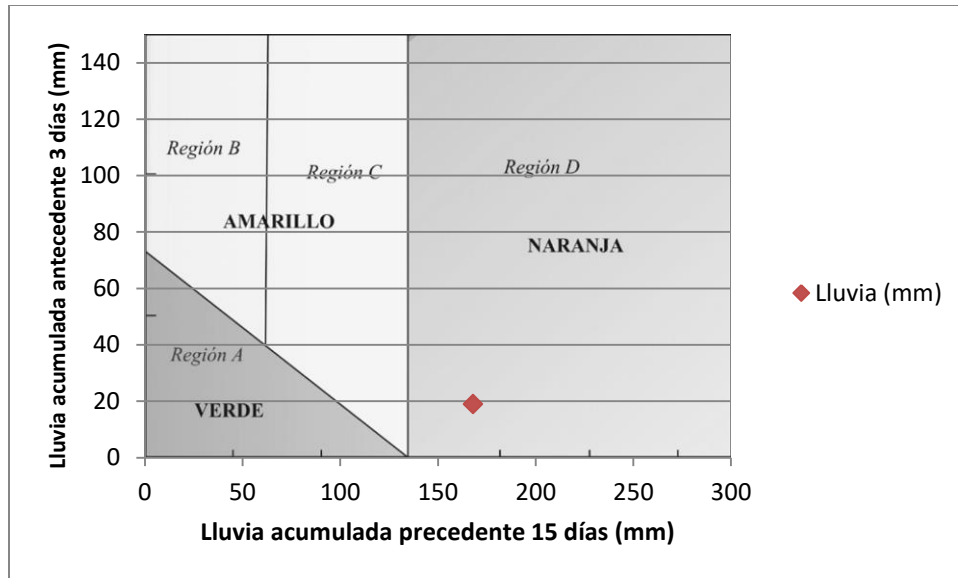


Figura 105. Umbrales de lluvia empíricos para la estación La Arcadia, para el 21 de Febrero (río Neiva).

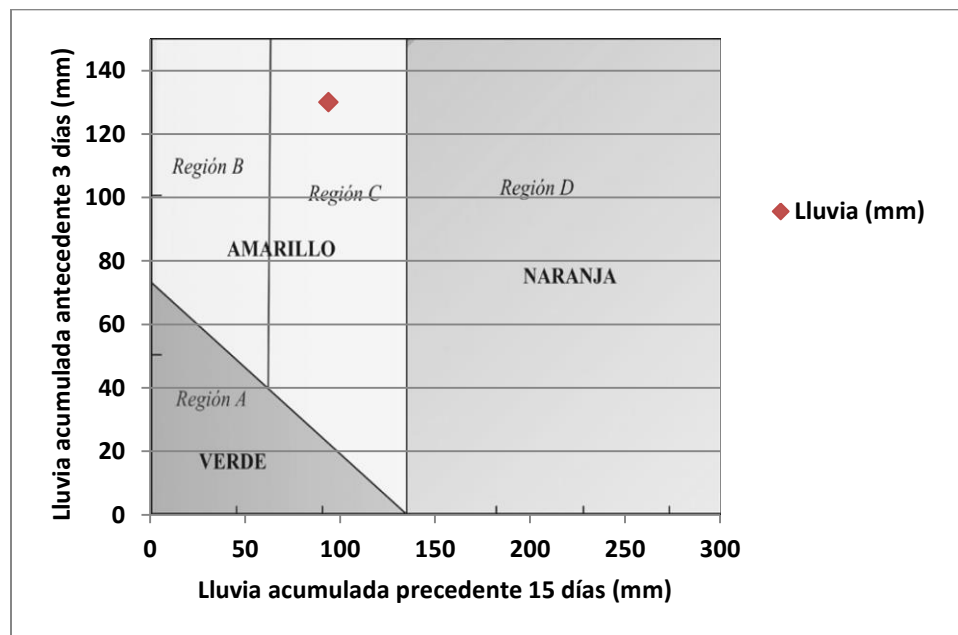


Figura 106. Umbrales de lluvia empíricos para la estación Nuevo Paraíso, para el 21 de Febrero (río Neiva).

La región A (color verde) es considerada como un estado sin alteración, el B y C (amarillo) son establecidos como estados de preparación, que indican la formación progresiva de condiciones de susceptibilidad para la formación de un evento, y la región D (Naranja) corresponde a un estado de disposición, el cual indica que se debe revisar los puntos críticos y de ser necesario iniciar la evacuación de estas áreas (Aristizábal, Gamboa, & Leoz, 2010).

Según las gráficas anteriores para la cuenca del río Ceibas a la cual corresponden las estaciones La Gironda y Sta Helena, la primera según los valores de precipitación acumulada se ubica en el límite entre la región A y B, lo que muestra un nivel de preparación de este sector, pero según las observaciones de campo en el tributario cercano a esta estación no se generó el evento de torrencialidad, lo que se corresponde con lo que indica la gráfica (Figura 102), por lo contrario la segunda estación según sus valores de precipitación se ubica en la región C, lo que indica una mayor preparación para la ocurrencia de un evento, lo cual se relaciona con las anotaciones de campo, puesto que en la área colindante a esta estación es donde se generó la mayoría de los eventos gravitacionales (Figura 101).

Para la cuenca del río Frío Rivera según los datos de precipitación de la estación El Guadual, determina que se encuentra en la región D, la cual es la de mayor peligrosidad e indica una inminente generación de eventos gravitacionales, lo que indica que el factor de la precipitación fue uno de los principales determinantes para la generación del evento de torrencialidad (Figura 103). Los datos de la estación Hda Potosi indican que la cuenca del río Frío Campoalegre se encuentra en el umbral C, lo que advierte una preparación de los suelos de la cuenca a generar movimientos en masa, lo que se relaciona con lo observado en campo y según la distribución de la precipitación (Figura 100) se correlaciona con los eventos de torrencialidad de esta cuenca (Figura 104).

Los valores de precipitación de las estaciones La Arcadia y Nuevo Paraíso de la cuenca del río Neiva, indican un nivel D (Inminente generación) y C (preparación) correspondientemente, lo cual se relaciona con las áreas donde se generaron los eventos gravitacionales que generaron la torrencialidad en esta cuenca, lo curioso es que según la Figura 100, el día del evento el área colindante a la estación La Arcadia (hacia el Sur) no tuvo valores muy altos de precipitación

(mm), y la mayor magnitud de precipitación se observa en la zona colindante a la estación Nuevo Paraíso (hacia el Norte) que es donde se generó la mayor cantidad de movimientos en masa (Figura 105 y 106).

19 Zonificación de la Amenaza

En este capítulo se determina el nivel de amenaza según lo planteado por (Pérez, Gamboa Ramirez, & Paniagua, 2018) los cuales indican que se puede determinar el nivel de amenaza a partir de un análisis geomorfológico detallado de los depósitos y terrazas de origen fluvial y/o torrencial y algunos métodos de datación de sedimentos cuaternarios, sin embargo, no se encontró información sobre dataciones de estos sedimentos, por lo que no fue posible utilizar este método; por lo que se centró en la descripción de las terrazas y depósitos Fluviotorrenciales, teniendo en cuenta la distribución, tamaño, selección, redondez, energía y tipo de transporte de los sedimentos que los componen, además de la diferencia de alturas entre un nivel y otro.

19.1 Amenaza Baja

Área sobre la cual es muy improbable que un flujo torrencial pueda alcanzar o depositarse debido a su lejanía al cauce o su altura. Estas generalmente corresponden a los niveles más alejados verticalmente y horizontalmente del drenaje, teniendo la particularidad de ser clasificados como Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Qtfa) o Depósitos Antiguos (Fda) de las diferentes cuencas, siendo las que poseen mayor incisión de los drenajes haciendo que estos sean de difícil alcance para una avenida torrencial.

19.2 Amenaza Media

Son lugares en los que en condiciones de gran magnitud con detonantes y condicionantes excepcionales, la avenida torrencial podría alcanzar o depositarse en estos niveles de terrazas, estas corresponden a las Terrazas Fluviotorrenciales Recientes (Qtfr) o Depósitos Subrecientes (Fdsr) de las diferentes cuencas, poseen un nivel moderado a alto de incisión del cauce principal, y están a una distancia horizontal y vertical moderada al drenaje.

19.3 Amenaza Alta

Se determinan como áreas de alta probabilidad de que una avenida torrencial alcance ese nivel o se deposite, por ser casi contiguo al cauce principal, es la categoría de amenaza de mayor extensión en las cuencas, en el recorrido de campo se observa como estos niveles fueron tapados en su mayoría por el evento del 21 de Febrero del 2017, observándose en estos bloques entre 2 a 6 metros, una mala selección y una distribución caótica; estos corresponde a los Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Qdfr) o Depósitos Recientes (Fdr) de las diferentes cuencas de interés.

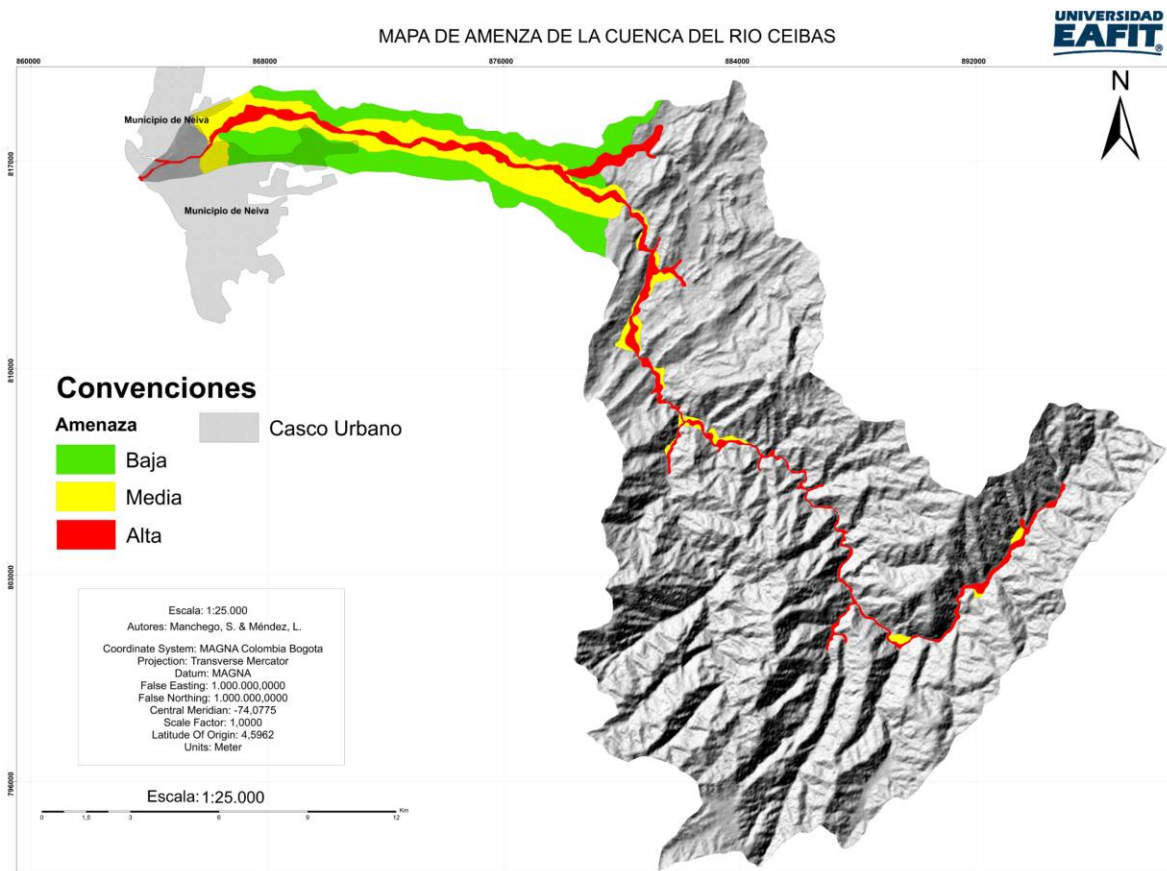


Figura 107. Mapa de Amenaza de la cuenca del río Ceibas.

Se puede observar que la amenaza alta se concentra a lo largo del cauce principal, abarcando también algunas terrazas menores muy cercanas al drenaje y corresponde a los Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfr), la zona amarilla posee algunas área en la parte alta y media de la cuenca, correspondiendo con las Terrazas Fluviotorrenciales Recientes (Ftfr), pero se concentra en la parte baja de la cuenca, además de afectar algunas comunas del casco urbano del municipio de Neiva; por su parte la amenaza baja se concentra en la parte baja de la cuenca y algunos barrios del casco urbano se encuentran asentados sobre esta, esta área se correlaciona con las Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa) (Figura 107).

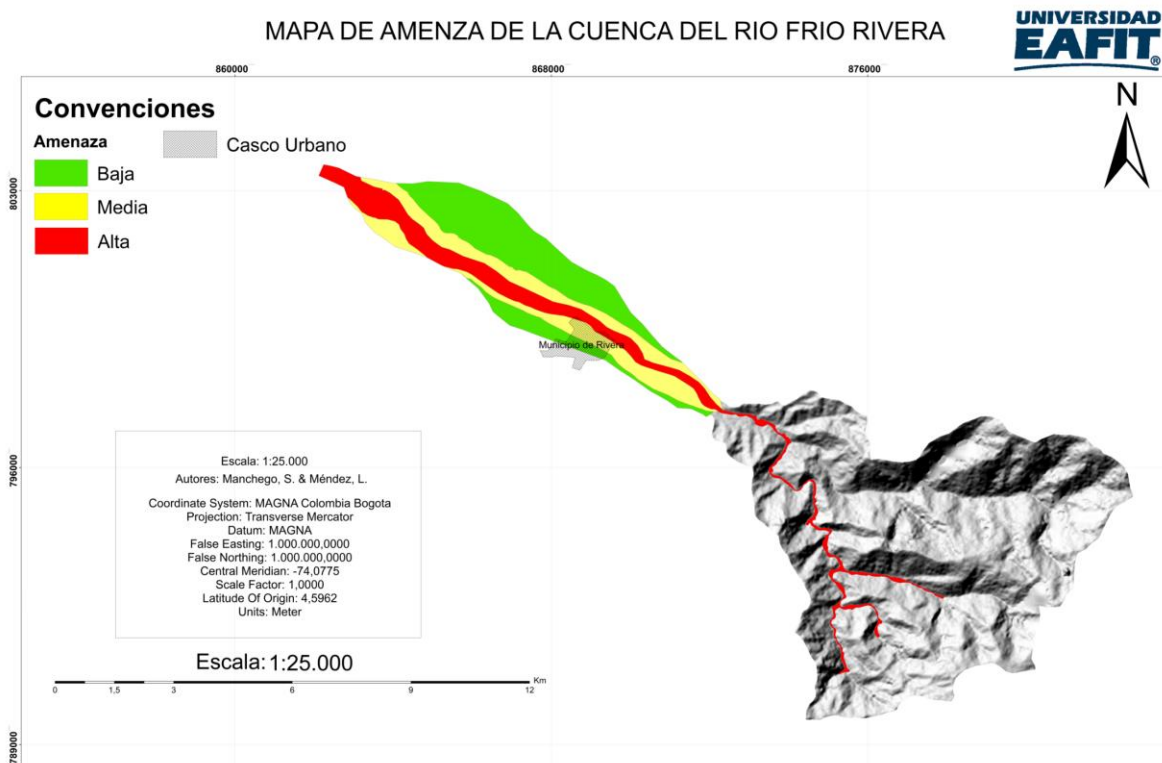


Figura 108. Mapa de Amenaza de la cuenca del río Frío Rivera.

En la cuenca del río Frío Rivera la amenaza alta se distribuye a lo largo del cauce principal y alcanza a afectar el Norte del municipio y se relaciona con los Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfr) (zona que sufrió daños del ultimo evento), la amenaza media

se concentra en la parte baja de la cuenca y se observa que gran parte del casco urbano de Rivera se encuentra sobre este nivel, correspondiendo a las Terrazas Fluviotorrenciales Recientes (Ftfr), por último el nivel verde (amenaza baja) está establecido en la parte baja de la cuenca, estando sobre el Sur del municipio de Rivera y se correlaciona con las Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa) (Figura 108).

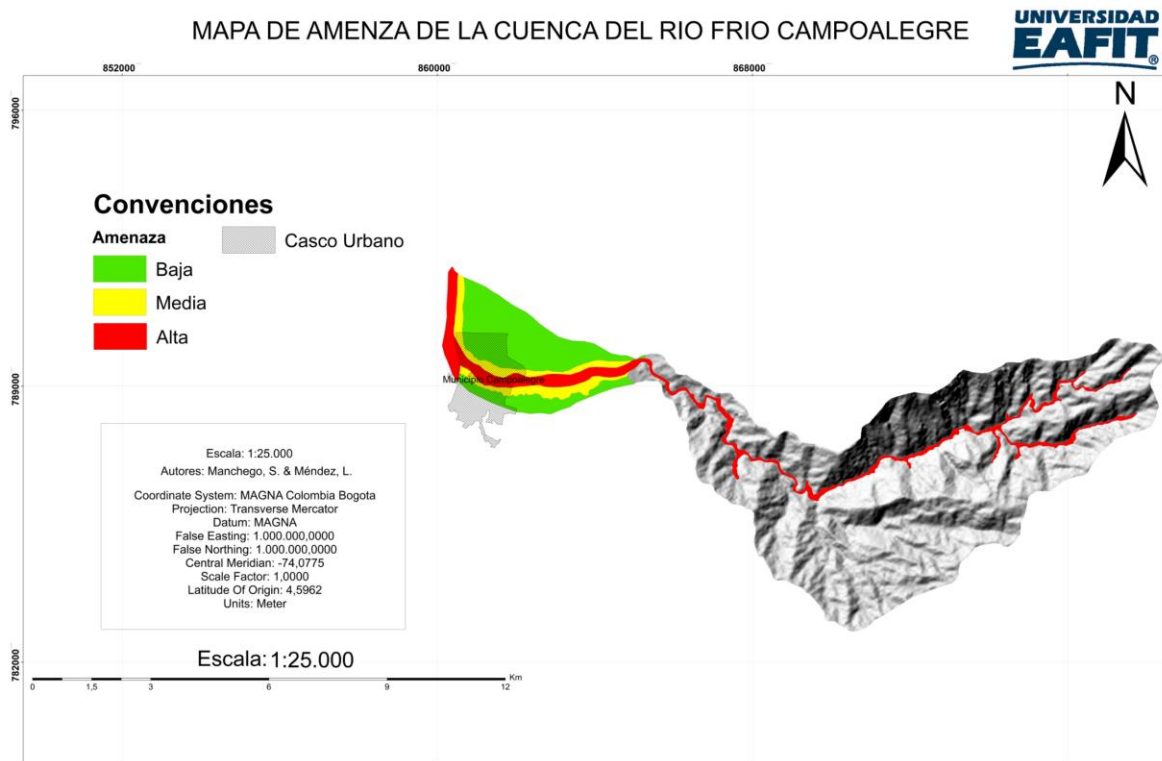


Figura 109. Mapa de Amenaza de la cuenca del río Frío Campoalegre

En la cuenca del río Frío Campoalegre se puede observar que la amenaza alta se expande a lo largo del cauce principal, los depósitos y terrazas recientes y llega a afectar un porcentaje considerable del municipio debido a que este nivel atraviesa el mismo, relacionándose con los Depósitos Fluviotorrenciales Recientes (Fdfr), por su parte el nivel de amenaza medio se instituye en la parte baja de la cuenca, pero también afecta en gran medida al casco urbano de Campoalegre, debido a que este lo atraviesa de Oeste a Este y se puede identificar como las

Terrazas Fluviotorrenciales Recientes (Ftdr); el nivel de amenaza baja solo se observa en la parte baja de la cuenca y varios barrios del municipio se encuentran asentados en este, correlacionándose con las Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ffa)(Figura 109).

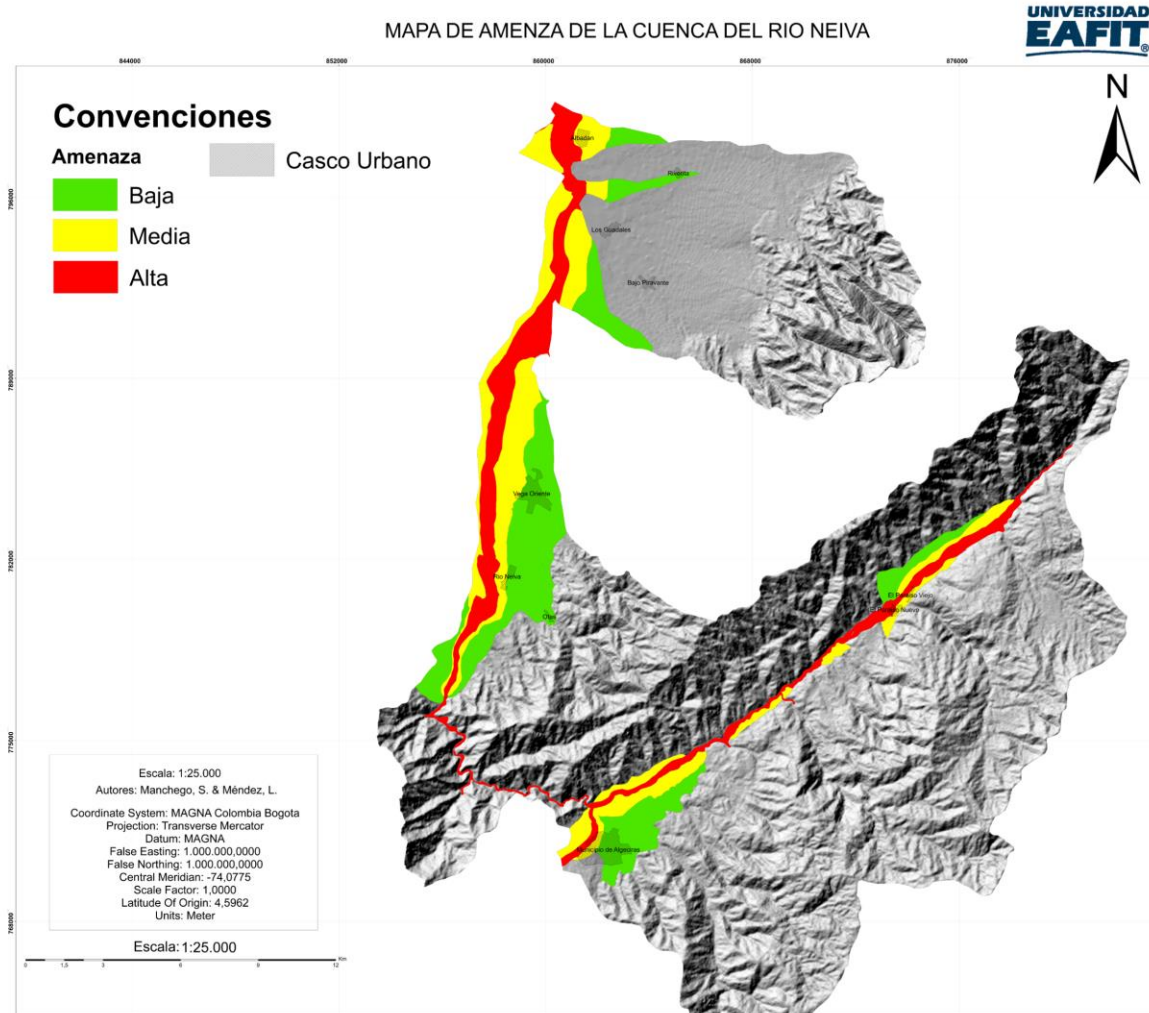


Figura 110. Mapa de Amenaza de la cuenca del río Neiva.

Según el mapa de amenaza de la cuenca del río Neiva (Figura 110), se observa que las zonas rojas (amenaza alta) se concentra en el área rural de la cuenca y en menor medida en el municipio de Algeciras, esta área corresponde a los Depósitos Fluviotorrenciales Recientes, pero si afectan a algunas veredas de la zona (Paraíso Viejo, Paraíso Nuevo, entre otros), las cuales fueron las que más afectaciones tuvieron en el último evento, la amenaza media se distribuye a lo

largo de las márgenes del drenaje principal al igual que la amenaza baja, encontrándose asentamientos sobre estos niveles, los cuales corresponden a las Terrazas Fluviotorrenciales Recientes (Ftdr) y Terrazas Fluviotorrenciales Antiguas (Ftfa) correspondientemente.

20 Descripción De Los Eventos

Los diferentes eventos ocurridos el 21 de Febrero del 2017, perturbaron a 4 municipios del Departamento del Huila (Algeciras, Campoalegre, Neiva y Rivera), los cuales tuvieron afectaciones en las áreas rurales y dos de estos en sus cascos urbanos (Campoalegre y Rivera), se identificó que ocurrieron tres avenidas torrenciales (Algeciras, Campoalegre y Rivera) y una inundación rápida (Neiva) según la información recopilada en campo y con la ayuda de encuestas realizadas a la población. A continuación se describen los sucesos ocurridos durante el mes de febrero del 2017 en las cuencas de estudio.

20.1 Cuenca río Ceibas

El evento presentado en esta cuenca fue una inundación rápida que ocurrió el 21 de Febrero del 2017, a diferencia de las otras tres cuencas en las cuales se evidenciaron avenidas torrenciales; según las encuestas realizadas a los habitantes del sector este evento transporto cantos rodados, empalizadas y lodo. A lo anterior se atribuyeron daños a maquinaria a empresas de explotación de material de construcción (arena) como volquetas y utensilios de excavación, pero no hubo pérdidas humanas, la zona afectada corresponde al área de amenaza alta. Sin embargo, durante el trabajo de campo se obtuvo información de fenómenos ocurridos anteriormente en los años 1998, 2000 y 2003 los cuales fueron clasificados como avenidas torrenciales por su energía, selección y depositación caótica en las márgenes del cauce del río

Ceibas, siendo estos últimas las causantes de la destrucción de viviendas, hectáreas de cultivo y algunas pérdidas humanas.



Figura 111. Sedimentos transportados por el río Ceibas durante el evento del 21 de Febrero del 2017



Figura 112. Afectación a vivienda rural durante el evento del 2003. Ubicada en la zona de amenaza alta.

Cabe resaltar que los habitantes del sector no recibieron ayuda alguna por parte del gobierno municipal o departamental, y no ha habido presencia de estos para capacitar a la población en caso de que ocurran eventos similares en la zona, en busca de evitar pérdidas humanas y salvaguardar la integridad personal de las personas que habitan cerca al área de afectación, teniendo en cuenta que las personas afectadas por los eventos torrenciales habitan en las zonas de

amenaza alta y media, el actuar de los entes gubernamentales debe ser una prioridad ya sea mediante la reubicación o la implementación de equipos de alerta temprana.

20.2 Cuenca río Frío Campoalegre

El suceso ocurrido en esta cuenca el 21 de Febrero del 2017, dio origen a una avenida torrencial la cual transporto gran cantidad de bloques, lodos, cantos rodados y empalizadas; desencadenándose varias afectaciones a la población, siendo similar según el estudio de campo y la población local al evento ocurrido en los años 70, el cual transporto bloques, cantos rodados, lodos y empalizada. El ultimo evento afecto tanto a la población rural como urbana, tanto en pérdida de cultivos aledaños al cauce del río Frío e infraestructura, dañando a aproximadamente 80 viviendas del casco urbano de Campoalegre, concentrándose estos daños en la margen izquierda del afluente afectando aproximadamente 6 cuadras, debido a la diferencia de pendiente con respecto a la margen derecha del río en donde llego a afectar entre 3 o 4 cuadras, correspondiendo a la totalidad de la zona de amenaza alta y aproximadamente el 40% del área de la amenaza media.



Figura 113. Sedimentos transportando por el río Frío (Rivera) durante el evento

En las viviendas implicadas por la avenida torrencial, se evidenciaron diferentes niveles de afectación dado que en algunas se pudo observar que el evento alcanzo un nivel de 50 centímetros de altura, mientras que en otras se alcanzaron niveles de 2 a 3 metros de altura.



Figura 114. Afectación del casco urbano de Campoalegre durante el evento

El estado colombiano y empresas del sector privado intervinieron en la zona, brindando ayudas a las familias afectadas por el evento y capacitando a la población ante la posibilidad de un futuro episodio de torrencialidad.

20.3 Cuenca río Frío rivera

El evento generado en esta cuenca el 21 de Febrero del 2017, originó una avenida torrencial la cual transportó bloques, lodo y empalizada, afectando principalmente bienes materiales como lo son los cultivos ubicados primordialmente en la parte media de la cuenca, algunas cabezas de ganado, un puente intermunicipal que conecta el casco urbano de Rivera con la vereda de Riverita, una cuadra del municipio de Rivera en la margen izquierda del río y un balneario el cual fue totalmente arrasado, pero no hubo pérdidas humanas, correspondiendo a la zona de amenaza alta y al 20% del área de la amenaza media.



Figura 115. Sedimentos transportados por el evento en el río Frío Campoalegre



Figura 116. Afectación al puente intermunicipal

Según las encuestas realizadas a los habitantes de la zona, no se les brindó ninguna ayuda ni capacitación, por parte del gobierno municipal o departamental después de la ocurrencia de los hechos el cual afirman que, fue la primera vez que se da un evento de esta magnitud en el sector.

20.4 Cuenca río Neiva

El fenómeno presentado el 21 de Febrero del 2017, dio lugar a una avenida torrencial en la cual llevaba a su paso bloques, cantos rodados, lodo y empalizada; afectando una gran extensión de cultivos e importante infraestructura de la zona como lo fueron puentes de acceso vial y

algunas viviendas rurales, estas zonas afectadas están sobre el nivel de amenaza alta y una parte de la amenaza media localizada en la parte alta y media de la cuenca. Según los resultados de las encuestas llevadas a cabo en el sector, no hubo pérdidas humanas y se obtuvo información de que hace 60 años ocurrió un evento similar, pero de mayor magnitud, aunque no se pudo obtener más información de prensa sobre este evento debido a los problemas de orden público que sufría esta zona.



Figura 117. Sedimentos transportados y afectación generada por el evento en el río Neiva

Ante el evento se registraron ayudas por parte del gobierno, sin embargo no llevaron a cabo jornadas de prevención y mitigación ante la ocurrencia de eventos similares en el futuro.

21 Discusión

En el proyecto se utilizaron diferentes parámetros morfométricos para las cuencas como lo son el índice de Gravelius, la relación de elongación y el factor de forma; los cuales relacionan la geometría de las cuencas con su circunferencia, indicando que tan alargada o redondeada son estas. En general los parámetros hallados para las cuatro cuencas establecen que todas son alargadas y con una baja torrencialidad (tendencia a no generar avenidas torrenciales). Se ha demostrado que las cuencas circulares tienen mayor probabilidad a generar avenidas torrenciales debido a que las líneas de flujo de la esorrentía son más cortas y sincrónicas, generando que el agua se concentre más rápido y simultáneamente en un solo punto sobre el lecho (Vásquez, 1994), esto también concuerda con lo determinado por (Bedoya, 2018). Otros parámetros como la pendiente de la cuenca y el orden de la red hídrica no concuerdan con lo encontrado por (Bedoya, 2018) y (Vásquez, 1994), pues las pendientes de las 4 cuencas estudiadas se distribuyen como moderadas en la parte media-alta y bajas en la parte media-baja, lo que indica una reducción en la energía de los eventos. Por su parte, el orden de la red hídrica encontrado en las cuencas estudiadas varía entre los valores de 3 a 5, lo que indica desarrollo avanzado de las cuencas, mas acumulación de material, que durante un evento detonante genera un flujo hiperconcentrado de mayor magnitud.

Es importante establecer que la interpretación que sugieren estos parámetros, esta orientados a definir una susceptibilidad a inundaciones rápidas, fenómenos que implican una mayor proporción de fluido (agua) y en menor proporción el contenido de sedimentos y escombros. El concepto determinado para una avenida torrencial se caracteriza por tener una alta concentración de sedimentos y escombros (entre un 50 a 90%) (Montoya Jaramillo, Silva Arroyave, & González, 2009) (Espinoza, Salas, & Jiménez, 2014).

En los estudios efectuados con el modelo de elevación digital (DEM) y el trabajo de campo, se encontraron a lo largo de los drenajes de interés diferentes niveles de terrazas y depósitos con características litológicas, geomorfológicas y sedimentológicas, de las cuales en su gran mayoría indican una génesis torrencial. Esto discrepa en gran medida con la interpretación de los parámetros morfométricos y establece problemas en la aplicación de esta metodología, debido a que no tiene en cuenta diversos factores que intervienen en la evolución de la cuenca, tales como la litología, geomorfología, procesos estructurales, morfodinámica y la caracterización de la precipitación.

Estos condicionantes no se deben despreciar debido a que ellos generan los componentes que conforman las avenidas torrenciales. Teniendo en cuenta esto, factores como la litología y los procesos estructurales juegan un papel fundamental en estas cuatro cuencas, pues la mayor concentración de eventos gravitacionales se localizó en el Monzogranito de Algeciras (Ja), sin embargo, para las cuencas del río Ceibas y Neiva también se incluye el Grupo Garzón (PEgg), los cuales afloran en la parte alta de las cuencas. El nivel de meteorización observado en estas dos litologías, junto con el alto desarrollo de la red de drenajes y la fuerte intervención que ha generado en estas el sistema de fallas de Algeciras, permite corroborar que las litologías anteriormente mencionadas son la fuente del material que compuso los flujos hiperconcentrados de los eventos estudiados.

Respecto a los parámetros detonantes de las avenidas torrenciales ocurridas el 21 de Febrero del 2017, se estableció que la precipitación fue el factor más influyente, mientras que el impacto de los sismos es nulo, debido a que no se presentaron en días anteriores al evento. Según los valores de precipitación de los días antecedes al evento, se estableció para las cuatro cuencas unas condiciones en el terreno para generar movimientos en masa entre amarillo y naranja

(preparación y disposición respectivamente), exceptuando una estación de la cuenca del río Ceibas la cual se determinó como verde (sin alteración), debido a que se encuentra en la parte media-baja de la cuenca, ya que los picos más altos de precipitación se localizaron en la parte alta de estas. Lo anterior concuerda con lo establecido en campo y lo mencionado por (Aristizábal, Gamboa, & Leoz, 2010), puesto que la generación de movimientos gravitacionales para esas fechas fue lo que aportó el material necesario (sedimentos y escombros) para la generación de los eventos de torrencialidad o flujos hiperconcentrados.

22 Conclusiones

La recopilación de información secundaria y datos relevantes para el estudio de los flujos hiperconcentrados se dificultó debido a la falta de interés y descuido de los entes gubernamentales regionales acerca de esta problemática. Estos carecían de esa información o se encontraba desactualizada, lo cual es preocupante ya que según la población local los eventos en las cuencas de los ríos Ceibas y Neiva son muy comunes. Además la carencia de un sistema de alerta temprana evidenció la falta de preparación por parte de los habitantes y los municipios para un evento de esta magnitud.

La mayor concentración de eventos gravitacionales se localiza en una misma litología para las cuatro cuencas, el Monzogranito de Algeciras (Ja), sin embargo, para las cuencas del río Ceibas y Neiva también se incluye el Grupo Garzón (PEgg), los cuales afloran en la parte alta de las cuencas. Estas litologías poseen características similares como su alto nivel de meteorización, su afectación por parte del sistema de fallas de Algeciras y el alto desarrollo de la red de drenajes, lo cual indica que las principales fuentes del material que conforma las avenidas torrenciales provienen de estas.

Las cuencas dentro de la zona de estudio se localizan dentro del área de influencia del Sistema de Fallas de Algeciras donde sobresalen estructuras asociadas a este sistema como la Falla Algeciras, Falla Altamira, Falla San Antonio, Falla El Pital y Falla Buenavista. El área de estudio está condicionada por tres direcciones preferenciales de lineamiento, una NW-SE, E-W y otra NE-SW. Estas varían entre los 20° y los 120°. Según lo anterior se evidencia en algunos sectores de la parte alta un fracturamiento sistemático y una afectación importante en la roca, lo cual junto con la erosión lateral producida por los drenajes ayuda a la acumulación de material en las

cuencas. Con la existencia de mayor material y aumento de los caudales es más probable que se generen las avenidas torrenciales.

Los procesos morfodinámicos fueron separados en dos grupos principales, movimiento en masa y procesos erosivos. De los movimientos en masa se caracterizaron para las cuatro cuencas: 35 deslizamientos traslacionales, 19 deslizamientos rotacionales, 28 flujos de tierra y 8 caídas de roca. Los procesos erosivos encontrados fueron generados principalmente por el sobrepastoreo y socavación lateral generada por la acción erosiva de los ríos. Estos diferentes procesos fueron de gran relevancia para el estudio del proyecto, ya que gran parte del material que aportan llega a los diferentes drenajes, aumentando a su vez las posibilidades de generar una avenida torrencial. Es importante mencionar que los movimientos en masa se encuentran en la parte media y alta de las cuencas, mientras que los procesos erosivos se presentan con mayores frecuencias en zonas medias y bajas de las mismas.

Respecto a los parámetros morfométricos analizados para las cuatro cuencas, según el factor forma, el coeficiente de circularidad y la elongación, todas se clasificaron como alargadas, del cual se infiere que las posibilidades de que ocurra un desbordamiento del cauce en las cuencas son bajas. Otro parámetro importante es el coeficiente de torrencialidad, ya que al ser bajo para las cuatro cuencas indica una baja ocurrencia de flujos hiperconcentrados. De igual forma las pendientes resultantes para las cuencas estudiadas fueron de moderadas a bajas, en otras palabras tampoco son condicionante de peso para el desarrollo de los eventos, sin embargo estas situaciones no se relacionan con las observaciones de campo.

La caracterización de la precipitación indica que los 15 días antecedentes a los eventos de torrencialidad está directamente relacionada con el aumento de potencialidad de generación de

movimientos en masa. Teniendo en cuenta que los picos de precipitación el día del evento fomentan una alta saturación de los suelos y que esta se concentró en la parte alta de las cuatro cuencas, determina que este factor fue el detonante de las avenidas torrenciales, pero que la acumulación de los factores condicionantes no debe ser despreciada, ya que sin estos solo se hubiera generado una inundación rápida y no hubiera afectado a tal grado la población local y los cascos urbanos de los municipios implicados en estos eventos.

El análisis geomorfológico y sedimentológico de las terrazas y depósitos torrenciales permitió determinar 3 niveles de amenaza (bajo, medio y alto) según las características de estas, diferenciándose según la lejanía horizontal y vertical del cauce principal. La amenaza baja corresponde a lugares donde es poco probable que un flujo torrencial pueda llegar, generalmente son terrazas de más de 15 metros de altura; la amenaza media corresponde a las áreas en las que en presencia de condiciones detonantes y determinantes excepcionales un flujo torrencial podría depositarse, siendo estas terrazas entre los 2 a 15 metros (este valor cambia según cada cuenca); por último el nivel de amenaza alto compuesto por el cauce, depósitos recientes y terrazas menores a los 2 metros.

Para los eventos ocurridos el 21 de Febrero del 2017 en las diferentes cuencas afectadas, se determinó una cantidad de daños a la población rural y urbana catalogada en maquinaria de explotación de material de construcción (2 volquetas y utensilios de excavación manual), 95 viviendas con diferentes grados de afectación en su estructura, 16 puentes inter-veredales y varias hectáreas de cultivos y cabezas de ganado.

En conclusión, el factor detonante determinado para las cuatro cuencas fue la acumulación de la precipitación los días anteriores a los eventos. Por su parte, los factores condicionantes para

las cuencas de los ríos Frío Rivera, Frío Campoalegre y Neiva, fueron la litología por su alto grado de meteorización y su alto nivel de afectación por procesos estructurales, lo cual generó una susceptibilidad a movimientos en masa, aportando el material necesario a los diferentes canales. Además las características geomorfológicas y sedimentológicas de estas cuencas, indican un grado de periodicidad en la generación de estos eventos a lo largo del tiempo, y los parámetros morfométricos no concuerdan con los resultados obtenidos en este trabajo. Sin embargo, para la cuenca del río Ceibas que posee los mismos factores condicionantes que las otras, no se generó un flujo hiperconcentrado ya que no había material necesario para este, debió un previo evento de torrencialidad ocurrido en el 2005.

Bibliografía

- A.M. Campoalegre. (1999). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Campoalegre-Huila*. Campoalegre.
- Acosta, J., & Osorno, J. F. (1999). *Geología de la plancha 324 Tello escala 1:100.000*. Bogotá: SGC.
- Alcaldía de Neiva. (03 de 12 de 2015). *Alcaldía de Neiva*. Recuperado el 09 de 04 de 2019, de Economía: <http://www.alcaldianeiva.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Alcaldía de Neiva. (07 de 11 de 2017). *Alcaldía de Neiva*. Recuperado el 04 de 2019, de Vías de comunicación: <http://www.alcaldianeiva.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Vias-de-Comunicacion.aspx>
- Alcaldía de Rivera. (2016). *Alcaldía de Rivera*. Recuperado el 04 de 2019, de Vías de comunicación : www.rivera-huila.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Vias-de-Comunicacion.aspx
- Alcaldía de Algeciras. (2016). *Plan de Desarrollo Territorial*.
- Aristizábal, E., Gamboa, M., & Leoz, F. (2010). Sistema de Alerta Temprana por Movimientos en Masa Inducidos por Lluvia para el Valle de Aburrá, Colombia. *Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 13*, P. 155-169.
- Bedoya, D. (2018). *Evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales en la microcuenca de la quebrada Los Monos, municipio de Ciudad Bolívar (Antioquia) a partir del análisis geomorfológico de la microcuenca y sus depósitos asociados*. Medellín: Programa de Geología, Escuela de Ciencias, Universidad EAFIT.
- Beltran, N., & Gallo, J. (1968). *The Geology of the Neiva Sub-Basin Upper Magdalena Basin, Southern portion*. Bogotá.
- Caballero, J. (2011). Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de Aburrá. *Gestión y Ambiente*, 45-50.
- Caballero, J. H., & Caupé, F. (2009). *Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenida torrenciales e inundaciones en el valle de Aburrá*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia .
- Chica, F. (01 de 5 de 2017). *Mocoa, Salgar y Útica: la amenaza fue natural, el desastre no*. Obtenido de Colombia plural: <https://colombiaplural.com/mocoa-salgar-utica-la-amenaza-fue-natural-desastre-no/>
- Córdova, M. (30 de Abril de 2016). *Prontubeam.com*. Obtenido de Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas: http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?id_articulo=26

- Corrigan, H. (1967). *Guidebook to the geology of Upper Magdalena Basin (Northern portion)*. Bogotá.
- Deere, D. &. (1971). Slope stability in residual soils. *Fourth Pan American Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering*, 87-107.
- Edier Aristizábal, M. F. (2010). Sistema de Alerta Temprana por Movimientos en Masa Inducidos por Lluvia para el Valle de Aburrá, Colombia. *Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 13*, P. 155-169.
- El Espectador. (27 de 12 de 2017). *Avalancha en Mocoa, una de las peores tragedias de 2017*. Obtenido de El Espectador: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/avalancha-en-mocoa-una-de-las-peores-tragedias-de-2017-articulo-730617>
- Espinoza, M. A., Salas, A., & Jiménez, M. (2014). *Inundaciones*. (V. R. Radilla, Ed.) Mexico D.F., Mexico: Cenapred.
- Ferrerira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M. (2002). *Levantamiento Geológico de la Plancha 323 Neiva*.
- GEMMA. (2007). *Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenaza*. Grupo Internacional: Servicio Nacional de Geología y Minería, publicación Geológica.
- González, J. L., & Hermelin, M. (2004). *Aspectos geomorfológicos de la avenida torrencial del 31 de Enero de 1994 en la cuenca del río Fraile y sus fenómenos asociados*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Guerra, D. (2015). *Estimación de los Parámetros Morfométricos y las Unidades de Respuesta Hidrológica de la Cuenca del Río Ráquira Departamento de Boyacá a Través del Programa SWAT*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- GUERRA, D. A. (2015). *ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y LAS UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO RÁQUIRA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A TRAVÉS DEL PROGRAMA SWAT*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Guerrero, J. (1993). *Magnetostratigraphy of the Upper part of the Honda Group and Neiva Formation. Miocene Uplift of the Colombian Andes*. .
- Hermelin, M. (2005). *Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004*. Medellín: Universidad EAFIT & Observatorio sismológico del Sur Occidente.
- Hernández Estrada, F. (27 de 5 de 2015). *Avenida torrencial en Salgar, Antioquia (Colombia)*. Obtenido de ERNtérate: https://www.ern.com.mx/boletines/DaniosInternacional_Avalancha_Salgar_18052015.pdf
- Hernández, J. (2019). *julianrojo.weebly.com*. Obtenido de Obtenido de Recursos Hidráulicos: : <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Hernández, J. D. (2019). *julianrojo.weebly.com*. Obtenido de Recursos Hidráulicos: <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>

- INGEOMINAS. (1989). *Mapa Geológico generalizado del Departamento del Huila. Escala 1:400.000.* Bogotá.
- Jaramillo, L., Escovar, R., & Vesga, C. (1980). *Edades K-Ar en rocas con alteración hidrotermal asociadas al sistema de pórfido de cobre y molibdeno de Mocoa, Intendencia del Putumayo, Colombia.* Bogotá.
- Lux Cardona, B. (2016). *Conceptos Básicos de Morfometría de Cunecas Hidrográficas.* San Carlos, Guatemala: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos.
- Lux Cordoba, B. (2016). *Conceptos Básicos de Morfometría de la Cuencas Hidrográficas.* San Carlos, Guatemala: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos.
- Matauco, A. I. (2004). ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA Y DE LA RED DE DRENAJE DEL RÍO ZADORRA Y SUS AFLUENTES APLICADO A LA PELIGROSIDAD DE CRECIDAS. *Boletín de la A.G.E. N.*, 311 -329.
- Montoya Jaramillo, L. J., Silva Arroyave, S. M., & González, J. E. (2009). Evaluación de zona de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la Quebrada Doña Maria. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 11-29.
- Morales , C., Caicedo, J., Velandia, F., & Nuñez, A. (2001). Geología de la Plancha 345 Campoalegre.
- Morales, C., Velandia, F., Núñez , A., & Caicedo , J. (1998). *Mapa Geológico de la Plancha 345 Campoalegre. INGEOMINAS. Escala 1:100.000.* Ibagué.
- Pérez, A. P., Gamboa Ramirez, M. F., & Paniagua, J. F. (2018). *A methodological proposal for the hazards assessment by debris flows phenomena through geomorphological analysis of deposits using quaternary dating methods. Case study: Watershed associated with the Citara Farallones, Southwestern Antioquia.* Recuperado el 24 de 06 de 2019, de www.researchgate.net: <https://www.researchgate.net/project/A-methodological-proposal-for-the-hazards-assessment-by-debris-flows-phenomena-through-geomorphological-analysis-of-deposits-using-quaternary-dating-methods-Case-Study-Watershed-associated-with-the-Ci>
- Porta, J. (1965). *Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el extemo sur del Valle del Magdalena.* Bucaramanga.
- Rojo, J. (S.A.). *Morfometria de Cuencas.* Obtenido de Weebly.com: <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Ruiz, E. (CIAF). *El Cuaternario de la región Garzón-Gigante, Alto Magdalena (Colombia).* Bogotá.
- SGC Plancha 323-Neiva. (2014). *Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 323-Neiva, Departamento del Huila.* Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander.

- SGC Plancha 345-Campoalegre. (2014). *MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- SGC, Plancha 149. (2013). *MEMORIA EXPLICATIVA MAPA DE GEOMORFOLOGÍA DE LA PLANCHA 149 DEPARTAMENTOS DE BOYACÁ, ANTIOQUIA Y SANTANDER*. Bogotá.
- SGC, Plancha 186. (2014). *MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000 PLANCHA-186 RÍO SUCIO*. Sogamoso.
- SGC, Plancha 430. (2013). *MEMORIA EXPLICATIVA MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA, ESCALA 1: 100.000 PLANCHA-430 MOCOYA*. Bogotá.
- SGC, Plancha 431. (2015). *MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000 PLANCHA 431-PUERTO NUEVO*. Bucaramanga.
- SGC, Plancha 466. (2015). *MEMORIA EXPLICATIVA MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000, PLANCHA 466-LA HORMIGA, PLANCHA 481-TETÉYÉ*. Bogotá.
- SGC, Plancha 89BIS. (2015). *MEMORIA TÉCNICA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO ANALÍTICO APLICADO A LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000 PLANCHA 89BIS-RÍO SALAQUÍ, DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ*. Medellín .
- Van der Wiel, A. (1991). *Uplift and volcanism of the SEColombian Andes in relation to Neogene sedimentation in the Upper Magdalena Valley*. Amsterdam.
- Vásquez, G. (1994). *Reconsideración de la efectividad de la vegetación boscosa para el control de eventos hidrológicos torrenciales*. Medellín: Memorias del Seminario Nacional de Políticas, Silvicultura y Protección Forestal.
- Vergara , L. (1994). *Stratigraphic, micropaleontologic and organic geochemical relations in the Cretaceous of the Upper Magdalena Valley, Colombia*.
- Villarroel, J., & Mojica, J. (1988). *El Paleozoico superior (Carbonífero Pérmico) sedimentario de Colombia. Afloramientos conocidos y características generales*. Bogotá.
- Villegas Yepes, P. P. (2017). *Análisis morfométrico de una cuenca*. Obtenido de www.aguaysig.com.
- Weather Atlas. (2002). *Weather Atlas*. Recuperado el 09 de 04 de 2019, de Previsión meteorológica y clima mensual Neiva, Colombia: <https://www.weather-col.com/es/colombia/neiva-clima>
- Weather Spark. (2002). *Weather Spark*. Recuperado el 04 de 2019, de El clima promedio en Algeciras.
- Weather Spark. (S.A.). *Weather Spark*. Recuperado el 04 de 2019, de El clima promedio en Rivera: <https://es.weatherspark.com/y/22379/Clima-promedio-en-Rivera-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Yepes, P. (15 de Octubre de 2013). *Obtenido de Agua y Sig*. Recuperado el 30 de Marzo de 2019, de Aguaysig.com: <https://www.aguaysig.com/2013/10/analisis-morfometrico-de-una-cuenca.html>

Yepes, P. V. (15 de Octubre de 2013). *Aguaysig.com*. Obtenido de Agua y SIG: <https://www.aguaysig.com/2013/10/analisis-morfometrico-de-una-cuenca.html>

