

# Municipio de Cajicá

## Cundinamarca

Estudios Básicos de Amenazas

Capítulo 1. Aspectos Generales



2021

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

## TABLA DE CONTENIDOS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1.1. ASPECTOS NORMATIVOS .....</b>                                | <b>18</b> |
| <b>1.2. OBJETIVOS.....</b>   | <b>21</b> |
| 1.2.1.    Objetivo General.....                                      | 21        |
| 1.2.2.    Objetivo Especifico .....                                  | 21        |
| <b>1.3. ALCANCE DEL ESTUDIO .....</b>                                | <b>22</b> |
| 1.3.1.    Escala de Trabajo .....                                    | 22        |
| <b>1.4. CONTEXTO REGIONAL .....</b>                                  | <b>23</b> |
| 1.4.1.    Provincia Sabana Centro.....                               | 23        |
| 1.4.2.    POMCA Río Bogotá.....                                      | 27        |
| 1.4.2.1.    Subcuenca del Río Bogotá (sector Tibitoc – Soacha) ..... | 28        |
| 1.4.2.2.    Subcuenca del Río Frío.....                              | 28        |
| 1.4.2.3.    Quebrada del Campo.....                                  | 28        |
| <b>1.5. CONTEXTO LOCAL.....</b>                                      | <b>30</b> |
| 1.5.1.    Localización Geográfica del Municipio .....                | 30        |
| 1.5.2.    Aspectos Económicos.....                                   | 34        |
| 1.5.3.    Infraestructura Vial.....                                  | 35        |
| 1.5.4.    Ecología.....  | 38        |
| 1.5.5.    Clima .....  | 38        |
| 1.5.5.1.    Variables Climáticas .....                               | 39        |
| 1.5.5.1.1.    Precipitación.....                                     | 39        |
| 1.5.5.1.1.1.    Fuentes de información .....                         | 40        |
| 1.5.5.1.1.2.    Ventana de análisis.....                             | 42        |
| 1.5.5.1.1.3.    Selección de estaciones .....                        | 43        |
| 1.5.5.1.1.4.    Llenado de vacíos de información.....                | 46        |
| 1.5.5.1.1.5.    Consistencia de datos.....                           | 51        |
| 1.5.5.1.1.6.    Homogeneidad de datos.....                           | 53        |
| 1.5.5.1.1.7.    Distribución temporal de la precipitación .....      | 54        |

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| 1.5.5.1.1.8. | Distribución espacial de la precipitación ..... | 59  |
| 1.5.5.1.2.   | Temperatura.....                                | 63  |
| 1.5.5.1.2.1. | Fuentes de información.....                     | 63  |
| 1.5.5.1.2.2. | Ventana de análisis .....                       | 65  |
| 1.5.5.1.2.3. | Llenado de vacíos de información.....           | 65  |
| 1.5.5.1.2.4. | Distribución temporal.....                      | 66  |
| 1.5.5.1.2.5. | Distribución espacial de la temperatura.....    | 70  |
| 1.5.5.1.3.   | Vientos .....                                   | 74  |
| 1.5.5.1.3.1. | Fuentes de información.....                     | 74  |
| 1.5.5.1.3.2. | Magnitud del viento .....                       | 75  |
| 1.5.5.1.3.3. | Dirección del viento.....                       | 79  |
| 1.5.5.1.4.   | Radiación y Brillo Solar .....                  | 80  |
| 1.5.5.1.4.1. | Fuentes de información.....                     | 80  |
| 1.5.5.1.4.2. | Brillo solar.....                               | 81  |
| 1.5.5.1.4.3. | Radiación solar.....                            | 82  |
| 1.5.5.1.5.   | Presión de Vapor de Agua.....                   | 86  |
| 1.5.5.1.5.1. | Fuentes de información.....                     | 86  |
| 1.5.5.1.5.2. | Regionalización .....                           | 86  |
| 1.5.5.1.6.   | Presión de Vapor de Saturación .....            | 89  |
| 1.5.5.1.6.1. | Regionalización .....                           | 89  |
| 1.5.5.1.7.   | Humedad Relativa.....                           | 91  |
| 1.5.5.1.8.   | Temperatura del Punto de Rocío .....            | 93  |
| 1.5.5.1.9.   | Evaporación.....                                | 95  |
| 1.5.5.1.9.1. | Evapotranspiración potencial.....               | 95  |
| 1.5.5.2.     | Clasificación Climática.....                    | 99  |
| 1.5.5.2.1.   | Clasificación Climática de Thornwaite .....     | 99  |
| 1.5.5.2.2.   | Regionalización del Clima.....                  | 104 |
| 1.5.5.2.3.   | Análisis de Resultados .....                    | 107 |
| 1.5.5.3.     | Conclusiones .....                              | 108 |

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>1.5.6. Cobertura de Suelo .....</b>            | <b>110</b> |
| 1.5.6.1. Proceso Metodológico.....                | 111        |
| 1.5.6.1.1. Metodología .....                      | 111        |
| 1.5.6.1.2. Insumos .....                          | 112        |
| 1.5.6.1.3. Materiales Usados.....                 | 113        |
| 1.5.6.1.4. Procedimiento.....                     | 114        |
| 1.5.6.1.5. Recorrido Realizado.....               | 118        |
| 1.5.6.1.6. Puntos de Control.....                 | 118        |
| 1.5.6.2. Resultados.....                          | 125        |
| 1.5.6.2.1. Territorios Artificializados.....      | 128        |
| 1.5.6.2.2. Territorios Agrícolas.....             | 134        |
| 1.5.6.2.3. Bosques y áreas seminaturales.....     | 142        |
| 1.5.6.2.4. Áreas Húmedas.....                     | 150        |
| 1.5.6.2.5. Superficies de Agua.....               | 152        |
| <b>1.5.7. Suelos Edafológicos.....</b>            | <b>155</b> |
| 1.5.7.1. Proceso Metodológico.....                | 155        |
| 1.5.7.2. Resultados.....                          | 155        |
| 1.5.7.2.1. Mapa de Suelos Edafológicos .....      | 155        |
| 1.5.7.2.2. Unidades de Suelos Edafológicos .....  | 158        |
| <b>1.5.8. Geología.....</b>                       | <b>168</b> |
| 1.5.8.1. Proceso Metodológico.....                | 168        |
| 1.5.8.2. Descripción de Unidades Aflorantes ..... | 174        |
| 1.5.8.2.1. Mesozoico.....                         | 175        |
| 1.5.8.2.2. Cuaternario.....                       | 179        |
| 1.5.8.3. Geología Estructural.....                | 182        |
| <b>1.5.9. Geomorfología.....</b>                  | <b>184</b> |
| 1.5.9.1. Proceso Metodológico.....                | 184        |
| 1.5.9.2. Subunidades Geomorfológicas .....        | 190        |

|  |  |   |               |  |
|--|--|---|---------------|--|
| <br><small>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</small> | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</b> |   |               | <br><small>ARCO<br/>C &amp; C</small> |
|  | <b>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |  |

|                |  |            |
|----------------|--|------------|
| 1.5.9.2.1.     | Ambiente Estructural .....                               | 192        |
| 1.5.9.2.2.     | Ambiente Fluvial y Lagunar .....                         | 194        |
| 1.5.9.2.3.     | Ambiente Denudativo .....                                | 200        |
| 1.5.9.2.4.     | Ambiente Antropogénico .....                             | 205        |
| <b>1.5.10.</b> | <b>Relieve .....</b>                                     | <b>207</b> |
| 1.5.10.1.      | Curva de Nivel .....                                     | 207        |
| 1.5.10.1.1.    | Equidistancia entre curvas de nivel .....                | 208        |
| 1.5.10.1.2.    | Cota de un punto .....                                   | 209        |
| 1.5.10.1.3.    | Curvas de nivel auxiliares .....                         | 209        |
| 1.5.10.2.      | Topo a Raster .....                                      | 211        |
| 1.5.10.2.1.    | El proceso de interpolación .....                        | 211        |
| 1.5.10.2.2.    | El proceso de aplicación de drenaje .....                | 212        |
| 1.5.10.2.3.    | Uso de los datos .....                                   | 212        |
| 1.5.10.2.4.    | Interpolación de resoluciones .....                      | 214        |
| 1.5.10.2.5.    | Procesamiento de datos .....                             | 215        |
| 1.5.10.2.6.    | Rásteres y mosaicos .....                                | 215        |
| 1.5.10.2.7.    | Evaluación de salida .....                               | 216        |
| 1.5.10.2.8.    | Influencia de curvas de nivel .....                      | 219        |
| 1.5.10.2.9.    | Causas de problemas .....                                | 219        |
| 1.5.10.3.      | Modelo de Pendientes del Suelo .....                     | 221        |
| 1.5.10.3.1.    | Metodología de procesamiento .....                       | 222        |
| 1.5.10.3.1.1.  | Método planar .....                                      | 222        |
| 1.5.10.3.1.2.  | Método Geodésico .....                                   | 224        |
| 1.5.10.4.      | Modelo de Sombras .....                                  | 229        |
| 1.5.10.4.1.    | Parámetros de Sombreado .....                            | 229        |
| <b>1.5.11.</b> | <b>Sismicidad .....</b>                                  | <b>234</b> |
| <b>1.5.12.</b> | <b>Caracterización Hidrológica .....</b>                 | <b>239</b> |
| 1.5.12.1.      | Parámetros Generales de las Unidades Hidrográficas ..... | 239        |
| 1.5.12.1.1.    | Parámetros Geomorfológicos .....                         | 243        |

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| 1.5.12.1.1.   | Área de la unidad hidrográfica.....                        | 243 |
| 1.5.12.1.1.2. | Perímetro de la cuenca.....                                | 245 |
| 1.5.12.1.1.3. | Longitud del cauce principal.....                          | 246 |
| 1.5.12.1.1.4. | Ancho de la cuenca .....                                   | 248 |
| 1.5.12.1.1.5. | Desnivel altitudinal.....                                  | 250 |
| 1.5.12.1.2.   | Parámetros Morfométricos.....                              | 251 |
| 1.5.12.1.2.1. | Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius (Kc) ..... | 252 |
| 1.5.12.1.2.2. | Factor forma.....  | 255 |
| 1.5.12.1.2.3. | Coeficiente de torrencialidad.....                         | 258 |
| 1.5.12.1.3.   | Parámetros Relativos al Relieve.....                       | 260 |
| 1.5.12.1.3.1. | Altitud media de la cuenca.....                            | 260 |
| 1.5.12.1.3.2. | Curva e integral hipsométrica.....                         | 263 |
| 1.5.12.1.3.3. | Histograma de frecuencias altimétricas .....               | 268 |
| 1.5.12.1.3.4. | Pendiente media de la cuenca.....                          | 277 |
| 1.5.12.1.3.5. | Pendiente media del cauce principal .....                  | 279 |
| 1.5.12.1.3.6. | Perfil altimétrico del cauce principal .....               | 282 |
| 1.5.12.1.4.   | Caracterización de la Red de Drenajes .....                | 287 |
| 1.5.12.1.4.1. | Densidad de Drenajes.....                                  | 287 |
| 1.5.12.1.5.   | Parámetros Hidrológicos .....                              | 290 |
| 1.5.12.1.5.1. | Curva número .....   | 290 |
| 1.5.12.1.5.2. | Tiempo de concentración .....                              | 296 |
| 1.5.12.1.5.3. | Tiempo de retardo o rezago .....                           | 304 |
| 1.5.12.2.     | Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) .....    | 306 |
| 1.5.12.3.     | Análisis de Frecuencia de Eventos Extremos .....           | 310 |
| 1.5.12.4.     | Régimen Hidrológico.....                                   | 317 |
| 1.5.12.4.1.   | Caracterización de los caudales.....                       | 317 |
| 1.5.12.4.2.   | Caudales máximos.....                                      | 319 |
| 1.5.12.4.3.   | Caudales medios .....                                      | 327 |
| 1.5.12.4.4.   | Caudales mínimos .....                                     | 330 |

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 1.5.12.4.5. | Niveles máximos, medios y mínimos .....                   | 333        |
| 1.5.12.4.6. | Análisis de frecuencias de caudales máximos.....          | 341        |
| 1.5.12.5.   | Hietogramas de Diseño.....                                | 343        |
| 1.5.12.6.   | Hidrogramas.....  | 346        |
| 1.5.12.6.1. | Modelo de pérdidas (S.C.S).....                           | 348        |
| 1.5.12.6.2. | Modelo de transformación (hidrograma unitario S.C.S)..... | 349        |
| 1.5.12.6.3. | Aplicación del modelo hidrológico HEC – HMS.....          | 351        |
| 1.5.12.6.4. | Resultados del modelo hidrológico.....                    | 353        |
| 1.5.12.6.5. | Caudales máximos instantáneos .....                       | 356        |
| 1.5.12.7.   | Coefficiente de Rugosidad de Manning.....                 | 357        |
| 1.5.12.8.   | Conclusiones .....  | 359        |
| <b>1.6.</b> | <b>CONTROL DE CALIDAD .....</b>                           | <b>360</b> |
| 1.6.1.      | Control de Calidad Temático.....                          | 360        |
| 1.6.2.      | Control Cartográfico .....                                | 362        |
| <b>1.7.</b> | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                    | <b>363</b> |



## LISTA DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Provincias del Departamento de Cundinamarca.....   | 24 |
| Ilustración 2. Municipios que conforman la provincia de Sabana Centro. ....   | 26 |
| Ilustración 3. POMCA's, cuencas, microcuencas y afluentes del municipio de Cajicá. ....   | 29 |
| Ilustración 4. Localización geográfica del municipio de Cajicá, Cundinamarca. ....  | 33 |
| Ilustración 5. Mapa de infraestructura vial del municipio de Cajicá, Cundinamarca. ....   | 37 |
| Ilustración 6. Estaciones meteorológicas preliminares para la variable Precipitación. ....  | 41 |
| Ilustración 7. Número de días con precipitación diaria acumulada de las estaciones de análisis. ....                                | 42 |
| Ilustración 8. Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio de precipitación en el municipio de Cajicá. ....                  | 45 |
| Ilustración 9. Histograma de precipitaciones mensuales multianuales en las estaciones de análisis. ....                             | 55 |
| Ilustración 10. Histograma de precipitaciones mensuales multianuales en las estaciones ubicadas sobre el valle del Río Bogotá. .... | 56 |
| Ilustración 11. Histograma de precipitaciones máximas mensuales históricas en las estaciones evaluadas. ....                        | 57 |
| Ilustración 12. Mapa de precipitaciones anuales promedio en el municipio de Cajicá. ....  | 60 |
| Ilustración 13. Mapa del número de días con lluvia anual promedio del municipio de Cajicá. ....                                     | 62 |
| Ilustración 14. Estaciones meteorológicas preliminares para la variable temperatura. ....   | 64 |
| Ilustración 15. Datos diarios de temperatura de las estaciones de análisis. ....  | 65 |
| Ilustración 16. Correlación de la temperatura con la coordenada Norte, Este y la altitud. ....                                      | 71 |
| Ilustración 17. Mapa de temperatura anual multianual del municipio de Cajicá. ....  | 73 |
| Ilustración 18. Perfiles de velocidad del viento en diferentes escenarios. ....   | 75 |
| Ilustración 19. Función de correlación de la magnitud del viento con la altura para el mes de julio. ....                           | 76 |
| Ilustración 20. Magnitud del viento anual multianual para el municipio de Cajicá. ....  | 78 |
| Ilustración 21. Roseta de vientos de la estación "APTO EL DORADO" ....  | 79 |
| Ilustración 22. Brillo solar horario mensual multianual. ....   | 81 |
| Ilustración 23. Radiación solar diaria promedio mensual histórica. ....   | 82 |
| Ilustración 24. Regresión ajustada para el cálculo de la radiación solar. ....  | 84 |
| Ilustración 25. Radiación solar diaria promedio. ....   | 85 |
| Ilustración 26. Relación de la Presión de Vapor de Agua con la altura. ....   | 87 |
| Ilustración 27. Mapa de presión de vapor de agua para el municipio de Cajicá. ....  | 88 |
| Ilustración 28. Mapa de Presión de vapor de saturación para el municipio de Cajicá. ....  | 90 |
| Ilustración 29. Mapa de humedad relativa sobre el municipio de Cajicá. ....   | 92 |



|   |     |
|---|-----|
| Ilustración 30. Mapa de temperatura del punto de rocío.....   | 94  |
| Ilustración 31. Evapotranspiración mensual promedio de las estaciones de análisis.....  | 96  |
| Ilustración 32. Evapotranspiración potencial ajustada anual promedio.....   | 98  |
| Ilustración 33. Gráfica de la relación del factor de humedad y la precipitación anual.....  | 104 |
| Ilustración 34. Clasificación climática - Método de Thornthwaite.....   | 106 |
| Ilustración 35. a) Clasificación climática del POMCA del Río Bogotá, y b) Clasificación climática.....  | 108 |
| Ilustración 36. Materiales Usados.....  | 113 |
| Ilustración 37. Mapa preliminar de Coberturas de la tierra, Cajicá – Cundinamarca.....  | 116 |
| Ilustración 38. Puntos y rutas de la salida de campo, ubicación geográfica, Cajicá - Cundinamarca.....  | 123 |
| Ilustración 39. Patrones de interpretación, relacionando puntos y fotografías tomados en campo proyecto CORINE Land Cover, Departamento de Cundinamarca, Municipio de Cajicá..... | 124 |
| Ilustración 40. Coberturas rurales municipio de Cajicá – Cundinamarca.....  | 125 |
| Ilustración 41. Porcentaje coberturas rurales, Cajicá -Cundinamarca.....  | 127 |
| Ilustración 42. Representación de la cobertura de territorios artificializados zona rural Cajicá – Cundinamarca.....  | 129 |
| Ilustración 43. Tejido urbano continuo.....   | 130 |
| Ilustración 44. Tejido urbano discontinuo.....  | 131 |
| Ilustración 45. Zonas industriales o comerciales.....   | 132 |
| Ilustración 46. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados.....   | 133 |
| Ilustración 47. Obras hidráulicas.....  | 133 |
| Ilustración 48. Instalaciones recreativas.....  | 134 |
| Ilustración 49. Representación de la cobertura de territorios agrícolas zona rural Cajicá – Cundinamarca.....   | 135 |
| Ilustración 50. Maíz.....   | 136 |
| Ilustración 51. Hortalizas.....   | 137 |
| Ilustración 52. Papa.....   | 137 |
| Ilustración 53. Cultivos permanentes arbóreos.....  | 138 |
| Ilustración 54. Cultivos confinados.....  | 138 |
| Ilustración 55. Pastos limpios.....   | 139 |
| Ilustración 56. Pastos arbolados.....   | 140 |
| Ilustración 57. Pastos enmalezados.....   | 140 |
| Ilustración 58. Mosaico de pastos y cultivos.....   | 141 |
| Ilustración 59. Mosaico de pastos con espacios naturales.....   | 141 |
| Ilustración 60. Mosaico de cultivos con espacios naturales.....   | 142 |

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

|   |     |
|---|-----|
| Ilustración 61. Bosques y áreas seminaturales.....  | 143 |
| Ilustración 62. Bosque denso alto de tierra firme.....  | 144 |
| Ilustración 63. Bosque abierto alto de tierra firme.....  | 144 |
| Ilustración 64. Bosque de galería o ripario.....  | 145 |
| Ilustración 65. Plantación forestal.....  | 145 |
| Ilustración 66. Herbazal denso inundable no arbolado.....   | 146 |
| Ilustración 67. Herbazal abierto.....   | 146 |
| Ilustración 68. Herbazal abierto arenoso.....   | 147 |
| Ilustración 69. Herbazal abierto rocoso.....  | 147 |
| Ilustración 70. Arbustal denso.....   | 148 |
| Ilustración 71. Arbustal abierto.....   | 148 |
| Ilustración 72. Vegetación secundaria alta.....   | 149 |
| Ilustración 73. Vegetación secundaria baja.....   | 149 |
| Ilustración 74. Representación de la cobertura de áreas húmedas zona rural Cajicá – Cundinamarca.....             | 150 |
| Ilustración 75. Zonas pantanosas.....   | 151 |
| Ilustración 76. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua.....  | 151 |
| Ilustración 77. Representación de la cobertura de superficies de agua zona rural Cajicá – Cundinamarca.....       | 152 |
| Ilustración 78. Ríos.....   | 153 |
| Ilustración 79. Lagunas, lagos y ciénagas naturales.....  | 153 |
| Ilustración 80. Cuerpos de agua artificializados.....   | 154 |
| Ilustración 81. Unidades de Suelo, Cajicá – Cundinamarca.....   | 156 |
| Ilustración 82. Porcentaje de ocupación por Unidad de Suelo presentes en el municipio.....                        | 157 |
| Ilustración 83. Área por cada unidad de suelo.....  | 157 |
| Ilustración 84. Unidades de Suelo Edafológico MsH22, MsM04, MsL03, MsL04, MsM03, MsL05, MsM06, RzM12 y LaM01..... | 161 |
| Ilustración 85. Unidades de Suelo Edafológico LxM04, LxM05, RaL02, RaL03, RzL12, RzL31, RzM01, RzM06 y RzM07..... | 165 |
| Ilustración 86. Unidades de Suelo Edafológico RzM08, RzM10, RzM14 y RzM17.....                                    | 167 |
| Ilustración 87. Modelo digital de sombras en el área rural de Cajicá, Cundinamarca.....                           | 169 |
| Ilustración 88. Mapa de pendientes en el área municipal de Cajicá.....  | 170 |
| Ilustración 89. Estaciones de campo en el área municipal de Cajicá.....   | 173 |
| Ilustración 90. Geología del Área Rural, municipio de Cajicá.....   | 174 |
| Ilustración 91. Corte geológico del área rural del municipio de Cajicá.....                                       | 175 |



Ilustración 92. Formación Conejo, en cercanías al Club Canino los Canes del Rey, vereda Chuntame, a) cambio morfológico entre la Formación Conejo y la unidad de Depósitos de Flujos Torrenciales, b) Arenisca diaclasada moderadamente meteorizada de la Formación Conejo. .176

Ilustración 93. Rocas de la Formación Arenisca Dura, con alta meteorización, al noroccidente de la vereda Chuntame, Cajicá. ....177

Ilustración 94. Rocas de la Formación Plaeners (areniscas), Cerro Montecipio sobre la vía Manas-Molino, vereda Chuntame. ....178

Ilustración 95. Rocas de la Formación Guaduas, vereda Chuntame al costado norte del Cerro Montepincio. ....179

Ilustración 96. Depósitos de la Formación Sabana, al costado de la vía Cajicá-Zipacquirá, al norte del municipio costado occidental de la autopista. ....180

Ilustración 97. Depósitos Coluviales cerca al Mirador la Cumbre, vereda Chuntame. ....181

Ilustración 98. Depósitos aluviales recientes, al lado de la vía Villa María la Petaca, al lado de la finca San Sebastián, vereda Canelón. ....182

Ilustración 99. Mapa geomorfológico del área municipal de Cajicá. ....191

Ilustración 100. Sierra homoclinal (área bajo la curva azul) y ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (área sobre la curva amarilla). Toma realizada en el sector La Concepción, vereda Chuntame, al centro-occidente del municipio (X: 4883770 Y: 2104170). ....193

Ilustración 101. Ladera estructural de sierra homoclinal (área sobre la curva azul). Toma realizada sobre la vía Cajicá-Tabio (X: 4885700 Y: 2104540). ....193

Ilustración 102. De arriba abajo en la imagen: ladera de contrapendiente de sierra homoclinal, lomo denudado, Sierra y lomo de presión y Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados. Toma hecha por la vía cerca al Mirador la Cumbre. (X: 4883820 Y: 2104420). ....194

Ilustración 103. Abanico aluvial, vereda Chuntame en la parte norte, costado occidental del municipio (X:4886850 Y: 2106920). Imagen de la izquierda tomada de Google Earth. ....195

Ilustración 104. Abanico aluvial sub-reciente (bajo la línea azul). Finca Aranjuez vía al autódromo, vereda Chuntame, (X: 4888160 Y: 2106450). ....196

Ilustración 105. Cauce aluvial del río Bogotá, curva de sur a norte por el costado oriental del municipio. ....197

Ilustración 106. Divagación de cauce activo, del río Bogotá. ....198

Ilustración 107. Laguna, cerca al río Frio, Gimnasio Campestre los Laureles, vereda Canelón. ....198

Ilustración 108. Plano o llanura de inundación, influenciado por la dinámica del Río Bogotá. ....199

Ilustración 109. Planicie y delta lacustre, domina la mayor parte del área plana del municipio. ....200

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

|   |     |
|---|-----|
| Ilustración 110. Conos y lóbulos coluviales y de soliflucción. Cerca al Mirador la Cumbre, en la vereda Chuntame (X: 4884030 Y:2103830).....              | 201 |
| Ilustración 111. Cono o lóbulo de flujo indiferenciado, vereda Chuntame, en el parte norte costado occidental del municipio (X:4886823 Y: 2106964). ..... | 202 |
| Ilustración 112. Lomeríos disectados, costado occidental de la vía Cajicá-Zipacquirá en el sector más norte del municipio. ....                           | 203 |
| Ilustración 113. Lomeríos muy disectados, vía Manas-Molino – Cajicá-Tabio, en el sector de la Concepción. ....  | 204 |
| Ilustración 114. Montículo y ondulaciones denudacionales, en el costado oriental de la vía Manas-Molino con la calle 3, frente al cerro Montepincio. .... | 205 |
| Ilustración 115. Canteras. Ubicadas en diferentes puntos del municipio.....   | 206 |
| Ilustración 116. Modelo de elevación derivado en curvas de nivel. ....  | 207 |
| Ilustración 117. Equisditanancia entre curvas de nivel.....   | 208 |
| Ilustración 118. Curvas de nivel del municipio de Cajicá, Cundinamarca. ....  | 210 |
| Ilustración 119. Modelo de elevación digital del municipio de Cajicá, Cundinamarca. ....  | 220 |
| Ilustración 120. Modelo explicativo de pendientes de suelo. ....  | 221 |
| Ilustración 121. Ejemplos de modelos ráster de pendientes. ....   | 221 |
| Ilustración 122. Distribución y valores de celda.....   | 223 |
| Ilustración 123. Ejemplo de modelo de sistema de coordenadas.....   | 224 |
| Ilustración 124. Ejemplo cálculo y comportamiento geodésico I. ....   | 225 |
| Ilustración 125. Ejemplo ajuste de mínimos cuadrados.....   | 226 |
| Ilustración 126. Ejemplo cálculo y comportamiento geodésico II.....   | 227 |
| Ilustración 127. Pendientes del área rural del municipio de Cajicá, Cundinamarca. ....  | 228 |
| Ilustración 128. Acimut.....  | 229 |
| Ilustración 129. Altitud y relación de ángulo.....  | 230 |
| Ilustración 130. Modelo de sombras, municipio de Cajicá, Cundinamarca. ....   | 233 |
| Ilustración 131. Mapa de sismicidad para períodos de retorno de 75 años (izq.) y 2475 años.....   | 234 |
| Ilustración 132. Zonificación sísmica para un período de retorno de 475 años. ....  | 235 |
| Ilustración 133. Sismicidad registrada y amenaza sísmica con período de retorno 475 años en el departamento de Cundinamarca.....                          | 236 |
| Ilustración 134. Sismicidad registrada y amenaza sísmica con período de retorno 475 años en el municipio de Cajicá, Cundinamarca.....                     | 238 |
| Ilustración 135. División de la Cuenca hidrográfica. ....   | 240 |
| Ilustración 136. Unidades hidrográficas del área de estudio.....  | 242 |
| Ilustración 137. Tamaño de las unidades hidrográficas.....  | 244 |
| Ilustración 138. Perímetro de las cuencas.....  | 245 |



|   |     |
|---|-----|
| Ilustración 139. Longitud del cauce principal (kilómetros). .....   | 247 |
| Ilustración 140. Ancho de las cuencas.....  | 249 |
| Ilustración 141. Desnivel altitudinal. ....   | 251 |
| Ilustración 142. Coeficiente de Compacidad o Gravelius.....   | 253 |
| Ilustración 143. Comparación de la forma de las cuencas con el Coeficiente de Compacidad.<br>.....  | 254 |
| Ilustración 144. Factor Forma de Horton. ....   | 256 |
| Ilustración 145. Influencia de la configuración de la red hidrológica en las descargas. ....  | 257 |
| Ilustración 146. Coeficiente de torrencialidad.....   | 259 |
| Ilustración 147. Altitud media de la cuenca.....  | 262 |
| Ilustración 148. Clasificación de ríos a partir de la curva hipsométrica.....   | 263 |
| Ilustración 149. Curvas hipsométricas a) juveniles medias, b) juveniles avanzadas, c) madura<br>temprana, d) madura media, e) madura avanzada y f) seniles tempranas..... | 266 |
| Ilustración 150. Clasificación de cuencas con base a la integral hipsométrica. ....   | 267 |
| Ilustración 151. Mosaico de histogramas de frecuencias altimétricas. ....   | 276 |
| Ilustración 152. Pendiente media de la cuenca. ....   | 278 |
| Ilustración 153. Pendiente media del cauce principal.....   | 281 |
| Ilustración 154. Hidrogramas en relación perfil altimétrico cauce principal. ....   | 282 |
| Ilustración 155. Mosaico de perfiles altimétricos de cauces principales. ....   | 286 |
| Ilustración 156. Densidad de drenajes.....  | 289 |
| Ilustración 157. Curva Número por unidad hidrográfica.....  | 295 |
| Ilustración 158. Tiempo de concentración de las microcuencas. ....  | 303 |
| Ilustración 159. Mosaico de Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) para las<br>estaciones de análisis.....   | 309 |
| Ilustración 160. Lluvias máximas para periodos de retorno de 2.33 a 100 años.....   | 312 |
| Ilustración 161. Precipitaciones máximas esperadas para periodos de retorno de 2,33 años...313  |     |
| Ilustración 162. Precipitaciones máximas esperadas para periodos de retorno de 25 años. ....314   |     |
| Ilustración 163. Precipitaciones máximas esperadas para periodos de retorno de 100 años...316   |     |
| Ilustración 164. Estaciones limnimétricas utilizadas para el análisis de caudales.....  | 318 |
| Ilustración 165. Caudales máximos estación Refisal [2120987]. ....  | 320 |
| Ilustración 166. Caudales máximos estación Puente Vargas [2120734]. ....  | 321 |
| Ilustración 167. Caudales máximos estación La Balsa Chía [2120742].....   | 322 |
| Ilustración 168. Caudales máximos estación Puente La Virgen [2120973].....  | 323 |
| Ilustración 169. Caudales máximos estación Pozo Hondo [2120966].....  | 324 |
| Ilustración 170. Caudales máximos estación Puente Calamar [2120925].....  | 324 |
| Ilustración 171. Caudales máximos estación Puente La Virginia [2120735].....  | 325 |



|  |     |
|--|-----|
| Ilustración 172. Caudales máximos estación Puente Cacique [2120960].   | 326 |
| Ilustración 173. Caudales máximos estación Antes Acueducto Tabio [2120923].  | 326 |
| Ilustración 174. Caudales medios estaciones seleccionada Cajicá (Cundinamarca).  | 330 |
| Ilustración 175. Caudales mínimos estaciones seleccionada Cajicá (Cundinamarca).   | 333 |
| Ilustración 176. Niveles máximos estación Refisal [2120987].   | 335 |
| Ilustración 177. Niveles máximos estación Puente Vargas [2120734].   | 336 |
| Ilustración 178. Niveles máximos estación La Balsa Chía [2120742].   | 337 |
| Ilustración 179. Niveles máximos estación Puente La Virgen [2120973].  | 337 |
| Ilustración 180. Niveles máximos estación Pozo Hondo [2120966].  | 338 |
| Ilustración 181. Niveles máximos estación Puente Calamar [2120925].  | 339 |
| Ilustración 182. Niveles máximos estación Puente La Virginia [2120735].  | 339 |
| Ilustración 183. Niveles máximos estación Puente Cacique [2120960].  | 340 |
| Ilustración 184. Niveles máximos estación Antes Acueducto Tabio [2120923].   | 341 |
| Ilustración 185. Ajuste distribuciones de probabilidad estación Puente Vargas [2120734].   | 342 |
| Ilustración 186. Mosaico de Hietogramas de diseño de las estaciones “TABIO GRANJA [21201630]” y “LA COSECHA – AUT [21205910]” para periodos de retorno de 2.33, 25 y 100 años. | 345 |
| Ilustración 187. Tiempos característicos en un hidrograma.   | 347 |
| Ilustración 188. Hidrograma Unitario Triangular del SCS.   | 350 |
| Ilustración 189. Modelo de distribución de cuenca en HMS.  | 353 |
| Ilustración 190. Mosaico de hidrogramas unitarios para los periodos de retorno de 2.33, 25 y 100 años.   | 355 |
| Ilustración 191. Coeficiente de rugosidad de Manning.  | 358 |

### LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Normatividad asociada a la gestión del riesgo en Colombia.                           | 18 |
| Tabla 2. Escalas de trabajo Estudios de Amenazas.   | 23 |
| Tabla 3. Provincia de Sabana Centro, departamento de Cundinamarca.                            | 25 |
| Tabla 4. Subcuencas del río Bogotá.   | 27 |
| Tabla 5. Centros Poblados Rurales del Municipio de Cajicá.                                    | 31 |
| Tabla 6. Infraestructura vial, municipio de Cajicá.   | 36 |
| Tabla 7. Porcentaje de días con datos de precipitación de 1991 a 2020.                        | 43 |
| Tabla 8. Coeficiente de variación de las estaciones evaluadas.                                | 47 |
| Tabla 9. Coeficiente de Correlación de Pearson entre las estaciones meteorológicas evaluadas. | 48 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabla 10. Índice de aridez y clasificación climática de Emmanuel de Martone. ....                      | 49  |
| Tabla 11. Índice de aridez y clasificación climática de las estaciones evaluadas.....                  | 50  |
| Tabla 12. Resumen de los criterios de vecindad para el llenado de vacíos de información. ....          | 50  |
| Tabla 13. Resultado de la prueba de consistencia T-Student. ....                                       | 52  |
| Tabla 14. Resultado de la prueba de consistencia F-Fisher. ....  | 53  |
| Tabla 15. Días con lluvia mensual multianual. ....   | 58  |
| Tabla 16. Temperatura mensual y anual promedio. ....   | 67  |
| Tabla 17. Temperatura mínima mensual.....  | 68  |
| Tabla 18. Temperatura máxima mensual. ....   | 69  |
| Tabla 19. Factor de humedad para la clasificación climática de Thornthwaite. ....                      | 100 |
| Tabla 20. Grado de humedad efectiva.....   | 100 |
| Tabla 21. Índice de eficiencia termal .....  | 101 |
| Tabla 22. Coeficiente de concentración estival.....  | 102 |
| Tabla 23. Clasificación climática de las estaciones meteorológicas de análisis. ....                   | 103 |
| Tabla 24. Clasificación climática de las estaciones meteorológicas de análisis. ....                   | 117 |
| Tabla 25. Puntos de control tomados en la Ruta 1, 2, 3 y 4, Cajicá – Cundinamarca. ....                | 119 |
| Tabla 26. Coberturas rurales, áreas y porcentajes – Cajicá – Cundinamarca. ....                        | 126 |
| Tabla 27. Rangos aproximados de Áreas. ....  | 243 |
| Tabla 28. Categorización longitud del cauce principal. ....  | 246 |
| Tabla 29. Categorización desnivel altitudinal. ....  | 250 |
| Tabla 30. Rangos aproximados del Coeficiente de Compacidad. ....                                       | 253 |
| Tabla 31. Rangos aproximados del Factor de Forma. ....   | 255 |
| Tabla 32. Clasificación de cuencas a partir de la integral hipsométrica. ....                          | 264 |
| Tabla 33. Rangos aproximados de la Pendiente Media de la cuenca. ....                                  | 277 |
| Tabla 34. Rangos aproximados de la Pendiente Media del cauce principal. ....                           | 279 |
| Tabla 35. Clasificación de cuencas por la densidad de drenajes. ....                                   | 287 |
| Tabla 36. Clasificación textural del suelo.....  | 290 |
| Tabla 37. Equivalencia de las coberturas Corine Land Cover con la S.C.S. ....                          | 291 |
| Tabla 38. Número de curva condición humedad antecedente media para áreas urbanas. ....                 | 293 |
| Tabla 39. Tiempos de concentración (TC) más cercanos a la media acotada por microcuenca.<br>.....      | 300 |
| Tabla 40. Tiempo de retardo (Tlag) de las microcuencas del municipio de Cajicá.....                    | 304 |
| Tabla 41. Coeficientes de regionalización de las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia.<br>..... | 307 |
| Tabla 42. Parámetros M,N y PT de las estaciones de análisis. ....                                      | 307 |
| Tabla 43. Chi cuadrado de funciones de probabilidad vs datos observados. ....                          | 311 |

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 44. Estaciones limnimétrica disponibles CAR-IDEAM para el área de estudio..... | 317 |
| Tabla 45. Caudales medios, medios máximos, medios mínimos (m <sup>3</sup> /s). ..... | 327 |
| Tabla 46. Caudales mínimos, medios mínimos, máximos mínimos (m <sup>3</sup> /s)..... | 330 |
| Tabla 47. Niveles medios, medios máximos y medios mínimos (cm). .....                | 334 |
| Tabla 48. Ajuste distribuciones de probabilidad caudales máximos. ....               | 342 |
| Tabla 49. Resumen de parámetros de modelación para hidrogramas en HEC – HMS. ....    | 351 |
| Tabla 50. Picos de flujo total para Tr 2,3,15 y 100 años. ....                       | 356 |
| Tabla 51. Escalas de trabajo para los mapas de zonificación. ....                    | 362 |

### LISTA DE ESQUEMAS

|   |     |
|---|-----|
| Esquema 1. Hidrografía del municipio de Cajicá. ....  | 30  |
| Esquema 2. Metodología para la generación de Coberturas, Cajicá – Cundinamarca. ....              | 112 |
| Esquema 3. Días de recorrido en Campo. ....   | 118 |
| Esquema 4. Proceso Metodológico para la obtención del mapa geológico a escala 1:25.000. ....      | 168 |
| Esquema 5. Jerarquización geomorfológica. ....  | 185 |
| Esquema 6. Proceso metodológico para la obtención del mapa geomorfológico a escala 1:25.000. .... | 188 |
| Esquema 7. Modelo hidrológico HEC-HMS.....  | 348 |

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, Colombia se ha preocupado por incorporar la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial, observándose su aparición hacia finales de la década de los 80's, luego de que en 1985 un fenómeno natural afectara seriamente al municipio de Armero en el departamento de Tolima, generando fuertes daños materiales y la pérdida de más de 25.000 vidas humanas, y cuyo impacto se hubiese podido mitigar si dentro del plan de ordenamiento se hubiera considerado la necesidad de reasentar la población dado su inminente riesgo a un evento natural. A partir de ese momento se han venido generando un conjunto de normas y estudios técnicos encaminados a prevenir, enfrentar y mitigar las posibles afectaciones que los eventos naturales pueden generar a las poblaciones humanas y a las infraestructuras construidas por ella, de acuerdo con lo consignado en la Ley 1523 de 2012 y en los Decretos 1807 de 2014 y 1077 de 2015.

El presente documento es la recopilación de insumos, procesos y especificaciones mínimas que determinaron las condiciones de amenaza para los fenómenos de movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales en el suelo rural, en el municipio de Duitama. Este documento es un insumo importante en el ordenamiento del municipio, ya que contribuye en salvaguardar la integridad física de sus habitantes y de la infraestructura que allí se encuentra, dando cumplimiento a los requisitos estipulados en la Ley 388 de 1997.

El estudio está compuesto por cinco (V) capítulos que se organizan de la siguiente manera: **Capítulo I.** Aspectos generales. **Capítulo II.** Estudio básico de amenaza por movimientos en masa. **Capítulo III.** Estudio básico de amenaza por inundación. **Capítulo IV.** Estudio básico de amenaza por avenidas torrenciales y **Capítulo V.** Estudio básico de amenaza por incendios forestales. Cada uno establece una metodología adaptada para cada tipo de suelo (rural, urbano, suelos de expansión y centros poblados) contenidos dentro del municipio.

Este capítulo compila aspectos regionales y locales que posteriormente permiten generar el análisis y la calificación de los atributos expuestos para cada metodología y la amenaza por los diferentes eventos, constituye aspectos económicos, ambientales, clima, hidrografía, geología, geomorfología, relieve y suelos, los cuales son importantes para el desarrollo metodológico de los fenómenos.



## 1.1. ASPECTOS NORMATIVOS

El objetivo de la gestión del riesgo de desastres es contribuir a la generación de herramientas para la planificación que permitan brindar soluciones a los problemas que se presenten en el entorno físico por la ocurrencia de fenómenos naturales que puedan afectar a la población, sus actividades y al entorno natural en el cual se encuentran. Con el fin de contribuir a la consecución de este objetivo, la legislación colombiana cuenta con un marco normativo que brinda directrices y lineamientos para tal efecto. Bajo este contexto, se enmarca el desarrollo de los diferentes mapas de zonificación de amenazas por movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales, para los cuales se utilizan los insumos que se presentan en este documento.

A través del tiempo, las normas han adquirido mayor especificidad y son más restrictivas, haciendo obligatoria la necesidad de identificar las áreas que presentan cierto grado de amenaza por diferentes tipos de eventos naturales. Los decretos 1807 del año 2014, compilado en el Decreto 1077 del 2015, hacen de la gestión del riesgo un aspecto relevante dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial.

En la **Tabla 1** se muestra el marco legal que reglamenta la gestión del riesgo en Colombia, asigna responsabilidades a los diferentes organismos que conforman el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y que, por tanto, justifica la realización de los mapas de zonificación de amenaza por los diferentes fenómenos (incendios forestales, movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales).

**Tabla 1. Normatividad asociada a la gestión del riesgo en Colombia.**

| MARCO NORMATIVO GESTIÓN DEL RIESGO |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Año                                | Norma                             |
| 1989                               | Decreto – Ley 919                 |
| 1989                               | Ley 09 (reforma urbana)           |
| 1991                               | Ley 2                             |
| 1991                               | Constitución Política de Colombia |
| 1993                               | Ley 99 (Art. 17)                  |
| 1994                               | Ley 152                           |
| 1997                               | Ley 388                           |
| 1997                               | Decreto 2340                      |
| 1998                               | Decreto 93                        |
| 2001                               | Decreto 2015                      |

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

| MARCO NORMATIVO GESTIÓN DEL RIESGO |              |
|------------------------------------|--------------|
| Año                                | Norma        |
| 2003                               | Ley 812      |
| 2004                               | Decreto 4002 |
| 2011                               | Decreto 4147 |
| 2012                               | Ley 1523     |
| 2013                               | Decreto 2672 |
| 2013                               | Decreto 1974 |
| 2014                               | Decreto 1807 |
| 2015                               | Decreto 1077 |

Fuente: UNGRD<sup>1</sup>-Colombia.

- **Ley 46 de 1988**, que “*Crea el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD)*”, el cual fue **organizado por el Decreto 919 de 1989**. Esta norma considera que los planes de desarrollo de todas las entidades territoriales deben incorporar el componente de prevención de desastres y los Comités para la Prevención y Atención de Desastres, tanto nacional, como los regionales y locales (CREPAD y CLOPAD), deben elaborar los respectivos planes de contingencia para la atención adecuada y oportuna de las emergencias y desastres.
- **Directiva Presidencial No. 33 de 1991**: “*Responsabilidades de los organismos y entidades del sector público en el desarrollo y operación del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres*”.
- **Ley 99 de 1993, Artículo 17**. Según la cual, el IDEAM es un establecimiento público de carácter nacional adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con autonomía administrativa, personería jurídica y patrimonio independiente, encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como de establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio.
- **Documento CONPES 2834 de 1996 “Política de Bosques”**. Establece la necesidad de formular y poner en marcha el “*Programa Nacional para la Prevención, Control y Extinción de*

<sup>1</sup> UNGRD: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

*Incendios Forestales y rehabilitación de áreas afectadas*”, el cual debe articularse al Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y operar dentro del Sistema Nacional Ambiental y el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

- **Decreto 2340 de 1997.** El cual creó las comisiones asesoras para la prevención y mitigación de incendios forestales en el nivel nacional, regional y local, asignándoles funciones y responsabilidades.
- **Decreto 93 de 1998.** Mediante el cual se adoptó el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres con el objeto de *“Orientar las acciones del Estado y de la sociedad civil para la prevención y mitigación de riesgos, los preparativos para la atención y recuperación en caso de desastre, contribuyendo a reducir el riesgo y al desarrollo sostenible de las comunidades vulnerables ante los eventos naturales y antrópicos.”*
- **Documento CONPES 3125 de 2001.** Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Aprobado por el Consejo Nacional Ambiental en el 2000, estableció el subprograma *“Protección en Incendios Forestales”*, determinando que deben formularse planes de contingencia regionales y municipales contra incendios forestales; la consolidación de la Red Nacional de los Centros Regionales de Respuesta Inmediata; y el desarrollo e implementación de mecanismos y sistemas de detección y monitoreo de incendios forestales.
- **Ley 1523 de abril de 2012.** *“Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”*, en su Artículo 1º, define el alcance de la gestión del riesgo de desastres como *“un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción de riesgos y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. Parágrafo 1º. La gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población. Parágrafo 2º. Para todos los efectos legales, la gestión del riesgo incorpora lo que hasta ahora se ha denominado en normas anteriores prevención, atención y recuperación de desastres, manejo de emergencias y reducción de riesgos”*. Adicionalmente en su Artículo 21, establece las funciones del Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, del cual forma parte el IDEAM, entre las cuales se cuenta: 2. *“Orientar la identificación de escenarios de riesgo en sus diferentes factores entiéndase: Amenazas,*

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

*Vulnerabilidad, exposición de personas y bienes”. 6. “Asesorar el diseño de procesos de conocimiento del riesgo como componente del sistema nacional”.*

- **Decreto 1807 del 19 de septiembre del año 2014**, “Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones”.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo General

Describir el medio físico del municipio de Cajicá con los aspectos regionales y locales necesarios para dar cumplimiento al desarrollo metodológico de los estudios de amenaza por movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales.

### 1.2.2. Objetivo Especifico

- Identificar el marco normativo para la elaboración de estudios de gestión del riesgo del municipio de Cajicá.
- Elaborar los estudios básicos de zonificación según las escalas de trabajo estipuladas en el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015).
- Identificar la provincia, cuenca y subcuenca al cual pertenece el municipio de Cajicá.
- Describir las principales características económicas, viales, ecológicas, climatológicas e hidrográficas del municipio.
- Construir los insumos para las coberturas del suelo a partir del procesamiento de imágenes aéreas de alta resolución para el suelo rural.
- Ajustar la cartografía base y generar la cartografía temática necesaria tales como geología, geomorfología y unidades geológicas superficiales para el suelo rural a escala 1:25.000, a partir de información previa disponible (estudios técnicos, Servicio Geológico Colombiano, IGAC, entre otros).
- Describir las diferentes formaciones aflorantes en el municipio de Cajicá y los depósitos que allí se desarrollan.
- Construir los insumos para la obtención de pendientes a partir del modelo digital de elevación.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### 1.3. ALCANCE DEL ESTUDIO

A través de los años Colombia se convirtió en un país pionero en América Latina frente al desarrollo de una visión integral del tratamiento de riesgos y desastres, permitiendo una disminución de la pérdida de vidas; sin embargo, los daños a la propiedad privada, la infraestructura y los medios de subsistencia siguen aumentando y evidencian que los desastres no son eventos independientes de la naturaleza, sino el resultado de la inadecuada planificación del territorio y la ausencia en la incorporación de la dinámica de los fenómenos naturales dentro del mismo. Ante esta perspectiva, es fundamental desarrollar enfoques que incorporen en el ordenamiento territorial las restricciones y las potencialidades que puede presentar un territorio, teniendo en cuenta las limitantes que generen las amenazas naturales; donde se controle el uso del suelo ante las presiones por la expansión urbana y demás dinámicas derivadas de la necesidad de la población de satisfacer sus necesidades (GFDRR y Banco Mundial, 2012).

En la actualidad, la distribución del nivel de exposición indica que en Colombia el 36% del territorio está en situación de amenaza sísmica alta, el 28% en alto potencial de inundación y el 8% en amenaza alta por movimientos en masa, lo cual demuestra la alta exposición que presentan los asentamientos humanos en el país ante las amenazas naturales (GFDRR & Banco Mundial, 2012). Los escenarios de riesgo pueden ser materializados con las inadecuadas prácticas antrópicas y asentamientos localizados en zonas no aptas, inseguras o con una alta susceptibilidad y/o amenaza, que en la mayoría de los casos concentra una población en condiciones de pobreza o desplazamiento forzados.

De acuerdo con lo anterior y considerando la variabilidad en el estado del tiempo, marcada por los fenómenos naturales como la “Niña y el Niño”, la gestión del riesgo es una prioridad en los municipios colombianos. La prevención de los desastres naturales asociados a movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales, inicia desde el reconocimiento de las características del terreno que determinan la susceptibilidad del mismo, la evaluación de unos detonantes y la aplicación un método de análisis que permita integrar las variables anteriores y determinar las áreas de amenaza del territorio. Con base en dichos resultados, se procede a la incorporación de estos dentro del proceso de toma de decisiones en el ordenamiento territorial.

#### 1.3.1. Escala de Trabajo

Para la determinación de la escala de trabajo, según lo mencionado en el Decreto 1807 de 2014 (Compilado en el Decreto 1077 de 2014), y de conformidad con las clases del suelo establecidas en la Ley 388 de 1997, los estudios se deben elaborar siguiendo las siguientes escalas (**Ver Tabla 2**).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

**Tabla 2. Escalas de trabajo Estudios de Amenazas.**

| ESCALAS DE TRABAJO ESTUDIOS DE AMENAZA |                  |          |
|--|------------------|----------|
| Tipo de Estudio                        | Clase de Suelo   | Escala   |
| Estudio Básico                         | Urbano           | 1:5.000  |
|  | Expansión Urbana | 1:5.000  |
|  | Rural            | 1:25.000 |
| Estudio Detallado                      | Urbano           | 1:2.000  |
|  | Expansión Urbana | 1:2.000  |
|  | Rural Suburbano  | 1:5.000  |

**Fuente:** Decreto 1807 de 2014.

De esta manera, “los municipios o distritos con centros poblados rurales que por su alto grado de exposición a la ocurrencia de fenómenos naturales han sido afectados o tienen la posibilidad de ser afectados deben adelantar los estudios básicos como mínimo a escala 1:5.000.”<sup>2</sup>

## 1.4. CONTEXTO REGIONAL

### 1.4.1. Provincia Sabana Centro

Cundinamarca hace parte de la región Andina, extendiéndose desde el margen occidental del río Magdalena hasta las estribaciones de la Cordillera Oriental; resaltando el flanco occidental, oriental y de Bogotá y el pie de monte llanero, se localiza en el centro del país limitando al norte con el departamento de Boyacá, al este con el departamento de Boyacá y Meta, al sur con los departamentos de Meta, Huila y Tolima, y al oeste con el río Magdalena, separando así los departamentos de Tolima y Caldas.

El área que abarca el departamento de Cundinamarca cubre una extensión de 24.210 km<sup>2</sup>, incluidos los 1775 km<sup>2</sup> de su ciudad capital Santafé de Bogotá, que corresponde al 7,33% de la superficie total del departamento. En la actualidad, el departamento de Cundinamarca cuenta con 116 municipios, los cuales se distribuyen en 15 provincias, el distrito capital de Bogotá y dos áreas de protección (parques nacionales naturales Chingaza y Sumpaz) que se encuentran asentados en la cordillera oriental, abarcando así diferentes provincias entre ellas Guavio, Oriente, Medina, Sumapaz, entre otras. El municipio de Cajicá se encuentra localizado en la provincia de Sabana Centro (**Ilustración 1**).

<sup>2</sup> Artículo 5° (Parágrafo 2°). Decreto 1807 del 19 de Septiembre de 2014. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.



ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA  
INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL  
RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -  
CUNDINAMARCA

ASPECTOS  
GENERALES  
SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS  
DE AMENAZAS

CAJICÁ

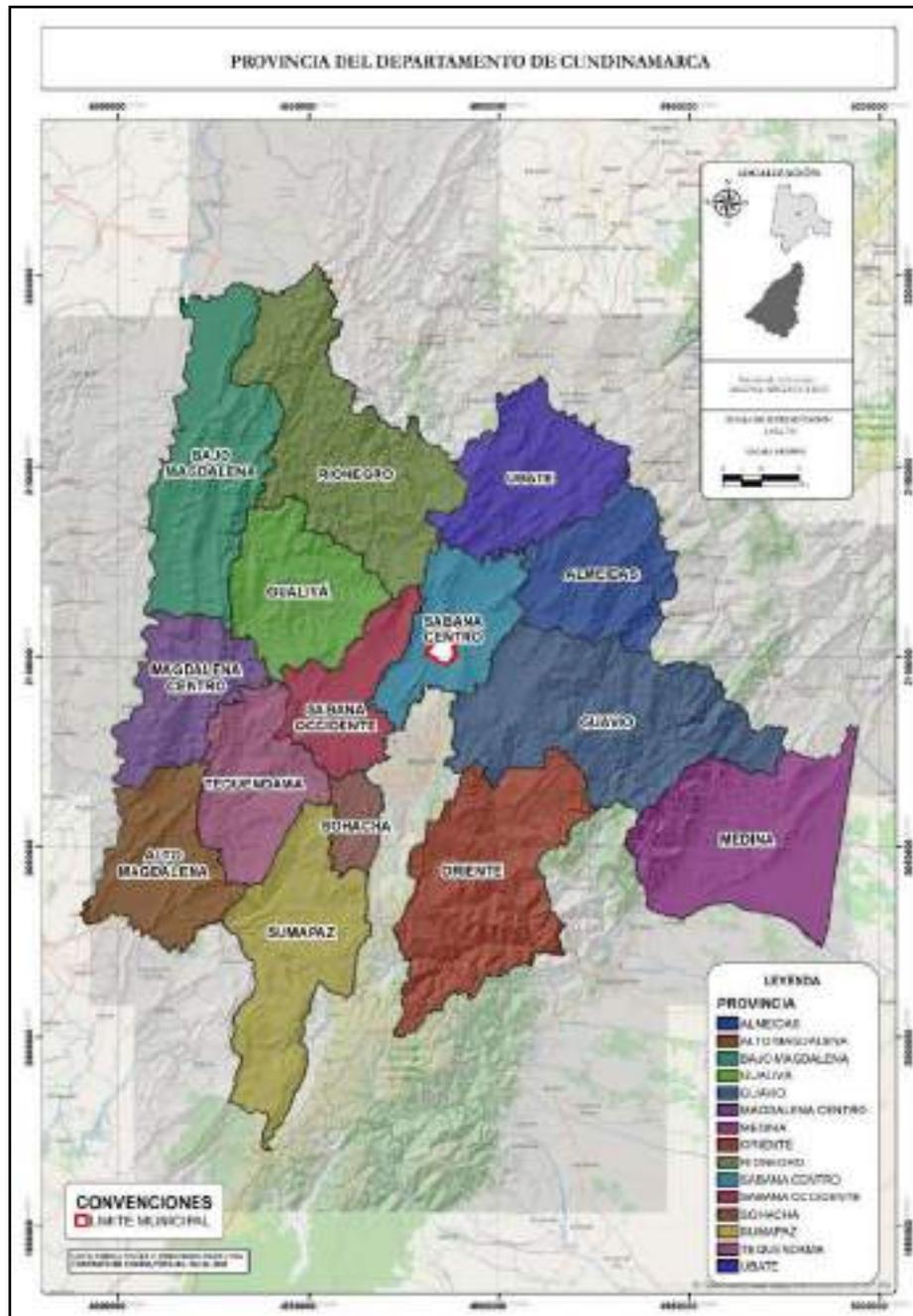


Ilustración 1. Provincias del Departamento de Cundinamarca.

Fuente: Ajustado de Ordenanza No. 023 (1998) y Ordenanza No. 07 (2001) por Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |   |               |  |
|--|--|---|---------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</b> |   |               | <br>ARCO<br>C&C |
|  | <b>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |  |

La provincia de Sabana Centro se localiza en el centro del departamento de Cundinamarca, limita por el norte con la provincia de Ubaté, por el sur con el Distrito Capital de Bogotá y la provincia del Guavio, por el occidente con las provincias de Sabana Occidente y Rionegro, y al oriente con la provincia del Guavio. Tiene una extensión territorial de 1.026 km<sup>2</sup>, el 4,5% del área total del departamento, siendo la decimotercera provincia en cuanto a extensión territorial y la tercera provincia con mayor actividad empresarial, altos porcentajes de población y desarrollo urbano de acuerdo con el documento de Ordenamiento Territorial Departamental, (Gobernación de Cundinamarca, 2016). Su jurisdicción comprende 11 municipios como se puede ver en la **Ilustración 2**, teniendo como capital de la provincia al Municipio de Zipaquirá (ver Tabla 3).

**Tabla 3. Provincia de Sabana Centro, departamento de Cundinamarca.**

| <b>PROVINCIA</b> | <b>CAPITAL DE PROVINCIA</b> | <b>MUNICIPIOS</b>  |
|------------------|-----------------------------|--|
| Sabana Centro    | Zipaquirá                   | Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Gachancipá, Nemocón, Sopó, Tabio, Tenjo, Tocancipá, Zipaquirá |

**Fuente:** Plan de Desarrollo de Cundinamarca (2016).

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C&amp;C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

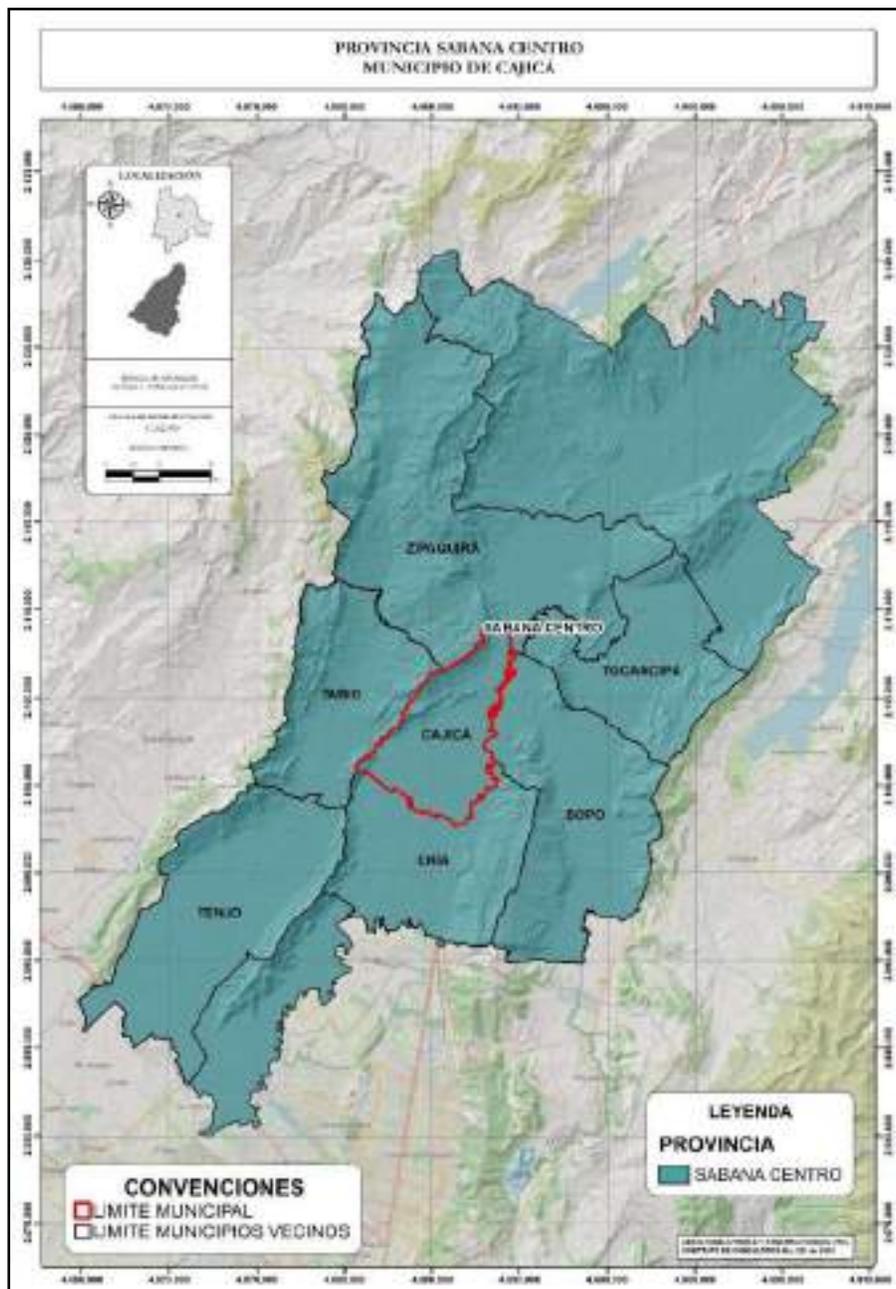


Ilustración 2. Municipios que conforman la provincia de Sabana Centro.

Fuente: Ordenanza No. 023 (1998) y Ordenanza No. 07 (2001).



#### 1.4.2. POMCA Río Bogotá

CAR<sup>3</sup> en cumplimiento de las atribuciones otorgadas por la ley colombiana y en particular de la responsabilidad conjunta que ejerce con el gobierno nacional, regional y el local, y con la sociedad civil con respecto a la conservación y manejo de cuencas hidrográficas, se ha encargado de elaborar los estudios de diagnóstico, prospectiva y formulación para la cuenca alta hidrográfica del río Bogotá en el departamento de Cundinamarca, dentro de las cuales se encuentra el municipio de Cajicá.

El Río Bogotá nace en las zonas de alta montaña en el departamento de Cundinamarca, en el páramo Guacheneque, en las proximidades del municipio de Villapinzón; este río hace parte de la gran cuenca del río Bogotá; la totalidad de la cuenca se halla distribuida en 47 municipios alrededor del departamento de Cundinamarca, en el municipio de Cajicá, se encuentra la jurisdicción en las subcuencas del Río Frío y el Río Bogotá (Tibitoc – Soacha). Los mayores asentamientos de la comunidad se encuentran el Distrito Capital de Bogotá (CAR).

La cuenca del Río Bogotá tiene un área de 5894,655 Km<sup>2</sup> (589.465,532 ha), de los cuales, 5145,16 hectáreas (0,87%) comprende el área de la cuenca sobre el municipio de Cajicá, correspondiente a la subcuenca del Río Frío (código 2610-2611) y la subcuenca del río Bogotá Sector Tibitoc – Soacha (código 2120) de acuerdo con la codificación del IDEAM para cuencas hidrográficas. La Cuenca del Río Bogotá está conformada por 19 subcuencas que drenan sus aguas como se puede ver en la Tabla 4.

**Tabla 4. Subcuencas del río Bogotá**

| CUENCA            | SUBCUENCAS                              |                                     |
|-------------------|---|-------------------------------------|
| <b>Río Bogotá</b> | Río Bajo Bogotá                         | Embalse del Sisga                   |
|                   | Río Calandaima                          | Río Alto Bogotá                     |
|                   | Río Medio Bogotá (Sector Salto – Apulo) | Río Bogotá (Sector Sisga – Tibitoc) |
|                   | Embalse del Muña                        | Río Neusa                           |
|                   | Río Tunjuelo                            | Río Frío                            |
|                   | Río Bogotá (Sector Tibitoc – Soacha)    | Río Balsillas                       |
|                   | Río Teusaca                             | Río Apulo                           |
|                   | Embalse Tominé                          | Río Soacha                          |
|                   | Río Negro                               | Río Chicú                           |

**Fuente:** Delimitación y zonificación de la cuenca del río Bogotá, CAR (2018).

<sup>3</sup> CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

#### 1.4.2.1. Subcuenca del Río Bogotá (sector Tibitoc – Soacha)

Se identifican aquellas subcuencas que tienen incidencia sobre el municipio, destacándose la subcuenca del río Bogotá (Tibitoc – Soacha) ubicada en la zona noreste hasta el sureste (**Ilustración 3**), con un área dentro del mismo de 274.74 hectáreas aproximadamente. De acuerdo la Corporación Autónoma Regional (2014) su precipitación media anual se encuentra entre los 800mm y 900mm, con una elevación media de 2950 m.s.n.m. y pendiente media del 2%, siendo catalogada con un índice de calidad del agua (ICA) “Bajo”; dificultad para desarrollar vida acuática, es por esto, que se plantea el uso de la materia hídrica para fines agrícolas y pecuarios.

La subcuenca del río Bogotá (sector Tibitoc – Soacha), cuanta con dos afluentes, los cuales, reciben las descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales. Estas descargas, presentan diferentes tratamientos realizados (bilógicos y biológicos mixtos) garantizando cumplir con la normativa impuesta. Estos afluentes son:

- Quebrada La Tenería (Descarga de la Planta de tratamiento de aguas residuales Calahorra).
- Quebrada de La Cruz (Descarga de la Planta de tratamiento de aguas residuales Rincón).

#### 1.4.2.2. Subcuenca del Río Frío

La subcuenca del río frío, presenta una menor incidencia en el municipio de Cajicá, localizada en la zona sur oeste, teniendo así una longitud alrededor de los 50 metros y un área aportante de 104.24 hectáreas aproximadamente. De acuerdo con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2019), en el municipio de Cajicá, se presentan los valores más bajos de la precipitación media anual, presentando valores entre los 600mm y 700mm; el valor promedio en toda la subcuenca es de aproximadamente 800mm, con una altura media de 3125 msnm, presentando una pendiente media del 3%. Esta subcuenca, según estudios realizados en el 2018, presenta un índice de calidad de agua (ICA) “Bueno”. La subcuenca tiene alrededor de 10 afluentes que son importantes, entre ellos se encuentran la Quebrada El Tibar, El Alisal, La Hoya, entre otras, empero, se debe destacar uno de los más importantes afluentes y considerado como quebrada principal en el municipio.

- Quebrada Pozo Hondo (Tributario importante).

#### 1.4.2.3. Quebrada del Campo

Esta quebrada es un nacimiento natural en el municipio de Cajicá, su extensión no sobresale del municipio, y se encuentra localizada en la parte centro occidente del municipio.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

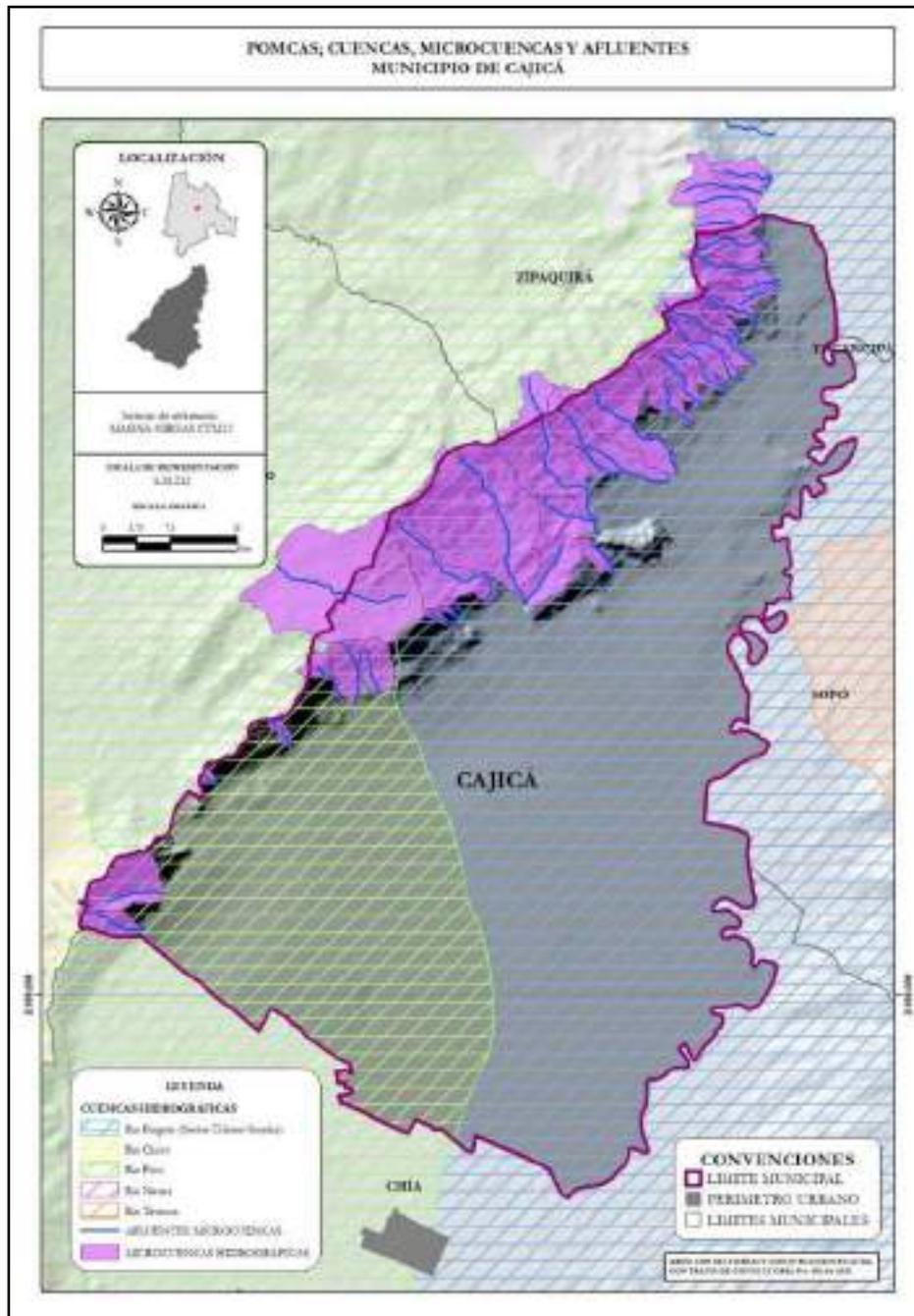
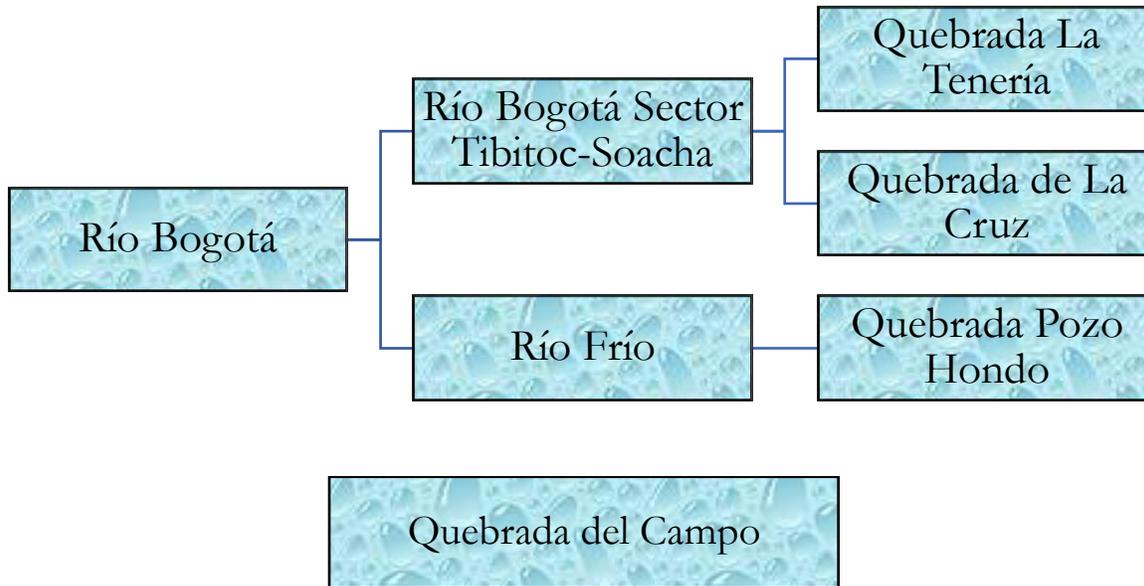


Ilustración 3. POMCA's, cuencas, microcuencas y afluentes del municipio de Cajicá.

Fuente: POMCA's – CAR (2019).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |



**Esquema 1. Hidrografía del municipio de Cajicá.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

## 1.5. CONTEXTO LOCAL

### 1.5.1. Localización Geográfica del Municipio

El municipio de Cajicá, de acuerdo con la información cartográfica suministrada por el IGAC tiene 51,25 km<sup>2</sup>; superponiendo las coordenadas de las zonas urbanas del municipio sobre las zonas de suelos de expansión y los centros poblados existentes.

Se localiza en el centro del departamento de Cundinamarca, en la parte norte del distrito capital a 193 km de esta. Siendo el tercer municipio más poblado luego de Zipaquirá y Chía, se ubica en la provincia Sabana Centro al destacarse por sus actividades de producción en cuanto a artesanías y tradiciones históricas. Limita al norte con el municipio de Zipaquirá, al sur con el municipio de Chía y cercano a este el distrito capital, por el oriente con el municipio de Sopo, por el occidente con el municipio de Tabio.

Cajicá está conformado por un área rural compuesta por 4 veredas (90,92%); constituidas por 16 centros urbanos rurales y 27 sectores, la parte urbana (9,08%), constituida en el centro del municipio y en el barrio capellanía, localizado en las afueras del perímetro urbano en dirección norte confirmadas en el Plan Básico de Ordenamiento territorial.

**Tabla 5. Centros Poblados Rurales del Municipio de Cajicá.**

| No | CENTRO POBLADO RURAL | ÁREA (Ha) | VEREDA            |
|----|----------------------|-----------|-------------------|
| 1  | Barro Blanco         | 0,92      | <b>Calahorra</b>  |
| 2  | Calahorra            | 0,95      |                   |
| 3  | Camino Los Vargas    | 22,06     | <b>Canelón</b>    |
| 4  | La Florida           | 10,84     |                   |
| 5  | Los Pasos            | 4,88      |                   |
| 6  | Prado                | 3,4       |                   |
| 7  | Canelón              | 9,4       |                   |
| 8  | La Palma             | 8,19      |                   |
| 9  | Aguanica             | 3,73      | <b>Chuntame</b>   |
| 10 | Los León             | 1,81      |                   |
| 11 | Los Sereneos         | 8,48      |                   |
| 12 | Pablo Herrera        | 3,13      |                   |
| 13 | Santa Inés           | 12,89     | <b>Río Grande</b> |
| 14 | El Misterio          | 3,74      |                   |
| 15 | La Esperanza         | 2,54      |                   |

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

| No | CENTRO POBLADO RURAL | ÁREA (Ha) | VEREDA |
|----|----------------------|-----------|--------|
| 16 | Rincón Santo         | 29,2      |        |

**Fuente:** Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Cajicá (2014).

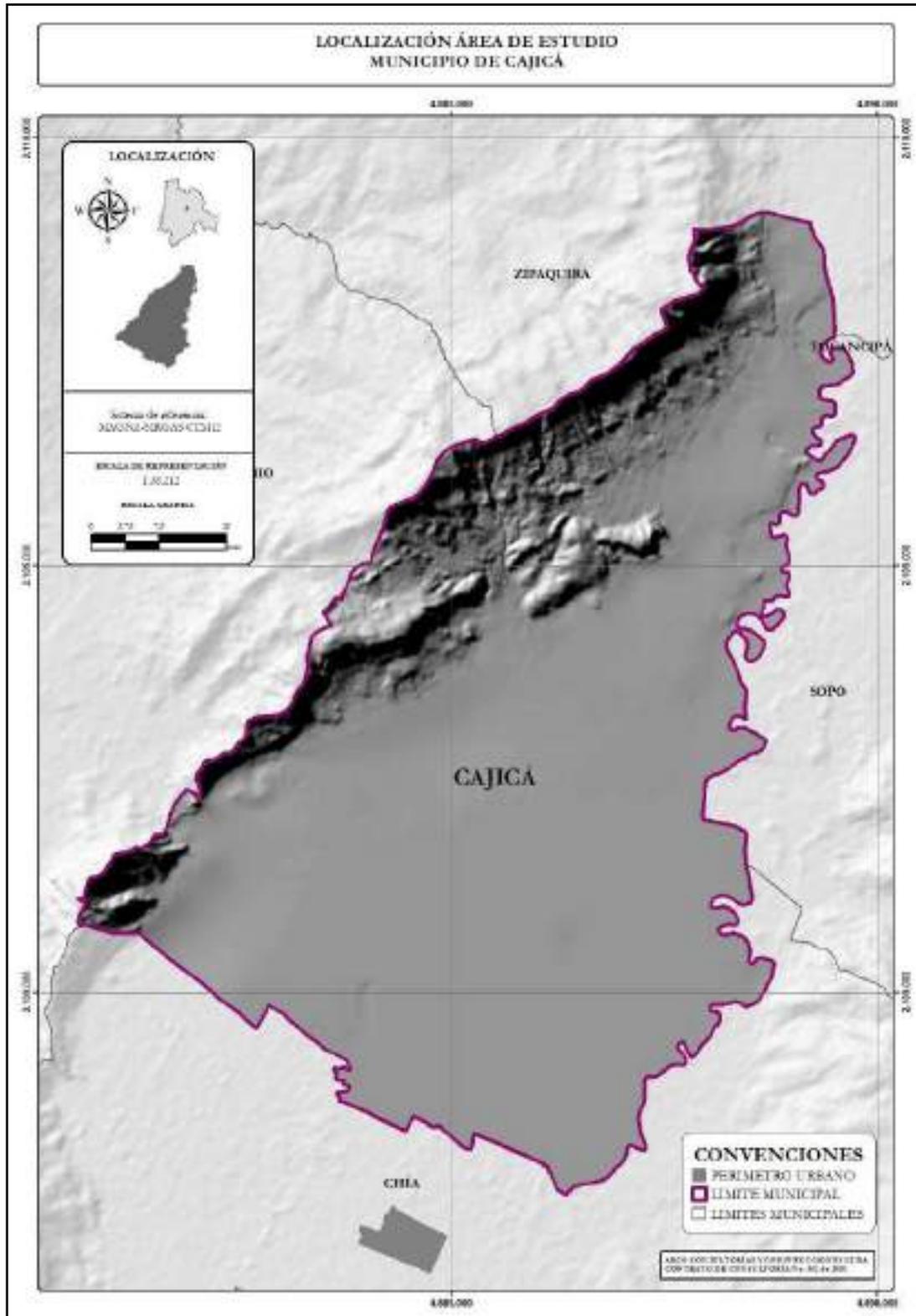


Ilustración 4. Localización geográfica del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

### 1.5.2. Aspectos Económicos

La economía del municipio de Cajicá se constituye principalmente por las actividades tanto en el sector primario, como en el secundario y terciario, pues debido al crecimiento poblacional, el municipio se encuentra en una transición económica, dejando el sector agropecuario e impulsando el sector comercial. En cuanto al sector primario; sector agrícola y sector pecuario, se destaca a través de los años primariamente en cultivos transitorios de hortalizas como la lechuga, brócoli, frutos como el durazno y tubérculos (papa), entre otros. Por su parte, dentro del sector pecuario, destaca la producción de leche tecnificada y tradicional, también se debe resaltar la producción bovina.

En lo referente al sector secundario y terciario, predominan actividades comerciales, la construcción e industria manufacturera y demás servicios, donde la actividad manufacturera se encuentra localizada alrededor de los diferentes centros poblados existentes en el municipio. Alrededor de 1.840 empresas del municipio, se centran en el comercio al por menor, el alojamiento en hoteles y la construcción de obras de ingeniería civil (Camara de Comercio de Bogotá, 2015). No obstante, el municipio se encuentra en una transición de producción económica, centrando e impulsando el comercio, esto debido a la expansión y el crecimiento poblacional del municipio.

- **Agrícola:** de acuerdo con las evaluaciones agropecuarias municipales EVAS (2020), en el municipio se cultiva las hortalizas como (acelga, ajo, brócoli, cebolla de bulbo, calabacín, cilantro, col, espinaca, remolacha, repollo, tomate, zanahoria) entre otros y cereales como maíz. Igualmente, existen los tradicionales huertos frutales como durazno, feijoa, mora. de tomate de árbol y aunque dicha producción ha venido disminuyendo por altos costos y falta de tecnificación.

Se presenta que los productos son comercializados en comercio local o comercializadoras en un 30%, siguiente a esto un 21% en la plaza de mercado central y un 17% en la central de abastos del municipio, transportados directamente por camiones que tienen nexos directos con los anteriores. Entre los cultivos, destaca de sobremanera los cultivos transitorios, entre ellos se encuentran coliflor, papa, brócoli y la lechuga, siendo este último el cultivo de mayor producción 1.035 toneladas anuales y un rendimiento de 23 toneladas por hectáreas. En cuanto a cultivos permanentes, se destina un área de sembrado total de 52 hectáreas, entre las cuales se distribuyen dos cultivos, durazno con un 92% del área; producción de 720 toneladas anuales, y plantas aromáticas con un 8% del área de sembrado; producción de 35 toneladas anuales. Los cultivos de menor producción son los

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

granos secos, arveja y maíz, produciendo 20 toneladas y 10 toneladas anuales respectivamente.

- Pecuaría:** dentro de esta actividad, el municipio se destaca por la producción de ganado bovino. El número de bovinos existentes es de 5.365 animales aproximadamente, teniendo en cuenta que esta especie se ha venido aumentando ligeramente, debido a que han aumentado la existencia de fincas. Como raza predominante se encuentra el Holstein. En cuanto a la industria láctea, en los últimos años ha tenido un crecimiento que se debe resaltar, pues en el municipio se encuentran industrias como “Productos naturales de la Sabana S.A.S” o “Lácteos La Arboleda”. Por otro lado, la producción porcina, aunque no es destacable del municipio, para el año 2019, se tiene registro de la existencia de alrededor de 272 porcinos en el municipio.
- Industria y Comercio:** es liderado por el subsector Agroindustrial centrado en la elaboración de productos alimenticios; el 26,6% de la industria total del municipio, el cual, de este valor, la elaboración de productos lácteos se ubica en primer lugar con 17 empresas y el 7% del total de la industria, el restante en cuanto a producción de productos alimenticios, se encuentra a cabeza de productos de panadería. Las siguientes industrias manufactureras son “Instalaciones, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo” y “Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo”, mostrando así totales de empresas en cada campo de 41 empresas (16,8% de la totalidad de la industria) y 31 empresas (12,7% de la totalidad de la industria), respectivamente. Se debe destacar el campo del “Mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo”, puesto que alrededor de 26 empresas se destacan en esta función, siendo un 10,6% de la totalidad de las empresas en funcionamiento dentro del municipio.

### 1.5.3. Infraestructura Vial

El municipio de Cajicá cuenta con dos vías nacionales de primer orden y de gran importancia, una de ellas es de concesión vial, la vía de primer orden de Bogotá – Cajicá – Zipaquirá, la cual permite la articulación regional y el sistema de comunicación de enlace urbano – rural y urbano – regional, esta vía hace parte de la Ruta Nacional 45A, la cual inicia en la autopista norte (calle 236) y finaliza en el municipio de San Alberto, Departamento del Cesar. De modo que, el tramo desde el punto de inicio de la ruta nacional hasta la variante composicional de la ruta 45ACNB



(Variante Portachuelo) componen la ruta Bogotá – Cajicá – Zipaquirá; esta variante permite la conexión de la ruta nacional 45A y la ruta 55 (Ramal 55CN01). Cabe resaltar, que el cruce de la variante compositiva 45ACNA (Variante Cajicá) y la vía urbana Carrera 5, permite la entrada al municipio de Cajicá. El corredor férreo Bogotá – Zipaquirá (Ruta tren de cercanías) es la segunda vía de primer orden del municipio.

El municipio también cuenta con vías de segundo y tercer orden, empleadas tanto en los sistemas de transporte como en corredores y rutas del municipio en la zona urbana y rural.

**Tabla 6. Infraestructura vial, municipio de Cajicá.**

| ARTICULACIÓN REGIONAL                                       |                       |
|---|-----------------------|
| Vía Bogotá - Cajicá - Zipaquirá                             | Vías de Primer Orden  |
| Corredor ferreo Bogotá - Zipaquirá (Ruta tren de Cercanías) |                       |
| Vía Cajicá - Tabio  | Vías de Segundo Orden |
| Vía Cajicá - Chía por Canelón                               |                       |
| Vía Cajicá - Sopó por Hato Grande                           |                       |
| Vía El Molino - Manas                                       |                       |
| Vía Proyectada El Molino - Canelón - Chía                   |                       |
| Vía Proyectada Chuntame - El Pomar - Río Grande             | Vías de Tercer Orden  |
| Vías cabeceras urbana - veredas y centros poblados          |                       |

**Fuente:** Plan Básico Ordenamiento Territorial del municipio de Cajicá (2014).

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

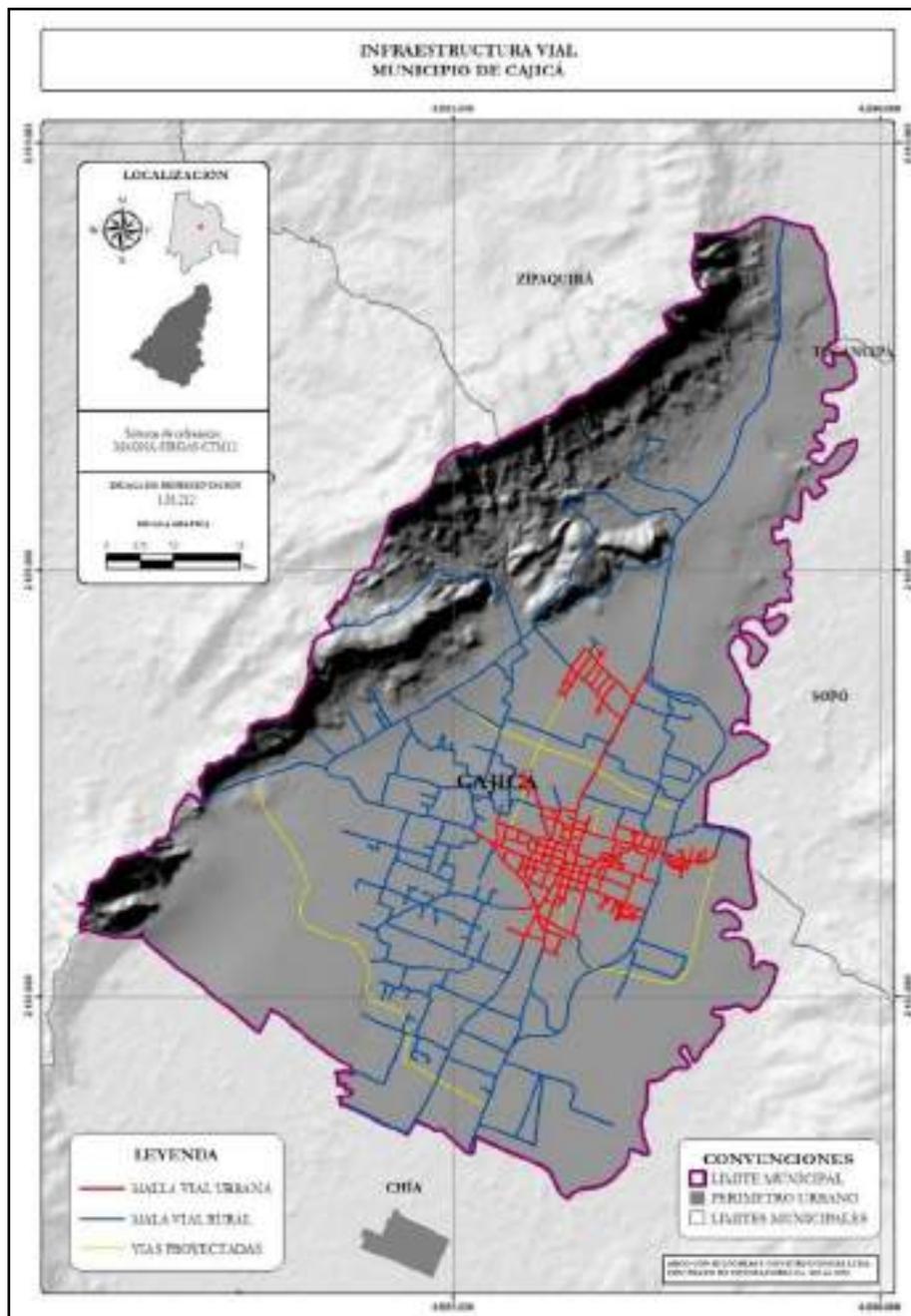


Ilustración 5. Mapa de infraestructura vial del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Insumos IGAC, modificado por Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

#### 1.5.4. Ecología

En Cajicá se establece una estructura ecológica principal en la cual se definen las áreas y componentes ecológicos que se encuentran en el municipio y se deben proteger. Entre estas áreas, es importante destacar la Reserva Forestal Protectora de la cuenca alta del Río Bogotá, esta zona, según el acuerdo No. 16, está destinada al mantenimiento o recuperación de la vegetación nativa protectora, protegiendo así los suelos, recurso hídrico, fauna, flora, y demás diversidad. Se debe aclarar que los suelos localizados en los Cerros Occidentales que limitan con Tabio, Chía y Zipaquirá, hacen parte de esta área. Estas áreas protegidas cuentan con un área de amortiguación, aclarando así que a partir de la cota 2650 msnm, existe una franja de 30 metros, siendo el límite de las áreas forestales de los cerros occidentales del municipio de Cajicá (2014).

Los afluentes hídricos en el municipio de Cajicá son pocos, destacando así dos ríos principales a nivel nacional. Ambos ríos son afluentes principales de subcuencas hidrográficas (Subcuenca del río Frío y Subcuenca del Río Bogotá; sector Tibitoc-Soacha) de la cuenca del Río Bogotá. Estos ríos son el río Frío y el Río Bogotá, los cuales presentan un ancho de ronda de 50 metros a lado y lado y 150 metros al lado de la jurisdicción del municipio de Cajicá. En el municipio se reconocen dos quebradas principales, la quebrada Pozo Hondo y la Quebrada del Campo, esta última, nace y finaliza en su totalidad dentro del municipio de Cajicá, también se hallan otras quebradas las cuales son portantes o afluentes de los ríos principales. En el municipio existen nacimiento (30 metros a la redonda de los nacimientos existentes) y una red de vallados, la cual, ha generado emergencias y riesgos por amenazas de inundaciones (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2019).

#### 1.5.5. Clima

El clima se define como el conjunto de condiciones atmosféricas promedio de una región durante largos periodos de tiempo, condiciones que se estudian a partir de la caracterización de las diferentes variables climáticas de una región para para entender la dinámica atmosférica promedio y establecer las condiciones ambientales predominantes en la región y su variación espaciotemporal.

El entendimiento del clima es vital para poder realizar una aproximación a las potenciales amenazas relacionadas al tiempo atmosférico que pueda sufrir el territorio, debido a que la gran mayoría de eventos que han tenido lugar en el municipio de Cajicá, son de origen meteorológico (inundaciones, incendios forestales, movimientos en masa, vendavales, sequías).

Para realizar una climatología adecuada, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda utilizar información de las variables a analizar (temperatura, precipitación, magnitud

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

del viento, entre otras) en un lapso temporal de mínimo 30 años, esto buscando suavizar la influencia de los eventos de variabilidad climática como los Fenómenos ENOS, la circulación Cuasi bienal, la circulación Madden Julian; junto con ciclos astronómicos en el promedio climatológico de la región.

La caracterización climática del municipio de Cajicá se hizo a partir de la consecución de datos meteorológicos por parte de las diferentes fuentes de información de las variables, utilizando bases de datos observados (estaciones IDEAM y CAR) y satelital (WorldClim) disponible para el área.

Algunas variables climáticas como la humedad relativa (Rh) y la presión de vapor saturante (E), entre otras, fueron calculadas haciendo uso de aproximaciones teóricas de la mecánica de fluidos y termodinámica de la atmósfera, esto debido a la limitada fuente de información de estas variables de interés para la caracterización climática de Cajicá.

#### 1.5.5.1. Variables Climáticas

A continuación, se describen las fuentes de información, el tratamiento estadístico a las bases de datos, la distribución temporal y la regionalización de las siguientes variables:

- ✓ Precipitación
- ✓ Temperatura ambiente
- ✓ Temperatura del punto de rocío
- ✓ Presión de vapor de agua
- ✓ Presión de vapor saturante
- ✓ Humedad relativa
- ✓ Radiación solar
- ✓ Brillo solar
- ✓ Magnitud y dirección del viento
- ✓ Evapotranspiración

El exhaustivo análisis de cada variable en escala climática facilita el entendimiento de las condiciones atmosféricas predominantes en el territorio comprendido por el municipio de Cajicá, buscando comprender la dinámica y los procesos más relevantes en la región, como insumos relevantes para la identificación de posibles amenazas en el área de estudio.

##### 1.5.5.1.1. Precipitación

Dentro del estudio de los fenómenos atmosféricos, la precipitación es el hidrometeoro más relevante para las condiciones climáticas de una región. Esta se define como la caída de agua en

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

forma de lluvia, nieve y/o granizo sobre la superficie terrestre, cuyos principales orígenes se deben a procesos ciclónicos, a la convección de masas de aire cálido hasta el nivel de condensación de la atmósfera, y por efectos orográficos (Sánchez, 2017).

Los volúmenes de precipitación depositados sobre una región, son captados por las estaciones meteorológicas a través de pluviómetros que toman el registro de la variable atmosférica. En Colombia, las estaciones convencionales recopilan la información de las precipitaciones del día meteorológico, es decir, iniciando y finalizando a las 7am. Caso contrario, las estaciones meteorológicas automáticas captan la precipitación desde el inicio hasta el final del día normal, por lo cual se recomienda utilizar, si es posible, sólo un tipo de estación para estudios de fechas específicas, por posibles fuentes de ruido dados los horarios diferentes de toma de datos.

Para establecer la distribución de los regímenes de precipitación sobre el municipio de Cajicá, se realizó el procesamiento estadístico y de control de calidad de los datos, para tener fiabilidad en la regionalización de la variable y sus tendencias temporales.

#### 1.5.5.1.1. Fuentes de información

En primera instancia, se hizo una exhaustiva evaluación de las bases de datos de precipitación diaria del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y de otras entidades como la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, para elegir las estaciones que contaran con registros largos y continuos, superiores a 30 años, para realizar estudios climáticos según la Organización Meteorológica Mundial OMM. La **Ilustración 6** muestra el total de estaciones emplazadas en el territorio comprendido por el municipio de Cajicá y en sus alrededores.

En un principio se contaban con 23 estaciones, de diferentes categorías, que registran datos de precipitación diaria. La evaluación individual de ellas hizo posible el análisis preliminar de las mismas en cuanto a calidad de la información, buscando la mayor cantidad de información disponible y de calidad para el estudio temporal y espacial de la lluvia en el territorio.

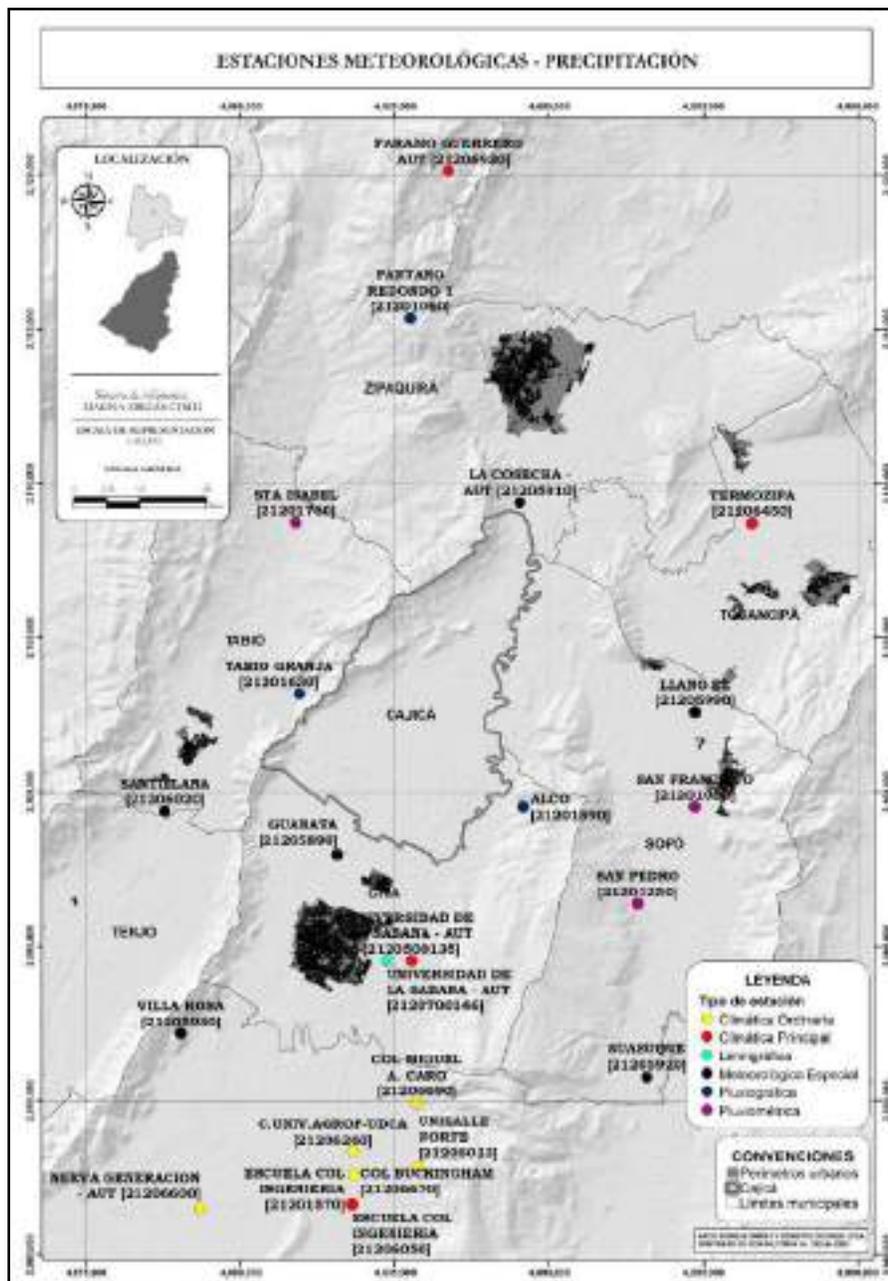


Ilustración 6. Estaciones meteorológicas preliminares para la variable Precipitación.

Modificado de: DHIME.

### 1.5.5.1.1.2. Ventana de análisis

Las 23 estaciones que cuentan con información de precipitación, permiten hacer una evaluación de la variable a nivel de detalle sobre el área de representación (o buffer) de las mismas, siendo de cerca de 3 kilómetros de radio para las regiones montañosas (Jiménez & Leonardo, 2013), sin embargo, el establecimiento de un periodo común permite excluir el ruido que puede introducir los fenómenos de variabilidad climática de las estaciones con mayor longitud de datos o de lapsos temporales diferentes, respecto a las demás estaciones - al establecer la climatología de la lluvia. La Ilustración 7 muestra el número de días con dato de precipitación anual acumulado para todas las estaciones.

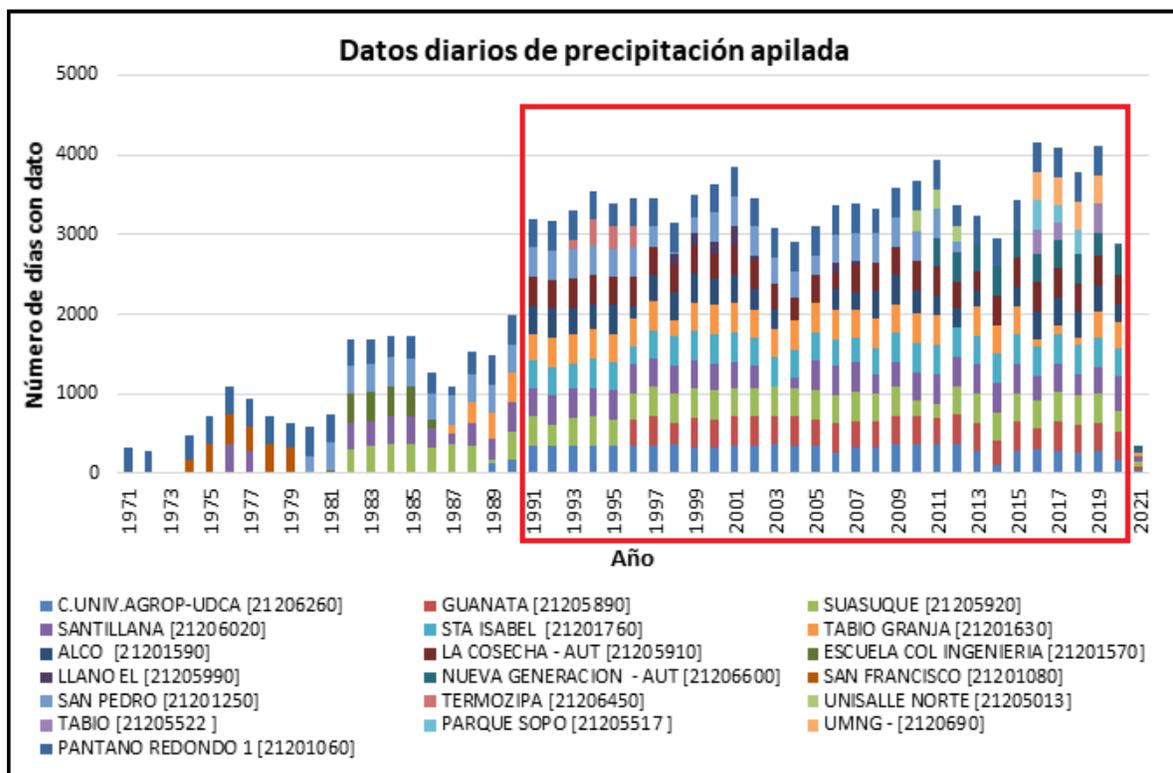


Ilustración 7. Número de días con precipitación diaria acumulada de las estaciones de análisis.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

A partir de la información analizada, se ha optado por un lapso temporal comprendido entre el 1ro de enero de 1991 y el 31 de diciembre de 2020, para un total de 30 años de registros de



precipitación, buscando depurar las estaciones sin suficiente información para el presente estudio.

### 1.5.5.1.1.3. Selección de estaciones

Establecido el periodo de análisis, se hizo el análisis porcentual de la cantidad de días con datos de precipitación para cada estación, esto con el ánimo de depurar aquellas estaciones que cuenten con un alto porcentaje de datos faltantes, debido a que es imperativo disponer de la mayor cantidad de datos observados en las estaciones posibles, para obtener resultados más fehacientes en el procesamiento de la información disponible. La Tabla 7 muestra el porcentaje de días con datos reales para cada estación evaluada.

**Tabla 7. Porcentaje de días con datos de precipitación de 1991 a 2020.**

| ESTACIÓN                          | % DATOS (1991-2020) |
|-----------------------------------|---------------------|
| C.UNIV.AGROP-UDCA [21206260]      | 86,91367098         |
| GUANATA [21205890]                | 79,31191823         |
| SUASUQUE [21205920]               | 93,51158971         |
| SANTILLANA [21206020]             | 90,13506114         |
| STA ISABEL [21201760]             | 96,56871692         |
| TABIO GRANJA [21201630]           | 85,79120277         |
| ALCO [21201590]                   | 74,48439496         |
| LA COSECHA - AUT [21205910]       | 94,95345866         |
| ESCUELA COL INGENIERIA [21201570] | 0                   |
| LLANO EL [21205990]               | 8,16754882          |
| NUEVA GENERACION - AUT [21206600] | 32,46030297         |
| SAN FRANCISCO [21201080]          | 0                   |
| SAN PEDRO [21201250]              | 63,73425808         |
| TERMOZIPA [21206450]              | 9,06187260          |
| UNISALLE NORTE [21205013]         | 6,57966782          |
| TABIO [21205522]                  | 7,96678226          |
| PARQUE SOPO [21205517]            | 8,14017156          |
| UMNG - [2120690]                  | 13,11370688         |
| PANTANO REDONDO 1 [21201060]      | 92,89103851         |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Las estaciones con datos suficientes (procedentes) fueron 9 del total obtenido de las diferentes fuentes de información examinadas, con las cuales se realizó la caracterización espacial y temporal de la variable. En la Ilustración 8 se muestra la ubicación de las estaciones elegidas para el análisis climático del municipio de Cajicá.



|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Las estaciones elegidas se encuentran en la ciudad de Bogotá D.C. y en los municipios de Zipaquirá, Tabio, Chía y Sopó; sin contar con una estación de información fiable dentro del municipio de Cajicá, pero con varias de las mismas emplazadas en sus límites, para ser empleadas en la caracterización hídrica del territorio.

#### 1.5.5.1.1.4. Llenado de vacíos de información

Teniendo en cuenta que ninguna base de datos cuenta con el 100% de la información disponible para el lapso temporal establecido, se hizo el proceso de llenado de estos vacíos haciendo uso de las estaciones meteorológicas vecinas mediante la metodología del “Polinomio de Razones Normales”, determinado por la siguiente expresión:

$$P_x = \frac{1}{n} \left( \frac{\bar{X}}{\bar{A}} P_A + \frac{\bar{X}}{\bar{B}} P_B + \frac{\bar{X}}{\bar{C}} P_C \right)$$

Donde:

**P<sub>x</sub>** = Dato faltante en la estación de muestreo X.

**PA** = Precipitación en A para la fecha faltante en la estación X.

**PB** = Precipitación en B para la fecha faltante en la estación X.

**PC** = Precipitación en C para la fecha faltante en la estación X.

**X̄** = Promedio histórico de precipitación en la estación X.

**Ā** = Promedio histórico de precipitación en la estación A.

**B̄** = Promedio histórico de precipitación en la estación B.

**C̄** = Promedio histórico de precipitación en la estación C.

**n** = Número de estaciones vecinas.

Este proceso requiere en primera instancia de definir las estaciones que cuenten con similitudes estadísticas y climáticas entre sí para realizar el proceso de llenado con la menor incertidumbre posible. Para esto, se establecieron criterios de vecindad entre las estaciones, con el ánimo de establecer las bases de datos de mayor afinidad para realizar la completitud de los datos. Los parámetros evaluados se describen a continuación:

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

Coeficiente de variación: Haciendo uso de los dos primeros momentos estadísticos de una serie de datos, el coeficiente de variación se define como el cociente entre la desviación estándar y el promedio de la serie. Los resultados se muestran en la **Tabla 8**.

**Tabla 8. Coeficiente de variación de las estaciones evaluadas.**

| ESTACIÓN                     | PROMEDIO | DESV.<br>ESTANDAR | C. VARIACIÓN |
|------------------------------|----------|-------------------|--------------|
| PANTANO REDONDO 1 [21201060] | 3,29436  | 6,173408803       | 1,873932127  |
| SUASUQUE [21205920]          | 2,37657  | 4,819275989       | 2,027829401  |
| SANTILLANA [21206020]        | 2,39826  | 5,047758378       | 2,104755793  |
| C.UNIV.AGROP-UDCA [21206260] | 2,50102  | 5,517307726       | 2,206027289  |
| TABIO GRANJA [21201630]      | 2,54085  | 5,609686672       | 2,207802081  |
| GUANATA [21205890]           | 2,25331  | 5,026444366       | 2,230695636  |
| LA COSECHA - AUT [21205910]  | 2,26849  | 5,544145964       | 2,443984763  |
| ALCO [21201590]              | 1,80274  | 4,509646231       | 2,501544493  |
| STA ISABEL [21201760]        | 1,43861  | 3,761667579       | 2,614788176  |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Cuando la serie presenta un Coeficiente de Variación inferior a 0.5, se trata de una base de datos de precipitación con baja variabilidad en el tiempo. Resultados entre 0.5 y 1.1 denotan una serie de mediana variabilidad. Finalmente, si se obtiene un valor superior a 1.1 para este parámetro, la estación meteorológica cuenta con una alta variabilidad en el tiempo, resultado obtenido para la totalidad de las estaciones evaluadas y siendo concordante con el fuerte régimen bimodal de lluvias que predomina en Cajicá y sus alrededores (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2014).

Coeficiente de Correlación de Pearson: Es una medida de tendencia central entre dos variables cuantitativas, el cual muestra la relación de dos series de datos al analizar su covarianza (Restrepo & González, 2007). El Coeficiente de Correlación de Pearson es determinado a partir de la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Donde:

Z<sub>x</sub> = Desviación estándar de la variable 1.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

$Z_y$  = Desviación estándar de la variable 2.

N = Número de datos.

El resultado obtenido al evaluar la correlación lineal de todas las bases de datos de precipitación de las estaciones meteorológicas entre sí, se presenta en la **Tabla 9**.

**Tabla 9. Coeficiente de Correlación de Pearson entre las estaciones meteorológicas evaluadas.**

| ESTACIÓN                           | P.<br>REDONDO | SUASUQUE | SANTILLANA | UDCA | TABIO<br>G. | GUANATA | COSECHA | ALCO | STA<br>ISABEL |
|------------------------------------|---------------|----------|------------|------|-------------|---------|---------|------|---------------|
| PANTANO<br>REDONDO 1<br>[21201060] | 1,00          | 0,30     | 0,35       | 0,34 | 0,43        | 0,42    | 0,44    | 0,38 | 0,20          |
| SUASUQUE<br>[21205920]             | 0,30          | 1,00     | 0,34       | 0,32 | 0,32        | 0,48    | 0,33    | 0,31 | 0,13          |
| SANTILLANA<br>[21206020]           | 0,35          | 0,34     | 1,00       | 0,39 | 0,51        | 0,56    | 0,41    | 0,32 | 0,19          |
| C.UNIV.AGROP-<br>UDCA [21206260]   | 0,34          | 0,32     | 0,39       | 1,00 | 0,42        | 0,49    | 0,34    | 0,30 | 0,17          |
| TABIO GRANJA<br>[21201630]         | 0,43          | 0,32     | 0,51       | 0,42 | 1,00        | 0,60    | 0,42    | 0,46 | 0,20          |
| GUANATA<br>[21205890]              | 0,42          | 0,48     | 0,56       | 0,49 | 0,60        | 1,00    | 0,47    | 0,44 | 0,20          |
| LA COSECHA -<br>AUT [21205910]     | 0,44          | 0,33     | 0,41       | 0,34 | 0,42        | 0,47    | 1,00    | 0,42 | 0,21          |
| ALCO [21201590]                    | 0,38          | 0,31     | 0,32       | 0,30 | 0,46        | 0,44    | 0,42    | 1,00 | 0,15          |
| STA ISABEL<br>[21201760]           | 0,20          | 0,13     | 0,19       | 0,17 | 0,20        | 0,20    | 0,21    | 0,15 | 1,00          |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Cuando se obtienen valores positivos en la Correlación de Pearson, entre más se acerca el resultado a 1, se asume una mayor correlación positiva o directamente proporcional. Caso contrario, cuando el resultado se aproxima a -1, la correlación de las variables evaluadas es negativa o inversa.

Para el caso de las estaciones examinadas, estas presentan valores positivos en su totalidad, pero no presentan valores significativamente altos para determinarlos correlacionados estadísticamente. Esto implica la alta heterogeneidad de las lluvias en la región, condición que puede estar acompañada por errores instrumentales o en la toma de medidas. Así mismo, los valores iguales o superiores a 0.4 fueron utilizados como una relativa buena correlación entre dos o más estaciones dentro de los criterios de vecindad.



Índice de Aridez: Siguiendo la metodología propuesta por Emmanuel de Martone, quien propuso este término como una forma de mostrar la estacionalidad de la precipitación y de la temperatura a lo largo del año, el Índice de aridez se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Ia = \frac{1}{2} * \left( \frac{P}{T + 10} + \frac{12 * Ps}{Ts + 10} \right)$$

Donde:

**Ia** = Índice de aridez.

**P** = Precipitación anual.

**T** = Temperatura anual.

**Ps** = Precipitación del mes más seco.

**Ts** = Temperatura del mes más seco.

Haciendo uso de esta expresión, la metodología de Emmanuel De Martone subdivide los climas a partir de los resultados del Índice de aridez establecido previamente. El resumen de la clasificación climática se presenta en la Tabla 10.

**Tabla 10. Índice de aridez y clasificación climática de Emmanuel de Martone.**

| ÍNDICE DE ARIDEZ (Ia) | CLIMA   |
|-----------------------|---|
| 0 – 5.0               | Árido   |
| 5.1 – 10.0            | Semiárido   |
| 10.1 – 20.0           | Subhúmedo   |
| 20.1 – 35.0           | Húmedo  |
| 35.1 – 100.0          | Húmedo lluvioso   |
| >100.0                | Húmedo lluvioso, sin diferencias estacionales todo el año |

Fuente: IDEAM (2021).

Teniendo en cuenta la metodología propuesta, se hizo el cálculo del índice de aridez y la clasificación climática de De Martone para las 9 estaciones de análisis, buscando determinar condiciones atmosféricas promedio similares para realizar el llenado de datos. Los resultados se observan en la **Tabla 11**.

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

**Tabla 11. Índice de aridez y clasificación climática de las estaciones evaluadas.**

| ESTACIÓN                        | P      | T    | Ps   | Ts   | Ia   | CLIMA              |
|---------------------------------|--------|------|------|------|------|--------------------|
| STA ISABEL [21201760]           | 523,7  | 13,5 | 19,9 | 13,3 | 16,3 | Subhúmedo          |
| ALCO [21201590]                 | 582,3  | 14,1 | 32,1 | 13,9 | 20,1 | Húmedo             |
| C.UNIV.AGROP-UDCA<br>[21206260] | 841,4  | 14,3 | 37,9 | 14,0 | 26,8 | Húmedo             |
| GUANATA [21205890]              | 813,5  | 14,4 | 37,8 | 14,1 | 26,1 | Húmedo             |
| SANTILLANA<br>[21206020]        | 858,7  | 14,2 | 29,3 | 14,0 | 25,1 | Húmedo             |
| SUASUQUE [21205920]             | 857,1  | 13,7 | 31,0 | 13,5 | 26,0 | Húmedo             |
| TABIO GRANJA<br>[21201630]      | 898,5  | 14,1 | 41,7 | 13,8 | 29,2 | Húmedo             |
| LA COSECHA - AUT<br>[21205910]  | 814,5  | 10,4 | 36,3 | 10,2 | 30,7 | Húmedo<br>Lluvioso |
| PANTANO REDONDO<br>1 [21201060] | 1194,1 | 10,4 | 42,9 | 10,2 | 42,0 | Húmedo<br>Lluvioso |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

De acuerdo con los resultados, existen 6 estaciones que cuentan con clima “Húmedo”, dos estaciones de clima “Húmedo lluvioso” y una de clima “Subhúmedo” a partir únicamente del Índice de Aridez. Esta clasificación climática preliminar permite realizar aproximaciones a las estaciones emplazadas en regiones similares en cuanto al índice de aridez.

Unificando los criterios nombrados anteriormente para determinar las mejores estaciones vecinas, y haciendo uso de otras medidas climáticas como la similaridad en cinturones de condensación, determinado por la ubicación de las estaciones en cuanto a la morfología predominante de la región donde se instalen las mismas, se identificaron las mejores estaciones vecinas para cada estación de referencia, cuyo resumen se muestra en la **Tabla 12**.

**Tabla 12. Resumen de los criterios de vecindad para el llenado de vacíos de información.**

| ESTACIÓN                     | MEJORES VECINAS                            |
|------------------------------|--|
| ALCO [21201590]              | Guanata, Tabio, Cosecha                    |
| C.UNIV.AGROP-UDCA [21206260] | Guanata, Suasuque, Santillana, Tabio       |
| GUANATA [21205890]           | UDCA, Suasuque, Santillana, Tabio, Cosecha |
| SANTILLANA [21206020]        | UDCA, Guanata, Suasuque, Tabio, Cosecha    |
| SUASUQUE [21205920]          | UDCA, Guanata, Santillana                  |

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

| <b>ESTACIÓN</b>              | <b>MEJORES VECINAS</b>                        |
|------------------------------|---|
| TABIO GRANJA [21201630]      | UDCA, Guanata, Santillana, Alco, Cosecha      |
| LA COSECHA - AUT [21205910]  | Guanata, Santillana, Tabio, Alco              |
| PANTANO REDONDO 1 [21201060] | Guanata, Suasuque, Santillana, Tabio, Cosecha |
| STA ISABEL [21201760]        | Alco, Cosecha                                 |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Al establecer las estaciones de comportamiento estadístico y climático similar, se hicieron simulaciones al llenado de datos utilizando el “Método de Razones Normales” para todas las posibles combinaciones de estaciones vecinas posibles para el llenado, buscando estimar los valores de precipitación existentes de cada estación con el ánimo de evaluar la diferencia entre los datos observados y los datos sintéticos. Este procedimiento se realiza mediante el cálculo de la raíz del error cuadrático medio, definido mediante la siguiente expresión:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P - O)^2}{n}}$$

Donde:

**RMSE:** Raíz del error cuadrático medio

**n:** Número de datos

**P:** Valor real

**O:** Valor simulado

Una vez establecida la mejor combinación de estaciones para el llenado de datos de cada estación de referencia, fueron generados los valores de precipitación en su 100% de cada serie para realizar el análisis climático del municipio de Cajicá.

#### **1.5.5.1.1.5. Consistencia de datos**

Las series completas de precipitación fueron sometidas a las pruebas de consistencia de Student y de Fisher, donde se comparó el tramo inicial (primera mitad de la serie o variable 1) con el tramo final (segunda mitad o variable 2) de cada serie, asumiendo una distribución de tipo normal de las series analizadas para evaluar los cambios que pueda experimentar cada base de datos en cuanto a su media y su varianza (dos primeros momentos estadísticos).



Este proceso se realizó con el ánimo de observar variaciones significativas en las series, que puedan establecerse como anomalías que generen perturbaciones e incertidumbres a las bases de datos de precipitación. Teniendo esto en cuenta, se asumió que el 5% de los datos (eventos) extremos se encuentran contenidos dentro de las colas de la distribución de la serie y el 95% restante se consideran datos corrientes.

Es de mencionar que para la realización de las pruebas de consistencias T-Student y F-Fisher, fue necesario la habilitación del complemento de “análisis de datos” en la herramienta Microsoft Excel, la cual permitió el análisis de los dos tramos de cada serie de datos mediante las pruebas mencionadas.

Para la prueba de Student se asume en primera instancia, que la diferencia hipotética entre las medias es el resultado de la resta del promedio aritmético del tramo inicial y final de la serie. Así mismo, se toma como hipótesis nula que la probabilidad de que el valor absoluto del “estadístico T” sea menor o igual al “valor crítico de t” para dos colas, si esa condición se cumple; a la serie se le considera robusta, esto quiere decir que la serie experimenta una baja variabilidad en el tiempo y por tanto es consistente. La Tabla 13 muestra el resultado para la estación “ALCO [21201590]”, una de las estaciones de análisis.

**Tabla 13. Resultado de la prueba de consistencia T-Student.**

|  | <b>VARIABLE<br/>1</b> | <b>VARIABLE<br/>2</b> |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Media                                  | 1,72516893            | 1,82938449            |
| Varianza                               | 1,73839939            | 17,59600680           |
| Observaciones                          | 5.479                 | 5.479                 |
| Coefficiente de correlación de Pearson | 0,02115119            |                       |
| Diferencia hipotética de las medias    | 0,10421600            |                       |
| Grados de libertad                     | 5.478                 |                       |
| Estadístico t                          | -1,31830352           |                       |
| P(T<=t) una cola                       | 0,09372859            |                       |
| Valor crítico de t (una cola)          | 1,64513184            |                       |
| P(T<=t) dos colas                      | 0,18745718            |                       |
| Valor crítico de t (dos colas)         | 1,96039713            |                       |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).



A partir del resultado mostrado, y aplicando la prueba T-Student a todas las estaciones, se considera que las bases de datos de precipitación son consistentes con relación al análisis de sus valores promedio. Respecto a la prueba de Fisher, la hipótesis nula supone que el valor absoluto del “estadístico F” debe ser menor o igual que el “valor crítico de F”, si la serie de datos cumple esta condición, se considera consistente. La Tabla 14 muestra a manera de ejemplo el resultado de la estación “C. UNIV. AGROP-UDCA [21206260]”, incluida dentro de las estaciones evaluadas.

**Tabla 14. Resultado de la prueba de consistencia F-Fisher.**

|                                 | VARIABLE 1  | VARIABLE 2  |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Media                           | 2,13330291  | 2,80422683  |
| Varianza                        | 22,61964660 | 34,73863490 |
| Observaciones                   | 5.479       | 5.479       |
| Grados de libertad              | 5.478       | 5.478       |
| F                               | 0,65113804  |             |
| P(F<=f) una cola                | 0           |             |
| Valor crítico para F (una cola) | 0,95652223  |             |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

De acuerdo con los resultados obtenidos para la estación exhibida, y demás estaciones que fueron sometidas a la misma prueba, las series de datos son consistentes a lo largo del periodo de análisis en cuanto a su varianza, sugiriendo la estabilidad de las series en el tiempo bajo este momento estadístico.

Las pruebas de Student y Fisher fueron satisfactorias para las 9 estaciones evaluadas en cuanto a la precipitación, por tanto, dan garantía y confianza para el empleo de la información contenida en esas estaciones en los momentos de utilizar esos datos para la realización de estudios y trabajos aplicados en la región.

#### 1.5.5.1.1.6. Homogeneidad de datos

La variabilidad que presentan las series de datos de precipitación, en algunos casos, no sólo es debido a los procesos atmosféricos de escala mensual, anual o decadal; algunas perturbaciones a las series son debidos a malas prácticas en la toma de datos en las estaciones y otros efectos

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

antrópicos que hacen de las series de datos de lluvias, inhomogéneos. Por esta razón se hace imperativo realizar la evaluación y homogenización de la información pluviométrica para realizar estudios climáticos en la región.

Teniendo esto en cuenta, se hizo uso de un paquete de datos llamado “Climatol”, desarrollado en el software “R” y considerado como uno de los programas de homogenización más confiables para verificar la calidad de los datos de precipitación (Montoya & Campozano, 2019).

Este programa se basa en la premisa de que toda información climática cuenta con variaciones u oscilaciones de magnitudes considerables, representando datos extremos, mas no anómalos, que generan fluctuaciones de las series respecto a su promedio, generando en un principio, inhomogeneidades. A partir de esto, Climatol permite homogeneizar las bases de datos hasta cierto punto, definido por el experto, para no desestimar los valores extremos que la precipitación puede tener en fechas específicas y aumentar incertidumbre en el proceso.

Para las estaciones emplazadas dentro y en cercanías del municipio de Cajicá, en primera instancia Climatol realiza la normalización de las bases de datos diarias, esto buscando hacerlas comparables entre sí para construir una “serie de referencia”, elaborada a partir del promedio ponderado de los datos de precipitación para las estaciones más afines estadísticamente entre sí.

Al establecer las series de referencia, el programa realizó regresiones ortogonales para identificar los datos anómalos y corregirlos con valores sintéticos para reducir la incertidumbre de las series de precipitación.

Finalmente, se comprobó la homogeneidad del proceso realizado apelando a la Prueba de Homogeneidad Normal Estándar (SNHT), donde se evalúan las series originales y a las series procesadas por el paquete de R para comparar los resultados. Este proceso se realizó por tramos sucesivos de la ventana temporal de análisis hasta construir series homogéneas y consistentes para realizar la distribución espacial y temporal de la lluvia en el municipio de Cajicá.

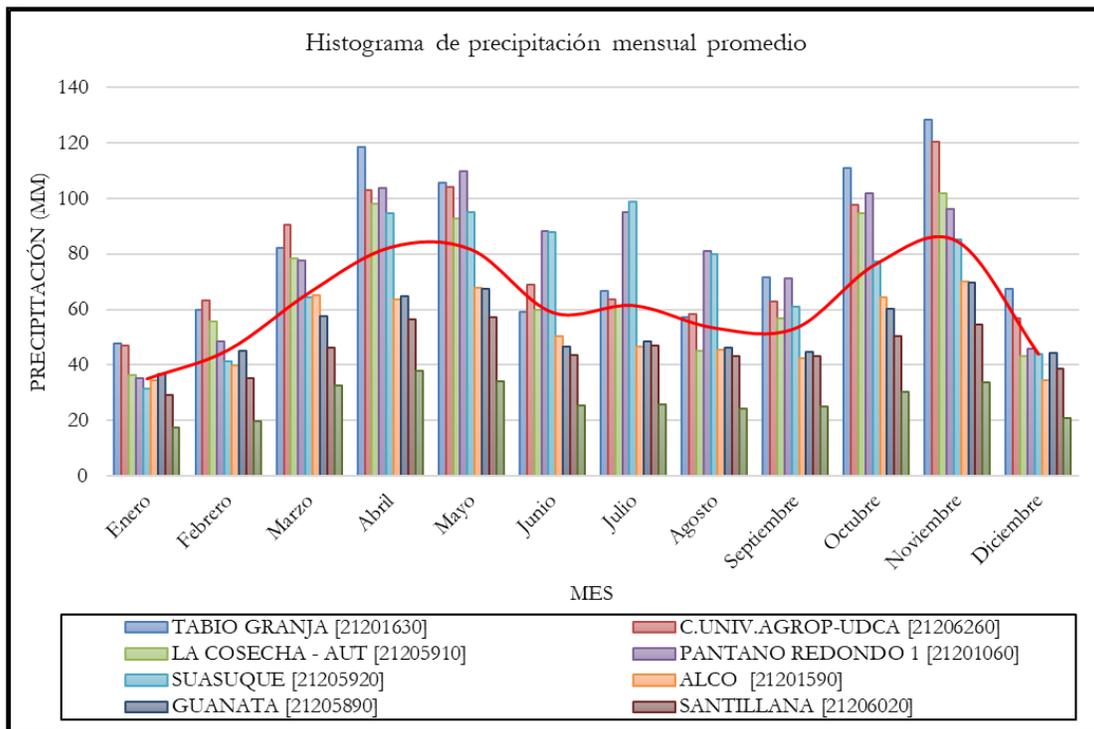
#### **1.5.5.1.1.7. Distribución temporal de la precipitación**

La precipitación no se distribuye de manera uniforme con el paso del tiempo, razón por la cual es imperativo determinar las fluctuaciones de esta variable, ya que el entendimiento de los lapsos temporales de mayor o menor ocurrencia de este tipo de evento funciona como una medida de identificación de posibles amenazas de origen hidrometeorológico y de alertas tempranas.

En Colombia existen 2 tipos principales de distribución de la lluvia a lo largo del año, siendo estos los regímenes unimodales, con una época de alta precipitación y otra de baja precipitación,

como es el caso de la Amazonía colombiana y gran parte de los Llanos Orientales. Y bimodales, como el caso de un alto porcentaje de las cadenas montañosas del territorio nacional.

Así mismo, existen múltiples fenómenos atmosféricos y microclimáticos que propician patrones de lluvias locales y diferentes a su entorno en cuestión de kilómetros, haciendo relevante establecer el régimen dominante en el municipio de Cajicá y sus alrededores mediante la elaboración de histogramas del valor promedio de precipitación mensual multianual.



**Ilustración 9. Histograma de precipitaciones mensuales multianuales en las estaciones de análisis.**

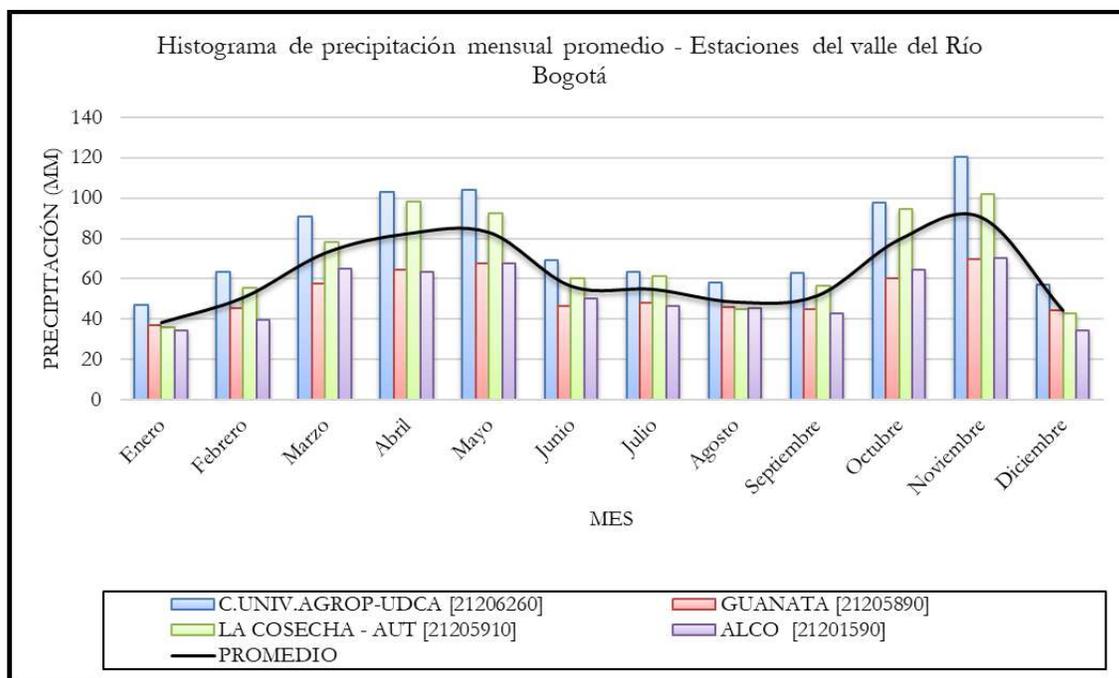
**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

La Ilustración 9 muestra el agrupamiento de las 9 estaciones de análisis para el municipio de Cajicá, esto buscando entender la estacionalidad de la precipitación en la región. Se puede apreciar el régimen de precipitación bimodal establecido en el territorio, donde las temporadas de altas precipitaciones tienen sus picos en los meses de abril-mayo y octubre-septiembre. De modo contrario, los valles de la gráfica se encuentran en los meses de agosto-septiembre y de

diciembre-enero, donde el mes de enero cuenta con los menores registros de precipitación, del orden de los 40 mm o menos en promedio.

Es importante indicar que la estación “Santa Isabel [21201760]” se ubica sobre el valle del Río Frío en el municipio de Tabio, donde existe un descenso considerable de los volúmenes promedio de precipitación depositados en el área. Así mismo, Estaciones como “Plátano Redondo 1 [21201060]” se encuentran en regiones topográficamente más elevadas respecto al territorio comprendido por el municipio de Cajicá (cerca de 500 metros más elevado que el casco urbano), por tanto, presentan niveles de precipitación mayores a los existentes en la región de análisis.

Teniendo en cuenta que Cajicá se ubica sobre el valle del Río Bogotá, la Ilustración 10 muestra el histograma mensual multianual de las estaciones localizadas exclusivamente sobre este valle en las inmediaciones del municipio.

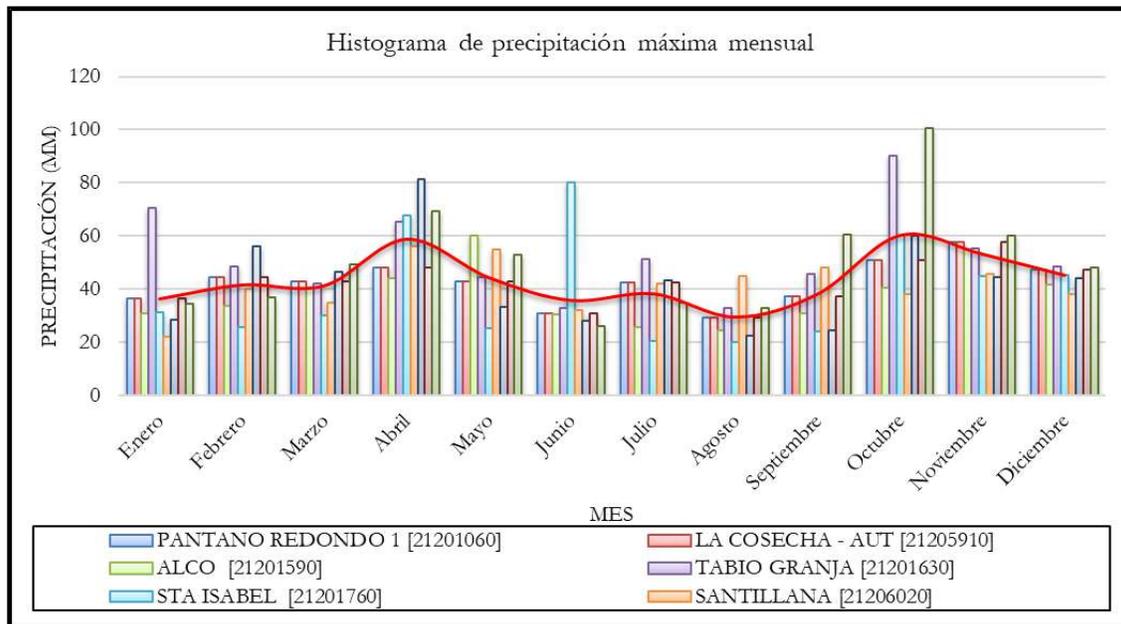


**Ilustración 10. Histograma de precipitaciones mensuales multianuales en las estaciones ubicadas sobre el valle del Río Bogotá.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Las estaciones que se encuentran emplazadas en inmediaciones del Río Bogotá exhiben el comportamiento bimodal asentado en el territorio, contando con máximos de precipitación promedio del orden de los 100-120 mm y con mínimos del orden de los 60-40mm, exhibiendo los registros más pobres para el mes de enero.

Aunque se tengan mayores registros de precipitación en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre en la región, esto no implica que los eventos de lluvias máximas se hayan desencadenado en dichos meses, y que no puedan existir eventos de lluvias intensas y/o largas en meses que históricamente cuentan con bajos volúmenes de agua. Teniendo esto en cuenta, el análisis de las lluvias máximas que han tenido lugar en las estaciones de análisis permite visibilizar aquellos eventos extremos, detonados en cualquier época del año, que hayan contribuido potencialmente a generar inundaciones, movimientos en masa, y otros procesos erosivos. La Ilustración 11, muestra el histograma de eventos máximos por cada mes en las estaciones evaluadas.



**Ilustración 11. Histograma de precipitaciones máximas mensuales históricas en las estaciones evaluadas.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>Arco<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

Los meses de abril y octubre presentan los mayores registros de precipitaciones máximas en la región, contando con eventos de hasta 100mm de lluvia, volúmenes de agua que saturan los suelos con facilidad, generando encharcamiento y erosión superficial. Así mismo, existen algunos eventos extremos registrados en los meses de menores precipitaciones promedio (enero y junio), llegando a los 80mm de lluvia en un solo episodio e implicando la probabilidad de presentarse lluvias de estas magnitudes en los meses de bajas precipitaciones, representando así mismo un riesgo para la comunidad, debido a que en las épocas secas el suelo tiende a agrietarse por erosión física, desprendiendo material de la roca madre que puede ser removido por acción de las fuertes lluvias.

Así mismo, los promedios de precipitación en el municipio de Cajicá y alrededores se encuentran relacionados con la cantidad de eventos de lluvia registrados en el área, donde los amplios registros de días con lluvia (Tabla 15) se ven representados de forma directa, en la mayoría de los casos, con los volúmenes de agua registrados históricamente en la región.

**Tabla 15. Días con lluvia mensual multianual.**

| ESTACION                     | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT. | NOV. | DIC. |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PANTANO REDONDO 1 [21201060] | 9,6  | 10,1 | 14,7 | 16,6 | 19,2 | 18,4 | 17,8 | 16,4 | 14,7 | 16,3 | 17,3 | 11,6 |
| LA COSECHA - AUT [21205910]  | 8,2  | 8,9  | 12,8 | 15   | 17   | 15,9 | 17,1 | 15,6 | 13,5 | 14,9 | 15,4 | 9,1  |
| ALCO [21201590]              | 10,8 | 10,8 | 15,6 | 16,7 | 18,6 | 18,7 | 20   | 19   | 17   | 17,8 | 16,6 | 12,2 |
| TABIO GRANJA [21201630]      | 11   | 10,9 | 15,9 | 18,2 | 20,2 | 19,7 | 21   | 19,7 | 16,6 | 18,1 | 17,2 | 12,2 |
| STA ISABEL [21201760]        | 4    | 4,9  | 7,8  | 9,1  | 8,8  | 6,7  | 7,5  | 6,5  | 6    | 8    | 8,2  | 5,5  |
| SANTILLANA [21206020]        | 7,5  | 8,6  | 12,6 | 15,5 | 16,9 | 15,7 | 16,1 | 15,6 | 12,9 | 14,5 | 14,5 | 9,3  |
| SUASUQUE [21205920]          | 7,4  | 8,2  | 11,8 | 15,3 | 18,5 | 18,1 | 19,7 | 18,3 | 16   | 15,4 | 14,1 | 8,7  |
| GUANATA [21205890]           | 9,6  | 11,2 | 15,1 | 17,9 | 21,1 | 20,2 | 19,6 | 19,3 | 15,4 | 18,2 | 17,3 | 11,6 |
| C.UNIV.AGROP-UDCA [21206260] | 9,6  | 10,1 | 14,7 | 16,6 | 19,3 | 18,4 | 17,8 | 16,4 | 14,7 | 16,3 | 17,3 | 11,6 |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Los meses que presentan mayor cantidad de días con lluvias corresponden a los meses de abril y octubre, siendo concordante con los promedios históricos de volumen de precipitación en el territorio. Entre los meses de mayo y septiembre existe un relativo amplio registro de días con lluvia en la región a pesar de ser una época de baja cantidad de precipitaciones en la región.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

No obstante, la estación “GUANATA [21205890]”, por ejemplo, presenta los mayores registros de días con lluvia promedio a pesar de ubicarse en el valle del Río Bogotá y no representar la estación donde existe el mayor promedio histórico de mm de agua depositados en el área, exhibiendo que en esta área se presentan frecuentes eventos de precipitaciones ligeras, mayores a 0.1mm para ser registradas por los pluviómetros, pero probablemente sin tener una magnitud considerable.

En los registros de todas las estaciones, el mes con menores volúmenes de precipitación es enero (seguido de diciembre), donde sólo dos estaciones cuentan con promedios superiores a los 10 días con lluvias en este lapso temporal. Esto implica que en dichos meses se acentúa una fuerte época de bajas precipitaciones, fenómeno que sugiere una mayor probabilidad de ocurrencia de sequías e inclusive de incendios forestales dados los pobres registros de eventos de lluvia a lo largo de estos meses.

#### 1.5.5.1.1.8. Distribución espacial de la precipitación

El régimen de lluvias sobre el territorio comprendido por el municipio de Cajicá y sus inmediaciones se delimitó mediante la elaboración de los mapas de precipitación y número de días con lluvia anuales promedio, utilizando la herramienta “Geostatistical analyst” de ARCGIS para interpolar los valores obtenidos y procesados estadísticamente de las estaciones meteorológicas de análisis. La Ilustración 12 muestra el mapa de precipitación promedio en el territorio.

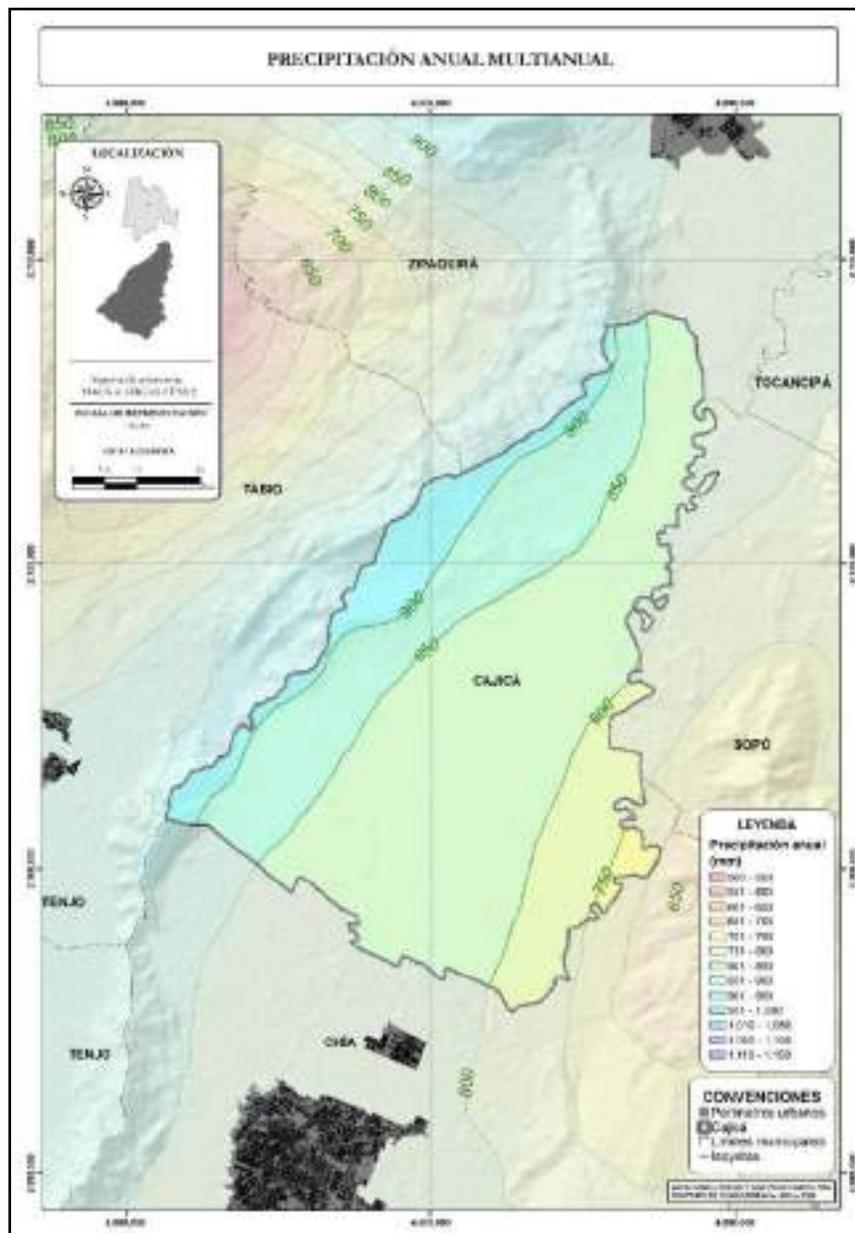


Ilustración 12. Mapa de precipitaciones anuales promedio en el municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

El mapa de isoyetas muestra que la zona con mayores volúmenes de lluvia dentro del municipio de Cajicá corresponde a la cadena montañosa en el occidente del territorio, llegando a niveles de precipitación del orden de los 900 mm anuales promedio en las regiones topográficamente más elevadas. Por otra parte, la zona oriental del municipio, en inmediaciones del Río Bogotá presentan los menores niveles de precipitación anual, contando con un mínimo de 750 mm al año.

La cantidad de agua diferencial depositada en el municipio se ve reflejada en la mayor densidad de drenajes presente en la vertiente occidental del municipio respecto a la zona oriental, y en la mayor densidad de vegetación, siendo estos mecanismos la respuesta directa del clima en el municipio.

Respecto al número de días con lluvia, se obtuvo una cierta correlación espacial con el mapa de precipitación anual, pero exhibe algunas diferencias respecto a su distribución en la región sur y oriental del municipio (Ilustración 13). En estos sectores del municipio se cuenta con una relativa alta frecuencia de precipitaciones, sugiriendo la existencia de varios eventos de lluvia de baja magnitud, aumentando el número de días captado por las estaciones meteorológicas, pero sin contar con volúmenes de lluvia considerables que se vean reflejados en el mapa de isoyetas del municipio.

Las regiones donde se cuenta con mayor cantidad de días con lluvia, del orden de los 190 días al año, resulta beneficiosa para los cultivos de la región en cuanto al riego con relativa frecuencia de la flora asentada sobre el territorio, agua que se infiltra con facilidad en el suelo dada su morfología y su baja pendiente. Cabe aclarar que el número de días con lluvia y los promedios de precipitación, formas de representar los volúmenes de agua depositada en el municipio, no presentan valores considerables durante todo el año que permitan satisfacer las necesidades hídricas de la región (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2014). En adición a esto, existe una asentada sobreexplotación de las fuentes superficiales y subterráneas dada la densidad poblacional y su acción en el municipio.

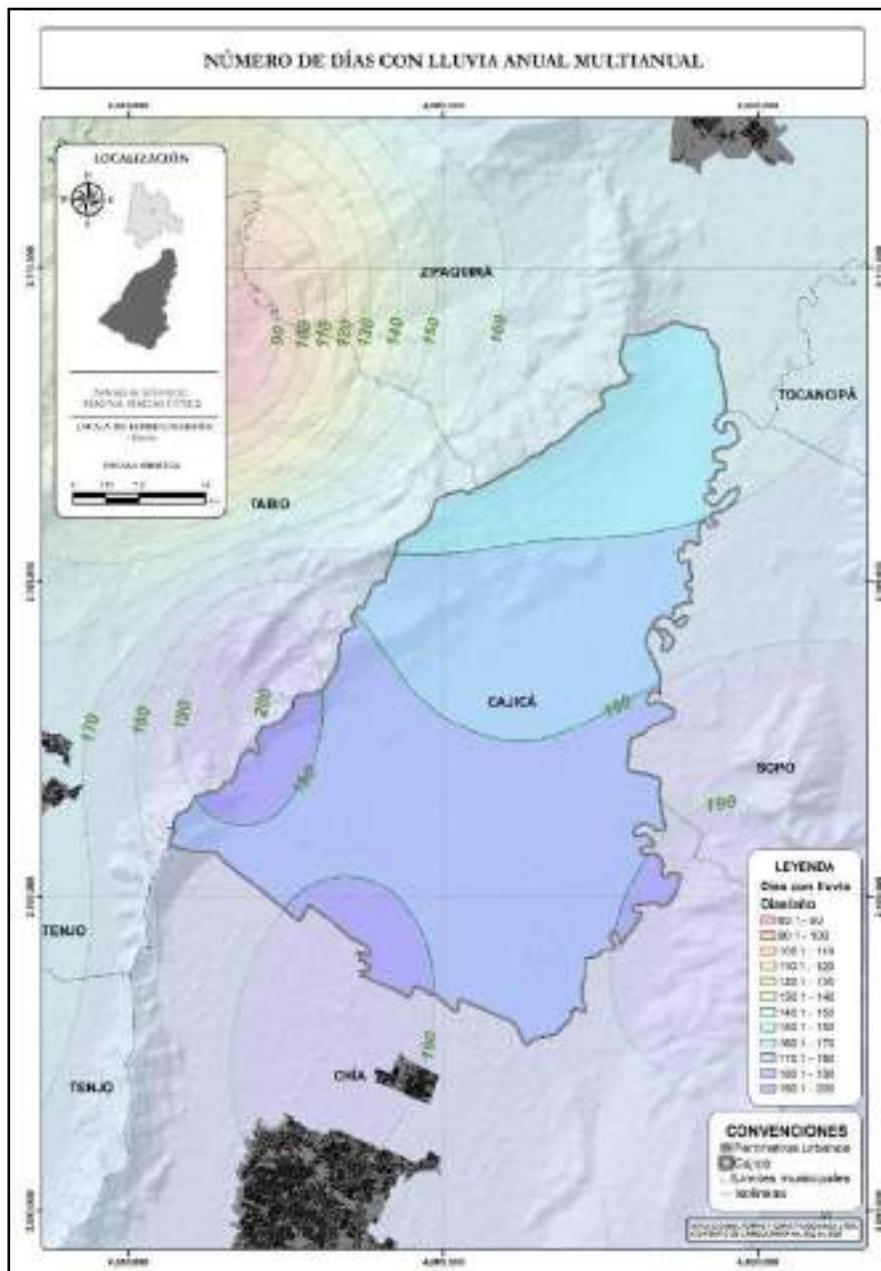


Ilustración 13. Mapa del número de días con lluvia anual promedio del municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### 1.5.5.1.2. Temperatura

Esta variable climática caracteriza, o hace medible, el movimiento cinético medio de las partículas de un cuerpo. En otras palabras, determina el equilibrio térmico de un sistema de estudio respecto a su entorno mediante la medición de su energía interna (magnitud escalar). Su medición en las estaciones meteorológicas se realiza mediante diferentes termómetros que registran sus valores medios, máximos y mínimos a lo largo del día.

La temperatura representa, junto con la precipitación, los elementos climáticos más relevantes y observados en la meteorología (Inzunza, 2006). Es importante indicar que esta variable se ve principalmente influenciada por el ángulo de incidencia del sol sobre el territorio, el calentamiento diferencial de la atmósfera, el suelo y las fuentes hídricas, la altura, la posición geográfica y la cobertura nubosa (albedo).

#### 1.5.5.1.2.1. Fuentes de información

Se hizo una extensa búsqueda de bases de datos de temperatura máxima, mínima y ambiente (medida cada 6 horas) a través de las plataformas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, buscando aquellos registros extensos y continuos para el análisis de la variable climática. La Ilustración 14 muestra la ubicación de las estaciones que cuentan con diferentes mediciones de temperatura para el análisis exploratorio de los datos.

Se obtuvo información preliminar de temperatura de 13 estaciones meteorológicas emplazadas dentro y en las inmediaciones del municipio de Cajicá, a partir de las cuales se hizo el procesamiento de la variable en cuanto a su distribución espacial y temporal sobre la región.

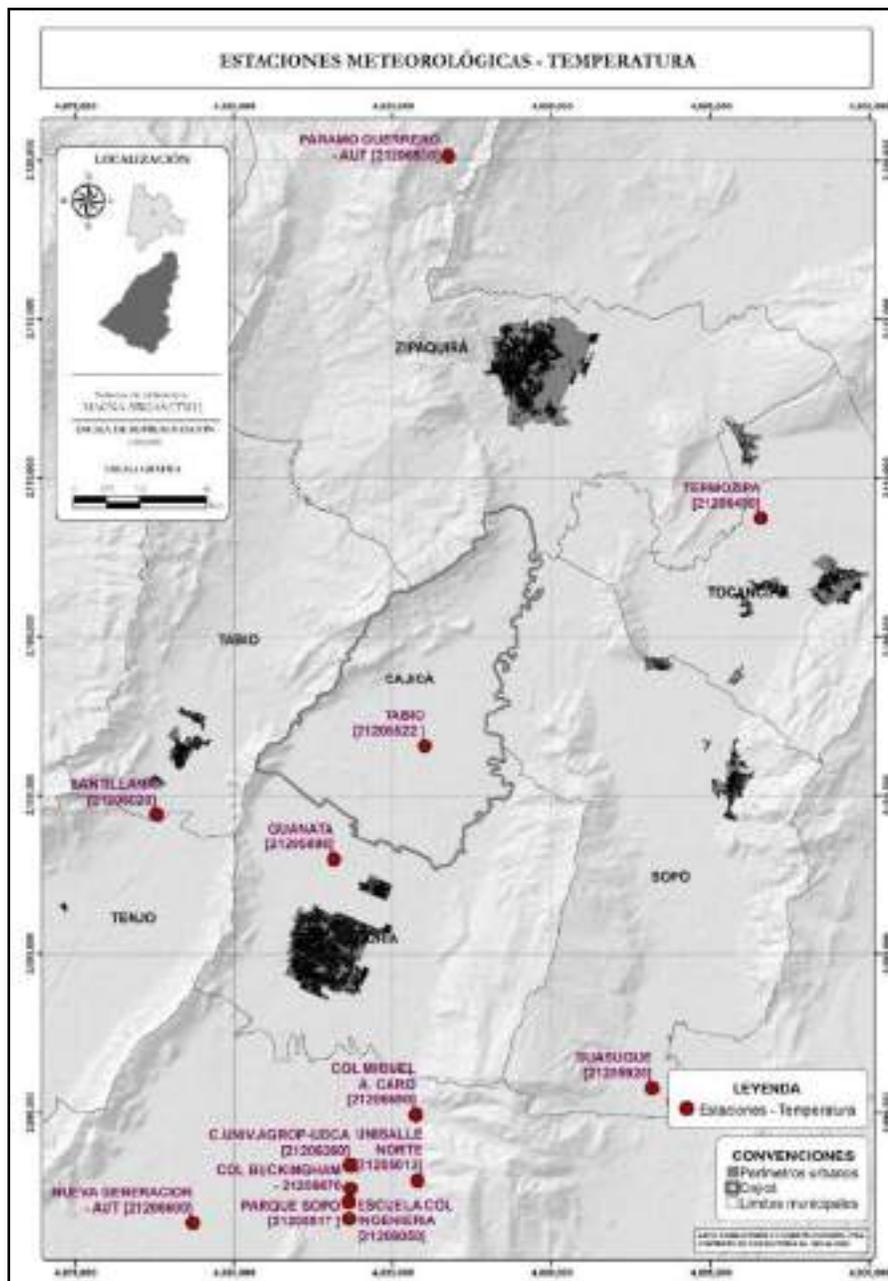
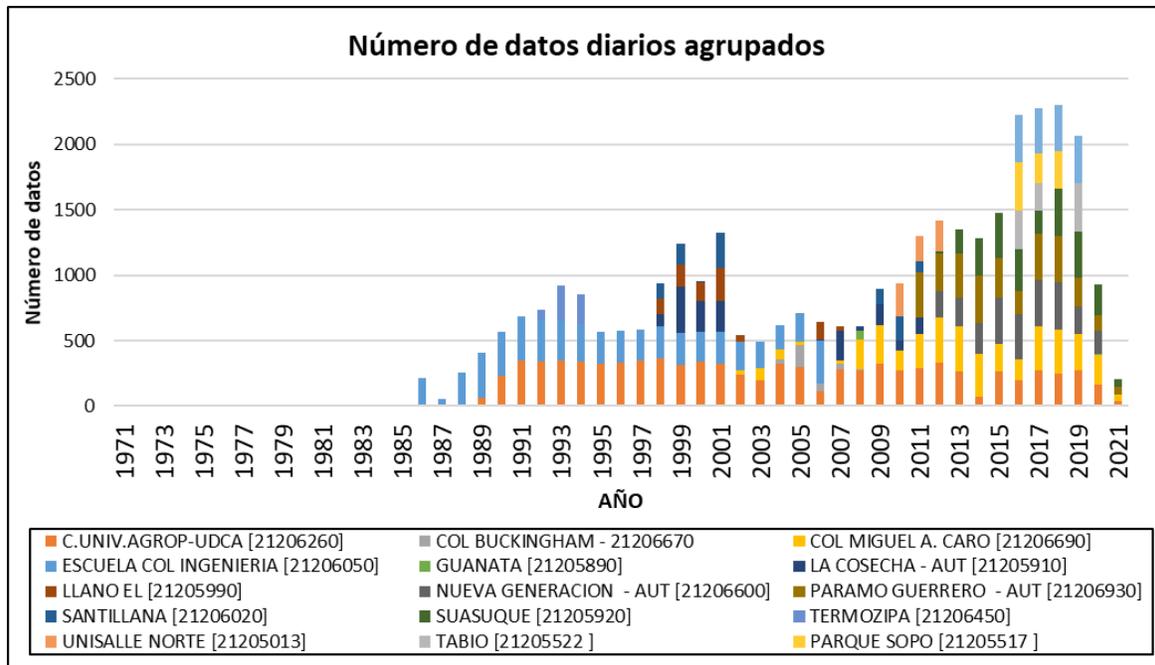


Ilustración 14. Estaciones meteorológicas preliminares para la variable temperatura.

Modificado de: DHIME.

### 1.5.5.1.2.2. Ventana de análisis

Buscando establecer el lapso temporal de análisis de la variable temperatura para el procesamiento de las bases de datos, la Ilustración 15 exhibe el total de datos diarios agrupados de las estaciones preliminares para el estudio climático.



**Ilustración 15. Datos diarios de temperatura de las estaciones de análisis.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Las estaciones de análisis no cuentan con suficiencia de registros largos y continuos, mayores a 30 años con al menos el 80% de los datos diarios consignados a excepción de la estación C.UNIV.AGROP-UDCA [21206050], exhibiendo la insuficiencia de datos para realizar el estudio en primera instancia, y sugiriendo la necesidad de densificar la red de estaciones con garitas meteorológicas (donde se almacenan los termómetros de bulbo seco y húmedo) y/o realizar una adecuada toma de datos para realizar posteriores estudios climáticos en la región.

### 1.5.5.1.2.3. Llenado de vacíos de información

Ante la limitante de la escasa información de temperatura por parte de las diferentes estaciones meteorológicas cercanas a Cajicá, se determinó la temperatura de las mismas haciendo uso de

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

los registros continuos de la estación “C. UNIV. AGROP-UDCA [21206260]”, y de la altura de las estaciones a partir de la aproximación teórica del “Gradiente Adiabático Húmedo”, el cual se define mediante la siguiente expresión:

$$\Gamma_s \approx \Gamma_d * \frac{1}{1 + \frac{L_c}{C_p} \left(\frac{dq_s}{dT}\right)_p}$$

Donde:

**$\Gamma_s$**  = Gradiente adiabático húmedo o Pseudoadiabático

**$\Gamma_d$**  = Gradiente adiabático seco (0.96°C/100m)

**$L_c$**  = Calor latente de condensación del agua

**$C_p$**  = Calor específico a presión constante

**$Q_s$**  = Razón de mezcla de una parcela saturada a presión constante

**$T$**  = Temperatura

Esta ecuación asume que una hipotética parcela de aire ubicada en una estación con un valor de temperatura  $T$ , se eleve o descienda adiabáticamente (sin compartir energía con el medio circundante) a razón de 0.65°C por cada 100 metros en promedio, expresión que resulta práctica para estimar los vacíos de información de temperatura de las estaciones incompletas. Los datos de temperatura generados cuentan con un Error Cuadrático Medio inferior a 0.5, sugiriendo la confiabilidad del proceso realizado para el análisis espacial y temporal de la variable en cuestión.

#### 1.5.5.1.2.4. Distribución temporal

A partir de los valores de temperatura generados para todas las estaciones, se determinaron los valores máximos, mínimos y promedio de la variable a nivel mensual multianual, donde las regiones topográficamente más elevadas cuentan con las temperaturas más bajas, y la región comprendida por el valle del Río Bogotá cuenta con los registros de temperatura más elevados dentro del municipio de Cajicá. La Tabla 16 muestra el promedio de temperatura mensual y anual para las estaciones de análisis.

**Tabla 16. Temperatura mensual y anual promedio.**

| ESTACION                                | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT.   | NOV. | DIC. | MED.<br>ANUAL |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|---------------|
| C.UNIV.AGROP-<br>UDCA<br>[21206260]     | 14,0 | 14,2 | 14,5 | 14,6 | 14,6 | 14,3 | 14,0 | 14,0 | 14,0 | 14,3   | 14,4 | 14,2 | 14,2          |
| COL<br>BUCKINGHAM<br>- 21206670         | 14,0 | 14,1 | 14,4 | 14,5 | 14,5 | 14,2 | 13,9 | 14,0 | 14,0 | 14,3,0 | 14,4 | 14,2 | 14,2          |
| UMNG -<br>[2120690]                     | 14,0 | 14,1 | 14,4 | 14,5 | 14,5 | 14,2 | 13,9 | 13,9 | 14,0 | 14,3   | 14,4 | 14,1 | 14,2          |
| PARQUE SOPO<br>[21205517]               | 14,1 | 14,2 | 14,5 | 14,6 | 14,6 | 14,3 | 14,0 | 14,0 | 14,0 | 14,3   | 14,5 | 14,2 | 14,3          |
| TABIO<br>[21205522]                     | 14,0 | 14,1 | 14,4 | 14,5 | 14,5 | 14,2 | 13,9 | 13,9 | 14,0 | 14,3   | 14,4 | 14,2 | 14,2          |
| UNISALLE<br>NORTE<br>[21205013]         | 13,9 | 14,0 | 14,3 | 14,4 | 14,4 | 14,1 | 13,8 | 13,8 | 13,9 | 14,2   | 14,3 | 14,0 | 14,1          |
| TERMOZIPIA<br>[21206450]                | 13,6 | 13,7 | 14,0 | 14,1 | 14,1 | 13,8 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,8   | 14,0 | 13,7 | 13,8          |
| SUASUQUE<br>[21205920]                  | 13,5 | 13,7 | 13,9 | 14,0 | 14,0 | 13,7 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,8   | 13,9 | 13,7 | 13,7          |
| SANTILLANA<br>[21206020]                | 14,0 | 14,1 | 14,4 | 14,5 | 14,5 | 14,2 | 13,9 | 14,0 | 14,0 | 14,3   | 14,4 | 14,2 | 14,2          |
| PARAMO<br>GUERRERO -<br>AUT [21206930]  | 9,6  | 9,7  | 10,0 | 10,1 | 10,1 | 9,8  | 9,5  | 9,5  | 9,5  | 9,8    | 10,0 | 9,7  | 9,8           |
| NUEVA<br>GENERACION -<br>AUT [21206600] | 13,9 | 14,0 | 14,3 | 14,4 | 14,4 | 14,1 | 13,8 | 13,9 | 13,9 | 14,2   | 14,3 | 14,1 | 14,1          |
| LLANO EL<br>[21205990]                  | 14,0 | 14,1 | 14,4 | 14,5 | 14,5 | 14,2 | 13,9 | 13,9 | 13,9 | 14,2   | 14,4 | 14,1 | 14,2          |
| LA COSECHA -<br>AUT [21205910]          | 14,2 | 14,4 | 14,7 | 14,8 | 14,8 | 14,5 | 14,2 | 14,2 | 14,2 | 14,5   | 14,6 | 14,4 | 14,4          |
| COL MIGUEL A.<br>CARO [21206690]        | 13,2 | 13,3 | 13,6 | 13,7 | 13,7 | 13,4 | 13,1 | 13,1 | 13,2 | 13,5   | 13,6 | 13,4 | 13,4          |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

La temperatura promedio oscila entre los 14 y los 9°C en general, contando con valores máximos de temperatura en los meses de abril y noviembre, coincidiendo con los picos de precipitación en la región. Este resultado se debe a la saturación o humedecimiento de los suelos y las plantas, ya que el agua tiene un mayor calor específico que el suelo, por tanto, la fluctuación de temperatura a lo largo del día se ve atenuada por el grado de humedad del terreno, dadas las temporadas de altas precipitaciones, y favoreciendo el registro de temperaturas más altas por parte de las estaciones meteorológicas.

Respecto a la temperatura mínima, esta varía entre los 8 y los 13°C entre las diferentes estaciones dentro y fuera del territorio de Cajicá, con variaciones del orden de 1.4°C a lo largo del año, conforme se puede observar en la Tabla 17.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

**Tabla 17. Temperatura mínima mensual.**

| ESTACION                                | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT. | NOV. | DIC. |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C.UNIV.AGROP-<br>UDCA [21206260]        | 13,2 | 13,3 | 13,8 | 13,6 | 14,1 | 13,5 | 13,2 | 12,9 | 13,0 | 13,5 | 13,9 | 13,1 |
| COL<br>BUCKINGHAM -<br>21206670         | 13,2 | 13,3 | 13,8 | 13,6 | 14,1 | 13,4 | 13,2 | 12,9 | 12,9 | 13,4 | 13,8 | 13,1 |
| UMNG - [2120690]                        | 13,2 | 13,2 | 13,7 | 13,5 | 14,0 | 13,4 | 13,2 | 12,8 | 12,9 | 13,4 | 13,8 | 13,1 |
| PARQUE SOPO<br>[21205517]               | 13,2 | 13,3 | 13,8 | 13,6 | 14,1 | 13,5 | 13,2 | 12,9 | 13,0 | 13,5 | 13,9 | 13,2 |
| TABIO [21205522]                        | 13,2 | 13,2 | 13,8 | 13,6 | 14,0 | 13,4 | 13,2 | 12,9 | 12,9 | 13,4 | 13,8 | 13,1 |
| UNISALLE NORTE<br>[21205013]            | 13,1 | 13,1 | 13,6 | 13,4 | 13,9 | 13,3 | 13,1 | 12,7 | 12,8 | 13,3 | 13,7 | 13,0 |
| TERMOZIPIA<br>[21206450]                | 12,7 | 12,8 | 13,3 | 13,1 | 13,6 | 13,0 | 12,8 | 12,4 | 12,5 | 13,0 | 13,4 | 12,7 |
| SUASUQUE<br>[21205920]                  | 12,7 | 12,8 | 13,3 | 13,1 | 13,6 | 12,9 | 12,7 | 12,4 | 12,4 | 12,9 | 13,3 | 12,6 |
| SANTILLANA<br>[21206020]                | 13,2 | 13,3 | 13,8 | 13,6 | 14,1 | 13,4 | 13,1 | 12,9 | 12,9 | 13,4 | 13,8 | 13,1 |
| PARAMO<br>GUERRERO - AUT<br>[21206930]  | 8,8  | 8,8  | 9,3  | 9,1  | 9,6  | 9,0  | 8,8  | 8,4  | 8,5  | 9,0  | 9,4  | 8,7  |
| NUEVA<br>GENERACION -<br>AUT [21206600] | 13,1 | 13,2 | 13,7 | 13,5 | 14,0 | 13,3 | 13,1 | 12,8 | 12,8 | 13,3 | 13,7 | 13,0 |
| LLANO EL<br>[21205990]                  | 13,2 | 13,2 | 13,7 | 13,5 | 14,0 | 13,4 | 13,2 | 12,8 | 12,9 | 13,4 | 13,8 | 13,1 |
| LA COSECHA -<br>AUT [21205910]          | 13,4 | 13,5 | 14,0 | 13,8 | 14,3 | 13,7 | 13,4 | 13,1 | 13,2 | 13,7 | 14,1 | 13,3 |
| COL MIGUEL A.<br>CARO [21206690]        | 12,4 | 12,4 | 13,0 | 12,8 | 13,2 | 12,6 | 12,4 | 12,1 | 12,1 | 12,6 | 13,0 | 12,3 |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Los meses que cuentan con los menores registros de temperatura son agosto, diciembre y enero, meses que corresponden a las épocas de bajas precipitaciones en el municipio de Cajicá, esto se debe a que la ausencia de humedad en el suelo, acompañado por el bajo calor específico de la tierra seca, produce descensos dramáticos de temperatura en ausencia de radiación solar (repercutiendo en noches y madrugadas muy frías), proceso que se ve reflejado en la temperatura mínima que registra el termómetro de bulbo seco de las estaciones de estudio.



Los registros máximos de temperatura fluctúan entre los 10 y 16°C (ver Tabla 18), mostrando una estacionalidad a lo largo del año, alimentado por diferentes factores como la exposición a la radiación solar y la humedad del suelo principalmente.

**Tabla 18. Temperatura máxima mensual.**

| ESTACION                          | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT. | NOV. | DIC. |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C.UNIV.AGROP-UDCA [21206260]      | 15,1 | 15,2 | 15,8 | 15,5 | 15,2 | 14,8 | 14,7 | 14,5 | 14,9 | 14,8 | 15,0 | 15,2 |
| COL BUCKINGHAM - 21206670         | 15,1 | 15,1 | 15,7 | 15,5 | 15,2 | 14,8 | 14,6 | 14,5 | 14,8 | 14,8 | 15,0 | 15,2 |
| UMNG - [2120690]                  | 15,1 | 15,1 | 15,7 | 15,5 | 15,2 | 14,7 | 14,6 | 14,5 | 14,8 | 14,7 | 15,0 | 15,2 |
| PARQUE SOPO [21205517]            | 15,1 | 15,2 | 15,8 | 15,5 | 15,2 | 14,8 | 14,7 | 14,6 | 14,9 | 14,8 | 15,1 | 15,2 |
| TABIO [21205522]                  | 15,1 | 15,1 | 15,7 | 15,5 | 15,2 | 14,7 | 14,6 | 14,5 | 14,8 | 14,7 | 15,0 | 15,2 |
| UNISALLE NORTE [21205013]         | 15,0 | 15,0 | 15,6 | 15,4 | 15,1 | 14,6 | 14,5 | 14,4 | 14,7 | 14,6 | 14,9 | 15,0 |
| TERMOZIPA [21206450]              | 14,6 | 14,7 | 15,3 | 15,0 | 14,7 | 14,3 | 14,2 | 14,1 | 14,4 | 14,3 | 14,6 | 14,7 |
| SUASUQUE [21205920]               | 14,6 | 14,6 | 15,2 | 15,0 | 14,7 | 14,3 | 14,1 | 14,0 | 14,4 | 14,3 | 14,5 | 14,7 |
| SANTILLANA [21206020]             | 15,1 | 15,1 | 15,7 | 15,5 | 15,2 | 14,8 | 14,6 | 14,5 | 14,8 | 14,8 | 15,0 | 15,2 |
| PARAMO GUERRERO - AUT [21206930]  | 10,6 | 10,7 | 11,3 | 11,1 | 10,7 | 10,3 | 10,2 | 10,1 | 10,4 | 10,3 | 10,6 | 10,7 |
| NUEVA GENERACION - AUT [21206600] | 15,0 | 15,0 | 15,6 | 15,4 | 15,1 | 14,7 | 14,5 | 14,4 | 14,7 | 14,7 | 14,9 | 15,1 |
| LLANO EL [21205990]               | 15,0 | 15,1 | 15,7 | 15,5 | 15,1 | 14,7 | 14,6 | 14,5 | 14,8 | 14,7 | 15,0 | 15,1 |
| LA COSECHA - AUT [21205910]       | 15,3 | 15,4 | 16,0 | 15,7 | 15,4 | 15,0 | 14,9 | 14,7 | 15,1 | 15,0 | 15,2 | 15,4 |
| COL MIGUEL A. CARO [21206690]     | 14,3 | 14,3 | 14,9 | 14,7 | 14,4 | 13,9 | 13,8 | 13,7 | 14,0 | 13,9 | 14,2 | 14,4 |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Los mayores registros de temperatura se encuentran en los meses de abril y mayo, correspondiente a la primera temporada de altas precipitaciones del año y debiéndose al aumento de la humedad del suelo, factor que incrementa la evapotranspiración potencial del terreno y ocasiona un incremento en la temperatura por la liberación de calor latente del agua al cambiar a estado gaseoso e incorporarse a la atmósfera.

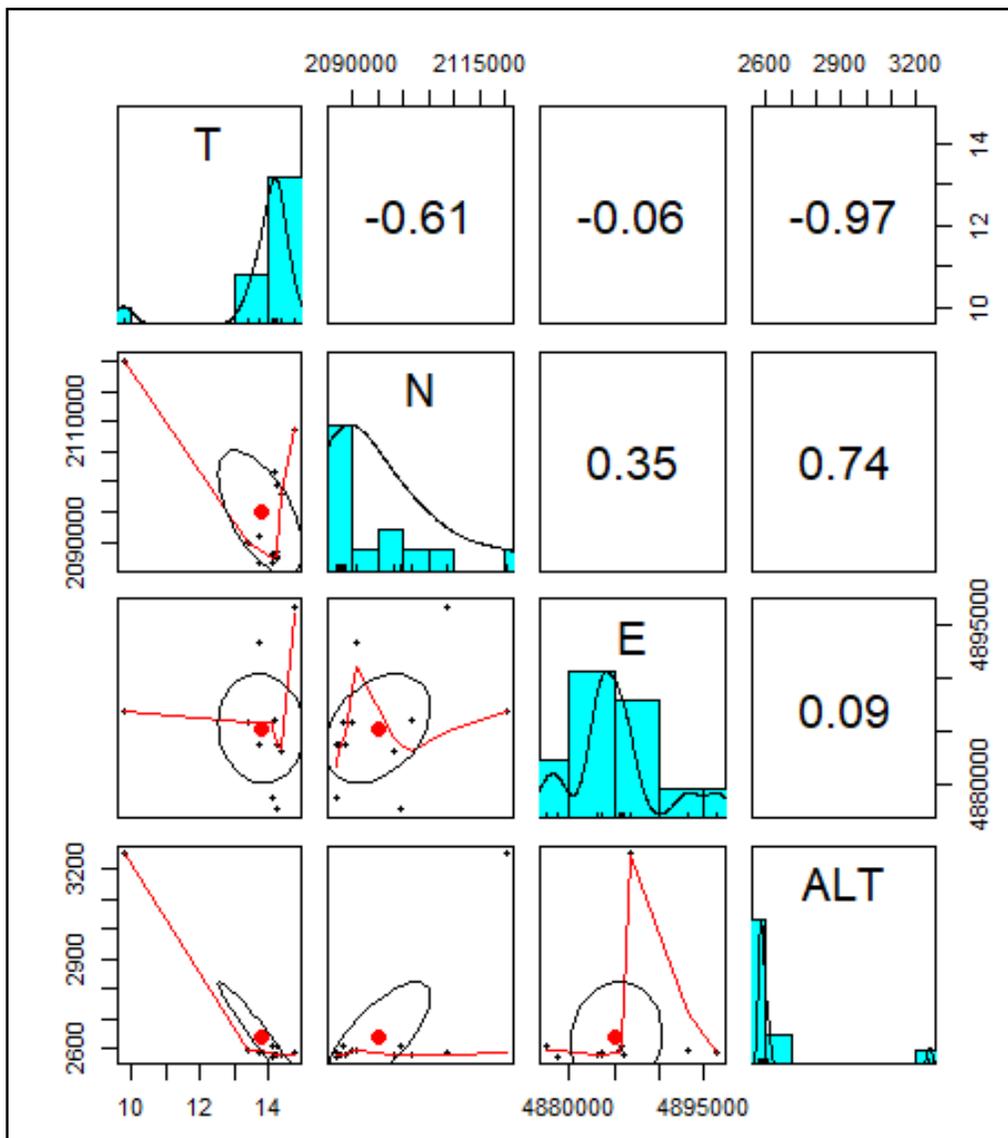
Los meses de diciembre y enero cuentan también con registros relativamente altos de temperatura, explicados por la ausencia de nubosidad y, por tanto, mayor exposición a la

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

radiación solar durante el día, fenómeno que se relaciona directamente con el aumento de la temperatura durante el día (6am a 6pm).

#### 1.5.5.1.2.5. Distribución espacial de la temperatura

La interpolación de los valores de temperatura se realizó a partir de los registros procesados de la variable de las estaciones meteorológicas, buscando una correlación con la altitud, la latitud y la longitud geográfica para obtener un resultado más certero y acorde con la realidad. El análisis exploratorio de la regionalización de la temperatura se resume en la Ilustración 16.



**Ilustración 16. Correlación de la temperatura con la coordenada Norte, Este y la altitud.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Conforme el análisis de las correlaciones de la temperatura con las coordenadas Norte y Este, y con la altitud, se obtuvo una correlación inversa del 0.97 entre la altura y la temperatura conforme

|  |   |  |               |  |
|--|---|--|---------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>         INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>         RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>         CUNDINAMARCA</b> |  |               | <br>ARCO<br>C & C |
|  | <b>ASPECTOS<br/>         GENERALES<br/>         SUELO RURAL</b>   | <b>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>         DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |  |

los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas, implicando un proceso fiable y procedente para la regionalización de la variable a partir de la altura en la región.

A partir de la implementación del modelo de temperatura, y utilizando el Sistema de Información Geográfico ARCGIS, se elaboró el mapa de isotermas para el municipio de Cajicá y sus alrededores (Ilustración 17).

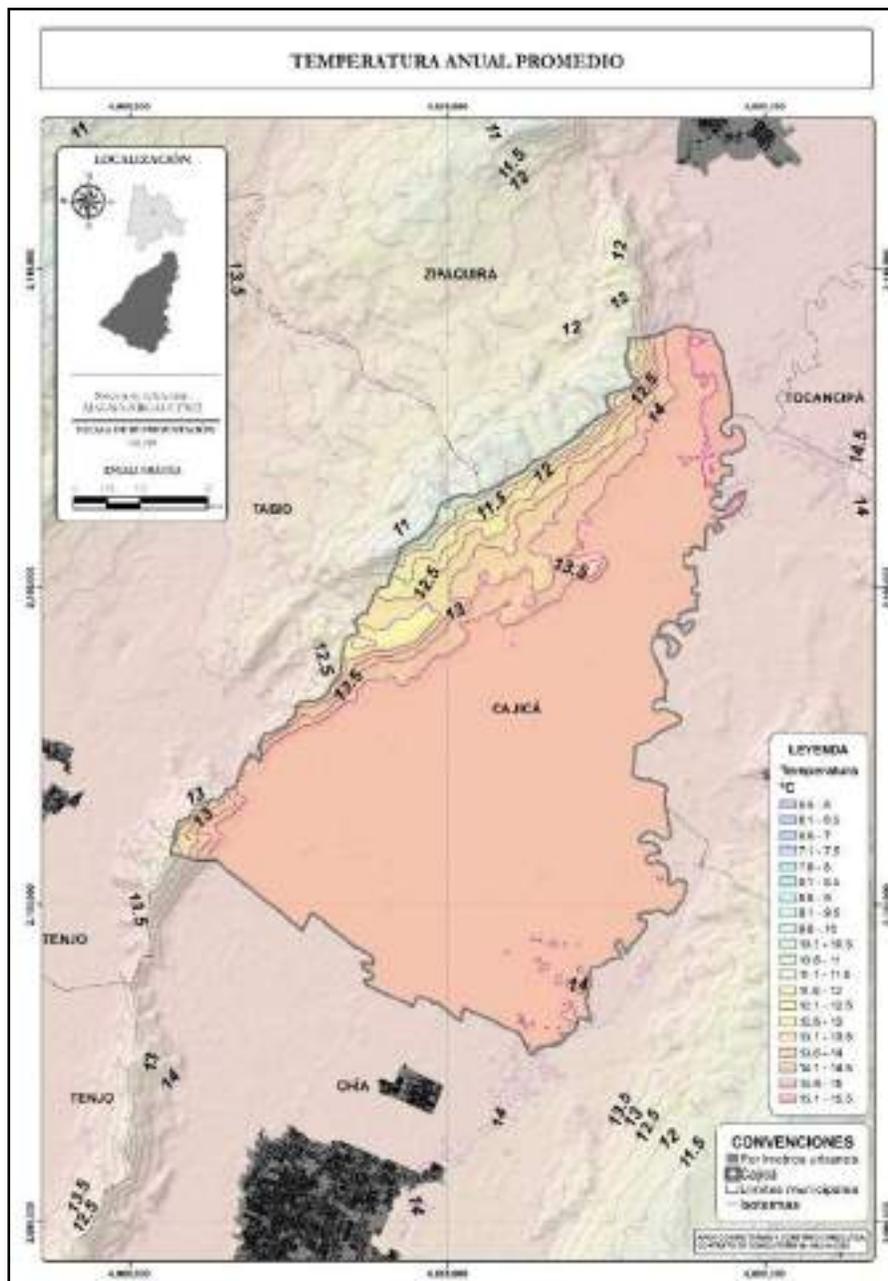


Ilustración 17. Mapa de temperatura anual multianual del municipio de Cajicá

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

El valle del Río Bogotá, donde se ubica el casco urbano del municipio de Cajicá, cuenta con temperaturas anuales del orden de los 14°C, siendo los valores predominantes para el territorio. Por otra parte, la ladera occidental del municipio cuenta con un decrecimiento de la temperatura conforme se sube altitudinalmente, llegando a los 11°C promedio en las partes más altas del municipio.

### 1.5.5.1.3. Vientos

El término “viento”, en meteorología, hace referencia a los movimientos de las partículas de la atmósfera únicamente dada por el componente horizontal de su flujo (corrientes advectivas). Esto implica que, dentro de las ecuaciones de flujo y de termodinámica que describen el movimiento del aire en la atmósfera, las corrientes convectivas o verticales son aproximadas a cero, procedimiento que simplifica la descripción del mismo, pero que omite ciertos fenómenos de microescala que perturban la circulación atmosférica (Tsonis, 2007).

La circulación del aire en la atmósfera se produce por la acción de las fuerzas de gravedad, del gradiente de presión y de rozamiento, aunque en su estudio también deben considerarse fuerzas aparentes, que deben describirse dependiendo del sistema de coordenadas con el que se analiza la dinámica atmosférica, como es el caso de la fuerza de Coriolis.

La magnitud y la dirección del viento se miden en las estaciones meteorológicas con ayuda de anemógrafos y veletas, instrumentos que se ubican lo más elevados posibles y alejados de construcciones, árboles y demás obstáculos que puedan perturbar la toma de datos.

#### 1.5.5.1.3.1. Fuentes de información

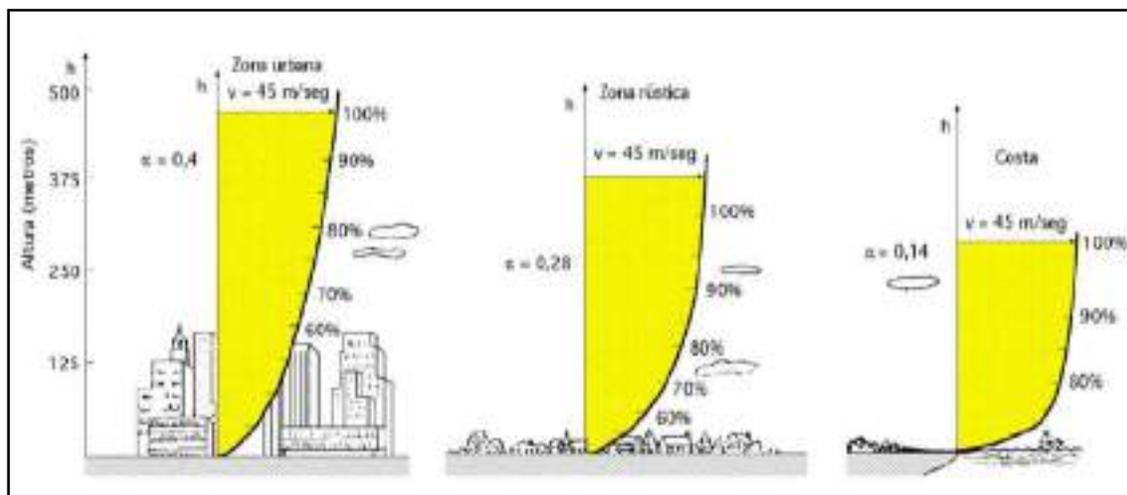
Debido a que los instrumentos de medición del viento no se encuentran incorporados en varios tipos de estaciones meteorológicas, existe en general una limitante respecto a la cantidad de información disponible de esta variable a partir de datos observados. Para el municipio de Cajicá y los aledaños, se encontró información únicamente de 3 estaciones, todas bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR y con información de menos de 3 años cada una, siendo registros del viento que no son significativos para estudios a nivel de clima.

Por esta razón, se acudió a la base de datos de la plataforma WorldClim, la cual almacena los registros globales de la magnitud del viento desde 1970 al año 2000 en una resolución de 1km<sup>2</sup> por pixel para los 12 meses del año en formato TIFF. Esta información al ser procesada, permite obtener la magnitud, más no la dirección, del viento sobre la región de análisis.

### 1.5.5.1.3.2. Magnitud del viento

La magnitud y la dirección del flujo de aire en los 3 ejes cartesianos (x, y, z) se denota vectorialmente con la letra “U”, mientras que su componente en cada eje se denota “u” en la dirección “x”, “v” en la componente “y”, y “w” en la componente “z”. La magnitud del “viento” se obtiene al encontrar el módulo de su vector en las direcciones “x” y “y” (u, v), dando como resultado un escalar, sin componente direccional y despreciando los movimientos verticales (eje “z”) de aire.

La magnitud del viento tiene correlación con la altitud, las barreras topográficas y los fenómenos de escala sinóptica principalmente, lo que hace complicada su descripción y regionalización sobre un área en específico. La Ilustración 18 muestra los diferentes perfiles de velocidad del viento que se pueden obtener, dados diferentes escenarios de análisis.



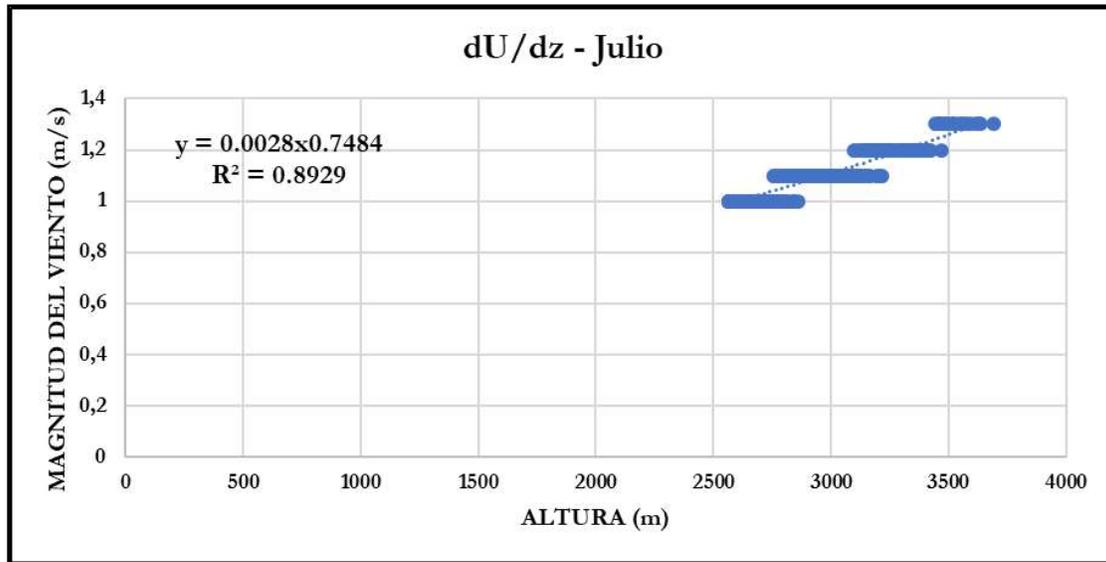
**Ilustración 18. Perfiles de velocidad del viento en diferentes escenarios.**

Fuente: Racero Armario Cristóbal (2012).

A pesar de la variabilidad del perfil del viento en diferentes lugares, se conserva una relación exponencial entre la magnitud del movimiento y la altura, correlación que resulta útil para la regionalización de la variable en cuestión.

Ante la dificultad de tener información de la magnitud del viento a partir de las estaciones meteorológicas, se obtuvo en un registro de 1970-2000 desde la plataforma WorldClim para los 12 meses del año. Esta información fue correlacionada con la altitud del Modelo Digital de

Elevación (DEM) de la zona para generar una función de predicción de la variable a partir de la altura. Se obtuvieron ecuaciones mensuales con una correlación entre 0.70 y 0.92 respecto a los datos satelitales y dependiendo del mes de análisis. La Ilustración 19, muestra la ecuación exponencial de correlación del viento con la altura para el mes de julio.



**Ilustración 19. Función de correlación de la magnitud del viento con la altura para el mes de julio**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Este proceso fue realizado para los 12 meses del año, a partir de los datos de WorldClim y extrayendo los valores de altura del DEM utilizando las herramientas “Raster to points” y “Extract values to points” del software ARCGIS. Una vez encontradas las expresiones para calcular la magnitud del viento a partir de la altura, se regionalizó la variable a la resolución del DEM utilizando la herramienta “Raster calculator”, dando como resultado 12 mapas de la magnitud del viento (uno para cada mes) de alta resolución, cuyos valores fueron promediados para obtener el mapa de magnitud anual histórico del viento para el municipio de Cajicá (Ilustración 20).

El viento se comporta de manera homogénea en la zona del valle del Río Bogotá, siendo del orden de 0.9 m/s en su promedio anual, velocidad que aumenta hasta los 1.2 m/s en su margen occidental influenciado por la altura y el relieve montañoso. Estos registros sugieren la relativa

|   |  |   |               |   |
|---|--|---|---------------|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |               |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> | <p>CAJICÁ</p> |   |

calma de los vientos a lo largo del año, aunque se presentan incrementos en su velocidad en los meses de julio y agosto, y descensos de sus valores en los meses de diciembre y enero como respuesta a cambios locales de la circulación atmosférica.

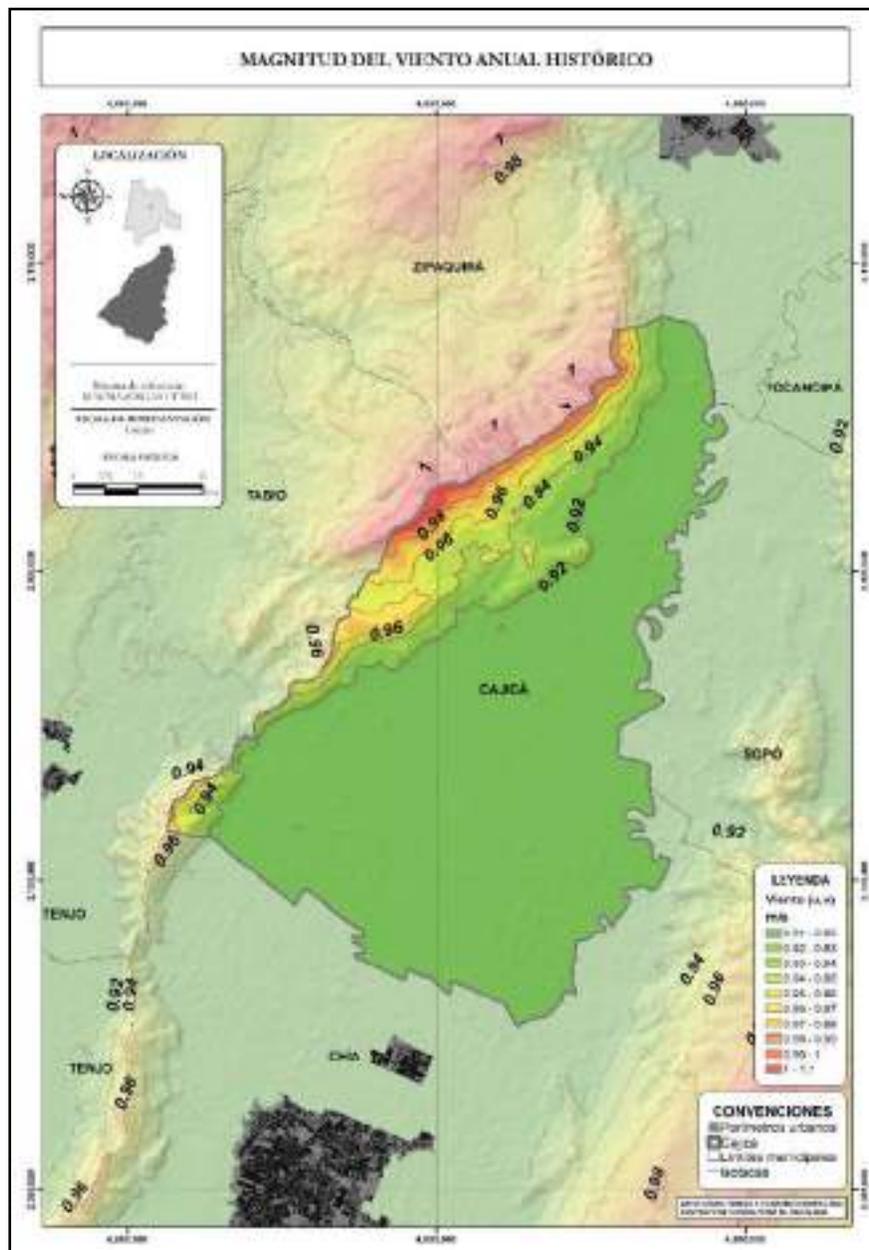


Ilustración 20. Magnitud del viento anual multianual para el municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

### 1.5.5.1.3.3. Dirección del viento

Respecto a la componente direccional del viento, la mejor herramienta para determinar su orientación promedio es a través de la elaboración de “rosetas de viento”. Este proceso se realiza mediante la determinación de la frecuencia del paso del viento en todas las direcciones en un plano cartesiano. Ante la dificultad del acceso a información de vientos o la ausencia de veletas en las estaciones meteorológicas, resulta práctico analizar la dirección del viento a partir de los registros proporcionados por el IDEAM en su “Atlas de vientos” disponible en la web, donde la estación meteorológica más cercana, y ubicada en el valle del Río Bogotá, es la correspondiente a la estación sinóptica llamada “APTO EL DORADO”, cuya rosa de vientos permite hacer una aproximación a las condiciones de esta variable sobre el municipio de Cajicá (Ilustración 21).

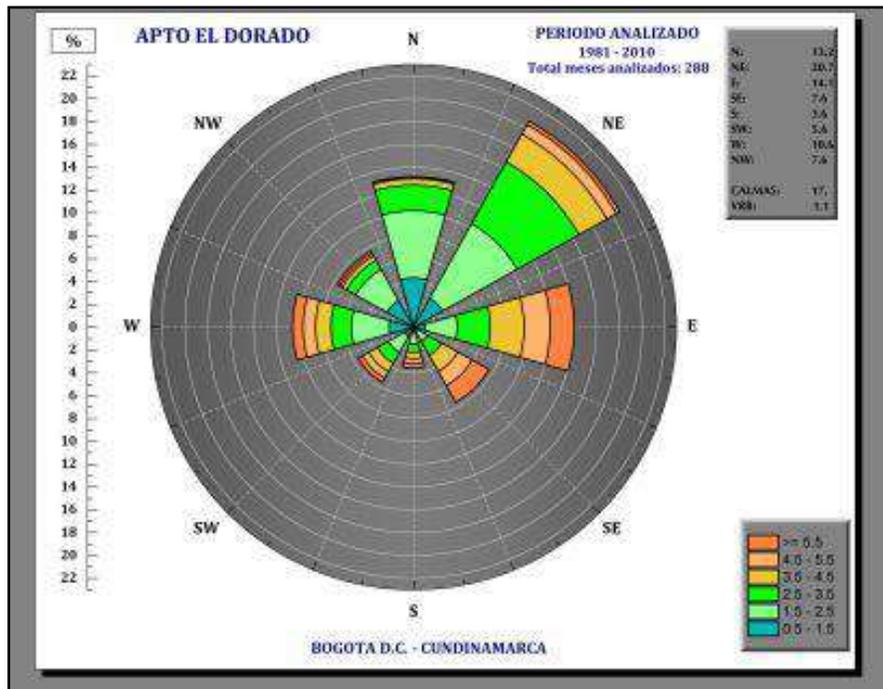


Ilustración 21. Roseta de vientos de la estación "APTO EL DORADO"

Fuente: IDEAM (2021).

Es importante indicar que la roseta de vientos se construye con la dirección de donde viene el viento, no hacia donde se dirige. Teniendo esto en cuenta, la mayor frecuencia de dirección de los vientos proviene del Noreste, con algunos registros significativos provenientes del Norte,

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

Este y en menor medida del Oeste y del Sur. Esta información es concordante con las cartas meteorológicas de Colombia a escala Sinóptica, donde prevalecen del mismo modo los vientos en calma y débiles durante todo el año, con algunos episodios donde se puede llegar a los 5m/s en algunas épocas del año (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2021).

#### 1.5.5.1.4. Radiación y Brillo Solar

La irradiancia solar es definida como la energía solar recibida en la superficie por cada metro cuadrado en un periodo de tiempo determinado (Lorente, 2010). Esta radiación percibida en La Tierra depende en principio de los movimientos orbitales del planeta y del sol y de la composición atmosférica, la cual repercute en la absorción o el reflejo de la radiación de onda corta al espacio exterior.

El brillo solar por su parte hace referencia al lapso de tiempo en ausencia de nubes durante el día, en el cual la cantidad de luz solar estimula la realización de fotosíntesis en las plantas, es decir, del orden de los 100W/m<sup>2</sup>.

La magnitud y la duración de la radiación solar sobre una región en específico repercute directamente en la temperatura de la región, en la densidad de vegetación, la humedad de la atmósfera, entre otros procesos físicos, químicos y biológicos moderadores del clima. Por tanto, son variables sumamente importantes para entender la dinámica meteorológica del territorio.

A pesar de la relevancia de la radiación solar sobre cualquier área de estudio, su medición es poco frecuente en comparación a las mediciones de temperatura y precipitación, Por esta razón, se han desarrollado diferentes metodologías para estimar y regionalizar esta variable sin tratarse datos observados por estaciones meteorológicas.

##### 1.5.5.1.4.1. Fuentes de información

Las estaciones meteorológicas ubicadas dentro y en las inmediaciones del municipio de Cajicá no cuentan con registros de radiación y brillo solar, o cuentan con muy poca información para estudios climáticos. Por esta razón se hizo uso de una estación del Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales IDEAM ubicado en el extremo norte de la ciudad de Bogotá, estación que cuenta con registros continuos de radiación y brillo solar registrados a partir del heliógrafo localizado en la estación “C. UNIV. AGROP-UDCA [21206260]” para un periodo de 2010 a 2020.

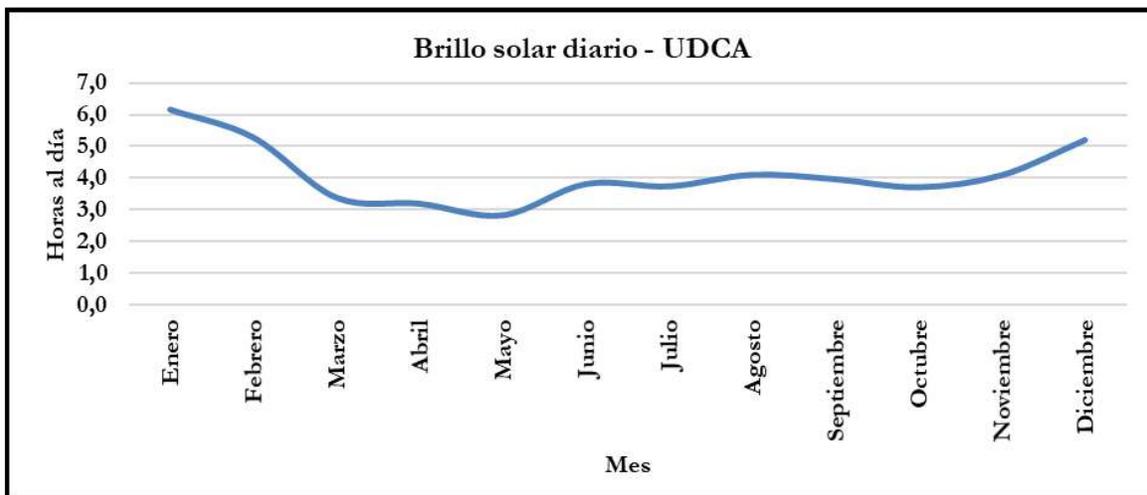
Para regionalizar las variables climáticas en el territorio comprendido por el municipio de Cajicá y sus inmediaciones, se utilizó la metodología empírica de Angstrom-Prescott, la cual sugiere una

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

serie de cálculos, dentro de los que se estiman diferentes correcciones astronómicas dados los movimientos de La Tierra y del Sol, siendo estos ajustes operados con los valores observados por la estación meteorológica. Los resultados son la base para encontrar una regresión que estime los valores de radiación solar en función de la latitud geográfica (despreciando otros factores relevantes como la nubosidad).

#### 1.5.5.1.4.2. Brillo solar

El brillo solar es el lapso del tiempo, medido en horas, en el cual existe luz solar, información que es captada por el heliógrafo de las estaciones meteorológicas, el cual registra la duración de la irradiación del sol cuando esta supera los  $100W/m^2$ . Los valores son registrados desde las 5am hasta las 6pm cada hora, y la sumatoria de estos valores conforma el brillo solar diario. Para la estación C. UNIV. AGROP-UDCA [21206260], la Ilustración 22 muestra el promedio multianual de brillo solar diario a nivel mensual.



**Ilustración 22. Brillo solar horario mensual multianual.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

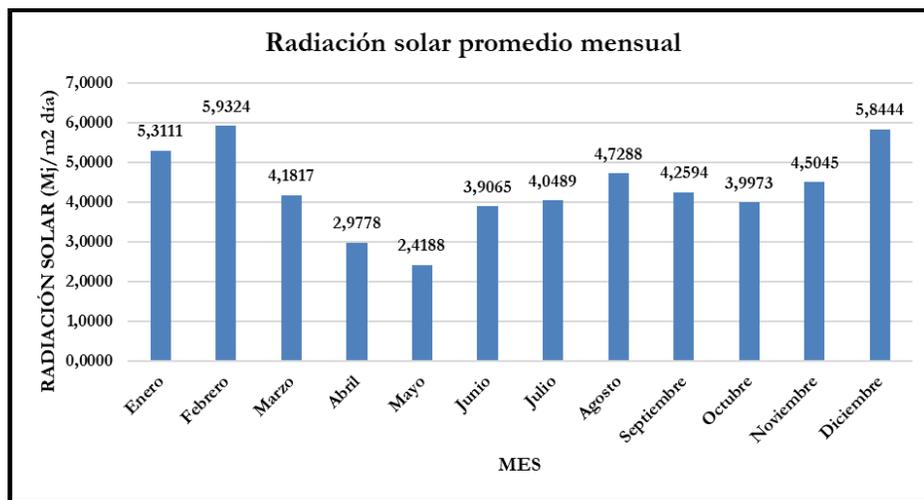
Los meses de enero y diciembre presentan la mayor cantidad de horas con brillo solar efectivo diario, siendo del orden de entre 5 y 6 horas. Esto es originado por la baja nubosidad que se presenta en la zona durante esta época del año, dadas las bajas precipitaciones. La mayor exposición a la radiación del sol en el territorio repercute generalmente en la desecación de los suelos, el descenso de los caudales superficiales y subterráneos, y la posible generación de incendios forestales.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

Caso contrario, el trimestre de marzo-abril-mayo es la época del año donde en promedio se presenta menor cantidad de horas con brillo solar efectivo, ocasionado principalmente por la alta nubosidad producto de la temporada de altas precipitaciones en la región en estos meses.

#### 1.5.5.1.4.3. Radiación solar

La radiación solar no es medida con frecuencia por parte de las estaciones meteorológicas, a pesar de ser una variable de inmensa importancia para el análisis de los procesos biológicos, de agricultura e hidrológicos (Lavorato, Lakkis, & Canziani, 2015). Por esta razón, se han desarrollado diversas metodologías para extrapolar los escasos datos de radiación solar y elaborar modelos de predicción de la variable en cuestión. La Ilustración 23 muestra el histograma de la radiación solar de base de datos de la estación “C. UNIV. AGROP-UDCA [21206260]”.



**Ilustración 23. Radiación solar diaria promedio mensual histórica**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Los meses de diciembre-enero-febrero cuentan con los mayores registros de radiación solar efectiva, siendo concordante con los resultados obtenidos del brillo solar horario y exhibiendo la intensa exposición del territorio a la irradiancia del sol durante estas épocas del año. El mes que cuenta con menores registros de radiación solar, del orden de los 2.41 Mj/m<sup>2</sup> día, corresponde al mes de mayo y relacionado con la posible alta nubosidad de la atmósfera en la primera época lluviosa del año.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Para regionalizar la variable, teniendo en cuenta que sólo existe una estación cercana al municipio de Cajicá con datos continuos de radiación solar, se usó la información observada y el modelo empírico Angstrom-Prescott de tercer orden, el cual se determina mediante la siguiente expresión:

$$\frac{R_s}{R_o} = a + b\left(\frac{n}{N}\right) + c\left(\frac{n}{N}\right)^2 + d\left(\frac{n}{N}\right)^3$$

Donde:

**R<sub>s</sub>** = Radiación solar promedio mensual

**R<sub>o</sub>** = Radiación solar promedio extraterrestre mensual

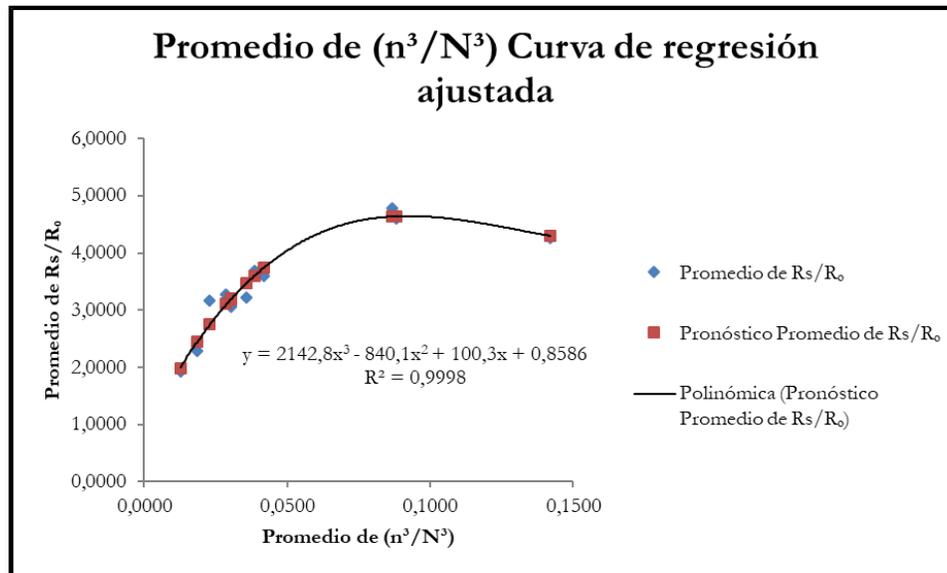
**n** = Promedio mensual de horas de brillo diaria

**N** = Promedio mensual de máxima cantidad de horas de sol al día

**a** = Intercepto de regresión

**b, c, d** = Coeficientes de regresión

A partir de esta expresión, se determinó una función para generar los datos de radiación a partir de la latitud geográfica. Esta metodología omite la nubosidad promedio de la región en las distintas épocas del año, dada la dificultad de establecer una medida cuantitativa para la misma. La regresión obtenida a partir del modelo Angstrom-Prescott se muestra en la Ilustración 24.

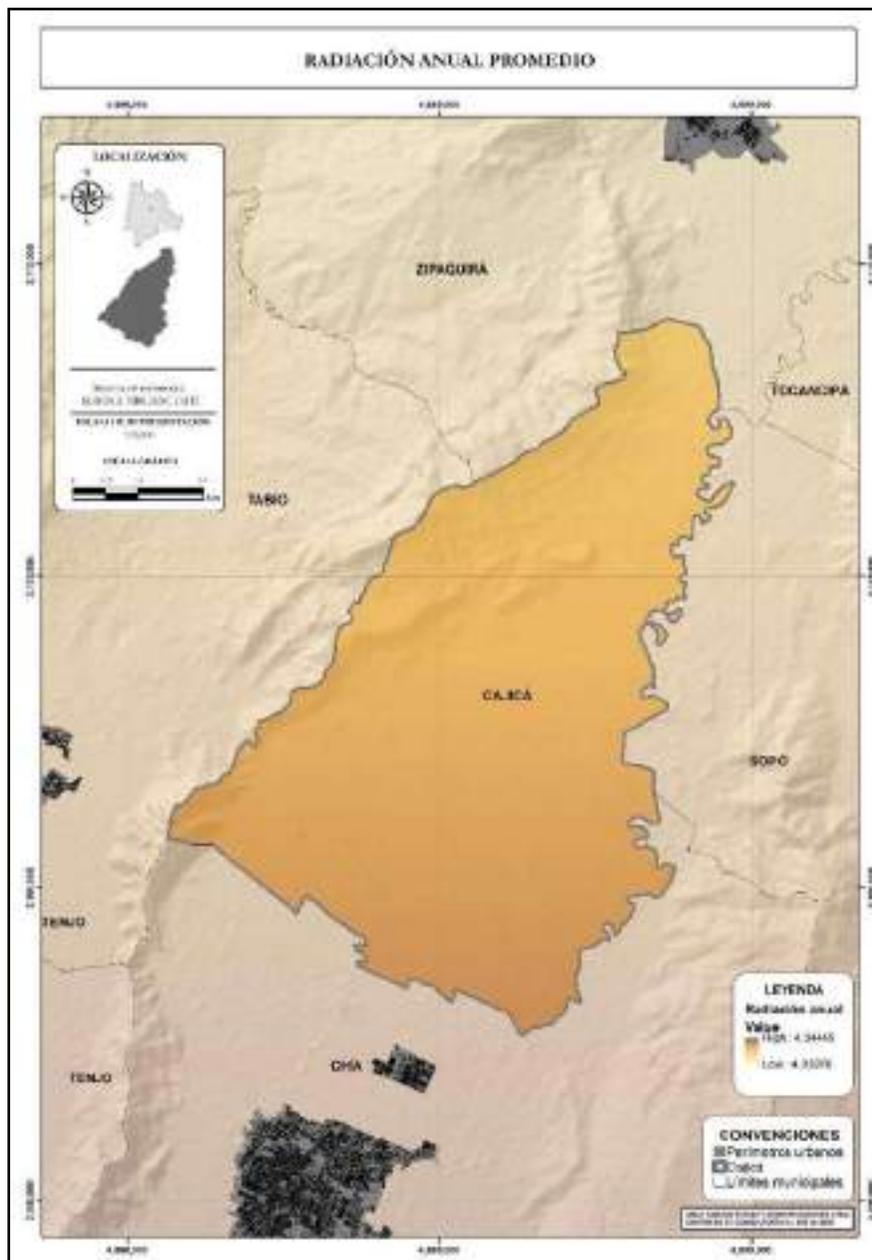


**Ilustración 24. Regresión ajustada para el cálculo de la radiación solar**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Los datos pronosticados por la regresión cuentan con una correlación del 0.9998 respecto a los datos observados por la estación, representando la fiabilidad del proceso para regionalizar la variable conforme la metodología propuesta.

Haciendo uso de la metodología descrita, se regionalizó la radiación solar diaria promedio para el municipio de Cajicá, presentada en la Ilustración 25. Se observa que bajo el modelo teórico de Angstrom-Prescott de estimación de la variable en cuestión, se cuenta con valores del orden de los 4.3 KWh/m<sup>2</sup>día para la totalidad del territorio, donde se presentan pequeñas variaciones conforme los cambios latitudinales hacia el ecuador terrestre.



**Ilustración 25. Radiación solar diaria promedio.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

#### 1.5.5.1.5. Presión de Vapor de Agua

La presión de vapor de agua es la fuerza que ejercen las moléculas en estado gaseoso de la atmósfera para evitar la evaporación de un cuerpo líquido, asumiendo un sistema termodinámico de únicamente dos fases: líquido y gaseoso (Tsonis, 2007). El aumento de la presión de vapor de agua implica que todo cuerpo líquido requiera mayor energía (radiación solar, por ejemplo) para lograr el cambio de estado y aportar moléculas en estado gaseoso a la atmósfera.

La presión de vapor de agua depende en principio de la temperatura del punto de rocío, donde a mayor temperatura esta presión se hace mayor y viceversa. Esto implica que, en las regiones topográficamente menos elevadas, y por tanto más calientes, esta variable se hace mínima y facilita el cambio de fase de los sistemas acuosos.

##### 1.5.5.1.5.1. Fuentes de información

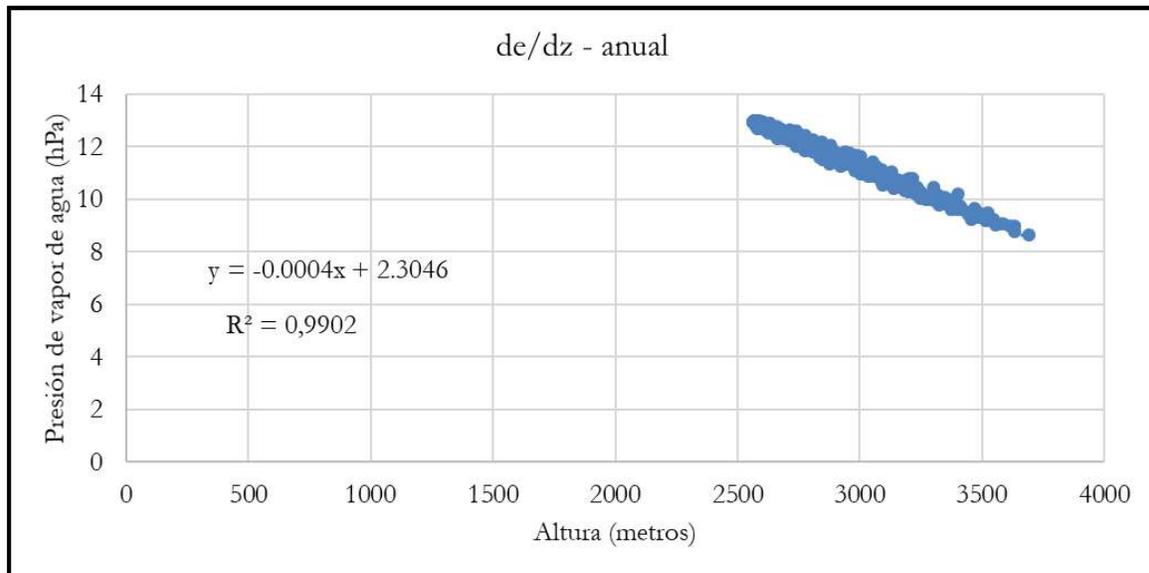
Los valores de la presión parcial de vapor de agua ( $e$ ) se derivan teóricamente de los valores obtenidos de temperatura de bulbo húmedo, ubicado en las garitas con termómetros de las estaciones meteorológicas. La temperatura “húmeda” es consignada y transformada mediante aproximaciones teóricas para encontrar la presión de vapor de agua, presión de vapor de saturación, humedad relativa y razón de mezcla de la atmósfera.

Dentro de la jurisdicción de Cajicá y los municipios aledaños no se encuentran amplios registros de “temperatura húmeda” para el procesamiento respectivo. Por esta razón, se hizo uso del registro de 1970-2000 de la presión de vapor de agua de la plataforma WorldClim para los 12 meses del año en una resolución de 1km<sup>2</sup> por pixel, información consignada en Kilopascales, y transformada a Hectopascales o Milibares (tienen la misma magnitud), las unidades de presión más comúnmente utilizadas en meteorología.

##### 1.5.5.1.5.2. Regionalización

Para bajar la escala de la resolución satelital a nivel de detalle, se hizo en primera instancia un raster promedio de los 12 meses de valores de la Presión de vapor de agua mediante la herramienta “Raster Calculator” de ARCGIS.

Posteriormente, y teniendo en cuenta la dependencia de la presión parcial de vaporización con la temperatura, y por tanto de la altura, se regionalizó la variable buscando una función para predecir la variable a partir de la altitud, es decir, con el Modelo Digital de Elevación (DEM) del territorio. La Ilustración 26 muestra la relación de ambas variables y la ecuación que la describe.



**Ilustración 26. Relación de la Presión de Vapor de Agua con la altura.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

La expresión que correlaciona la altitud con la presión de vapor de agua muestra una correlación inversa del 0.9902, donde la presión se hace menor conforme se sube altitudinalmente y, por tanto, baja la temperatura.

La regionalización de la variable se realizó a partir de la ecuación encontrada, donde los valores “x” corresponden a la altitud, la cual es proporcionada por el Modelo de Elevación Digital DEM. La Ilustración 27 muestra la Presión de vapor de agua para el municipio de Cajicá y sus alrededores, elaborada mediante la herramienta “Raster Calculator” de ARCGIS.

La presión de vapor presenta sus mayores valores en el valle del Río Bogotá, siendo del orden de los 12.6 a 13 hPa, sugiriendo la región donde se requiere de mayor energía (solar principalmente) para producir un cambio de fase de líquido a gaseoso por parte de las fuentes hídricas superficiales. Este proceso no implica necesariamente que exista menor evapotranspiración potencial en el territorio.

La región con menores valores para esta variable se ubica en el extremo occidental del municipio de Cajicá, a la altura de su cadena montañosa, en donde la temperatura del punto de rocío, de manera análoga con la temperatura ambiente, decrece con la altitud y debilita la presión que ejerce la atmósfera sobre los cuerpos acuosos para evitar su cambio de fase.

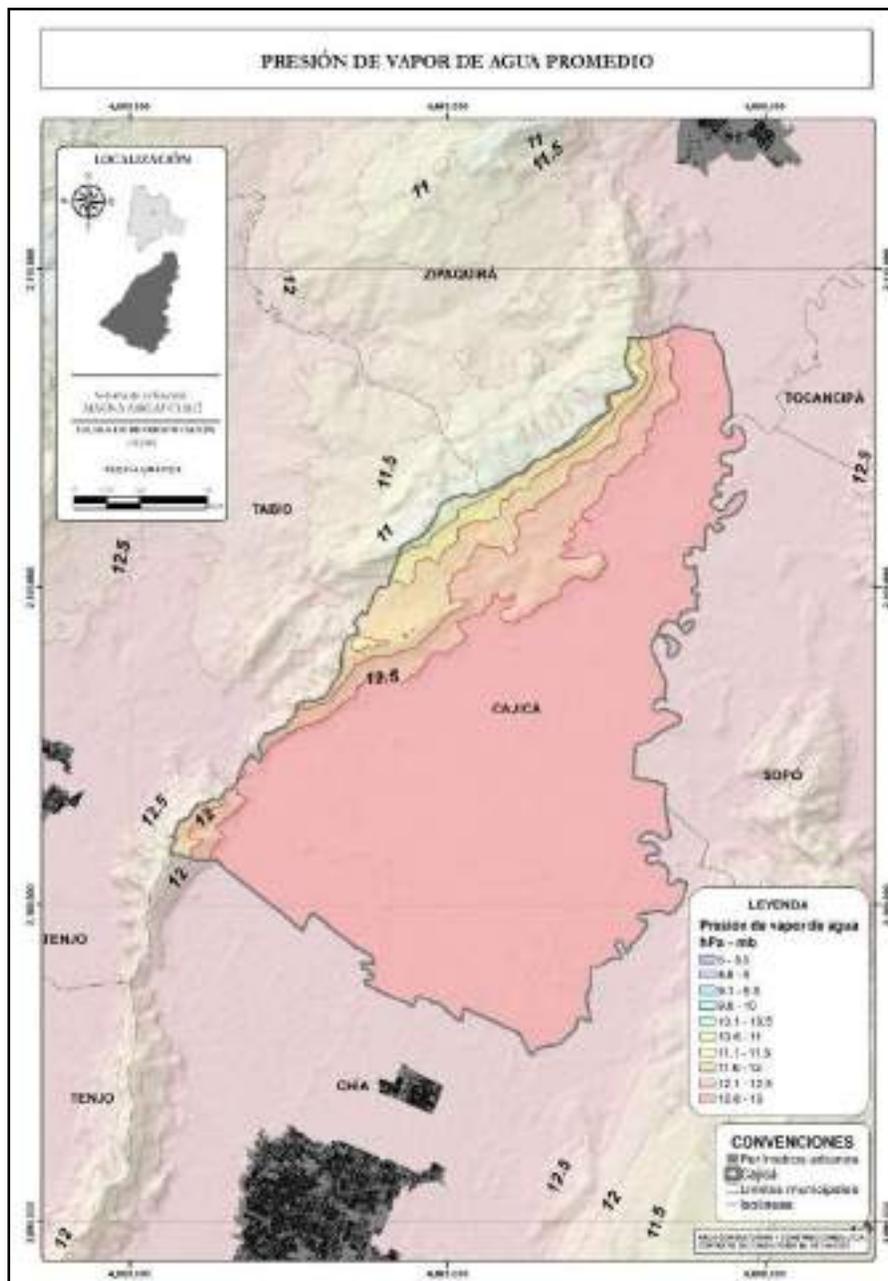


Ilustración 27. Mapa de presión de vapor de agua para el municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### 1.5.5.1.6. Presión de Vapor de Saturación

La presión de saturación (E) es la fuerza que ejerce un cuerpo líquido en su interior para romper la tensión superficial de la atmósfera y liberar moléculas de ese medio a la atmósfera en estado gaseoso (Nieves Martínez, 2014). En un mismo fluido, esta fuerza es contraria a la presión de vapor de agua (e).

Esta variable depende principalmente de la temperatura ambiente, ya que esta medida define la fuerza que ejerce una parcela de aire saturada o sobresaturada, es decir, donde la temperatura ambiente y del punto de rocío son iguales o aproximadamente iguales.

#### 1.5.5.1.6.1. Regionalización

A partir de la ecuación de Clausius-Clapeyron, mediante una solución empírica a esta expresión, se obtiene una función que relaciona la temperatura (ya calculada) con la Presión de vapor de saturación (realizando algunas aproximaciones teóricas), la cual se define como:

$$E = 6.11 \exp 53,49 - \left(\frac{6808}{T}\right) - 5.09 * \ln(T)$$

Donde:

**E** = Presión de vapor de saturación

**T** = Temperatura

Utilizando esta ecuación, y con la herramienta “raster calculator” de ARCGIS, se regionalizó la Presión de vapor de saturación a partir del mapa de temperatura mostrado previamente (Ilustración 17). El resultado para el municipio de Cajicá y sus inmediaciones se muestra en la Ilustración 28.

En la ladera occidental del municipio de Cajicá se cuenta con los menores valores de Presión de vapor de saturación (13 hPa), es decir, corresponde a la región donde los medios acuosos ejercen menor fuerza sobre la atmósfera para cambiar de estado líquido a gaseoso.

Los mayores registros de esta variable, del orden de los 16 hPa, se localizan sobre el valle del Río Bogotá, correspondiendo a la mayor parte del territorio comprendido por el municipio de Cajicá, favoreciendo la evaporación de agua en esta región.

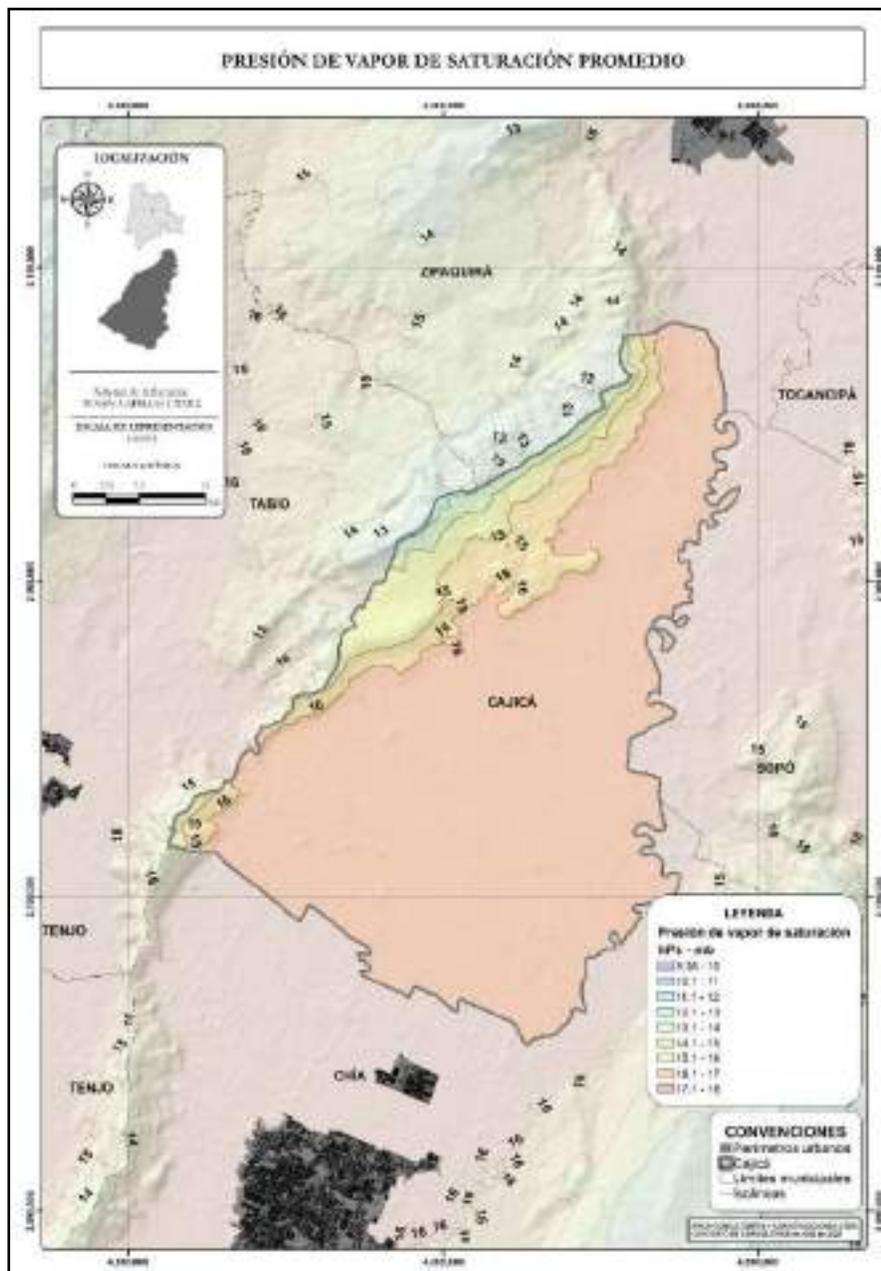


Ilustración 28. Mapa de Presión de vapor de saturación para el municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### 1.5.5.1.7. Humedad Relativa

La humedad relativa se define como el cociente entre la presión parcial de vaporización y la presión de vapor de saturación a una temperatura T, también es aproximadamente igual al cociente de la razón de mezcla de una parcela seca y de una parcela saturada. la ecuación que describe esta variable climática se define cómo:

$$Rh = \frac{e}{E} * 100\%$$

Donde:

**Rh** = Humedad relativa

**e** = Presión de vapor de agua

**E** = Presión de vapor de saturación

Teniendo en cuenta que ambas presiones fueron determinadas en los apartados anteriores, y haciendo uso de la expresión descrita, se regionalizó la humedad relativa para el municipio de Cajicá y sus alrededores mediante la herramienta “Raster calculator” de ARCGIS (Ilustración 29).

La franja central del municipio de Cajicá cuenta con los menores valores de humedad relativa, siendo inferiores al 74% e implicando una atmósfera con bajo nivel de partículas de agua en su composición promedio. La humedad relativa crece en los márgenes occidental y oriental del municipio, llegando al 82% en la zona más alta y representando el área donde la composición atmosférica cuenta con mayor cantidad de agua y, por tanto, hay un mayor confort térmico.

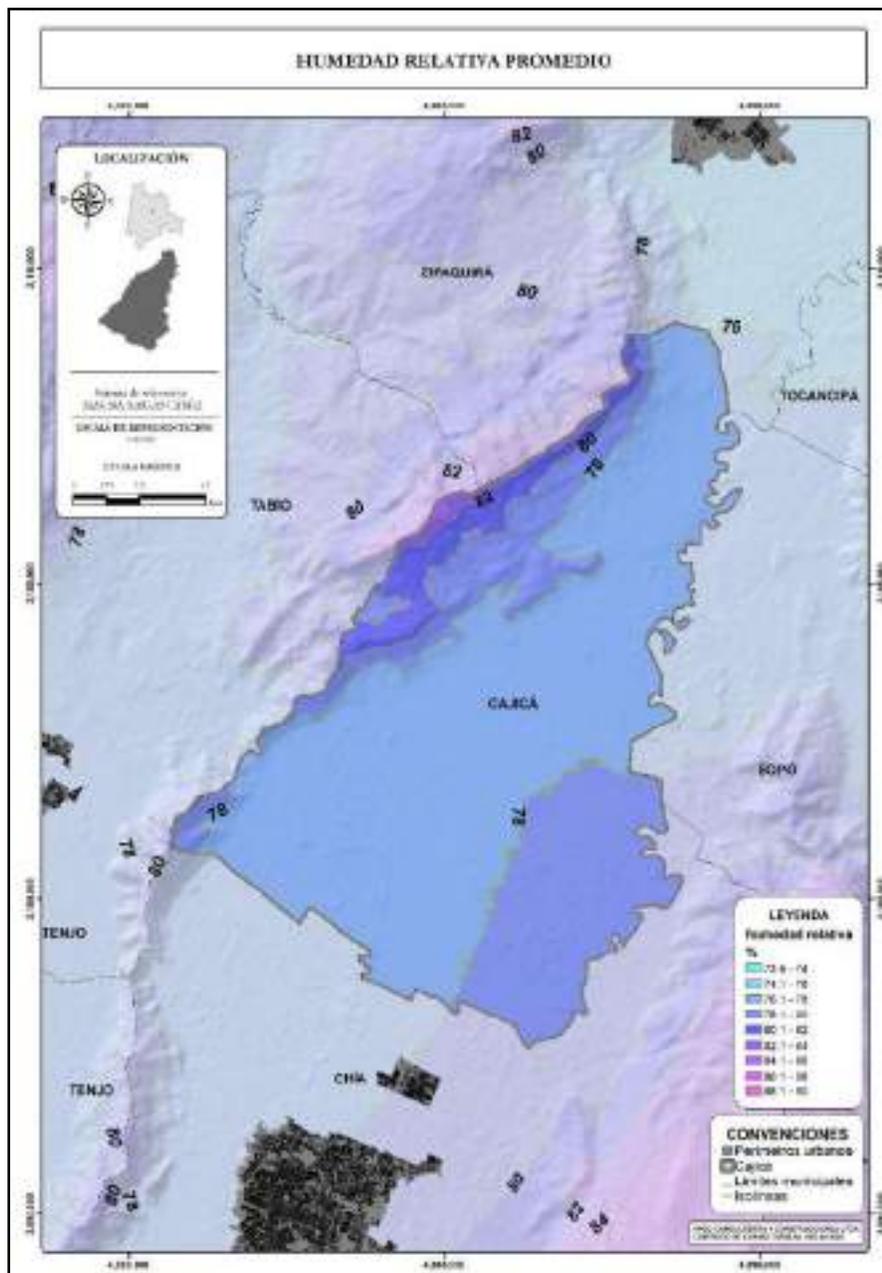


Ilustración 29. Mapa de humedad relativa sobre el municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### 1.5.5.1.8. Temperatura del Punto de Rocío

Se define como la temperatura de una parcela de aire que no se encuentra saturada, al llevarse mediante un proceso termodinámico de carácter isobárico (Tsonis, 2007), es decir, a presión constante, hasta el punto de saturación de la misma.

Este sistema termodinámico se describe a partir de la ecuación de Clausius-Clapeyron, expresión que no cuenta con una solución analítica en primera instancia. Teniendo esto en cuenta, existen algunas funciones empíricas, a partir de datos observados, para encontrar la temperatura del punto de rocío a partir de la presión de vapor de saturación, la cual se define como:

$$e = 6.11 \exp 53,49 - \left( \frac{6808}{T_{dew}} \right) - 5.09 * \ln(T_{dew})$$

Donde:

**e:** Presión de vapor de agua

**T<sub>dew</sub>:** Temperatura del punto de rocío

Haciendo uso de esta expresión y de la herramienta “raster calculator” de ARCGIS, se obtuvo la regionalización de la temperatura del punto de rocío a partir de sus aproximaciones teóricas (Ilustración 30).

La temperatura del punto de rocío se hace mínima en la ladera occidental del municipio, donde se cuenta con menor temperatura ambiente y mayor humedad relativa, conllevando probablemente a una menor evapotranspiración potencial de las fuentes hídricas.

Es importante resaltar que el gradiente de temperatura ambiente promedio es mayor que el de la temperatura del punto de rocío promedio para el municipio, factor que implica que la zona del Valle del Río Bogotá, con valores de T<sub>dew</sub> del orden de los 10°C, cuenta con una atmósfera menos saturada de agua respecto a la zona montañosa de Cajicá, favoreciendo la evaporación del agua en esta región.

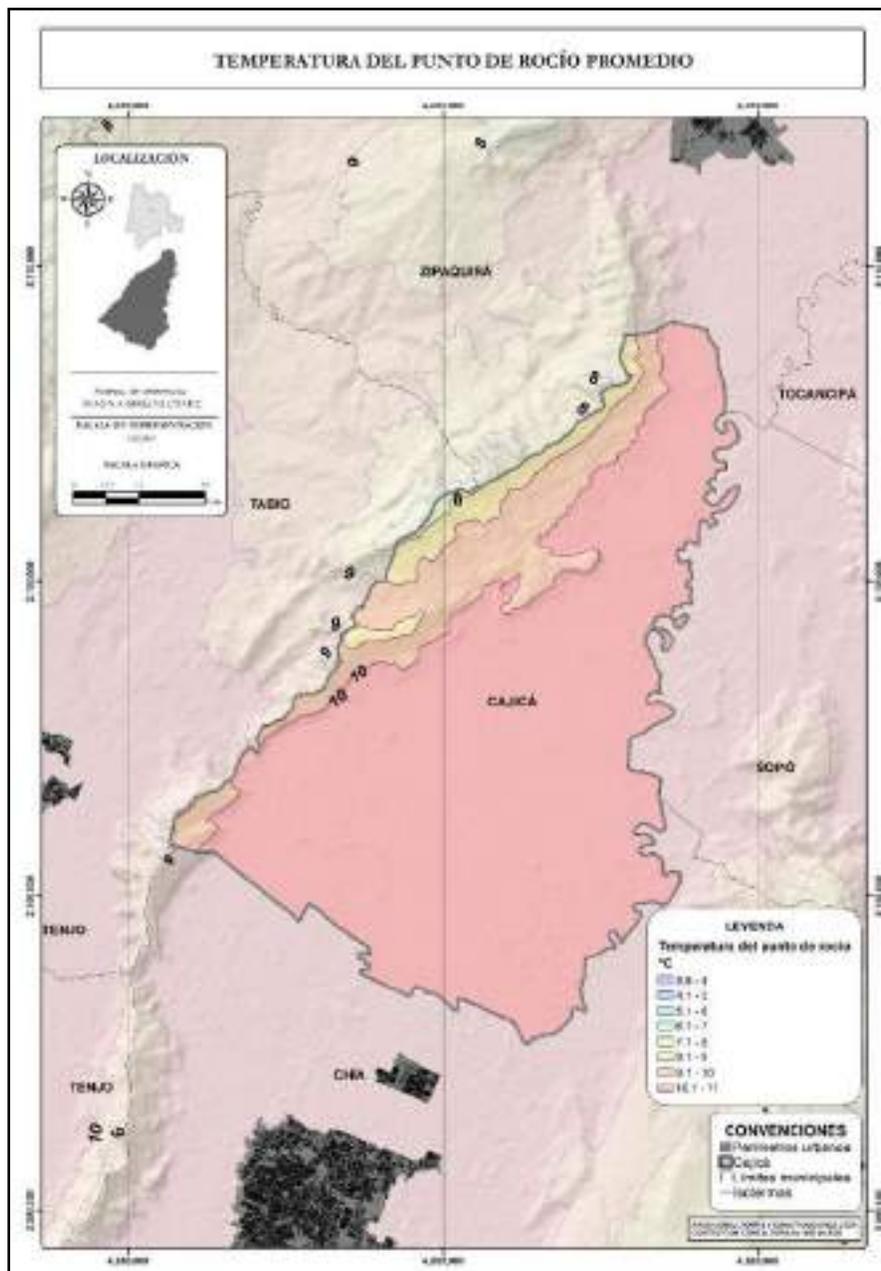


Ilustración 30. Mapa de temperatura del punto de rocío.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.5.1.9. Evaporación

El cambio de estado del agua de líquido a gaseoso depende principalmente de las fuentes de calor suministradas al sistema y a la saturación de la atmósfera, evaporación que se cuantifica en las estaciones meteorológicas con ayuda de tanques evaporímetros. Estos instrumentos cuentan con un nivel de agua base al inicio del día, el cual disminuye paulatinamente a lo largo del mismo por los efectos de la radiación solar y los fenómenos atmosféricos en el agua. Al final del día, sobre las 6pm generalmente, se toma la medida del nivel de agua resultante y su resta respecto al nivel base se establece como el volumen de agua que cambió de estado, es decir, se evaporó.

La información de evaporación proporcionada por las estaciones meteorológicas ubicadas dentro y en cercanías del municipio de Cajicá es insuficiente para el estudio de la variable. Por esta razón se optó por realizar el cálculo teórico de la evapotranspiración potencial siguiendo la metodología de Thornthwaite.

#### 1.5.5.1.9.1. Evapotranspiración potencial

Este término es considerado un elemento climático sintético, definido como la cantidad de agua que podría cambiar de estado líquido a gaseoso (aportes del suelo y la transpiración de las plantas) si se contase con un contenido máximo, u óptimo de humedad en el terreno (Ruiz, Arteaga, Vásquez, Ontiveros, & López, 2012).

Este término fue propuesto por Charles Warren Thornthwaite dentro de su metodología para el cálculo del balance hídrico y la determinación del clima, el cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Et = 16 * \left(\frac{10 * T}{I}\right)^a$$

Donde:

**Et:** Evapotranspiración potencial no ajustada

**T:** Temperatura media mensual (°C)

**I:** índice calórico anual (adimensional).

El Índice calórico mensual se calcula mediante la siguiente expresión:

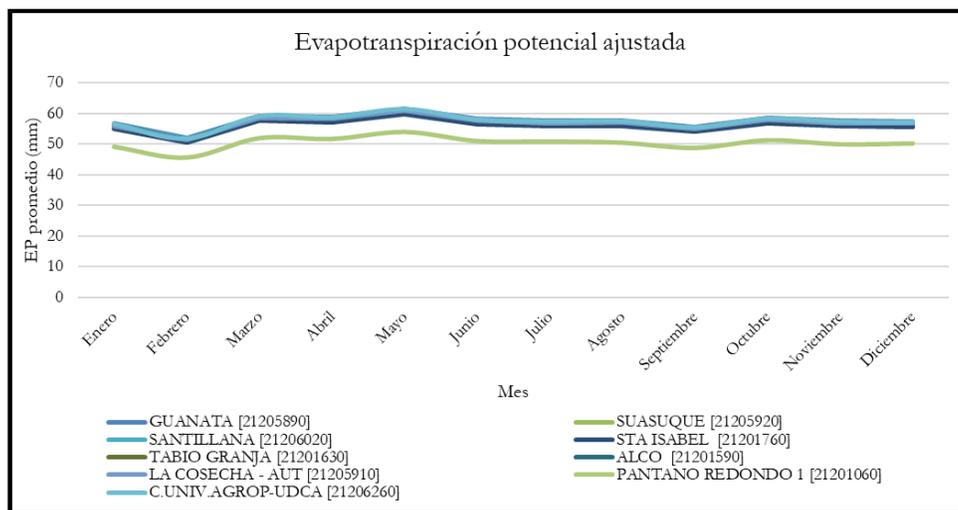
$$I = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

Y el coeficiente “a” se estima utilizando la siguiente ecuación:

$$a = (6.75Exp^{-7} * I^3) - (7.71Exp^{-5} * I^2) + (0.0179 * I) + 0.49239$$

Este conjunto de ecuaciones nace de regresiones entre mediciones de evapotranspiración, temperatura y precipitación mensual, buscando una expresión que únicamente necesitara de la temperatura y la precipitación, variables ampliamente medidas por las estaciones meteorológicas, para determinar la evapotranspiración potencial en una región determinada.

En adición a esto, Thornthwaite propuso el ajuste de la evapotranspiración potencial a partir de un factor de corrección latitudinal (f), el cual se encuentra correlacionado con la duración promedio del día y en función de la latitud geográfica. La Ilustración 31 muestra los resultados para las estaciones de análisis.



**Ilustración 31. Evapotranspiración mensual promedio de las estaciones de análisis.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Los valores de evapotranspiración no sufren de grandes fluctuaciones a lo largo del año, presentando rangos del orden de los 45-65 mm para todas las estaciones y presentando sus menores registros en el mes de febrero como respuesta a las bajas temperaturas y precipitaciones que se presentan en el trimestre de diciembre-enero-febrero, repercutiendo en una menor oferta de agua es estado líquido que pueda potencialmente cambiar de estado, y un menor aporte de calor del ambiente para favorecer la evaporación del recurso hídrico.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

Respecto a la distribución espacial de la evapotranspiración potencial, esta se realizó mediante la herramienta Inverse Distance Weighted (IDW) del Sistema de Información Geográfica ARCGIS. El resultado para el municipio de Cajicá se observa en la Ilustración 32.

Los valores de evapotranspiración potencial anual no cambian considerablemente a lo largo del municipio de Cajicá, con registros entre los 690 y 670 mm anuales, presentando los menores valores sobre la ladera occidental del territorio, donde la temperatura se hace menor y, por tanto, hay un relativo menor aporte de calor al sistema, sumado al mayor régimen de lluvias de la cadena montañosa respecto al valle del Río Bogotá.

Los menores rangos de evapotranspiración potencial tienen relación a su vez con la mayor humedad relativa de la atmósfera en la zona occidental del municipio, ya que la saturación de esta dificulta el cambio de estado de las fuentes hídricas superficiales.

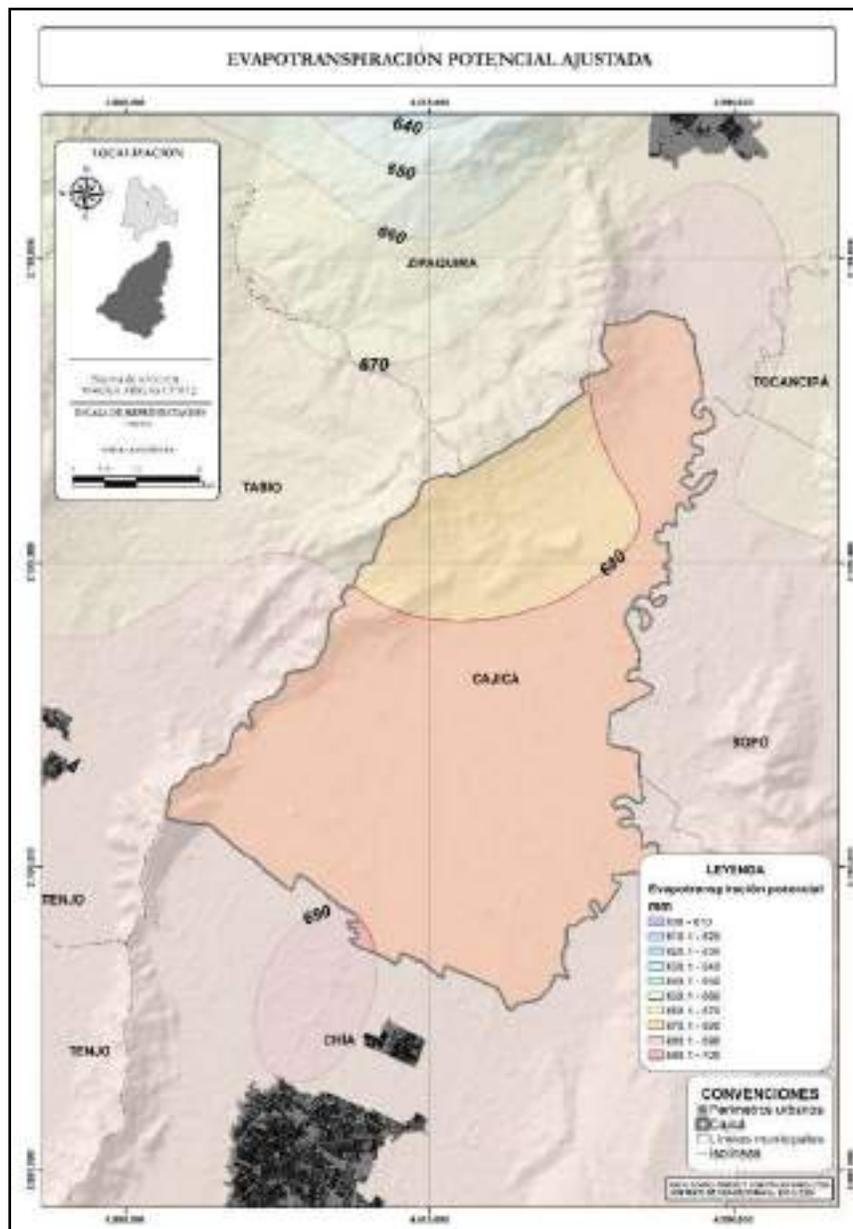


Ilustración 32. Evapotranspiración potencial ajustada anual promedio.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.5.2. Clasificación Climática

El clima se define como el conjunto de condiciones atmosféricas promedio de una región, donde son evaluadas las diferentes variables (precipitación, temperatura, radiación, etc.) respecto a sus promedios en un lapso igual o mayor a 30 años ( Organización Meteorológica Mundial OMM, 2010). Por tanto, para realizar el análisis climático de una región en específico es imperativo contar con buenos y extensos registros de las variables que se deseen evaluar, implicando un exhaustivo procesamiento de la información meteorológica en cuanto a la homogeneidad y la consistencia de las bases de datos a utilizar, para obtener resultados más certeros.

Existen diferentes metodologías para determinar el clima de una región, donde cada propuesta sigue un orden lógico para caracterizar ambientalmente una región en específico. Entre las metodologías más ampliamente utilizadas para estimar el clima, destacan las propuestas de Francisco José de Caldas, Richard Lang, Caldas-Lang, Emmanuel De Martone y Charles Thornthwaite; cada una implicando procesamientos diferentes y contemplando diferentes variables climáticas.

#### 1.5.5.2.1. Clasificación Climática de Thornwaite

Para el presente estudio se utilizó la metodología de Thornthwaite, cuyo sistema se basa en los promedios mensuales multianuales de precipitación y de temperatura, ambas variables obtenidas en el procesamiento de la información obtenida de las estaciones emplazadas dentro y cerca del municipio de Cajicá.

Así mismo, la clasificación climática y balance hídrico contempla la evapotranspiración potencial, variable estimada previamente y que implica la transpiración de la vegetación como parte de sus valores de entrada (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2021), obteniendo un modelo hídrico bastante robusto que repercute en una determinación más precisa del clima, respecto a otras clasificaciones climáticas como la de Caldas y la de Lang.

La clasificación climática de Thornthwaite se determina en primera instancia a partir del factor de humedad (Fh) del terreno, donde se involucra la relación de la precipitación y la evapotranspiración potencial, estableciendo la estacionalidad de la región en cuanto a sus excesos y déficits del recurso hídrico en promedio. El Factor de humedad se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Fh = Ih - 0.6 * Ia$$

Donde:

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

**Fh:** Factor de humedad

**Ih:** Índice de humedad

**Ia:** Índice de aridez

El Índice de Humedad (Ih) resulta del cociente entre los excesos de agua anuales y la evapotranspiración potencial, siendo el resultado expresado de forma porcentual. Caso análogo, el Índice de aridez se determina utilizando la misma expresión, pero relacionando los déficits en lugar de los excesos con la evapotranspiración.

Cuando se obtiene un Factor de humedad positivo, la región de análisis se considera húmeda. Caso contrario, valores negativos de Fh sugieren que se trata de una zona seca. La clasificación completa se presenta en la Tabla 19.

**Tabla 19. Factor de humedad para la clasificación climática de Thornthwaite.**

| <b>Fh</b>     | <b>SÍMBOLO</b> | <b>TIPO CLIMÁTICO</b> |
|---------------|----------------|-----------------------|
| >100.1        | A              | Superhúmedo           |
| 80.1 a 100    | B4             | Muy húmedo            |
| 60.1 a 80.0   | B3             | Húmedo                |
| 40.1 a 60.0   | B2             | Moderadamente húmedo  |
| 20.1 a 40.0   | B1             | Ligeramente húmedo    |
| 0.10 a 20.0   | C2             | Semihúmedo            |
| -20.0 a 0.0   | C1             | Semiseco              |
| -40.1 a -20.1 | D              | Semiárido             |
| -60.0 a -40.1 | E              | Árido                 |

**Modificado de:** IDEAM (2021).

Haciendo uso de los Índices de Humedad y Aridez mensuales, se puede determinar la variación estacional de la humedad efectiva, relación que determina la segunda letra que otorga la metodología de Thornthwaite para su clasificación climática, la cual se muestra en la Tabla 20.

**Tabla 20. Grado de humedad efectiva.**

| <b>ÍNDICE</b> | <b>SÍMBOLO</b> | <b>GRADO DE HUMEDAD</b> |
|---------------|----------------|-------------------------|
| (Ia)          |                | Déficit de agua         |
| 0.00 a 16.7   | r              | Poco o nada             |
| 16.7 a 33.3   | s              | Moderada en verano      |
| 16.7 a 33.3   | w              | Moderada en invierno    |

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

| ÍNDICE  | SÍMBOLO | GRADO DE HUMEDAD     |
|---------|---------|----------------------|
| > 33.3  | s2      | Grande en verano     |
| > 33.3  | w2      | Grande en invierno   |
| (Ih)    |         | Superávit de agua    |
| 0 a 10  | d       | Poco o nada          |
| 10 a 20 | s´      | Moderado en verano   |
| 10 a 20 | w´      | Moderado en invierno |
| > 20    | s´2     | Grande en verano     |
| > 20    | w´2     | Grande en invierno   |

Modificado de: IDEAM (2021).

Es importante aclarar que la estacionalidad de la humedad efectiva de una región se determina con el Índice de aridez cuando el Factor de humedad es positivo (región húmeda), mientras que se utiliza el Índice de humedad cuando el Fh es negativo y se trata por tanto de una región seca.

El carácter térmico de la región es cuantificado mediante la evapotranspiración potencial anual, el cual es utilizado por Thornthwaite como un Índice de eficiencia termal para la caracterización climática. La Tabla 21 muestra la eficiencia termal.

**Tabla 21. Índice de eficiencia termal**

| Ep (mm)    | SÍMBOLO | CLIMA       |
|------------|---------|-------------|
| < 142      | E´      | Hielos      |
| 142 a 285  | D´      | Tundra      |
| 285 a 427  | C´1     | Mirotermal  |
| 427 a 570  | C´2     | Microtermal |
| 570 a 712  | B´1     | Mesotermal  |
| 712 a 855  | B´2     | Mesotermal  |
| 885 a 997  | B´3     | Mesotermal  |
| 997 a 1140 | B´4     | Mesotermal  |
| > 1140     | A´      | Megatermal  |

Modificado de: IDEAM (2021).

En general los climas megatermales hacen referencia a las zonas tropicales, mesotermas a las zonas secas y templadas, y los microtermales a las áreas templadas frías; presentando una fuerte relación con el descenso paulatino de la temperatura conforme se sube altitudinalmente en el terreno.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Por último, se establece la concentración estival de la región, haciendo referencia a los valores de evapotranspiración potencial de los 3 meses consecutivos de temperatura mensual más elevada, como una medida que determina la influencia de la latitud geográfica sobre el clima, teniendo valores mínimos para el ecuador término y máximos para los polos, dadas las variaciones de temperatura que producen las estaciones en las diferentes regiones del planeta. El Coeficiente de Concentración Estival se calcula mediante la siguiente expresión:

$$CE = \left( \frac{E_{pi}}{E_p} \right) * 100$$

Donde:

**CE:** Concentración estival

**E<sub>pi</sub>:** Evapotranspiración potencial de los 3 meses consecutivos de temperatura más alta

**E<sub>p</sub>:** Evapotranspiración potencial anual

Al determinar la concentración estival haciendo uso de la ecuación descrita, la clasificación fue establecida por Thornthwaite como se exhibe en la Tabla 22.

**Tabla 22. Coeficiente de concentración estival**

| <b>CE</b>   | <b>SÍMBOLO</b> |
|-------------|----------------|
| < 48.0      | a´             |
| 48.0 a 51.9 | b´4            |
| 51.9 a 56.3 | b´3            |
| 56.3 a 61.6 | b´2            |
| 61.6 a 68.0 | b´1            |
| 68.0 a 76.3 | c´2            |
| 76.3 a 88.0 | c´1            |
| > 88.0      | d´             |

**Modificado de:** IDEAM (2021).

Aplicando la metodología descrita sobre las estaciones meteorológicas empleadas para el procesamiento de los registros de temperatura y precipitación en el municipio de Cajicá, se obtuvo la clasificación climática de Thornthwaite sobre los puntos específicos que representan dichas estaciones de análisis (Tabla 23).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

**Tabla 23. Clasificación climática de las estaciones meteorológicas de análisis.**

| ESTACIÓN                           | LETRA 1 (Fh)            | LETRA 2 (Ih o Ia) | LETRA 3 (Ep)      | LETRA 4 (CE) |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| GUANATA<br>[21205890]              | C2 - Semihúmedo         | r - Poco o nada   | B'1<br>Mesotermal | a'           |
| SUASUQUE<br>[21205920]             | B1 - Ligeramente húmedo | r - Poco o nada   | B'1<br>Mesotermal | a'           |
| SANTILLANA<br>[21206020]           | B1 - Ligeramente húmedo | r - Poco o nada   | B'1<br>Mesotermal | a'           |
| STA ISABEL<br>[21201760]           | C1 - Semiseco           | d - Poco o nada   | B'1<br>Mesotermal | a'           |
| TABIO<br>[21205522]                | B1 - Ligeramente húmedo | r - Poco o nada   | B'1<br>Mesotermal | a'           |
| ALCO [21201590]                    | C1 - Semiseco           | d - Poco o nada   | B'1<br>Mesotermal | a'           |
| LA COSECHA -<br>AUT [21205910]     | B1 - Ligeramente húmedo | r - Poco o nada   | B'1<br>Mesotermal | a'           |
| PANTANO<br>REDONDO 1<br>[21201060] | B4 - Muy húmedo         | r - Poco o nada   | B'1<br>Mesotermal | a'           |
| C.UNIV.AGROP-<br>UDCA [21206260]   | B1-Ligeramente húmedo   | r - Poco o nada   | B'1<br>Mesotermal | a'           |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

El clima determinado para las estaciones meteorológicas de análisis denota condiciones principalmente de baja humedad en el terreno, variando el clima entre ligeramente húmedo y semiseco para 8 estaciones, a excepción del clima de la estación “Plátano Redondo 1”, ubicada al norte del municipio de Cajicá en la cima de una cadena montañosa perteneciente a Zipaquirá, donde el régimen de precipitación se hace considerablemente más húmedo.

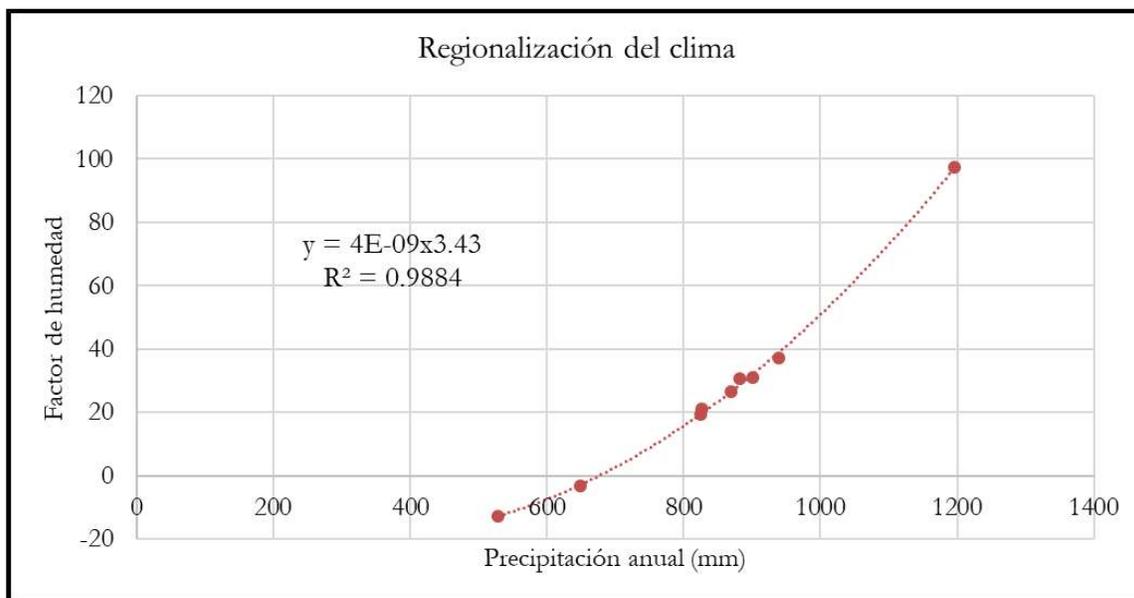
Conforme los resultados de la letra 2 de la metodología de Thornthwaite, no existe una variación significativa de la humedad efectiva a lo largo del año, determinado por los bajos Índices de humedad y de aridez en la región y sugiriendo un clima relativamente uniforme a lo largo del tiempo.

La totalidad de las estaciones evaluadas, ubicadas en cercanías del municipio de Cajicá, cuentan con valores de evapotranspiración potencial anual muy cercanos (Letra 3), sugiriendo un clima mesotermal o templado para toda la región, a pesar de contar con puntos de control ubicados a diferentes alturas y geomorfológicamente diferentes.

Así mismo, el cálculo del Coeficiente de Concentración Estival presenta valores relativamente uniformes para todas las estaciones, implicando un bajo incremento de la temperatura en los meses más cálidos como respuesta a la ausencia de estaciones (primavera, verano, invierno, otoño) en el municipio de Cajicá y en la región ecuatorial.

### 1.5.5.2.2. Regionalización del Clima

Para determinar la distribución espacial del clima según Thornthwaite para el municipio de Cajicá y sus inmediaciones, se buscó una función de correlación de los valores de precipitación anual y el factor de humedad (Fh) de las estaciones de referencia, buscando una expresión para estimar el Factor de humedad (el cual determina la clasificación climática) a partir del mapa de precipitación anual multianual. La función exponencial encontrada se muestra en la Ilustración 33.



**Ilustración 33. Gráfica de la relación del factor de humedad y la precipitación anual.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

La expresión encontrada cuenta con una correlación con los valores de las estaciones meteorológicas de 0.9884, representando un valor sumamente fiable para determinar la distribución espacial del clima utilizando la herramienta “Raster Calculator” de ARCGIS (Ilustración 34).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

La región occidental del municipio de Cajicá cuenta con un clima ligeramente húmedo mesotermal con poco o nada de excesos de humedad en los meses de altas precipitaciones sobre el área en cuestión. Esta relativa mayor humedad se debe así mismo por la alta tasa evaporativa del valle del Río Frío y Bogotá.

En la zona oriental del municipio, en las inmediaciones del Río Bogotá, se determinó un clima semihúmedo mesotermal con leves déficits de agua en las épocas de bajas precipitaciones, sobre los meses de enero-febrero y agosto-septiembre.

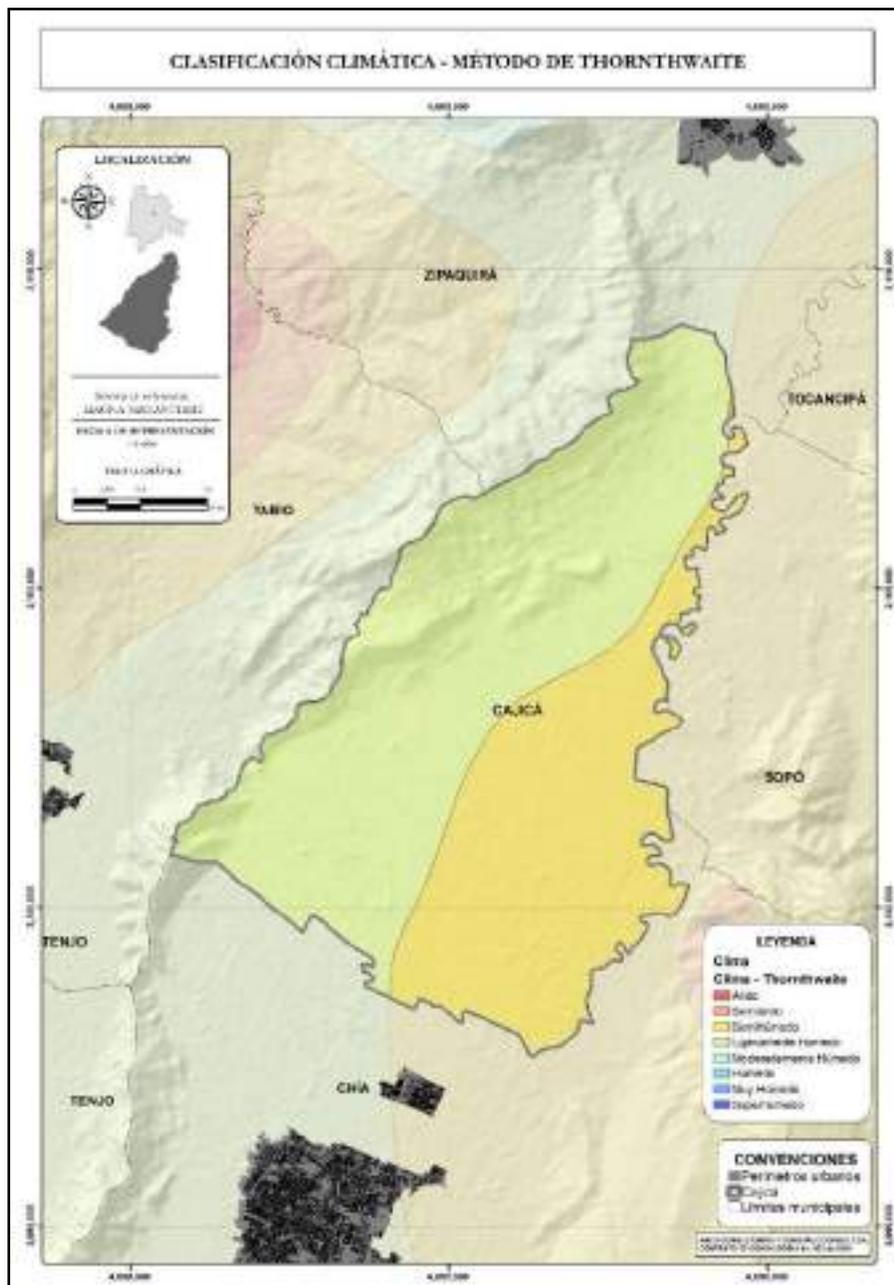


Ilustración 34. Clasificación climática - Método de Thornthwaite

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.5.2.3. Análisis de Resultados

El municipio de Cajicá y sus inmediaciones presentan una relativa diversidad climática, influenciada principalmente por el régimen bimodal de precipitaciones y las variaciones en la temperatura dados los gradientes topográficos, haciendo imperativa la caracterización climática con alto grado de detalle, empleando metodologías que involucren las variables meteorológicas más representativas del clima y haciendo uso de la mayor cantidad de estaciones emplazadas en el territorio y sus inmediaciones.

La clasificación climática de Caldas – Lang utilizada en el POMCA del Río Bogotá (2019), por ejemplo, se basa en la altura de la región, y en los valores anuales promedio de precipitación y temperatura. Aunque en un principio involucra las variables meteorológicas que modelan principalmente el clima, los consolidados promedios de la precipitación y la temperatura no tienen en cuenta las variaciones estacionales a lo largo del año de la lluvia y consecuentemente de la fluctuación de la temperatura.

La clasificación climática de Thornthwaite por su parte, se fundamenta en establecer un balance hídrico mensual del suelo, teniendo en cuenta no sólo el almacenamiento de agua en el terreno, sino los efectos de la vegetación en el proceso. Esto permite establecer el clima de una región a partir de un modelo más completo, aumentando la calidad de los resultados obtenidos.

Los resultados de la clasificación climática realizada bajo la metodología de Thornthwaite se contrasta en la Ilustración 35 con la zonificación obtenida por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR en el marco del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hídrica POMCA del Río Bogotá, elaborada en el año 2019.

La clasificación climática por el método de Thornthwaite demuestra mayor sensibilidad a las variaciones de la tasa evaporativa en cercanías del Río Bogotá, vapor de agua que se desplaza a la ladera occidental del municipio y genera un aumento prudencial de la humedad en esta región, fenómeno que se ve mejor representado en la Ilustración 35 **(b)**.

Así mismo, el empleo de numerosas estaciones meteorológicas ubicadas en cercanías del municipio permite establecer, por ejemplo, una región significativamente más seca de lo planteado en el POMCA, correspondiente a la cuenca alta y media del Río Frío sobre los municipios de Tabío y Zipaquirá. Siendo esta información relevante para el estudio de esta unidad hidrográfica cuya cuenca baja transcurre por el municipio de Cajicá previo a su desembocadura en el Río Bogotá.

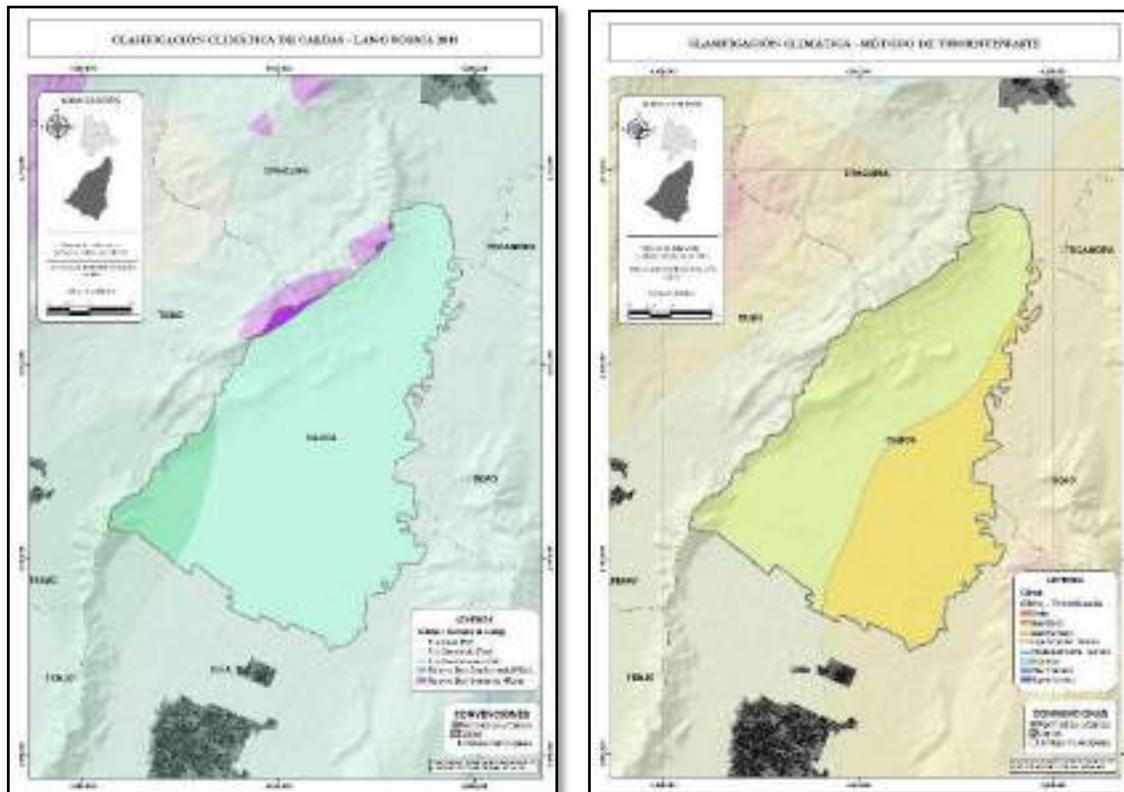


Ilustración 35. a) Clasificación climática del POMCA del Río Bogotá, y b) Clasificación climática.

Fuente: POMCA del Río Bogotá (2019) & Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

### 1.5.5.3. Conclusiones

El municipio de Cajicá cuenta con un régimen de lluvias bimodal, con promedios de volúmenes de lluvias mensuales del orden de los 100-120mm en épocas de altas precipitaciones y de 40-60mm en épocas de sequías, principalmente en el mes de enero.

Existen registros de eventos extremos de precipitaciones, superiores a los 100mm en algunas regiones, que pueden potencialmente generar encharcamientos y detonar procesos degradativos en la región. Estas lluvias extremas han tenido lugar en los meses de altas precipitaciones, con algunos eventos detonados en meses “secos” como enero y junio.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Los volúmenes de precipitación anual depositados sobre el municipio de Cajicá son del orden de los 750mm en su zona plana, en inmediaciones del Río Bogotá, y de cerca de 900mm en el margen occidental del territorio, en la región topográficamente más elevada. Esto implica un régimen de precipitaciones moderado para el municipio, requiriendo de eventos extremos, detonados en los meses de altas precipitaciones y/o bajo la influencia del Fenómeno de La Niña u otros procesos de variabilidad climática para depositarse grandes volúmenes de agua que puedan generar inundaciones, flujos y avenidas torrenciales.

Hay un relativo alto número de días con lluvia en el municipio de Cajicá que contrasta con los bajos volúmenes de precipitaciones promedio en la región, sugiriendo la probable existencia de eventos de lluvia ligeros y frecuentes en el territorio.

La temperatura ambiente promedio cuenta con sus registros más elevados para los meses más lluviosos del año, correspondientes a abril y mayo. Esto debido al aumento de la humedad del terreno dadas las precipitaciones más frecuentes, factor que aumenta la evapotranspiración potencial e incrementa la temperatura dada la liberación de calor latente del agua en su cambio ha estado gaseoso. Este proceso repercute así mismo, en el aumento de la temperatura del punto de rocío y, por tanto, de la humedad relativa en estos periodos.

El viento tiene un comportamiento relativamente homogéneo sobre el municipio de Cajicá, donde los vientos provienen principalmente del Noreste y el Este en magnitudes promedio de 1m/s (vientos débiles), con algunos episodios de mayores velocidades principalmente en julio y agosto del orden de los 5 o 6 m/s, incrementos que podrían generar fuertes ráfagas en momentos específicos.

La radiación y el brillo solar sobre la superficie de Cajicá cuenta con sus mayores valores en las temporadas de bajas precipitaciones, donde aumenta la probabilidad de contar con cielos despejados y, por tanto, aumentar la exposición a la radiación de onda corta proveniente del sol. Durante estas temporadas pueden favorecerse procesos de desecación de suelos, acompañado del descenso paulatino de los caudales de los drenajes del municipio y funcionando como un posible mecanismo generador de incendios forestales y de erosión física del suelo.

La humedad relativa sobre el municipio de Cajicá oscila entre el 74 y 82%, sugiriendo una atmósfera con bajo contenido de agua en condiciones promedio. Así mismo, esta variable cuenta con sus valores más elevados en los altos topográficos del occidente del municipio, debido a que el perfil altitudinal del decrecimiento de la temperatura ambiente es mayor que el de la temperatura del punto de rocío en la región.

No existe una variación considerable en la evapotranspiración potencial a lo largo del año, donde existen entre 45-65mm de agua que puede cambiar a estado gaseoso a nivel mensual. Los

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

mayores niveles de evapotranspiración potencial se encuentran en el mes de febrero, en respuesta al final de la época de bajas precipitaciones en Cajicá, factor que limita el recurso hídrico disponible para ser potencialmente evaporado

En cercanías del valle del Río Bogotá y Frío existe un aumento de la tasa evaporativa en comparación con la región montañosa del municipio, debido a que se cuenta con una atmósfera más seca, determinado por la diferencia entre la temperatura ambiente y del punto de rocío, diferencia que se hace menor en el margen occidental de Cajicá, del orden de los 2.5°C en promedio.

El clima de Cajicá, determinado bajo el método de Thornthwaite, es clasificado como semihúmedo y ligeramente húmedo mesotermal, sin variaciones estivales o estacionales considerables a lo largo del año. La zona oriental del municipio cuenta con leves déficits del recurso hídrico en épocas de bajas precipitaciones en la región, propiciando la desecación de los suelos y el agrietamiento de los mismos, mientras que la zona montañosa no cuenta con déficits ni excesos de agua a lo largo del año.

#### 1.5.6. Cobertura de Suelo

El presente capítulo contiene la metodología y resultados del componente de coberturas de la tierra para el municipio de Cajicá. El municipio de Cajicá en su zona rural cuenta con una extensión de 4534.70 ha, para esta área se obtendrá el mapa de cobertura de la tierra de acuerdo con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000 cuyo resultado nos dará una capa de coberturas de la tierra a escala 1:10.000.

Para el desarrollo de los factores que conforman el componente de susceptibilidad se construyó el mapa de Cobertura y Uso de la Tierra, el cual está basado en la adaptación del estándar europeo CORINE Land Cover para Colombia, que fue realizado por 13 instituciones que trabajaron en conjunto bajo la coordinación técnica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM – y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC –. REVISIÓN Y AJUSTE DE PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE LA CAJICÁ DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA ASPECTOS GENERALES ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS LA CAJICÁ, La leyenda de Coberturas de la Tierra ha sido establecida con carácter nacional, lo que permite una estructura jerárquica, derivando las unidades de coberturas de la tierra con base en criterios fisonómicos de altura y densidad, claramente definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo. De esta manera, se garantiza que sea posible la inclusión de nuevas unidades o la definición de nuevos niveles de unidades para estudios más detallados, permitiendo su rápida ubicación y definición. Las coberturas de la tierra proporcionan información fundamental para

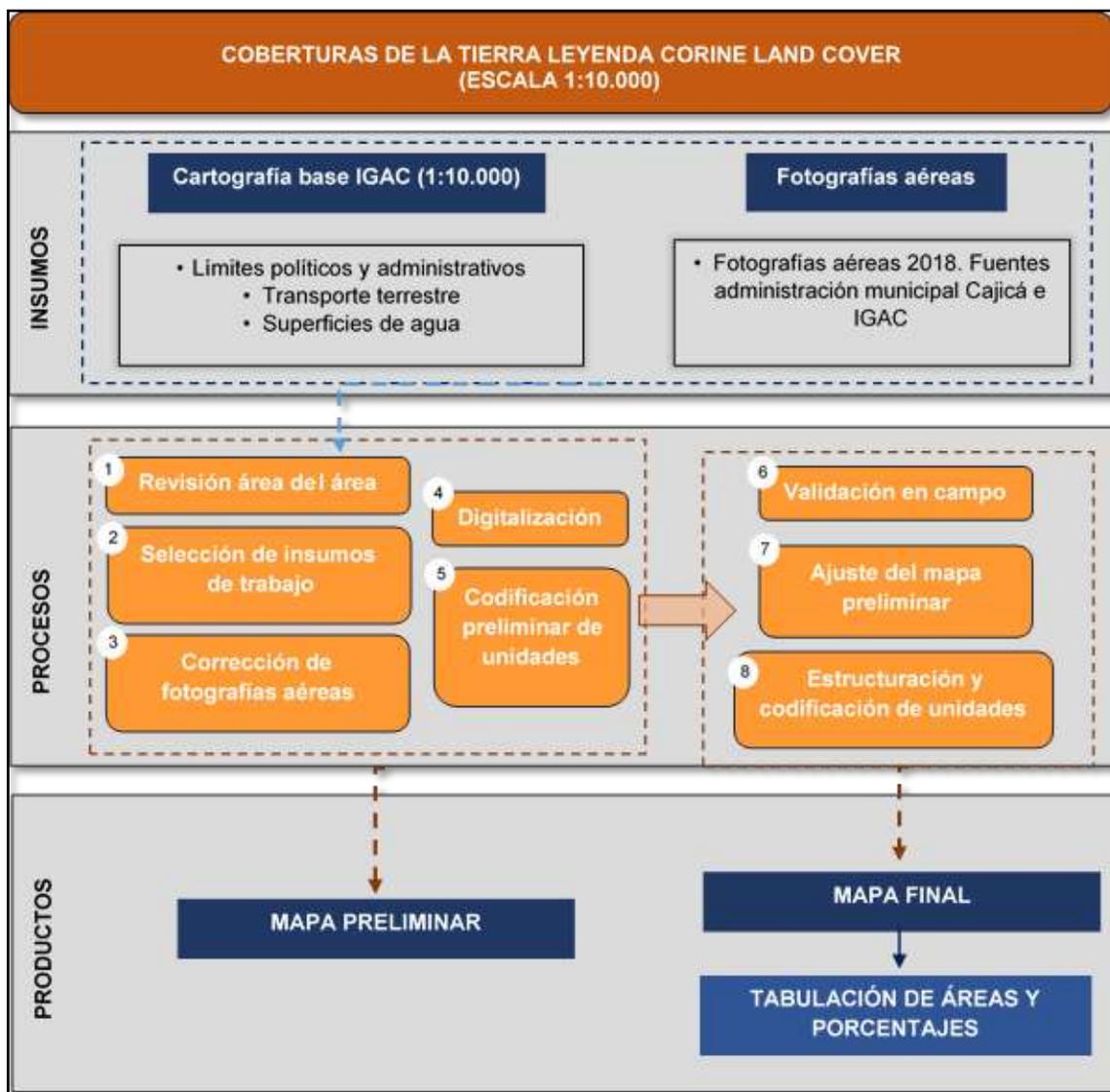
|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

diversos procesos nacionales como los mapas de ecosistemas, conflictos de uso del territorio, ordenación de cuencas y del territorio, seguimiento a la deforestación de los bosques, y los inventarios forestales, incendios de la cobertura vegetal, etc. (IDEAM, 2010).

### 1.5.6.1. Proceso Metodológico

#### 1.5.6.1.1. Metodología

La metodología utilizada para el proceso de generación de las coberturas se desglosa en el Esquema 2, paso a paso, teniendo en cuenta los insumos requeridos, procesos realizados y productos obtenidos.



Esquema 2. Metodología para la generación de Coberturas, Cajicá – Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.6.1.2. Insumos

- Cartografía base:

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

La cartografía base, la cual se encuentra a escala 1:10.000, se utilizó para identificar la distribución espacial de la cobertura de bosque de ripario, así mismo la de red vial y territorios asociados y las superficies de agua, esta última también alimentada con la información de inventarios de humedales de la CAR.

- Fotografías aéreas:

La información recolectada a través de fotografías aéreas es uno de los insumos fundamentales para el análisis de coberturas de la tierra que se desprende la fotointerpretación. Para la realización de las coberturas del municipio de Cajicá se utilizó una fotografía aérea con resolución espacial de 15 centímetros capturada en el año 2018, la cual cubre un total de 90% del área del municipio, así el porcentaje restante se cubrió con una ortofotografía del IGAC del mismo año que cuenta con una resolución espacial de 1.1 metros.

### 1.5.6.1.3. Materiales Usados

Los equipos y materiales empleados en campo fueron el GPS, PDA, la cámara digital y las respectivas libretas de apuntes, tal y como aparece en la Ilustración 36.



**Ilustración 36. Materiales Usados**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

Adicionalmente, se hizo uso de planchas del IGAC que fueron interpretadas reconocidas y verificadas, las cuales se identifican mediante los números 209IIC3, 209IIC4, 228IA1, 228IA3, 228IA4 y se encuentra escala 1:10.000.

En el trabajo realizado en la zona de estudio se pusieron en práctica las siguientes actividades:

- Actividades previas de preparación de insumos para la salida de campo, como lo son las zonas que no se pueden evidenciar con la imagen satelital y generar los puntos de interés.
- Realización del trabajo de campo, se toman datos del GPS y fotos, apoyándose con el Google maps para visitar los puntos de interés.
- Análisis y realización del informe de campo, se tienen en cuenta las fotos tomadas para la comparación de coberturas si estas lo requieren o si tiene una interpretación acertada.

#### 1.5.6.1.4. Procedimiento

En primera instancia se realizó una revisión del área de estudio, para el reconocimiento visual de los elementos que se pueden identificar en el municipio. Posteriormente a la revisión, se identifican los insumos de trabajo necesarios a utilizar para la generación de las coberturas a escala 1:10.000. Teniendo en cuenta que uno de los insumos fundamentales son las fotografías aéreas se les realiza una corrección para el posterior proceso de digitalización de lo que puede observarse teniendo en cuenta la Unidad Mínima Cartografiada (UMC) que para la escala trabajada corresponde a 1.600 metros.

Posteriormente a la digitalización se procedió a realizar la codificación preliminar de unidades teniendo como referente la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra. Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia. Al tener codificadas y zonificadas las coberturas se realizó una salida de campo con unos puntos preseleccionados para la visita, con lo que se corroboró y validó el resultado arrojado en el mapa preliminar. Por último, después de la validación, se ajustó el mapa, se realizó nuevamente la estructuración y codificación de las unidades de las coberturas

Los insumos ya se describieron el apartado anterior, los procedimientos se explican a continuación:

La revisión del área del municipio se define a partir del límite entregado por el IGAC y se deja un buffer de 500 m, con el fin de darle continuidad a las áreas naturales y antrópicas y así tener un análisis no fragmentado (según metodología Steenmans y Pinborg, 2000).

Definida el área de trabajo se define los insumos a trabajar, buscando de tal manera tener las imágenes satelitales las cuales deben cumplir tres condiciones:

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

1. Tengan resolución espacial para trabajar escala 1:10.000, es decir, igual o menor a 5 m.
2. El año de la fotografía sea del 2018 o superior.
3. Que la fotografía no tenga defectos y tenga cobertura de la zona de estudio.

La fotointerpretación y clasificación de las unidades de cobertura de la tierra se realizó de acuerdo a la leyenda propuesta en la metodología Corine Land Cover y los requerimientos técnicos establecidos en la guía metodológica para la generación de cartografía a escala 1:10.000 mediante interpretación visual y digitalización; de acuerdo a los requerimientos de una cobertura temática a escala 1:10.000 se aplicaron los siguientes criterios:

- ✓ La unidad mínima cartografiable de 1600 m<sup>2</sup>.
- ✓ Las unidades de cobertura de posible distribución lineal como vías y ríos son cartografiables únicamente siguiendo el criterio de ríos y vías principales.
- ✓ La asignación de la unidad de cobertura de la tierra se realizó con base en la observación y el análisis de la imagen más reciente.
- ✓ Para la digitalización de las unidades de cobertura se empleó como mínimo una escala de dibujo de 1:2000 a 1:4000.

Como resultado de las diferentes etapas mencionadas se obtiene un primer insumo el cual es el mapa preliminar de coberturas de la tierra (Ilustración 37) el cual está ligado al trabajo en campo realizado.

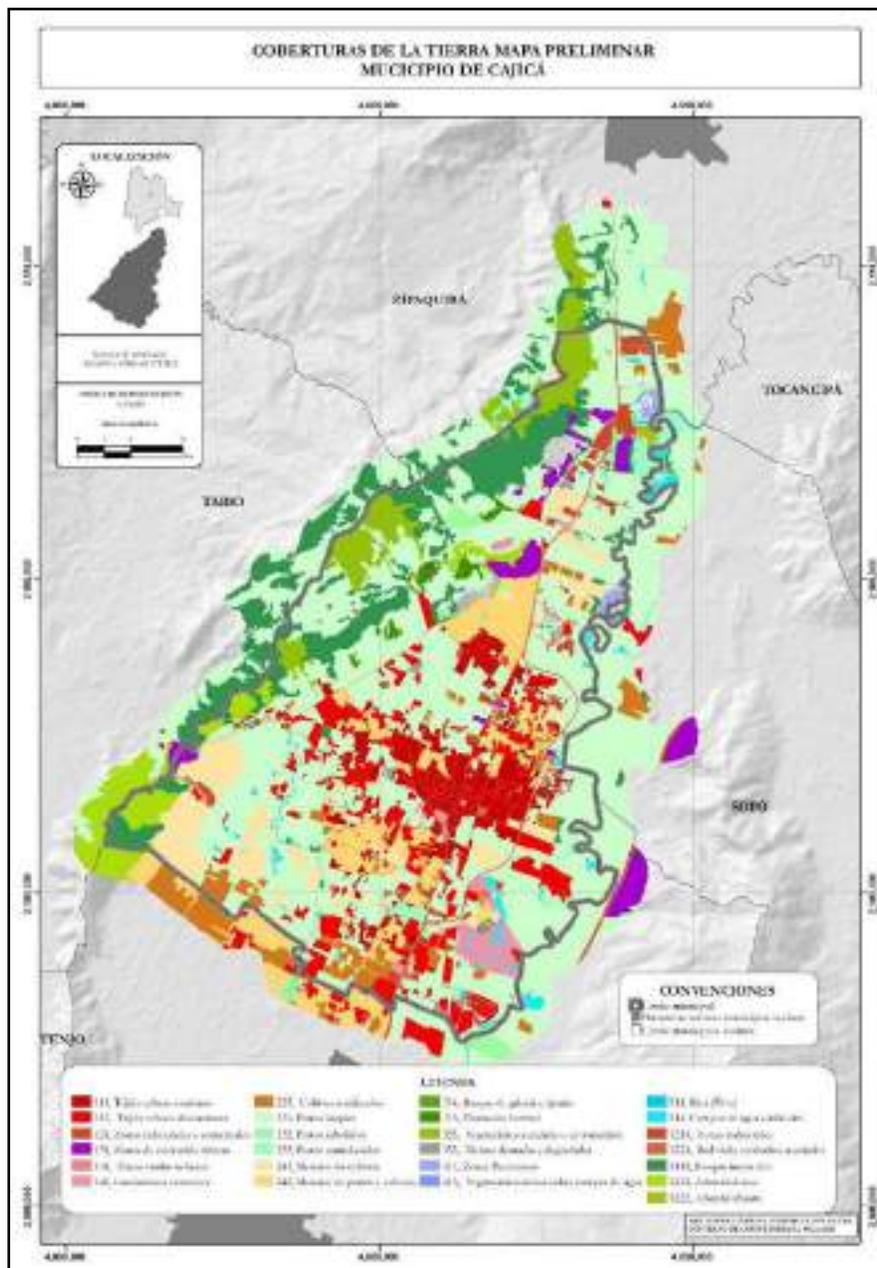


Ilustración 37. Mapa preliminar de Coberturas de la tierra, Cajicá – Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

Con base en el anterior mapa se refleja la Tabla 24, la cual corresponde a las coberturas con sus correspondientes áreas y porcentajes, lo cual será objeto de análisis en el trabajo realizado en la zona de estudio.

**Tabla 24. Clasificación climática de las estaciones meteorológicas de análisis.**

| <b>NOMBRE COBERTURA</b>                   | <b>CÓDIGO</b> | <b>ÁREA (Ha)</b> | <b>PORCENTAJE (%)</b> |
|---|---------------|------------------|-----------------------|
| Cultivos confinados                       | 225           | 129.83           | 2.53                  |
| Pastos enmalezados                        | 233           | 22.73            | 0.44                  |
| Red vial y territorios asociados          | 1221          | 124.57           | 2.43                  |
| Tejido urbano discontinuo                 | 112           | 336.77           | 6.57                  |
| Tierras desnudas y degradadas             | 333           | 19.26            | 0.38                  |
| Vegetación acuática sobre cuerpos de agua | 413           | 0.76             | 0.01                  |
| Vegetación secundaria o en transición     | 323           | 201.41           | 3.93                  |
| Zonas industriales                        | 1211          | 91.54            | 1.79                  |
| Zonas verdes urbanas                      | 141           | 6.62             | 0.13                  |
| Arbustal abierto                          | 3222          | 7.45             | 0.15                  |
| Arbustal denso                            | 3221          | 98.01            | 1.91                  |
| Bosque de galería y ripario               | 314           | 1.01             | 0.02                  |
| Bosque denso alto                         | 3111          | 385.46           | 7.52                  |
| Cuerpos de agua artificiales              | 514           | 33.79            | 0.66                  |
| Instalaciones recreativas                 | 142           | 93.09            | 1.82                  |
| Mosaico de cultivos                       | 241           | 351.95           | 6.87                  |
| Mosaico de pastos y cultivos              | 242           | 327.64           | 6.39                  |
| Pastos arbolados                          | 232           | 20.01            | 0.39                  |
| Pastos enmalezados                        | 233           | 78.12            | 1.52                  |
| Pastos limpios                            | 231           | 2245.41          | 43.81                 |
| Plantación forestal                       | 315           | 36.61            | 0.71                  |
| Ríos (50 m)                               | 511           | 29.48            | 0.58                  |
| Tejido urbano continuo                    | 111           | 357.72           | 6.98                  |
| Vegetación secundaria o en transición     | 323           | 17.33            | 0.34                  |

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

| <b>NOMBRE COBERTURA</b>          | <b>CÓDIGO</b> | <b>ÁREA (Ha)</b> | <b>PORCENTAJE (%)</b> |
|----------------------------------|---------------|------------------|-----------------------|
| Zonas de extracción minera       | 131           | 76.70            | 1.50                  |
| Zonas industriales o comerciales | 121           | 9.03             | 0.18                  |
| Zonas Pantanosas                 | 411           | 23.33            | 0.46                  |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Partiendo de la información preliminar se procede a realizar el trabajo en campo en el cual se pretende verificar lo anteriormente presentado, así como, rectificar cualquier desfase que se presente; para dicha tarea se realizó una estructura dentro de la cual se contempla la mención de los materiales utilizados y el recorrido de campo, a partir de lo cual se generaran los resultados finales de las coberturas rurales presentes en la zona rural del municipio de Cajicá.

#### 1.5.6.1.5. Recorrido Realizado

A partir de los procesos mencionados anteriormente, se realizó un recorrido por las diferentes zonas del área rural del municipio, en las cuales se tomaron diferentes puntos de control con el apoyo de fotografías georreferenciadas, con lo cual posteriormente se verifico las coberturas preliminares existentes y se generó una capa final y actualizada de cobertura, lo anterior se desglosa en este apartado. Las zonas recorridas en cada día de trabajo de campo se mencionan en el Esquema 3.

|       |   |
|-------|---|
| Día 1 | • Zona Norte del Municipio                    |
| Día 2 | • Zona Noroccidente y Occidente del Municipio |
| Día 3 | • Zona Sur del Municipio                      |
| Día 4 | • Zona Sureste del Municipio                  |

**Esquema 3. Días de recorrido en Campo.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.6.1.6. Puntos de Control

Durante los días de recorrido y verificación de coberturas en campo, se tomaron diferentes puntos de control, en las zonas recorridas, dichos puntos de control se presentan en la Ilustración 38 y Tabla 25, con sus respectivas coordenadas.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

**Tabla 25. Puntos de control tomados en la Ruta 1, 2, 3 y 4, Cajicá – Cundinamarca.**

| ID PUNTO | COORDENADAS |           | ID FOTOGRAFÍAS | COBERTURA OBSERVADA                             | OBSERVACIONES                                 |
|----------|-------------|-----------|----------------|---|---|
|          | LATITUD     | LONGITUD  |                |   |   |
| 0        | -74.003.611 | 4.981.944 | 1              | 2.3.3 Pastos enmalezados                        | Zonas ganaderas                               |
| 1        | -74.003.889 | 4.975     | 2              | 2.3.1 Pastos limpios                            | Pastos para ganado y bosque denso             |
| 1        | -74.003.889 | 4.975     | 3              | 2.3.1 Pastos limpios                            | Vías de acceso                                |
| 1        | -74.003.889 | 4.975     | 4              | 2.3.1 Pastos limpios                            | vías de acceso                                |
| 1        | -74.003.889 | 4.975     | 5              | 2.3.1 Pastos limpios                            | Zonas urbanas deshabitadas                    |
| 2        | -74.016.111 | 4.959.444 | 6              | 3.1.5. Plantación forestal                      | Reforestación con árboles maderables          |
| 2        | -74.016.111 | 4.959.444 | 7              | 3.1.5. Plantación forestal                      | Cercas vivas con árboles maderables           |
| 2        | -74.016.111 | 4.959.444 | 8              | 2.3.1 Pastos limpios                            | Zonas industriales                            |
| 2        | -74.016.111 | 4.959.444 | 9              | 1.2.1. Zonas industriales o comerciales         | Zonas industriales                            |
| 3        | -74.022.225 | 4.962.222 | 10             | 3.1.5. Plantación forestal                      | Extracción de madera                          |
| 4        | -74.015.833 | 4.96      | 11             | 1.2.5. Obras hidráulicas                        | 1.2.5.1. Bocatomas y tanques de acueducto     |
| 5        | -74.021.111 | 4.941.944 | 12             | 2.1.5. Tubérculos                               | Zonas de tala de árboles y cultivos de papa   |
| 6        | -74.060.278 | 4.943.333 | 13             | 3.1.1. Bosque denso, 3.1.5. Plantación forestal | Zonas transitorias                            |
| 7        | -74.056.111 | 4.943.611 | 14             | 3.1.1. Bosque denso, 3.1.5. Plantación forestal | Zonas transitorias                            |
| 7        | -74.056.111 | 4.943.611 | 15             | 3.1.1. Bosque denso, 3.1.5. Plantación forestal | Zonas transitorias                            |
| 8        | -74.052.222 | 4.934.444 | 16             | 1.1.3. Construcciones rurales                   | Condominios de vivienda con especies arbóreas |
| 9        | -74.048.889 | 4.934.167 | 17             | 1.1.3. Construcciones rurales                   | Zonas declaradas para construir condominios   |
| 10       | -74.041.667 | 4.938.611 | 18             | 1.4.2 Instalaciones recreativas                 | Áreas deportivas campos de futbol             |
| 11       | -74.045.833 | 4.935.833 | 19             | 2.3.3. Pastos enmalezados                       | Zonas ganaderas                               |
| 12       | -74.055.833 | 4.935.278 | 20             | 2.3.1 Pastos limpios                            | Zonas ganaderas y zonas transitorias          |

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</b> |   |  |
|   | <b>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</b> |   |

| ID PUNTO | COORDENADAS |           | ID FOTOGRAFÍAS | COBERTURA OBSERVADA                     | OBSERVACIONES                                      |
|----------|-------------|-----------|----------------|---|--|
|          | LATITUD     | LONGITUD  |                |   |  |
| 12       | -74.055.833 | 4.935.278 | 21             | 5.1.4. Cuerpos de agua artificiales     | 5.1.4.2. Estanques para acuicultura continental    |
| 13       | -74.053.889 | 4.931.389 | 22             | 2.1.2. Cereales                         | 2.1.2.2. Maíz                                      |
| 14       | -74.069.722 | 4.926.667 | 23             | 2.3.3. Pastos enmalezados               | Pastos para ganadería abandonados                  |
| 15       | -74.076.111 | 4.925.833 | 24             | 1.3.1. Zonas de extracción minera       | 1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción |
| 16       | -74.029.444 | 4.94      | 25             | 2.3.1 Pastos limpios                    | Zonas ganaderas                                    |
| 17       | -74.030.278 | 4.941.389 | 26             | 2.3.1 Pastos limpios                    | Zonas ganaderas                                    |
| 18       | -74.050.278 | 4.919.444 | 27             | 2.1.4. Hortalizas                       | 2.1.4.9. Lechuga                                   |
| 19       | -74.053.056 | 4.916.111 | 28             | 2.3.1 Pastos limpios                    | Zonas ganaderas                                    |
| 20       | -74.052.222 | 4.911.389 | 29             | 2.1.4. Hortalizas                       | 2.1.4.9. Lechuga                                   |
| 21       | -74.049.167 | 49.075    | 30             | 2.1.4. Hortalizas                       | Cilantro   |
| 22       | -74.051.111 | 4.904.722 | 31             | 2.1.4. Hortalizas                       | Acelgas  |
| 23       | -74.053.056 | 4.901.944 | 32             | 3.1.4. Bosque de galería o ripario      | 3.1.4.2. Bosque de galería arbolado                |
| 23       | -74.053.056 | 4.901.944 | 33             | 3.1.4. Bosque de galería o ripario      | 3.1.4.2. Bosque de galería arbolado                |
| 24       | -74.055.833 | 4.892.778 | 34             | 3.1.4. Bosque de galería o ripario      | 3.1.4.2. Bosque de galería arbolado                |
| 25       | -74.033.611 | 4.891.111 | 35             | 2.2.4. Cultivos agroforestales          | 2.2.4.1. Pastos y árboles plantados                |
| 26       | -74.040.556 | 4.891.944 | 36             | 1.2.1. Zonas industriales o comerciales | 1.2.1.2. Zonas comerciales                         |
| 27       | -74.0125    | 4.908.333 | 37             | 3.1.3. Bosque fragmentado               | 3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos  |
| 28       | -74.006.667 | 4.921.111 | 38             | 2.3.1 Pastos limpios                    | Zonas ganaderas                                    |
| 29       | -74.006.667 | 4.921.111 | 39             | 2.2.4. Cultivos agroforestales          | 2.2.4.1. Pastos y árboles plantados                |
| 29       | -74.006.667 | 4.921.111 | 40             | 2.3.1 Pastos limpios                    | Zonas ganaderas                                    |
| 30       | -74.006.667 | 4.921.111 | 41             | 2.2.4. Cultivos agroforestales          | 2.2.4.1. Pastos y árboles plantados                |
| 30       | -74.006.667 | 4.921.111 | 42             | 2.3.1 Pastos limpios                    | Zonas ganaderas                                    |
| 31       | -74.011.111 | 4.930.278 | 43             | 2.3.3. Pastos enmalezados               | Zonas ganaderas                                    |
| 31       | -74.011.111 | 4.930.278 | 44             | 2.3.3. Pastos enmalezados               | Zonas ganaderas                                    |
| 32       | -74.011.944 | 4.934.167 | 45             | 2.3.3. Pastos enmalezados               | Zonas ganaderas                                    |

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>         INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>         RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>         CUNDINAMARCA</b> |  | <br>ARCO<br>C&C |
|  | <b>ASPECTOS<br/>         GENERALES<br/>         SUELO RURAL</b>   | <b>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>         DE AMENAZAS</b> |  |

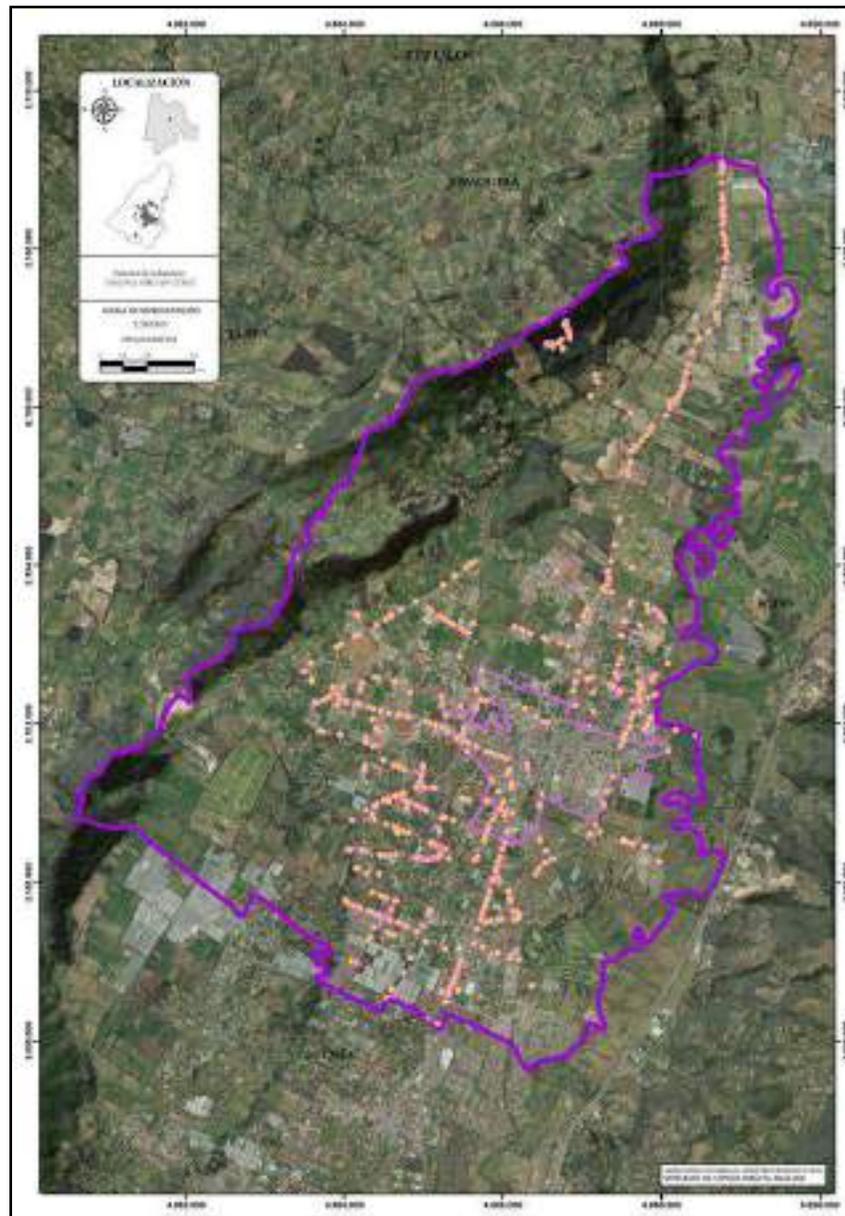
| ID<br>PUNTO | COORDENADAS |           | ID<br>FOTOGRAFÍAS | COBERTURA<br>OBSERVADA                            | OBSERVACIONES  |
|-------------|-------------|-----------|-------------------|---|--|
|             | LATITUD     | LONGITUD  |                   |   |  |
| 33          | -74.021.389 | 4.938.056 | 46                | 2.2.4. Cultivos agroforestales                    | 2.2.4.1. Pastos y árboles plantados  |
| 34          | -74.021.389 | 4.938.056 | 47                | 1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados | 1.2.2.1.2.4. Separadores viales  |
| 35          | -74.020.556 | 4.941.944 | 48                | 1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados | 1.2.2.1.2.4. Separadores viales  |
| 36          | -74.015.833 | 4.942.778 | 49                | 1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados | 1.2.2.1.2.4. Separadores viales  |
| 37          | -74.013.889 | 4.952.778 | 50                | 1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados | 1.2.2.1.2.4. Separadores viales  |
| 38          | -74.006.111 | 4.961.111 | 51                | 1.1.3. Construcciones rurales                     | 1.1.3.1. Vivienda rural dispersa - Vivienda Campesina o del productor agrícola |
| 39          | -74.003.889 | 49.975    | 52                | 2.3.3. Pastos enmalezados                         | Zonas ganaderas  |
| 40          | -74.195     | 4.995.278 | 53                | 2.1.5. Tubérculos                                 | 2.1.5.1. Papa  |
| 40          | -74.195     | 4.995.278 | 54                | 2.3.1 Pastos limpios                              | Zonas ganaderas  |
| 41          | -74.001.944 | 4.920.833 | 55                | 3.1.5. Plantación forestal                        | Arboles maderables   |
| 42          | -74.003.611 | 4.905.556 | 56                | 5.1.1. Ríos, (quebradas y rondas)                 | Rio Bogotá   |
| 42          | -74.003.611 | 4.905.556 | 57                | 5.1.1. Ríos, (quebradas y rondas)                 | Rio Bogotá   |
| 42          | -74.003.611 | 4.905.556 | 58                | 5.1.1. Ríos, (quebradas y rondas)                 | Rio Bogotá   |
| 43          | -74.006.111 | 4.898.611 | 59                | 1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados | 1.2.2.1.2.4. Separadores viales  |
| 44          | -74.013.333 | 4.892.222 | 60                | 5.1.1. Ríos, (quebradas y rondas)                 | Zonas inundables   |
| 45          | -74.015.278 | 4.893.056 | 61                | 5.1.1. Ríos, (quebradas y rondas)                 | Zonas inundables   |
| 46          | -74.186.667 | 4.975     | 62                | 5.1.1. Ríos, (quebradas y rondas)                 | Dragado del Rio Bogotá   |
| 47          | -74.193.056 | 4.950.278 | 63                | 5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales        | Zonas inundables   |
| 48          | -74.05      | 4.928.056 | 64                | 1.4.2 Instalaciones recreativas                   | 1.4.2.4. Parques recreativos   |

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

| ID PUNTO | COORDENADAS |          | ID FOTOGRAFÍAS | COBERTURA OBSERVADA             | OBSERVACIONES                                      |
|----------|-------------|----------|----------------|---------------------------------|--|
|          | LATITUD     | LONGITUD |                |                                 |  |
| 49       | -74.057     | 4.916    | 65             | 1.4.2 Instalaciones recreativas | Zonas de equitación. Caballerizas y Campos de golf |
| 49       | -74.057     | 4.916    | 66             | 1.4.2 Instalaciones recreativas | Zonas de equitación. Caballerizas y Campos de golf |
| 49       | -74.057     | 4.916    | 67             | 1.4.2 Instalaciones recreativas | Zonas de equitación. Caballerizas y Campos de golf |
| 49       | -74.057     | 4.916    | 68             | 1.4.2 Instalaciones recreativas | Zonas de equitación. Caballerizas y Campos de golf |
| 49       | -74.057     | 4.916    | 69             | 1.4.2 Instalaciones recreativas | Zonas de equitación. Caballerizas y Campos de golf |
| 49       | -74.057     | 4.916    | 70             | 1.4.2 Instalaciones recreativas | Zonas de equitación. Caballerizas y Campos de golf |
| 49       | -74.057     | 4.916    | 71             | 1.4.2 Instalaciones recreativas | Zonas de equitación. Caballerizas y Campos de golf |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

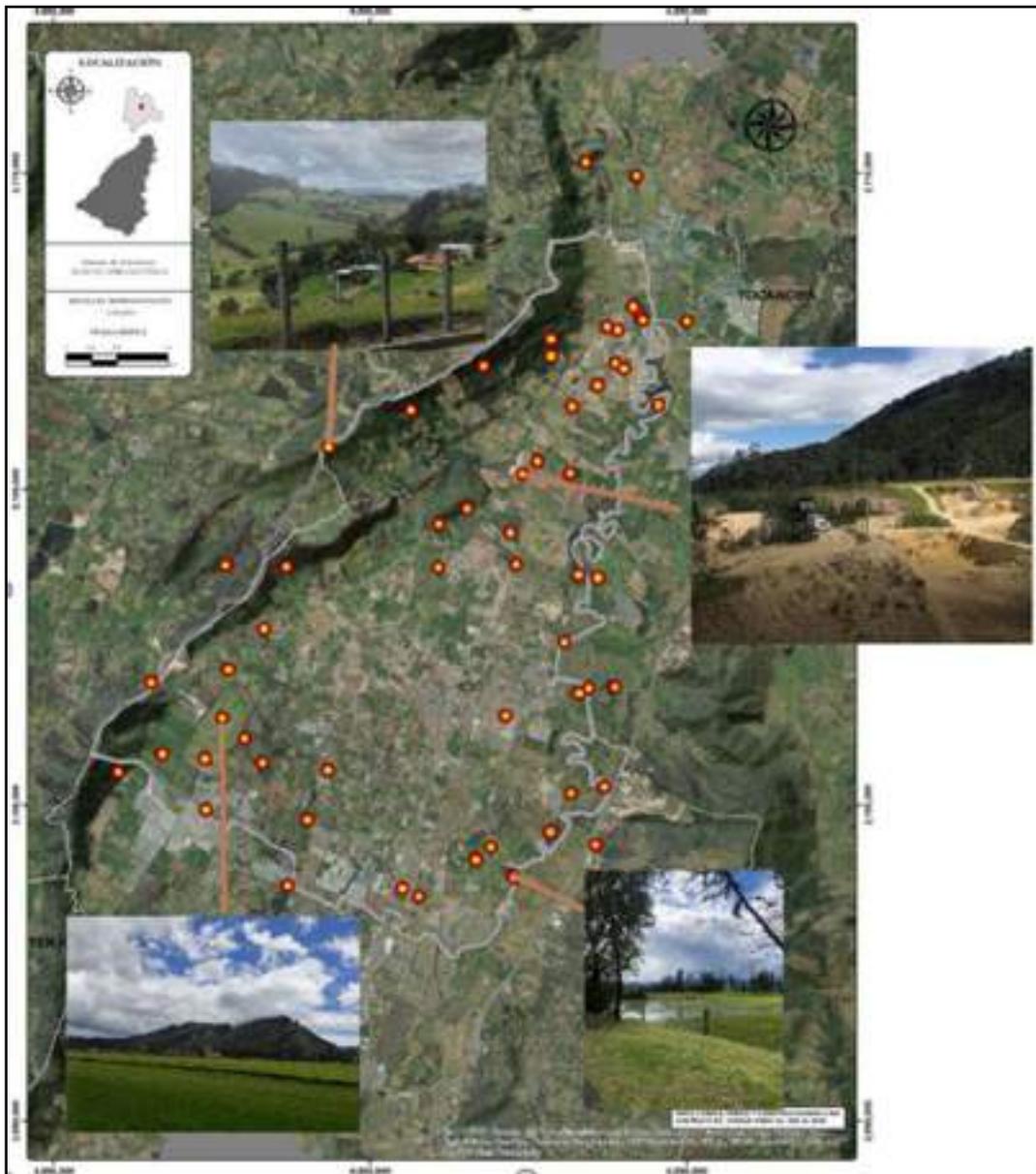
|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |



**Ilustración 38. Puntos y rutas de la salida de campo, ubicación geográfica, Cajicá - Cundinamarca.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |



**Ilustración 39.** Patrones de interpretación, relacionando puntos y fotografías tomados en campo proyecto CORINE Land Cover, Departamento de Cundinamarca, Municipio de Cajicá.

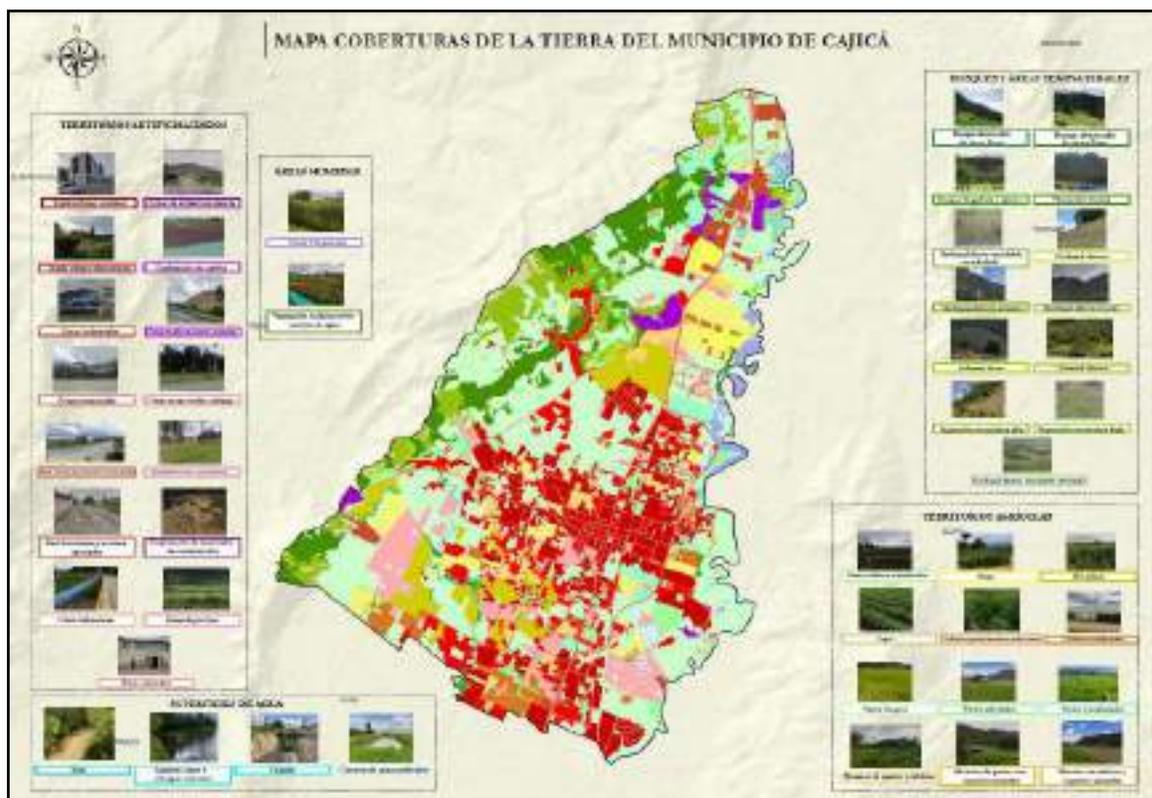
**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

En la Ilustración 39 se presentan las muestras gráficas de los patrones de interpretación. Una vez realizado el trabajo en campo y su respectivo procesamiento de la información con el fin de disminuir los errores generados en la fase preliminar, así como de complementar la información recolectado en el trabajo en campo se dispone a generar el resultado final de coberturas para el municipio de Cajicá.

### 1.5.6.2. Resultados

Una vez realizado el trabajo en campo y su respectivo procesamiento de la información se genera el resultado final de coberturas (Ilustración 40) de la zona rural del municipio de Cajicá, así como, sus áreas y porcentajes según cada cobertura (Tabla 26 e Ilustración 41).



**Ilustración 40. Coberturas rurales municipio de Cajicá – Cundinamarca.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

**Tabla 26. Coberturas rurales, áreas y porcentajes – Cajicá – Cundinamarca.**

| <b>NOMBRE</b>                             | <b>CÓDIGO</b> | <b>ÁREA (Ha)</b> | <b>PORCENTAJE (%)</b> |
|---|---------------|------------------|-----------------------|
| Tejido urbano continuo                    | 111           | 318,38           | 7,02                  |
| Tejido urbano discontinuo                 | 112           | 315,38           | 6,95                  |
| Zonas industriales                        | 1211          | 116,57           | 2,57                  |
| Zonas comerciales                         | 1212          | 2,57             | 0,06                  |
| Red vial y territorios asociados          | 1221          | 95,38            | 2,10                  |
| Red ferroviaria y terrenos asociados      | 1222          | 0,67             | 0,01                  |
| Obras hidráulicas                         | 125           | 7,98             | 0,18                  |
| Zonas de extracción minera                | 131           | 7,92             | 0,17                  |
| Explotación de carbón                     | 1313          | 28,46            | 0,63                  |
| Explotación de materiales de construcción | 1315          | 37,00            | 0,82                  |
| Otras explotaciones mineras               | 1321          | 1,25             | 0,03                  |
| Otras zonas verdes urbanas                | 1411          | 6,60             | 0,15                  |
| Instalaciones recreativas                 | 142           | 59,65            | 1,32                  |
| Áreas deportivas                          | 1422          | 241,20           | 5,32                  |
| otros cultivos transitorios               | 2111          | 118,92           | 2,62                  |
| Maíz                                      | 2122          | 49,19            | 1,08                  |
| Hortalizas                                | 214           | 146,91           | 3,24                  |
| Papa                                      | 2151          | 77,67            | 1,71                  |
| Cultivos permanentes arbóreos             | 223           | 0,40             | 0,01                  |
| Cultivos confinados                       | 225           | 124,03           | 2,74                  |
| Pastos limpios                            | 231           | 1345,99          | 29,68                 |
| Pastos arbolados                          | 232           | 111,05           | 2,45                  |
| Pastos enmalezados                        | 233           | 154,03           | 3,40                  |
| Mosaico de pastos y cultivos              | 242           | 84,15            | 1,86                  |
| Mosaico de pastos con espacios naturales  | 244           | 0,44             | 0,01                  |
| Mosaico de cultivos y espacios naturales  | 245           | 1,07             | 0,02                  |
| Bosque denso alto de tierra firme         | 31111         | 13,98            | 0,31                  |
| Bosque abierto alto de tierra firme       | 31211         | 23,09            | 0,51                  |
| Bosque de galería y ripario               | 314           | 34,31            | 0,76                  |
| Plantación forestal                       | 315           | 394,43           | 8,70                  |
| Herbazal denso inundable no arbolado      | 321121        | 16,44            | 0,36                  |
| Herbazal abierto                          | 3212          | 0,60             | 0,01                  |
| Herbazal abierto arenoso                  | 32121         | 26,98            | 0,59                  |

| NOMBRE                                    | CÓDIGO | ÁREA (Ha) | PORCENTAJE (%) |
|---|--------|-----------|----------------|
| Herbazal abierto rocoso                   | 32122  | 53,92     | 1,19           |
| Arbustal denso                            | 3221   | 20,56     | 0,45           |
| Arbustal abierto                          | 3222   | 15,54     | 0,34           |
| Vegetación secundaria alta                | 3231   | 88,41     | 1,95           |
| Vegetación secundaria baja                | 3232   | 165,34    | 3,65           |
| Zonas Pantanosas                          | 411    | 100,04    | 2,21           |
| Vegetación acuática sobre cuerpos de agua | 413    | 0,00      | 0,00           |
| Ríos                                      | 511    | 6,73      | 0,15           |
| Lagunas, lagos y ciénagas naturales       | 512    | 51,39     | 1,13           |
| Cuerpos de agua artificiales              | 514    | 70,07     | 1,55           |
| <b>TOTAL</b>                              | -      | 4534,70   | 100,00         |

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

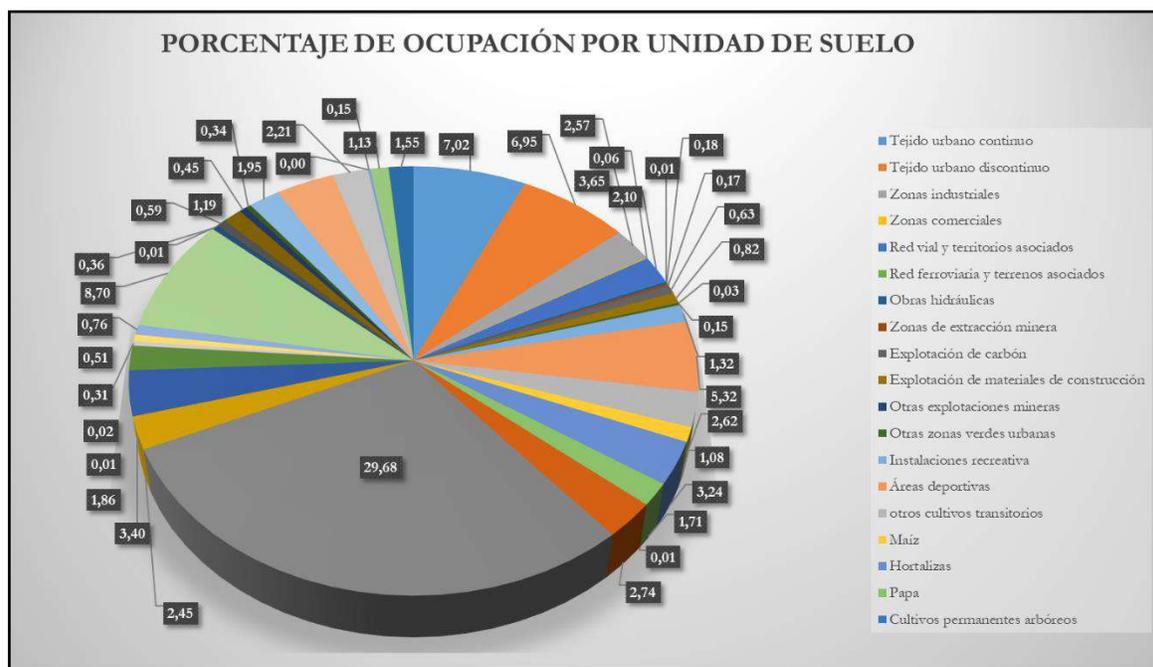


Ilustración 41. Porcentaje coberturas rurales, Cajicá -Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### 1.5.6.2.1. Territorios Artificializados

Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos. Los territorios artificializados corresponden al 27.32 % del área del área total del municipio con alrededor de 1239.0 Ha, estos se dividen en cuatro zonas a saber. La primera son las zonas urbanizadas con una representatividad del 13.97 %, la segunda son las zonas industriales, comerciales y de redes de comunicación con una representatividad del 4.92 %, la tercera son las zonas de extracción minera con una representatividad del 1.64%, y la cuarta son las zonas verdes artificiales no agrícolas con tan solo una representatividad del 6.77%. (Ilustración 42).

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>Arco<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

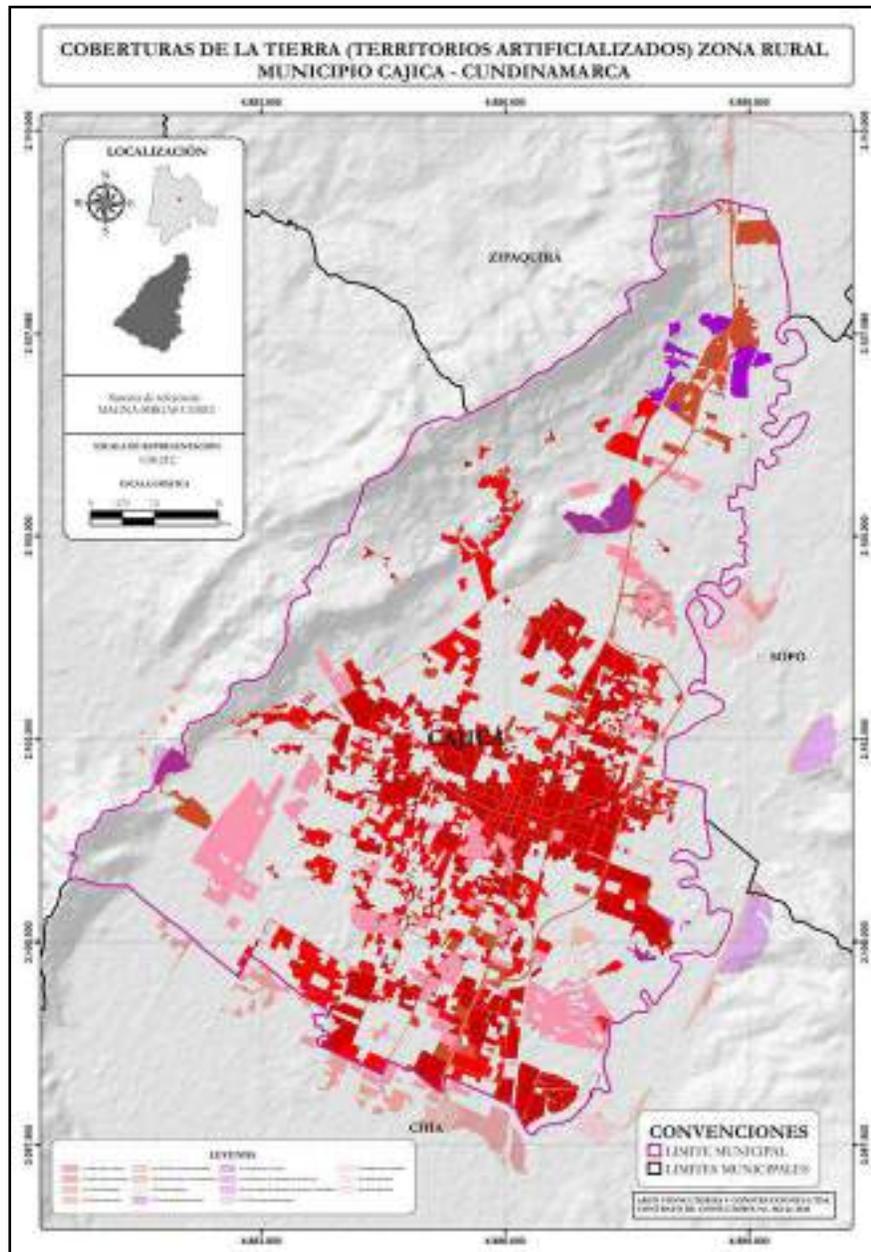


Ilustración 42. Representación de la cobertura de territorios artificializados zona rural Cajicá – Cundinamarca

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

A continuación, se describen las clases de cobertura de la tierra que presenta los territorios artificializados

**Zonas urbanizadas:** Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas, que configuran un tejido urbano. Se encuentran las siguientes categorías:

- **Tejido urbano continuo:** Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano. En la zona rural el tejido urbano continuo comprende 318.4 Ha, lo que significa un 7.02% del municipio. (Ilustración 43)



**Ilustración 43. Tejido urbano continuo.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Tejido urbano discontinuo.** Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación. El sector con tejido urbano discontinuo es de 315.4 Ha, que corresponde al 6.95% del municipio. Este tipo de cobertura de la tierra representa los diferentes centros poblados que encontramos en el área de estudio, de los cuales su uso es únicamente residencial. (Ilustración 44).



**Ilustración 44. Tejido urbano discontinuo.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

**Zonas industriales, comerciales y redes de comunicación.** Comprende los territorios cubiertos por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad.

- **Zonas industriales o comerciales.** Son las áreas cubiertas por infraestructura artificial (terrenos cimentados, alquitranados, asfaltados o estabilizados), sin presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se utilizan también para actividades comerciales o industriales. de 119.1 Ha, que corresponde al 2.62 % del municipio. Este tipo de cobertura de la tierra tiene un uso industrial en el área de estudio, que se evidencia en las

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

concentraciones de industrialización que ha vivido en las últimas décadas la sabana de Bogotá. (Ilustración 45).



**Ilustración 45. Zonas industriales o comerciales.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Red vial, ferroviaria y terrenos asociados.** Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura conexas y las instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, andenes.

La red vial del municipio tiene una extensión de 96.1 Ha, que corresponde al 2.11% del municipio el uso de este tipo de cobertura es exclusivo para transporte, se resalta la vía de tipo nacional que conecta el norte y el sur del municipio y además conecta el municipio con otras regiones. (Ilustración 46).

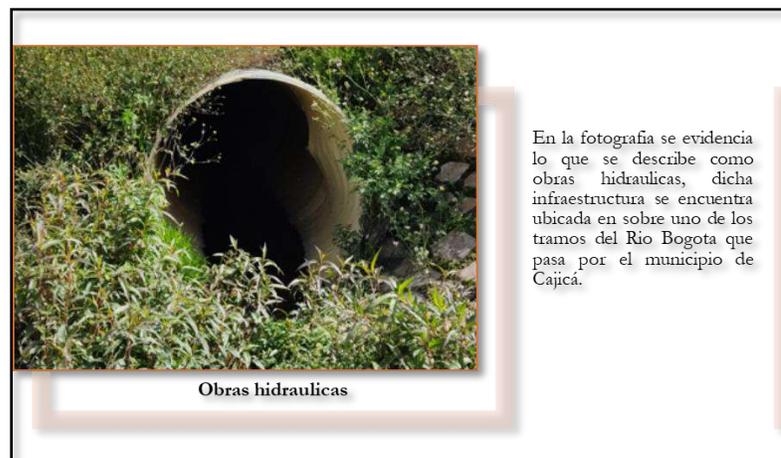
|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |



**Ilustración 46. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Obras hidráulicas.** Superficies que corresponden a construcciones consolidadas de carácter permanente, destinadas a instalaciones hidráulicas, y aquellas de pequeña magnitud, generalmente asociadas con infraestructura urbana, tales como acueductos, bocatomas, plantas de tratamiento y pequeñas presas. La zona de obras hidráulicas tiene una extensión de 7.97 Ha, representando el 0.17%. (Ilustración 47).



**Ilustración 47. Obras hidráulicas.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- Instalaciones recreativas.** Son los terrenos dedicados a las actividades de camping, deporte, parques de atracción, golf, canchas de futbol y otras actividades de recreación y esparcimiento. Las instalaciones recreativas tienen una extensión de 59.64 Ha, es decir, 1.31%. (Ilustración 48).



**Ilustración 48. Instalaciones recreativas.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.6.2.2. Territorios Agrícolas

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos o con pastos. Los territorios agrícolas son los que mayor representatividad tienen con un 48.82%, lo que corresponde alrededor de 2213.85 Ha. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas, en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas. Las áreas con cultivos transitorios cuentan con una extensión de 392.68 Ha equivalente al 8,65% en el territorio, las áreas con cultivos permanentes cuentan con una extensión de 124.43 Ha equivalente al 2.74% en el territorio, las áreas de pastos cuentan con una extensión de 1611.07 Ha equivalente al 35.52% en el territorio, convirtiéndose de este modo la cobertura que más se encuentra a lo largo del municipio y de áreas agrícolas heterogéneas se presentan 85.66 Ha equivalente a 1.88%. (Ilustración 49).

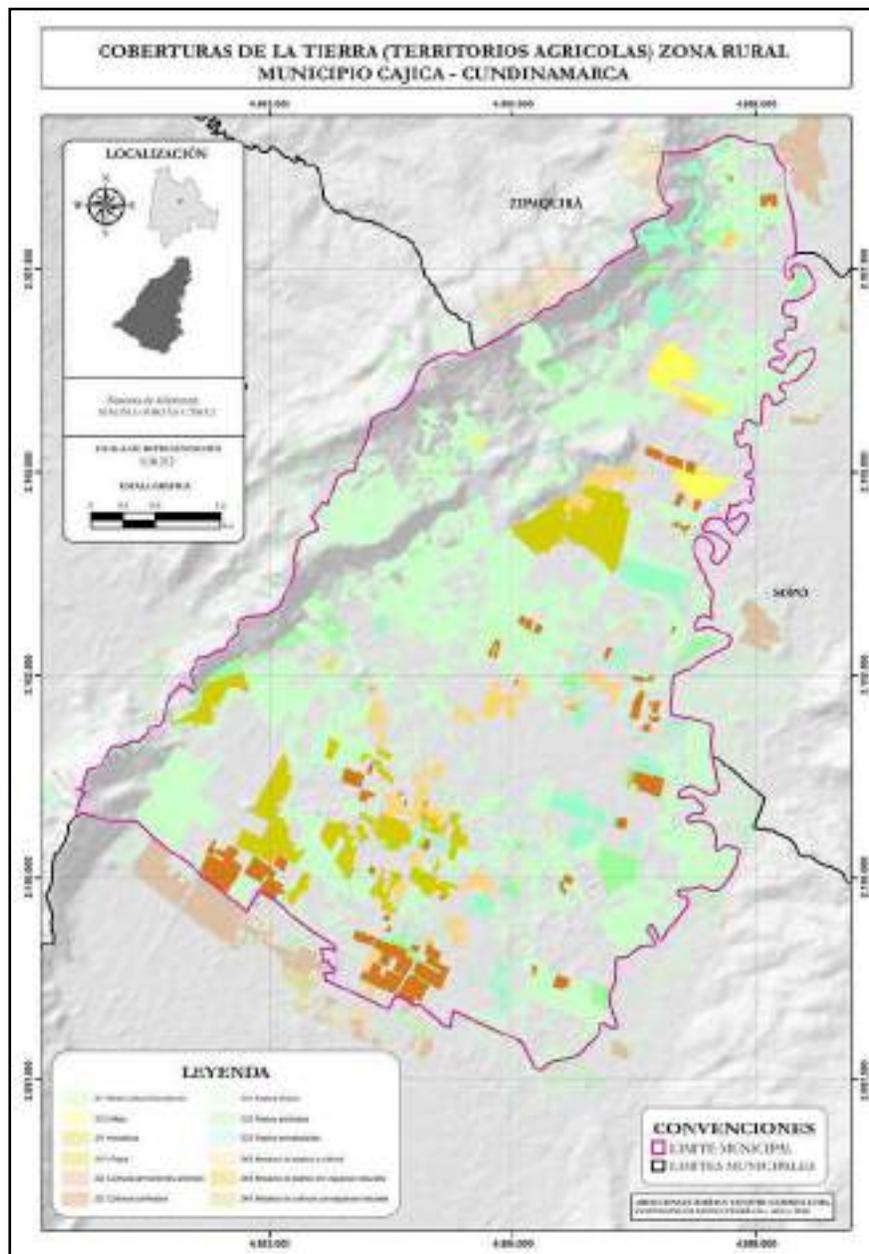


Ilustración 49. Representación de la cobertura de territorios agrícolas zona rural Cajicá – Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- **Maíz.** Son tierras que presentan cobertura vegetal compuestas por plantas de alturas desde los 3 metros hasta los 60 centímetros, con hojas grandes y tallos rectos. En el municipio esta cobertura se presenta en 49.2 Ha que corresponde a 1.08% del municipio. (Ilustración 50).

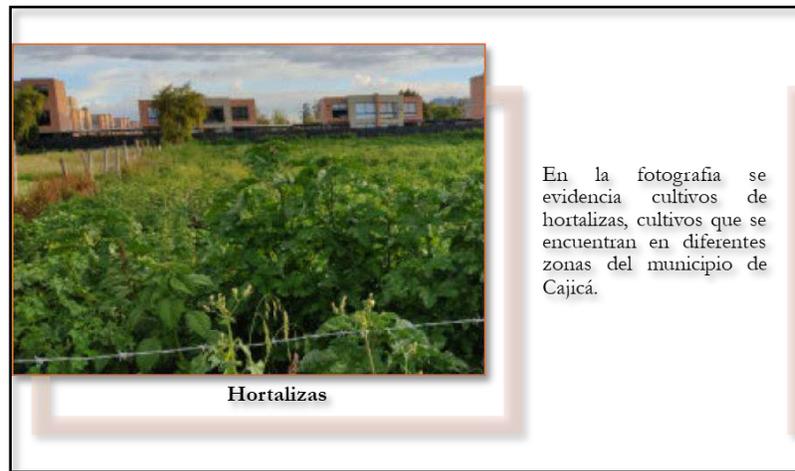


**Ilustración 50. Maíz.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Hortalizas.** Conjunto de plantas herbáceas, cultivadas principalmente en huertas que se consumen como alimento humano. La cobertura de hortalizas se presenta en 146.9 Ha que corresponde a 3.23% del municipio (Ilustración 51).

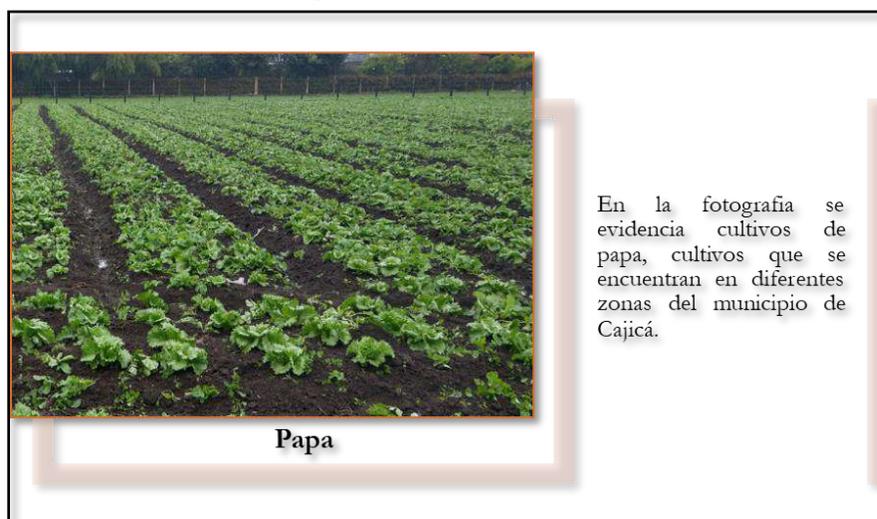
|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |



**Ilustración 51. Hortalizas.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Papa.** Cobertura terrestre propia propias de zonas montañosas de clima frío, se sitúan entre los 2.000 y 3.000 msnm. Las zonas de papa tienen una extensión de 77.7 Ha, que corresponde a 1.71% del municipio. (Ilustración 52).



**Ilustración 52. Papa**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- Cultivos permanentes arbóreos.** Son terrenos ocupados por diferentes plantaciones forestales maderables o no. Las zonas de esta cobertura se presentan en 0.008% en el municipio con una extensión total de 0.4 Ha. (Ilustración 53).



**Ilustración 53. Cultivos permanentes arbóreos.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- Cultivos confinados.** Cobertura asociada a las tierras ocupadas por cultivos bajo invernaderos, principalmente frutales, floricultivos y hortalizas. Así bien, incluye todas las infraestructuras cubiertas por materiales transparentes que pueden propiciar condiciones de microclima. Los cultivos confinados en el municipio comprenden el 2.73%, con una extensión de 124.0 Ha. (Ilustración 54).

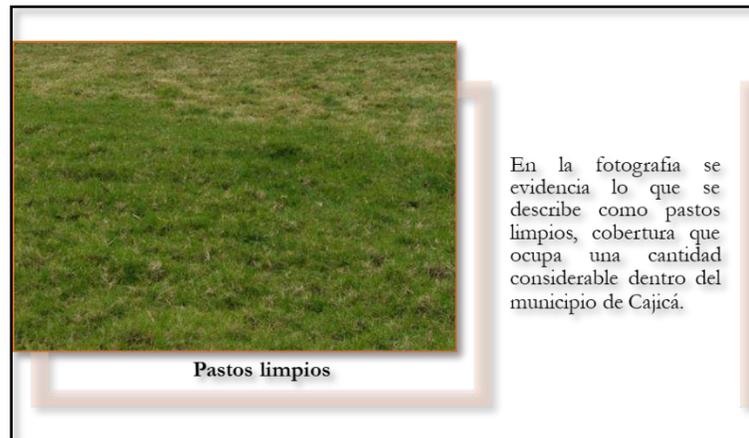


**Ilustración 54. Cultivos confinados.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- Pastos limpios.** Comprende los terrenos ocupados por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor al 70%, por lo que la realización de prácticas de manejo y el nivel tecnológico utilizado impide el desarrollo de otras coberturas. En Cajicá esta cobertura se presenta con una extensión de 1346.0 Ha, traducido en un 29.68% del total municipal. (Ilustración 55).



**Ilustración 55. Pastos limpios.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- Pastos arbolados.** Son tierras cubiertas por pastos, en donde se han estructurado potreros con presencia de árboles dispersos con alturas superiores a los 5 metros. La zona de pastos arbolados comprende un 2.44% con un total de 111.1 Ha (Ilustración 56)

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |



**Ilustración 56. Pastos arbolados.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Pastos enmalezados.** Son las coberturas de pastos y malezas que conforman asociaciones de vegetación secundaria, debido a la realización de malas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En el municipio comprenden un área de 154.0 Ha, equivalentes a 3.39%. (Ilustración 57).



**Ilustración 57. Pastos enmalezados.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- **Mosaico de pastos y cultivos.** Cobertura que comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos en donde las parcelas son menores a 25 ha. La zona de mosaico de pastos y cultivos comprende 84.2 Ha, equivalente a 1.85%. (Ilustración 58).



**Ilustración 58. Mosaico de pastos y cultivos.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Mosaico de pastos con espacios naturales.** Tierras constituidas por superficies ocupadas principalmente por espacios de pastos en combinación con espacios naturales, estas últimas conformadas por áreas de relictos de bosque natural, arbustales, bosques de galería o ripario, pantanos y otras áreas poco transformadas. Dentro del municipio se presentan en un 0.009% con un área de 0.4 Ha. (Ilustración 59).



**Ilustración 59. Mosaico de pastos con espacios naturales.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- Mosaico de cultivos y espacios naturales.** Zonas ocupadas por cultivos en combinación con espacios naturales, en esa cobertura se presentan los espacios naturales como pequeños parches en el terreno, las áreas de cultivos pueden presentar entre un 30% y 70% de la unidad. En el municipio se presenta con una extensión de 1.1 Ha cubriendo el 0.02% del municipio. (Ilustración 60).



**Ilustración 60. Mosaico de cultivos con espacios naturales.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

### 1.5.6.2.3. Bosques y áreas seminaturales

Las zonas de bosques y áreas seminaturales comprenden las coberturas de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrollados o por procesos climáticos (en distintos pisos altitudinales) o procesos naturales (afloramientos rocosos) o inducidos de degradación. Se deriva en tres unidades: Bosques, Áreas con vegetación herbácea y arbustiva, y Áreas abiertas, sin o con poca vegetación. De la primera unidad se comprende una extensión 465.8 Ha, de la segunda unidad se presentan 387.8 Ha, en cuanto a las áreas abiertas, si o con poca vegetación no se identifican en el municipio de Cajicá. (Ilustración 61).



|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- Bosque denso alto de tierra firme.** Zonas con vegetación de tipo arbóreo con presencia de más del 70% de la unidad, con una altura del dosel superior a 15 metros y que se encuentra en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos. El bosque denso alto de tierra firme tiene una extensión de 14.0 Ha en el municipio, equivalente a 0.30%. (Ilustración 62).



**Ilustración 62. Bosque denso alto de tierra firme.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- Bosque abierto alto de tierra firme.** Tal y como la unidad de cobertura anterior comprende zonas con vegetación de tipo arbóreo con una altura del dosel superior a 15 metros, pero con una presencia de entre el 30% y 70% del área total de la unidad. Esta se presenta en el municipio en un 0.50% con un área de 23.1 Ha. (Ilustración 63).



**Ilustración 63. Bosque abierto alto de tierra firme.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- Bosque de galería o ripario.** Cobertura caracterizada por vegetación arbórea ubicada en los márgenes de cursos de agua permanentes o temporales, su extensión es limitada a razón su distribución que bordea los cursos de agua; en zonas andinas se les conoce como bosque ripario. Esta cobertura se evidencia con una extensión de 34.3 Ha, dentro del municipio, representando el 0.75%. (Ilustración 64).



**Ilustración 64. Bosque de galería o ripario.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- Plantación forestal.** Zonas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por intervención directa del hombre con fines de manejo forestal, para la producción de madera o de bienes y servicios ambientales. Las plantaciones forestales se extienden en un área de 394.4 Ha, equivalente a 8.69%. (Ilustración 65).



**Ilustración 65. Plantación forestal.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- Herbazal denso inundable no arbolado.** Cobertura constituida por vegetación natural herbácea con cobertura mayor al 70% de la unidad, en suelos permanentemente sobresaturados que durante los periodos de lluvia pueden estar cubiertos por una lámina de agua. En el municipio de identifican 16.4 Ha de herbazal denso inundable no arbolado, es decir, 0.36% del área municipal. (Ilustración 66).



**Ilustración 66. Herbazal denso inundable no arbolado.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- Herbazal abierto.** Tierras en donde domina la comunidad vegetal herbácea con una ocupación entre el 30% y el 70%, estas formaciones no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva sin alterar su estructura. En el municipio se evidencia un total de 0.6 Ha de herbazal abierto, traducido en 0.01%. (Ilustración 67).

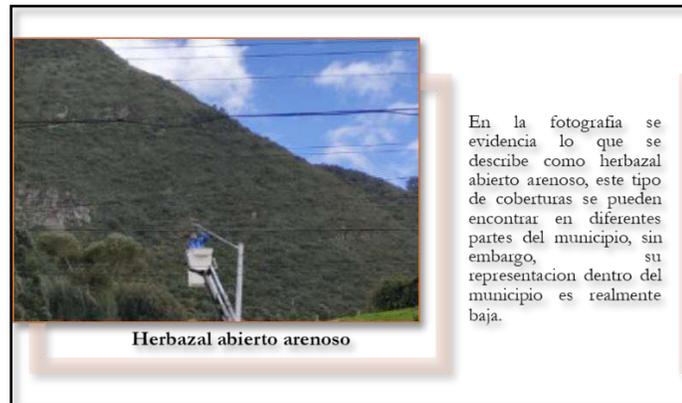


**Ilustración 67. Herbazal abierto.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- **Herbazal abierto arenoso.** Zonas dominadas por vegetación herbácea con una cobertura entre 30% y 70% sobre suelos arenosos que no poseen humedad. El herbazal abierto arenoso se presenta en un 0.59% con una extensión total de 27.0 Ha. (Ilustración 68).



**Ilustración 68. Herbazal abierto arenoso.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Herbazal abierto rocoso.** Áreas dominadas por vegetación natural herbácea abierta que se desarrollan sobre áreas de sustratos predominantemente rocosos y pedregosos que no tienen humedad. En el municipio se identifica con un área de 53.9 Ha, equivalente a 1.18%. (Ilustración 69).

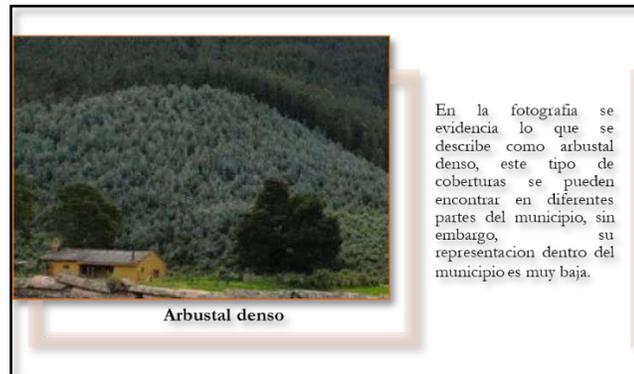


**Ilustración 69. Herbazal abierto rocoso.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

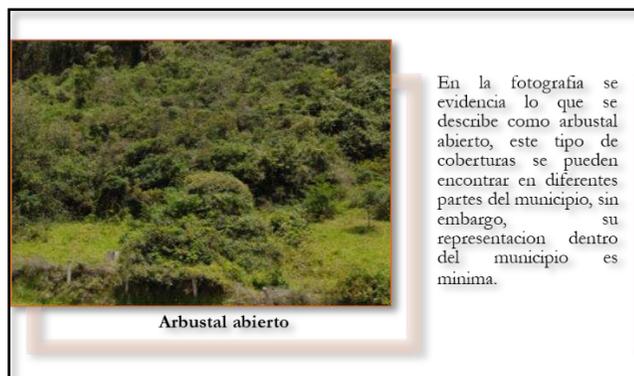
- **Arbustal denso.** Tierras dominadas por vegetación arbustiva, los cuales forman un dosel irregular con una cobertura de más del 70% de la unidad. Esta comunidad vegetal no ha sido intervenida o su intervención ha sido selectiva. Tiene una extensión total de 20.6 Ha, es decir representa 0.45% del área del municipio. (Ilustración 70).



**Ilustración 70. Arbustal denso.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Arbustal abierto.** Cobertura constituida por comunidad vegetal arbustiva, regularmente distribuida, las cuales forman dosel discontinuo con una cobertura entre el 30% y el 70% de la unidad; esta comunidad vegetal no ha sido intervenida o su intervención ha sido selectiva. El Arbustal abierto se identifica en Cajicá con una extensión de 15.5 Ha, traducido en 0.34%. (Ilustración 71).



**Ilustración 71. Arbustal abierto.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- **Vegetación secundaria alta.** Zonas cubiertas por vegetación arbórea con dosel irregular y leve presencia de arbustos, palmas y enredaderas, que permiten identificar un proceso de deforestación o aforestación de pastizales. En el municipio se evidencia una extensión de 88.4 Ha de vegetación secundaria alta, traducido en 1.94%. (Ilustración 72).



**Ilustración 72. Vegetación secundaria alta.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- **Vegetación secundaria baja.** Tierras cubiertas por vegetación principalmente arbustiva y herbácea, que corresponden a estadios iniciales de sucesión vegetal después de un proceso de deforestación o aforestación de pastizales. Se presentan con alturas que no superan los 5 metros y son de cobertura densa. La vegetación secundaria baja se evidencia con una extensión de 165.3 Ha, es decir, 3.64% del área municipal. (Ilustración 73).



**Ilustración 73. Vegetación secundaria baja.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

#### 1.5.6.2.4. Áreas Húmedas

Las áreas húmedas comprenden las coberturas de terrenos anegadizos, que pueden encontrarse parcialmente inundados y estar cubiertos por vegetación acuática. Se presenta entonces, por la ubicación geográfica del municipio, la categoría de Áreas Húmedas Continentales. (Ilustración 74).

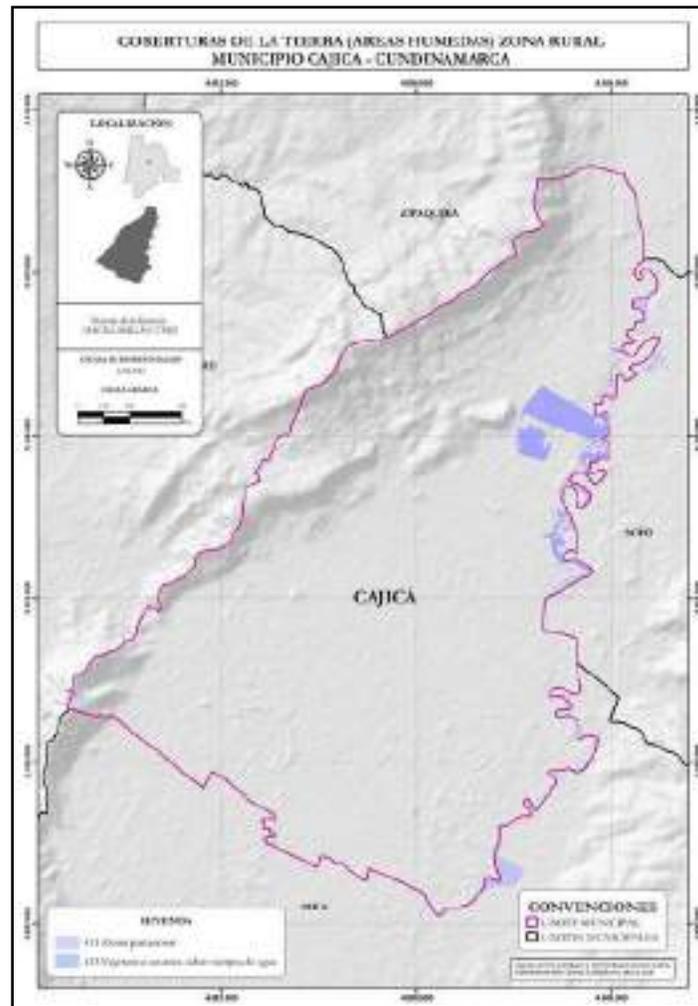


Ilustración 74. Representación de la cobertura de áreas húmedas zona rural Cajicá – Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- Zonas pantanosas.** Corresponden a tierras que se encuentran inundadas durante la mayor parte del año, así mismo pueden comprender zonas de divagación de cursos de agua, llanuras de inundación, antiguas vegas de divagación y depresiones naturales donde la capa freática aflora de manera permanente o estacional. Dentro de Cajicá se evidencian 100.03 Ha de zonas pantanosas, es decir, 2.20%. (Ilustración 75).



**Ilustración 75. Zonas pantanosas.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- Vegetación acuática sobre cuerpos de agua.** Es toda aquella vegetación flotante que se encuentra sobre los cuerpos de agua, ya sea que los cubra parcial o totalmente; esta cobertura se asocia con lagos y lagunas andinos. En el municipio se identifican 0,000008 Ha, con una cobertura del 0.00000017%. (Ilustración 76).



**Ilustración 76. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.6.2.5. Superficies de Agua

La cobertura de superficies de agua comprende, los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizadas al interior del continente, por la ubicación continental del municipio de Cajicá, se identifica la categoría de Aguas Continentales. (Ilustración 77).

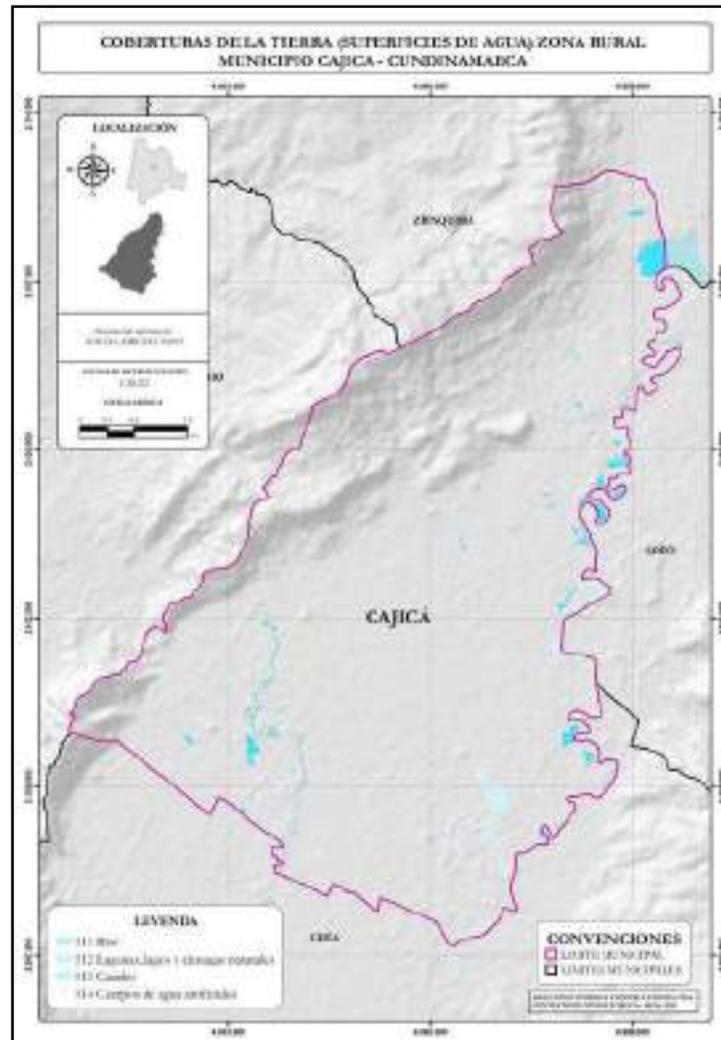
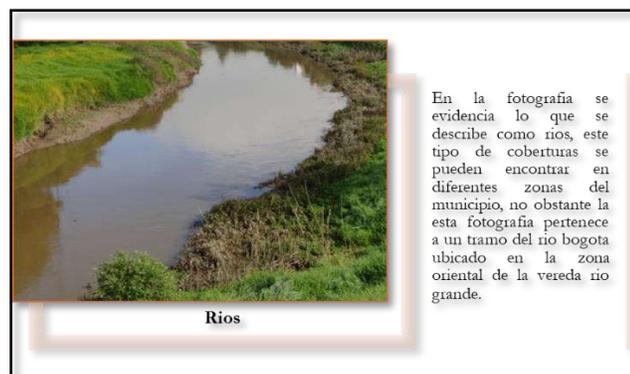


Ilustración 77. Representación de la cobertura de superficies de agua zona rural Cajicá – Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- Ríos.** Los ríos son corrientes naturales de agua que fluyen con continuidad y tienen un caudal considerable, deben poseer un ancho mayor o igual a 1 metro, a razón de la unidad mínima cartografiable (UMC). En el municipio se identifican 6.7 Ha de esta cobertura, equivalente a 0.14% del área municipal. Por el municipio atraviesa dos ríos de gran importancia como lo son el río Bogotá en el costado oriental y el río frío por el costado occidental. (Ilustración 78).



**Ilustración 78. Ríos.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

- Lagunas, lagos y ciénagas naturales.** Superficies de agua de carácter abierto o cerrado, pueden ser dulces o salobres. En el municipio se evidencia un total del 1.13%, es decir 51.4 Ha. (Ilustración 79).



**Ilustración 79. Lagunas, lagos y ciénagas naturales.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- Cuerpos de agua artificiales.** Comprende cuerpos de agua artificiales, es decir, que fueron creados por el hombre para prestar algún servicio de abastecimiento, control de caudales, riego, entre otros. Esta cobertura tiene una extensión total de 70.1 Ha, es decir, 1.54%. (Ilustración 80).



**Ilustración 80. Cuerpos de agua artificializados.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

Se evidencia que cada uno de los ecosistemas presenta en este informe tiene sus particularidades en cuanto a características bióticas como abióticas. Por otro lado, en todos es común su transformación como resultado de la adopción de modelos económicos, en el caso del municipio de Cajicá resaltan los modelos de recreación como Golf, equitación y vivienda campestre, en las zonas Norte y Noroccidente, principalmente en la parte sur extractivos, y en la parte Oriente las instalaciones recreativas, estas actividades intentan controlar la complejidad tropical por medio de la homogenización de paisajes y culturales.

Es así como observamos el reemplazo de los bosques andinos por mono específicas plantaciones forestales de pino o eucalipto o por el cultivo de especies como la papa y flores, o por extensas áreas de potreros utilizadas por “ganaderos de montaña”. Pero no solo en los ecosistemas de montaña ha pasado esto, también en tierras bajas donde se aprovecha la oferta hídrica natural de las planicies de inundación para el establecimiento de grandes zonas de cultivo, como las zonas cercanas al Río Bogotá.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

## 1.5.7. Suelos Edafológicos

### 1.5.7.1. Proceso Metodológico

El presente numeral fue construido a partir de la información de suelos consignada en el POMCA del río Bogotá, teniendo en cuenta, la capa cartográfica de suelos de dicho documento, la cual se encuentra a escala 1:25000, la capa de pendientes generada por el IGAC y las pendientes generadas a partir del DEM de ALLOS el cual fue útil para cubrir las zonas que no contaban con cobertura en el insumo del DEM del IGAC, se procesaron dichos insumos con el objetivo de bajar la escala a 1:1000, a partir de lo cual se determinó que el municipio de Cajicá cuenta con 19 unidades de las cuales se da a continuación una breve descripción. Adicionalmente, se debe destacar que el POMCA, consulta estudios secundarios como “Levantamiento Semidetallado de Suelos en las zonas de influencia de los Humedales” y “Levantamiento Detallado de Suelos en las áreas Planas de 14 municipios de la Sabana de Bogotá” (POMCA, 2019), los cuales, se consultaron y tuvieron en cuenta para el desarrollo del presente estudio en el municipio de Cajicá.

Una vez se cuenta con los insumos de unidades de suelo presentes en el municipio de Cajicá se procede a recolectar información secundaria; acerca de la caracterización de cada unidad presente y sus respectivos porcentajes de arenas, limos, arcillas y materia orgánica presente en los perfiles de cada unidad, para esto se tomó como recurso, el documento en su fase de diagnóstico del “ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Bogotá”; documento que cuenta con información propia levantada en dicho estudio, así como con información de estudios e investigaciones anteriores como el POMCA disponible para la cuenca del río Bogotá de noviembre del 2006; adicionalmente la consultora ARCO C&C, se encargó de realizar estudios de laboratorio de ciertas unidades de suelo presentes en el municipio, con el fin de complementar los valores de los materiales anteriormente mencionados; una vez completados los valores para cada unidad de suelo se procede a realizar un procedimiento matemático el cual arroja un único valor porcentual de cada material, para cada una de las unidades presentes.

### 1.5.7.2. Resultados

#### 1.5.7.2.1. Mapa de Suelos Edafológicos

Se desarrolla toda la metodología propuesta con la finalidad de obtener las unidades de suelo en la zona de estudio. En la Ilustración 81, se muestran las 24 unidades de suelo que comprende el municipio de Cajicá y su distribución. Como se evidencia, las unidades de suelo RzM10 y RzL31 son las unidades de suelo con mayor presencia en la zona de estudio, conteniendo así el 14,56%



y 12,67% de la totalidad del municipio respectivamente. En el Ilustración 82, se evidencian el porcentaje de ocupación de cada unidad dentro del municipio.

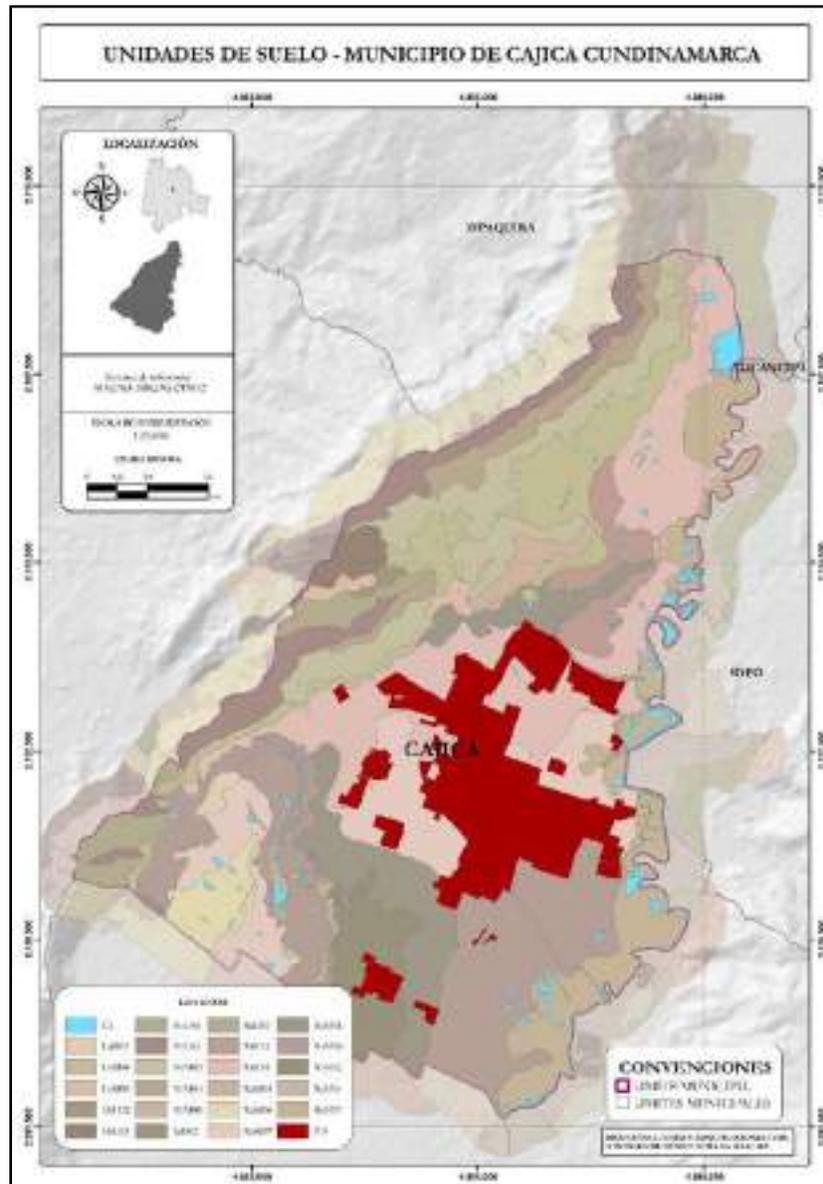
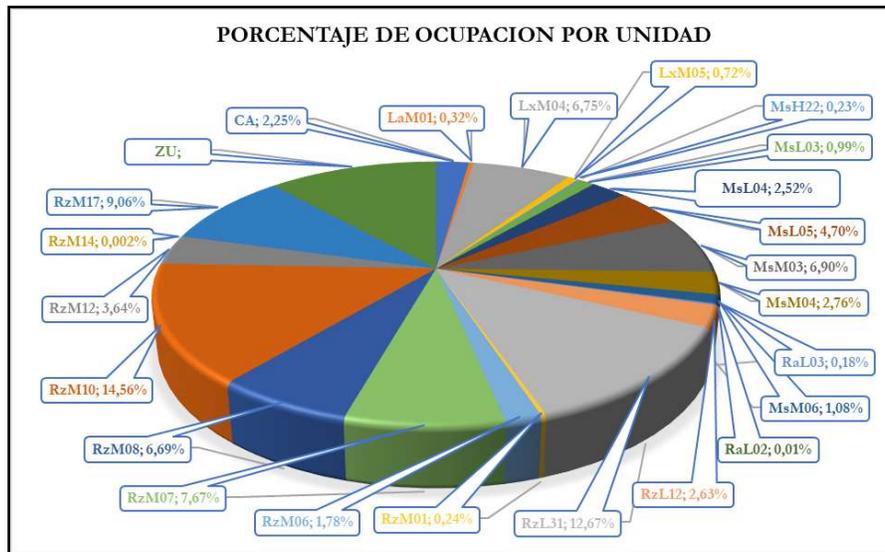


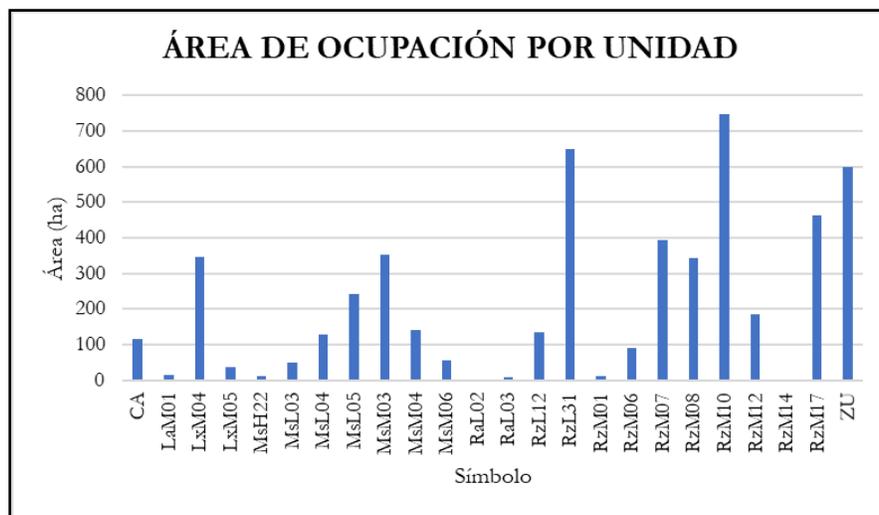
Ilustración 81. Unidades de Suelo, Cajicá – Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).



**Ilustración 82. Porcentaje de ocupación por Unidad de Suelo presentes en el municipio.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).



**Ilustración 83. Área por cada unidad de suelo.**

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

En la ilustración anterior se evidencia que la unidad con mayor porcentaje de ocupación dentro del municipio es la unidad RzM10 con el 14,56% y la unidad con menor porcentaje de ocupación es RzM14 con tan solo el 0,002% de ocupación dentro de Cajicá; adicionalmente se presenta la Ilustración 83, que deja en evidencia el área en hectáreas con la que cuenta cada unidad dentro del municipio de Cajicá.

#### 1.5.7.2.2. Unidades de Suelos Edafológicos

Partiendo de la información recopilada con anterioridad, se realizará una subdivisión con la finalidad de dar una profundidad a cada unidad de suelo edafológico encontrado en el municipio de Cajicá, evidenciando así su localización por medio de mosaicos, porcentaje de ocupación en el área del municipio, entre otras especificaciones.

##### **Unidad Geomorfopedológica MsH2**

Esta unidad se ha desarrollado en el paisaje de montaña estructural-erosional, en un clima muy frío, húmedo y muy húmedo, con una temperatura promedio entre 8 y 12°C. Su altura promedio se encuentra entre 3480-3580 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a crestones conformados por rocas sedimentarias químicas carbonatadas, en la forma de terreno de frente. Los suelos dominantes en esta unidad se encuentran en presencia de afloramientos rocosos y presenta 9 fases cartográficas: d, d1, d2, e, e1, e2, f, f1 y f2. (Ilustración 84). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Chuntame y cuenta con un área de 11,77 ha.

##### **Unidad Geomorfopedológica MsM04**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de montaña, en un clima muy frío y seco, con una temperatura promedio entre 12°C y 14°C. Su altura promedio esta entre 3649 - 3750 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a espinazos conformados por rocas sedimentarias tipo arenisca y conglomerada, la forma del terreno es de tipo escarpe. La presente unidad está conformada por afloramientos rocosos y presenta 4 fases cartográficas: f1, f2, g1, g2. (Ilustración 84). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Chuntame y cuenta con un área de 141,71 ha.

##### **Unidad geomorfopedológica MsL03**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de montaña estructural-erosional, en un clima muy frío, muy húmedo, con una temperatura promedio de 12°C. Su altura promedio es de 3000 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a espinazos, conformado por rocas sedimentarias tipo areniscas, conglomerados, limolitas, lodolitas, arcillolitas y químicas carbonatadas, con terreno en forma de frente, quebrado a escarpado. Esta unidad presenta suelos profundos, bien drenados, de texturas gruesas, medias y finas, muy fuerte a fuertemente ácidos, reacción extremadamente a fuertemente ácida, fertilidad baja, erosión moderada, cenizas

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

volcánicas y alta saturación de aluminio. La unidad geomorfopedológica también presenta afloramientos rocosos. (Ilustración 84). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Chuntame y cuenta con un área de 50,68 ha.

#### **Unidad geomorfopedológica MsL04**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de montaña estructural-erosional, en un clima frío húmedo, con una temperatura promedio anual de 13°C. Su altura promedio se encuentra entre 2648 - 2748 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a espinazos, conformados por rocas sedimentarias tipo areniscas y conglomerados, limolitas, lodolitas, arcillolitas y químicas carbonatadas, en la forma del terreno de revés con pendientes quebradas a escarpadas. Suelos profundos, erosión moderada, bien drenados, texturas medias, muy fuerte a fuertemente ácidos, reacción moderada a ligeramente ácida, alta saturación de aluminio y de fertilidad moderada a baja. (Ilustración 84). Esta unidad se cuenta con un área total dentro del municipio de 141,71 ha, las cuales se encuentran en la vereda Canelón y en la vereda Chuntame

#### **Unidad Geomorfopedológica MsM03**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de montaña, en un clima frío seco, con una temperatura promedio anual de 13,8°C. Su altura promedio se encuentra entre 2740 - 2840 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a barra, conformado por rocas sedimentarias tipo arenisca y conglomerada, con la forma del terreno de frente y revés. Esta unidad geomorfopedológica presenta 5 tipos de fases cartográficas: f, f1, f2, fp, fp1. La unidad presenta suelos moderadamente profundos, con pedregosidad superficial, bien drenados, de textura medias, reacción moderadamente alcalina y fertilidad moderada (Ilustración 84). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Chuntame y cuenta con un área de 354,14 ha.

#### **Unidad geomorfopedológica MsL05**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de montaña estructural-erosional, en un clima frío y húmedo, con una temperatura promedio entre 15°C y 18°C. Su altura promedio se encuentra entre 3649 - 3750 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a espinazos conformados por rocas sedimentarias de tipo arenisca y conglomerada, en la forma del terreno de escarpe. La unidad geomorfopedológica se encuentra conformada por afloramientos rocosos y se encuentra conformada por 5 fases cartográficas: f, f1, g, g1, g2. (Ilustración 84). Esta unidad se cuenta con un área total dentro del municipio de 241,26 ha, las cuales se distribuyen en la vereda Chuntame donde se encuentra su mayor área y la vereda Canelón.

#### **Unidad Geomorfopedológica MsM06**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de montaña estructural-erosional, en un clima frío seco, con una temperatura promedio entre 12°C y 18°C. Su altura

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

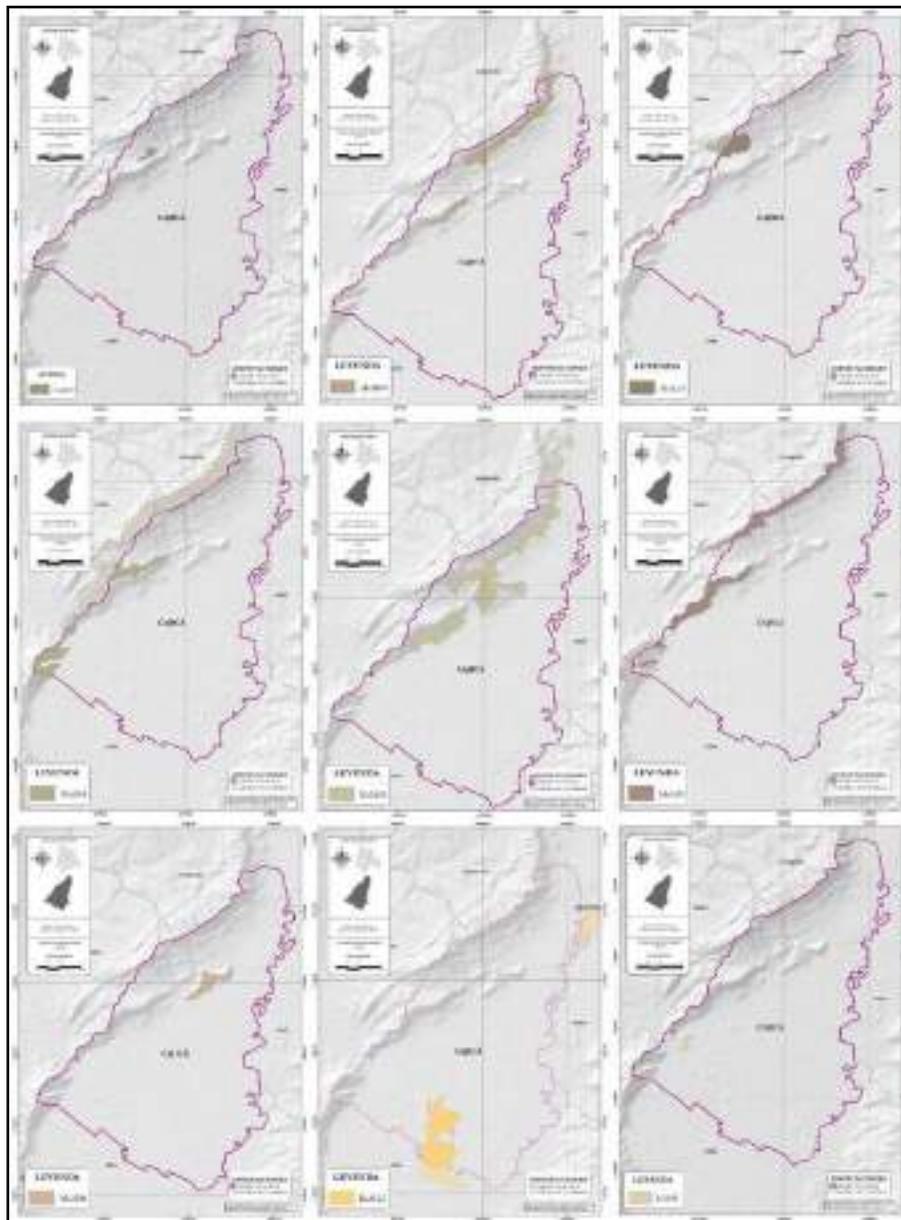
promedio es de 3000 m.s.n.m, el tipo de relieve quebrado, corresponde a crestones conformado por rocas sedimentarias no diferenciadas, en la forma del terreno de frente. La unidad presenta suelos superficiales y profundos, excesivamente drenados, de texturas finas, erosión moderada, fuertemente ácidos, reacción muy fuertemente ácida, alta saturación de aluminios y baja fertilidad. Esta unidad presenta 8 fases cartográficas: d, d1, d2, e, e1, e2, f1, f2. (Ilustración 84). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Chuntame y cuenta con un área de 55,67 ha.

### **Unidad Geomorfopedológica RzM12**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de planicie, en un clima frio seco, con una temperatura aproximada de 21°C. Su altura promedio se encuentra entre 1651 - 2751 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a terraza nivel 1, plano a ligeramente inclinado conformados por Sedimentos medios con sustrato fino, en la forma del terreno de plano. La unidad presenta unos suelos moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, texturas contrastadas, ligeramente ácidos, ligeramente erosionados y fertilidad natural muy alta. (Ilustración 84). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Canelón y cuenta con un área de 186,94 ha.

### **Unidad Geomorfopedológica LaM01**

Esta unidad geomorfopedológica se presenta en todas las formas del terreno del abanico en el paisaje de lomerío, en pendientes planas (0–1%), en climas frio seco, frio húmedo y cálidos secos, con una temperatura promedio de 13,5°C. Su altura promedio es de 2683 m.s.n.m, presenta una precipitación pluvial de 777 mm anuales. Esta unidad corresponde a la zona de vida de bosque seco Montano Bajo (bs-MB). La unidad ocupa la posición geomorfológica de abanico en todas las formas de terreno, en pendientes planas (0-1%). Los suelos son superficiales y profundos, pobremente drenados, de texturas finas, medias, moderadamente gruesas y gruesas, media a alta capacidad de intercambio catiónico, fuertemente ácidos a neutros y fertilidad natural moderada y alta. La unidad presenta 4 fases cartográficas: ai, az, bi, d. (Ilustración 84). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Canelón y cuenta con un área de 16,29 ha.



**Ilustración 84. Unidades de Suelo Edafológico MsH22, MsM04, MsL03, MsL04, MsM03, MsL05, MsM06, RzM12 y LaM01.**

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### **Unidad Geomorfopedológica LxM04**

Esta Unidad ocupa la posición geomorfológica de glacis parte medial del paisaje de lomerío, en pendientes ligeramente inclinadas (3-7%), relieve plano a ligeramente inclinado, en clima frío seco, con una temperatura promedio anual de 13,4°C. Su altura promedio se encuentra entre 2597 - 2600 m.s.n.m, presenta una precipitación pluvial de 774 mm anuales. Esta unidad corresponde a la zona de vida de bosque Seco Montano Bajo (bs-MB). Esta unidad presenta suelos profundos y superficiales, formados de sedimentos coluvio-aluviales medios y moderadamente gruesos, son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, erosión moderada, saturación de aluminio alta, ligeramente a fuertemente ácidos y fertilidad media y moderada. (Ilustración 85). Esta unidad cuenta con un área total dentro del municipio de 346,26 ha, las cuales se distribuyen entre la vereda Chuntame donde se encuentra la mayor área de la unidad, la vereda Canelón y la vereda Río Grande la cual cuenta con la menor área de la cobertura.

### **Unidad Geomorfopedológica LxM05**

Esta Unidad se presenta en la parte medial del glacis de acumulación, en pendientes ligeramente planas (1-3%) a moderadamente inclinadas (7-12%), en clima frío seco, caracterizado por temperaturas medias anuales de 13,5°C. Se encuentra a una altura aproximada de 2600 m.s.n.m y presenta precipitaciones anuales de 722 mm. Esta unidad corresponde a la zona de vida de bosque seco Montano Bajo (bs-MB). Esta unidad presenta suelos formados a partir de materiales coluvioaluviales, son bien drenados, moderadamente superficiales, moderada a ligeramente ácidos y de fertilidad alta. (Ilustración 85). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Chuntame y cuenta con un área de 36,91 ha.

### **Unidad Geomorfopedológica RaL02**

Esta unidad se ha desarrollado en la vega del vallecito de la planicie fluvio-lacustre, en clima frío húmedo. La altura promedio de la unidad es de 2.562 m.s.n.m. Esta unidad geomorfopedológica corresponde a la zona de vida bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB). Esta Unidad Geomorfopedológica presenta 3 fases cartográficas: a, ai y az. Esta consociación la conforma el suelo Typic Halaquepts, familia fina, mezclada, isomésica, 95%. (Ilustración 85). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Canelón y cuenta con un área de 0,29 ha.

### **Unidad Geomorfopedológica RaL03**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en la vega del vallecito de la planicie fluvio-lacustre, en climas frío húmedo, fríos templados, cálidos secos y húmedos. Su altura promedio se encuentra entre 2675 – 2708 m.s.n.m. Esta unidad geomorfopedológica corresponde a la zona de vida bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB). La unidad presenta 3 fases cartográficas: a, az, b. Esta unidad presenta suelos moderadamente profundos, imperfectamente drenados, texturas

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

contrastadas, fuertemente ácidos y fertilidad natural moderada. Presenta vallecitos, nivel freático alto, inundables, susceptibles a crecidas y avalanchas (Ilustración 85). Esta unidad se cuenta con un área total dentro del municipio de 9,09 ha, las cuales se distribuyen en la vereda Chuntame y en la vereda Rio Grande.

### **Unidad Geomorfopedológica RzL12**

Esta unidad ocupa la posición geomorfológica de depresión de la terraza media en el paisaje de planicie fluvio lacustre, en pendientes planas (0–1%), en climas fríos secos y cálidos secos, su temperatura promedio es de 13,5°C con precipitación pluvial de 752 mm anuales. Su altura promedio es de 2683 m.s.n.m. La unidad presenta unos suelos superficiales limitados por nivel freático y arcilla endurecida, pobremente drenados con encharcamientos cortos, de texturas muy finas, fuerte a muy fuertemente ácidos, fertilidad alta y relieve plano. El material parental de los suelos de esta unidad se formó a partir de depósitos superficiales muy finos de origen lacustre finos. La unidad geomorfopedológica presenta 2 fases cartográficas: a, az. (Ilustración 85). Esta unidad se cuenta con un área total dentro del municipio de 134,89 ha, las cuales se distribuyen en la vereda Rio Grande donde se encuentra la mayor cantidad de área de la unidad y en la vereda Chuntame.

### **Unidad Geomorfopedológica RzL31**

Esta unidad geomorfopedológica ocupa la posición baja en las terrazas de la planicie fluvio lacustre, en pendientes planas (0 – 3%), los suelos se encuentran distribuidos, en climas fríos secos, fríos húmedos, cálidos secos. El material parental de los suelos de esta unidad son sedimentos muy finos. Los suelos son superficiales limitados por el nivel freático imperfectamente a mal drenados, texturas muy finas, finas, medias y moderadamente gruesas, pobremente drenados, muy fuertemente ácidos, media a alta capacidad de intercambio catiónico y fertilidad baja y alta. Esta unidad presenta 1 fase cartográfica: az. (Ilustración 85). Esta unidad se cuenta con un área total dentro del municipio de 650,21 ha, las cuales se distribuyen en la vereda Chuntame, en la vereda canelón y en la vereda Rio Grande donde esta unidad se encuentra en casi toda la vereda.

### **Unidad Geomorfopedológica RzM01**

Esta unidad se ha desarrollado en el paisaje de planicie, en un clima frío seco, con una temperatura aproximada de 21°C. Su altura promedio esta entre 1651 - 2751 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a terraza nivel 3 conformados por sedimentos fluvio lacustres muy fina, en la forma del terreno de plano. La unidad presenta suelos superficiales, moderadamente bien drenados, texturas muy finas, moderadamente ácidos y fertilidad alta. Esta Unidad Geomorfopedológica presenta 1 fase cartográfica: b2. (Ilustración 85). Esta unidad se encuentra localizada al norte de las veredas Chuntame y Rio Grande, cuenta con un área de 12,55 ha.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### **Unidad Geomorfopedológica RzM06**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de planicie, en un clima frío seco, con una temperatura promedio de 21°C. Su altura promedio esta entre 1651 - 2751 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a terraza nivel 2, relieve plano a ligeramente inclinado, conformados por cenizas volcánicas, en la forma del terreno de plano. La unidad presenta suelos profundos y superficiales, bien drenados, textura fina a media, fuertemente ácidos a moderadamente ácidos y fertilidad natural alta. Esta unidad geomorfopedológica presenta 3 fases cartográficas: a, b, b2. (Ilustración 85). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Canelón y cuenta con un área de 91,21 ha.

### **Unidad Geomorfopedológica RzM07**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de planicie, en un clima frío seco, con una temperatura promedio de 21°C. Su altura promedio esta entre 1651 - 2751 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a terraza nivel 2 conformados por depósitos de cenizas volcánicas sobre arcillas fluvio lacustres, en la forma del terreno de plano. La unidad presenta suelos moderadamente profundos, texturas medias, bien drenados, muy fuertemente ácidos y fertilidad muy alta. La unidad. (Ilustración 85). Esta unidad cuenta con un área total dentro del municipio de 393,68 ha, las cuales se distribuyen en las veredas Calahorra, Chuntame, Canelón y Río Grande, teniendo en la vereda Canelón la mayor área de esta unidad.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |



Ilustración 85. Unidades de Suelo Edafológico LxM04, LxM05, RaL02, RaL03, RzL12, RzL31, RzM01, RzM06 y RzM07.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### **Unidad Geomorfopedológica RzM08**

Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de planicie, en un clima frío seco, con una temperatura promedio de 21°C. Su altura promedio esta entre 1651 - 2751 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a terraza nivel 2, relieve plano a ligeramente inclinado, conformados por sedimentos finos, en la forma del terreno de plano. La unidad presenta suelos superficiales, limitados por horizonte argílico, bien drenados, texturas finas, moderadamente ácidos a ligeramente ácidos y fertilidad moderada y natural alta. La unidad geomorfopedológica presenta 2 fases cartográficas: a, b. (Ilustración 86). Esta unidad se cuenta con un área total dentro del municipio de 343,18 ha, las cuales se distribuyen en las veredas Calahorra, Chuntame, Canelón y Río Grande, siendo la vereda Canelón la que presenta mayor área de la unidad.

### **Unidad Geomorfopedológica RzM10**

Descripción: Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de planicie, en un clima frío seco, con una temperatura promedio de 21°C. Su altura promedio esta entre 1651 - 2751 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a terraza nivel 2, relieve plano a ligeramente inclinado, conformados por sedimentos finos y muy finos, en la forma del terreno de depresión. Esta unidad presenta suelos superficiales, pobremente drenados, limitados por horizonte argílico, texturas finas, moderadamente ácidos y fertilidad moderada y natural alta. La unidad cuenta con 6 fases cartográficas: a, ai, az, b, bi, bz. (Ilustración 86). Esta unidad se cuenta con un área total dentro del municipio de 747,21 ha, las cuales se distribuyen en las veredas Calahorra, Canelón y Río Grande. La vereda Calahorra presenta esta unidad de suelo en más del 50% de su área.

### **Unidad Geomorfopedológica RzM14**

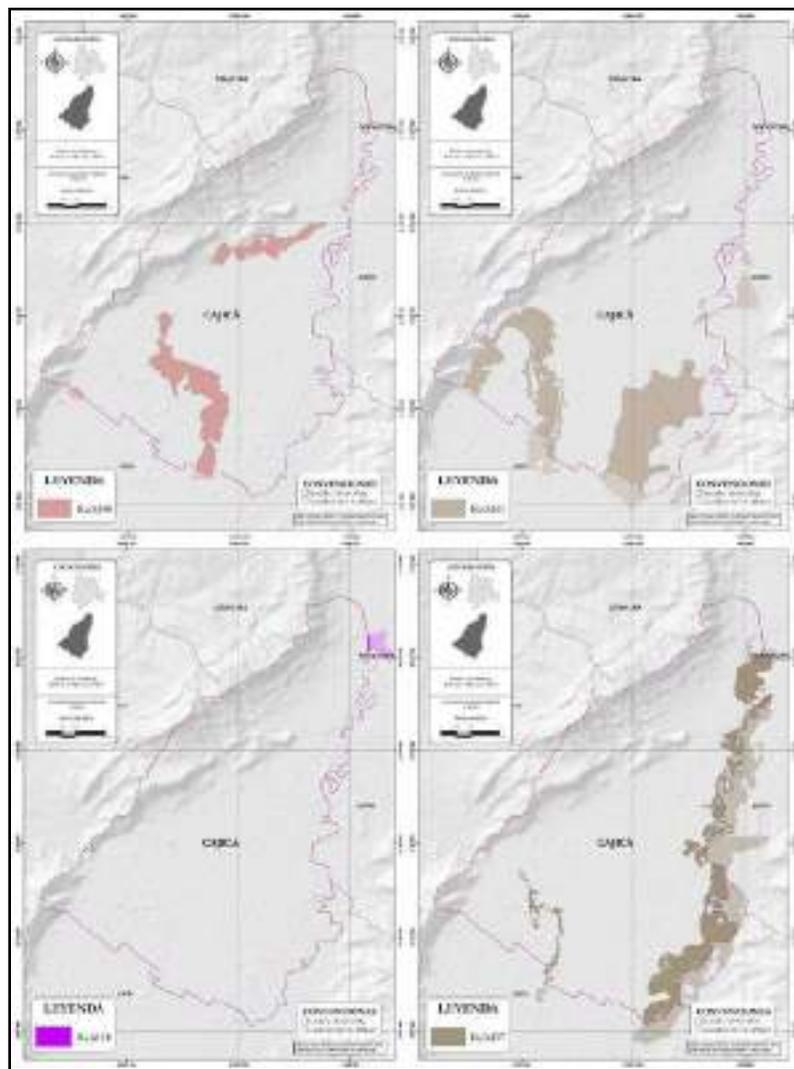
Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de planicie, en un clima frío seco, con una temperatura promedio de 21°C. Su altura promedio esta entre 1651 - 2751 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a plano de inundación conformados por sedimentos medios y muy finos, en la forma del terreno de cubeta de desborde. Esta unidad presenta suelos muy superficiales, pobremente drenados, de texturas medias y finas, extremadamente ácidos y moderadamente ácidos, fertilidad moderada y alta. La unidad cuenta con 4 fases cartográficas: ai, az, bi, bz. (Ilustración 86). Esta unidad se encuentra localizada en su totalidad en la vereda Río Grande y cuenta con un área de 0,086 ha

### **Unidad Geomorfopedológica RzM17**

Descripción: Esta unidad geomorfopedológica se ha desarrollado en el paisaje de planicie, en un clima frío seco, con una temperatura promedio de 21°C. Su altura promedio esta entre 1651 - 2751 m.s.n.m, el tipo de relieve corresponde a plano de inundación conformados por sedimentos muy finos, en la forma del terreno de cubeta de decantación. Esta unidad presenta suelos muy

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

superficiales y superficiales, pobremente drenados, texturas muy finas y medias, extremadamente ácidos a moderadamente ácidos, fertilidad natural alta y moderada. La unidad presenta 3 fases cartográficas: ai, az, bi. (Ilustración 86). Esta unidad se cuenta con un área total dentro del municipio de 464,81 ha, las cuales se distribuyen en las veredas Calahorra, Canelón y Río Grande, presentándose en menor medida en la vereda Canelón.



**Ilustración 86. Unidades de Suelo Edafológico RzM08, RzM10, RzM14 y RzM17.**

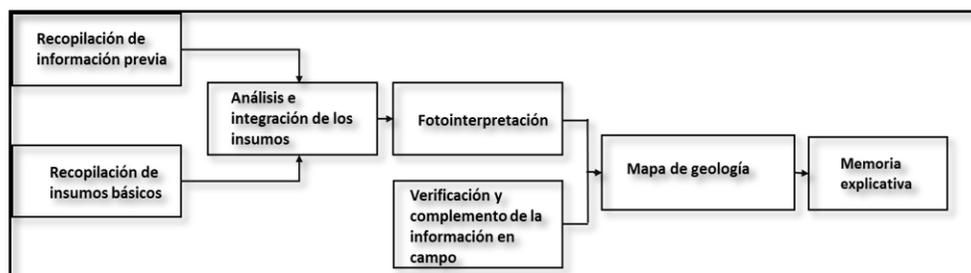
**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).



## 1.5.8. Geología

### 1.5.8.1. Proceso Metodológico

Para la generación del mapa geológico, se realiza la siguiente secuencia de actividades con base el Esquema 4.



Esquema 4. Proceso Metodológico para la obtención del mapa geológico a escala 1:25.000.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

1. **Recopilación de información previa:** esta fase contempla la recopilación y análisis de información disponible sobre la zona, necesaria para el desarrollo y caracterización del componente geológico. Se toma como base los mapas geológicos escala 1:100.000 y 1:25.000 del Servicio Geológico Colombiano y sus respectivas memorias técnicas, en el caso de Cajicá, corresponde a la información de las planchas 209 - Zipaquirá y 228 - Bogotá Noreste y demás estudios que se encuentren disponibles para la zona. Se evalúa la calidad y pertinencia de la información que permitirá indicar la viabilidad para ser incorporada.
2. **Recopilación de insumos básicos:** para la escala 1:25.000, se realiza la recopilación de elementos como el DEM Alos Palsar de 12,5 m/píxel, (**Ilustración 87**), de la cartografía base oficial, fotografías e imágenes satelitales de la zona que sirven como insumos base para la fase de fotointerpretación y se integra con la cartografía temática previamente recopilada en el paso anterior.
3. **Análisis e integración de los insumos:** para la delimitación preliminar de las unidades geológicas que integran el área de estudio, se utiliza un Sistema de Información Geográfica (SIG), en el cual se generan insumos o variables que sirven como herramienta dentro del proceso de fotointerpretación como lo son: el mapa de

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

pendientes, curvatura, rugosidad, hillshade y demás variables derivadas del DEM que se integran junto con los mapas previos realizados por Arco Consultorías 2021.

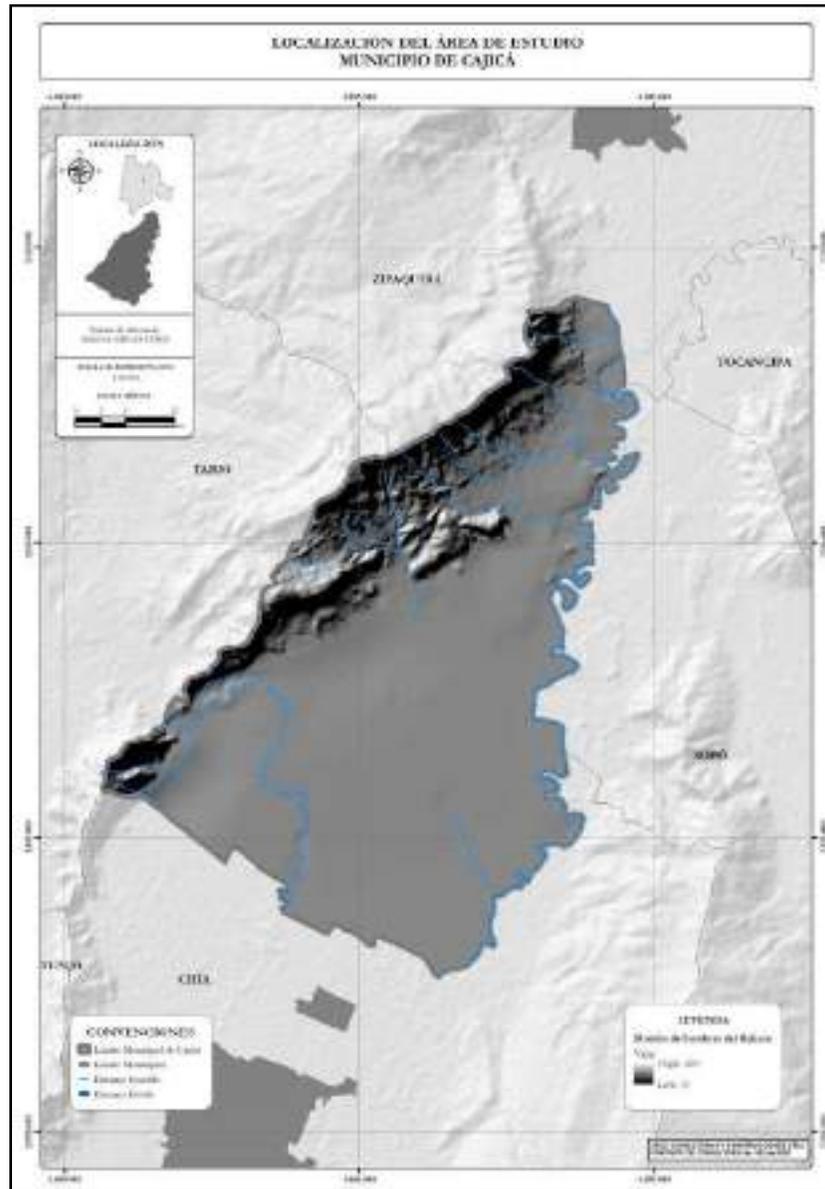


Ilustración 87. Modelo digital de sombras en el área rural de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

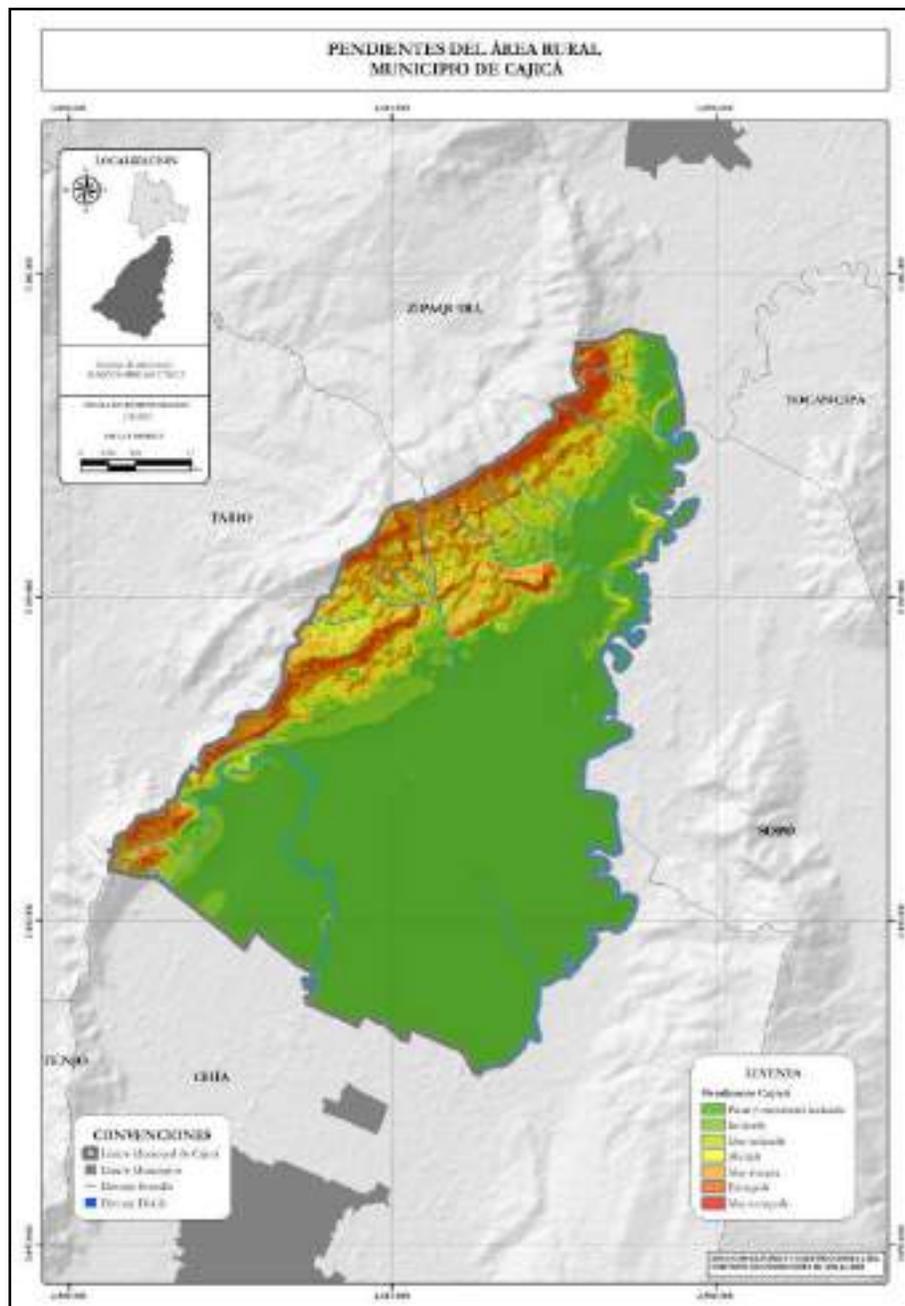


Ilustración 88. Mapa de pendientes en el área municipal de Cajicá.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

4. **Fotointerpretación:** en esta etapa se redefinen los límites de los polígonos de las unidades geológicas ya establecidos de la etapa anterior, se actualizan especialmente las unidades asociadas a depósitos cuaternarios, como también el trazo de lineamientos, fallas y pliegues. Como resultado, se obtiene una fotointerpretación geológica a escala 1:25.000 para el área rural, la cual será corroborada y complementada con la fase de campo.
5. **Verificación y complemento de la información en campo:** la fotointerpretación del paso anterior es complementada y calibrada con la información obtenida de las jornadas de campo, dando como resultado el mapa de unidades geológicas a nivel de formaciones. La información recopilada en campo corresponde a los recorridos que se realizan sobre las vías principales del área de estudio, donde se comprueba o reajustan las unidades foto interpretadas junto con los lineamientos.

El trabajo de campo busca reconocer las características físicas de los materiales geológicos presentes en el área de estudio por medio de la descripción de afloramientos. En dichos puntos se establecerá:

- a) Georreferenciación del punto a través de coordenadas (latitud, longitud y altura) por medio de un GPS.
- b) Registro fotográfico del afloramiento con su orientación.
- c) Caracterización del tipo de rocas: litología, color, textura, estructura, estado de meteorización o alteración, caracterización de las discontinuidades presentes y dato estructural si lo permite.

El control de campo en el municipio de Cajicá permitió la verificación de las unidades geológicas, geomorfológicas y geológicas superficiales encontradas a lo largo de las vías principales de su área, como se puede observar en la **(Ilustración 89)**.

6. **Revisión final y edición del mapa geológico:** al finalizar la fase de campo, se lleva a cabo los ajustes al mapa preliminar de unidades geológicas según lo evidenciado en campo. Se complementan los atributos requeridos para cada unidad y se consolida el mapa geológico del área rural del municipio. Esta información espacializada cuenta con la descripción del tipo de rocas o depósitos, pliegues, fallas y lineamientos, una leyenda litoestratigráfica, el respectivo corte geológico con la posición stratigráfica y estructural

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

de las rocas y depósitos identificados; este producto cartográfico está basado en los estándares cartográficos del Servicio Geológico Colombiano.

7. **Memoria Explicativa:** la elaboración del informe final se realiza a partir de la información recopilada en etapas anteriores, teniendo en cuenta tanto la fase de campo, como la fotointerpretación y rectificación de unidades y lineamientos realizados en oficina, así como la información secundaria que sustenta este componente.

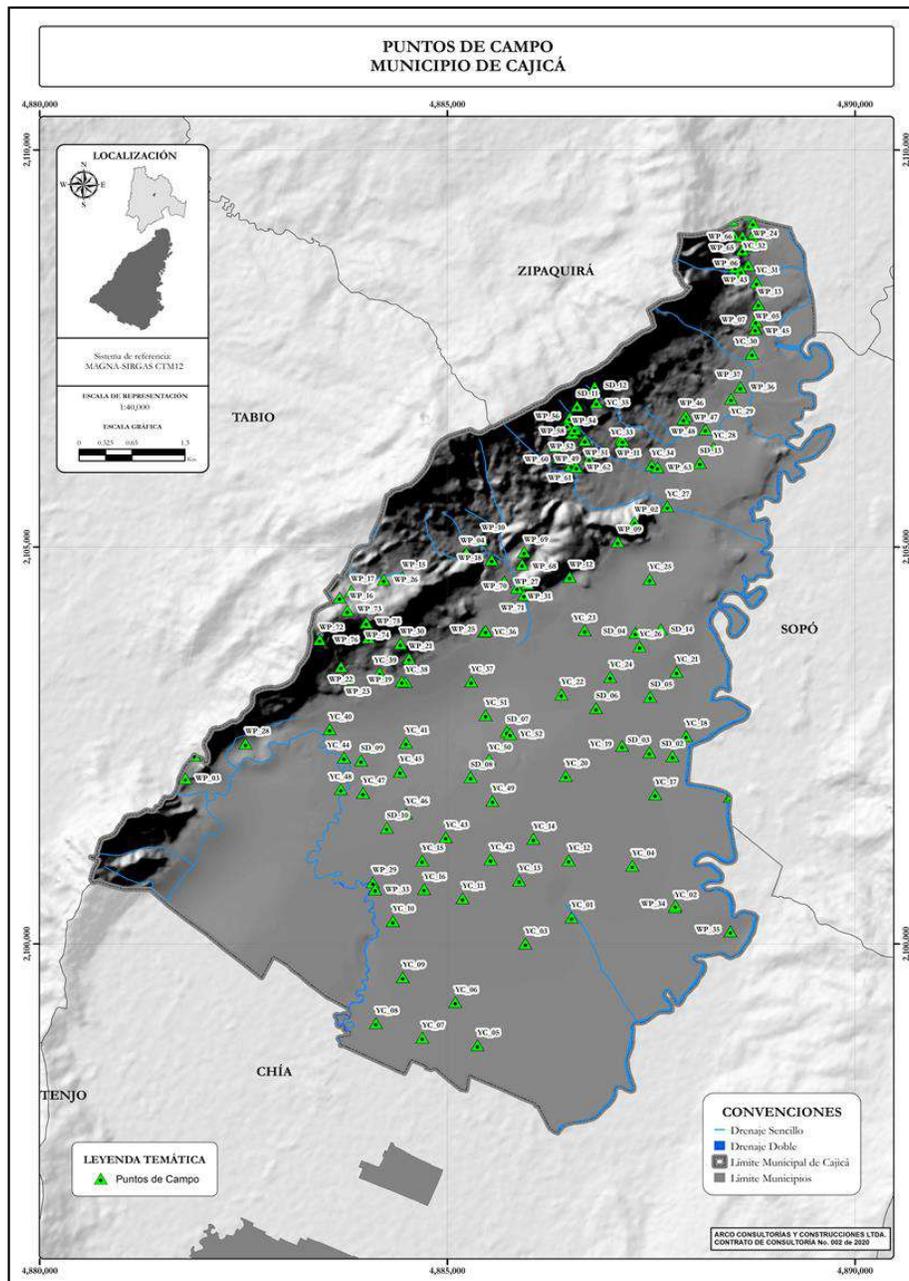


Ilustración 89. Estaciones de campo en el área municipal de Cajicá.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).



### 1.5.8.2. Descripción de Unidades Aflorantes

En el municipio de Cajicá afloran rocas sedimentarias del Cretácico Superior y Paleógeno Inferior, además de depósitos del Cuaternario. A partir de la memoria explicativa del Mapa Geológico de la plancha 209 (Zipaquirá) – y 228 (Bogotá Noreste), el mapa realizado y del corte geológico del municipio, se encuentran las siguientes unidades:

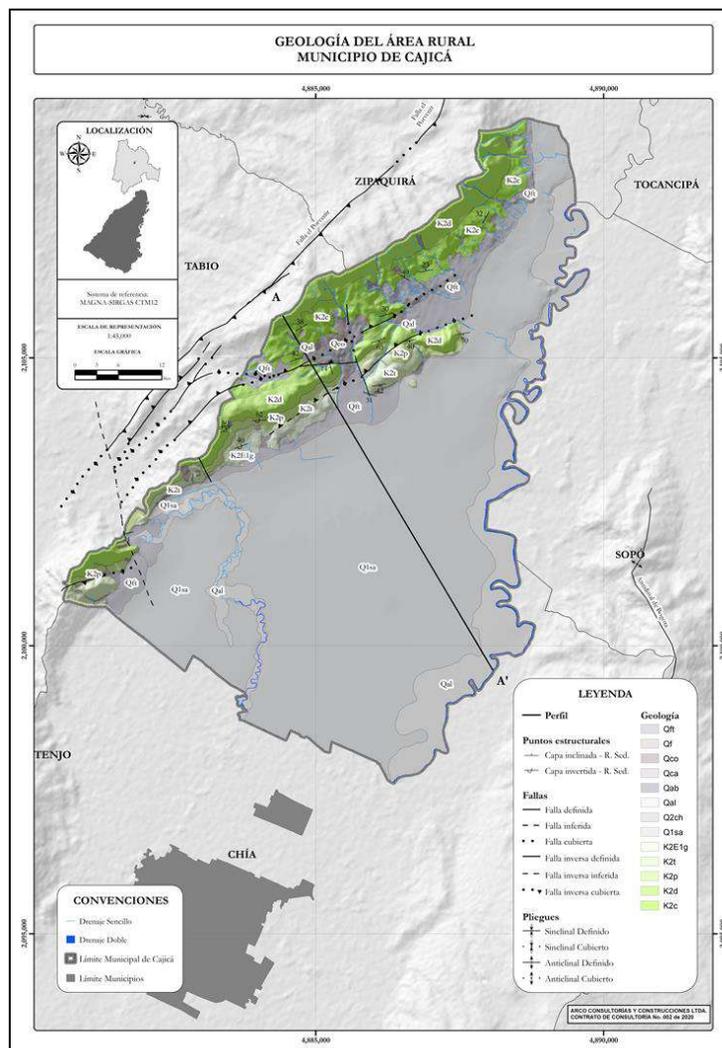


Ilustración 90. Geología del Área Rural, municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>Arco<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

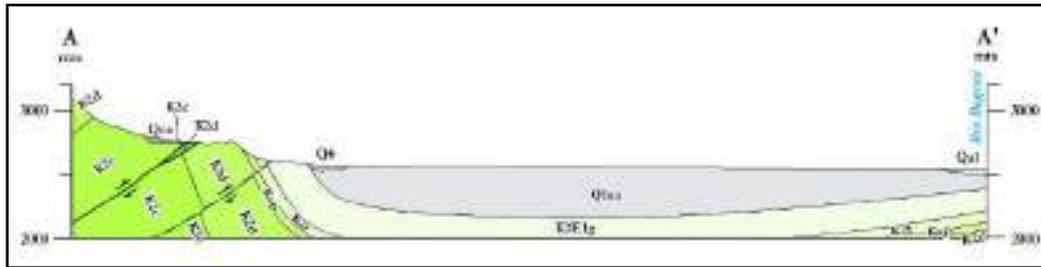


Ilustración 91. Corte geológico del área rural del municipio de Cajicá.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.8.2.1. Mesozoico

- **Formación Conejo (K2c) Coniaciano - Santoniano**

La Formación Conejo se refiere al conjunto arcilloso y arenoso que aflora en la parte central de la Cordillera Oriental (occidente de la Falla Chocontá) y en el flanco occidental de la misma, que descansa sobre la Formación la Frontera y es suprayacida por la Formación Arenisca Dura y en otros sectores por La Lidita Superior.

Es Etayo-Serna (1968), quien utiliza esta nomenclatura y la separa en tres conjuntos: el inferior compuesto por shales negros e intercalaciones de bancos de limolitas o areniscas de grano fino; el segundo es llamado Miembro Cucaita conformado por dos conjuntos: el conjunto inferior compuesto por el segmento A calcáreo arenoso y con presencia de amonitas y el segmento B, constituido por arcillolitas y con manifestaciones fosilíferas; y el conjunto superior por areniscas y calizas con fósiles.

La Formación Conejo suprayace a la Formación La Frontera, en contacto neto, pasa de unas limolitas silíceas a un paquete de arcillolitas. El contacto superior en la parte central es transicional rápido, dado por el paso gradual de areniscas con cemento silíceo y matriz arcillosa de la Formación Conejo a liditas arenosas, liditas y chert de la Formación Lidita Superior.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |



**Ilustración 92. Formación Conejo, en cercanías al Club Canino los Canes del Rey, vereda Chuntame, a) cambio morfológico entre la Formación Conejo y la unidad de Depósitos de Flujo Torrenciales, b) Arenisca diaclasada moderadamente meteorizada de la Formación Conejo.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Formación Arenisca Dura (K2d) Campaniano Inferior**

Hubach (1931) describe el Piso del Grupo Guadalupe en el oriente de Cundinamarca y la Sabana de Bogotá, diferenciando un “conjunto inferior esquistoso” y un “conjunto superior arenisco”. La Formación Arenisca Dura es formalizada por Pérez & Salazar (1978) como “una sucesión de areniscas en bancos muy gruesos con intercalaciones de limolitas, lodolitas, liditas y arcillolitas de colores claros y en capas finas que reposa concordante y transicionalmente sobre una sucesión monótona de lutitas fisiles, grises predominantes y areniscas arcillosas” conocidas como Formación Chipaque (Turoniano). mientras que el contacto superior con la Formación Plaeners (Campaniano Superior) es neto y concordante compuesto por “liditas puras o margosas o arcillosas con intercalación de arenisca”.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

Los sectores en donde aflora la Formación Arenisca Dura se caracterizan topográficamente por formar filos pronunciados con pendientes fuertes y aflora en delgadas franjas en el área central y occidental de la plancha 228-Bogotá noreste. Pérez & Salazar (1978).



**Ilustración 93. Rocas de la Formación Arenisca Dura, con alta meteorización, al noroccidente de la vereda Chuntame, Cajicá.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Formación Plaeners (K2p) Campaniano superior**

La formación Plaeners es definida como el horizonte intermedio del Grupo Guadalupe, descripción inicial que realizara Hubach (1931), y que Pérez & Salazar (1978) redefinieran la unidad con el nombre de Formación Plaeners. Conformada por “litas puras o margosas o arcillosas, porcelanitas, limolitas y arcillolitas con intercalación de arenisca”. El contacto inferior entre la Formación Arenisca Dura y la Formación Plaeners es neto y concordante, mientras que el superior con la Formación Arenisca de Labor y Tierna es gradual rápido y concordante. La expresión geomorfológica de la Formación Plaeners es suave y se diferencia bien entre los escarpes pronunciados de la infrayacente Formación Arenisca Dura y la suprayacente Formación Arenisca de Labor y Tierna.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- **Formación Arenisca de Labor y Tierna (K2t) Maastrichtiano Inferior**

Conforma la parte superior del Grupo Guadalupe. En un principio la formación estaba dividida en dos, como Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna por Pérez & Salazar (1978), luego las dos formaciones son unificadas en una sola unidad, por su similitud facial Renzoni (1962, 1968). En ella predominan las cuarzoarenitas, “y se distingue en general por areniscas granulosas, tiernas, que llevan un banco poroso constituido de materia orgánica silícea, intercalaciones con capas delgadas y medias de liditas, limolitas y algunas intercalaciones de arcillolitas.

La Formación Arenisca de Labor y Tierna se destaca geomorfológicamente como un escarpe fuerte, aunque no tan pronunciado como el de la Formación Arenisca Dura (Pérez & Salazar, 1978). Las formaciones Plaeners a la base y Guaduas al tope configuran valles que enmarcan el escarpe. El contacto inferior con la infrayacente Formación Plaeners es concordante y gradual rápido. El contacto superior, con la suprayacente Formación Guaduas es concordante y neto.



**Ilustración 94. Rocas de la Formación Plaeners (areniscas), Cerro Montecipio sobre la vía Manas-Molino, vereda Chuntame.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Formación Guaduas (K2E1g) Maastrichtiano Superior - Paleoceno**

Siendo parte de una serie más grande definida por Hettner (1892), es Hubach (1931a, 1957a) quien toma la parte baja de dicha serie dándole el rango de formación. La Formación Guaduas según Hubach (1957a) está constituida por tres conjuntos: el inferior que consta de arcillolitas de color gris oscuro con amonitas y bivalvos en la base; el intermedio compuesto por arcillolitas

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

frecuentemente carbonosas, de color gris oscuro, mantos de carbón explotables y dos niveles de areniscas, La Guía (inferior) y la Lajosa (superior); y el superior, de lodolitas rojizas, azulosas, verdosas y moradas con algunos mantos no explotables de carbón y areniscas.

Morfológicamente, la Formación Guaduas conforma un valle con colinas de pendientes muy suaves entre la infrayacente Formación Arenisca de Labor y Tierna (con un límite inferior neto y concordante) y la suprayacente Formación Cacho (con el mismo tipo de contacto).



**Ilustración 95. Rocas de la Formación Guaduas, vereda Chuntame al costado norte del Cerro Montepincio.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.8.2.2. Cuaternario

Corresponden a depósitos sedimentarios recientes, los cuales cubren discordantemente las rocas preexistentes, se encuentran principalmente en la parte centro y suroriental del municipio.

Las unidades del periodo Cuaternario que afloran en el área son las formaciones Sabana (Pleistoceno medio-superior), y Chía (Holoceno), además de depósitos coluviales y transportados (Holoceno).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- **Formación Sabana (Q1sa) Pleistoceno Medio - Superior**

La definición original se debe a Hubach (1957a), quien agrupa los “depósitos lacustres, paludales y marginales distribuidos en la planicie de la Sabana de Bogotá y anexos, en los valles que desembocan en ellas, y en algunos cerros bajos, como los de Madrid y Mosquera”. Carvajal et al. (2004) describen estos depósitos como extensos, de aspecto aterrazado y con morfología ondulada suavemente inclinada. En la parte central de la Sabana de Bogotá, la Formación Sabana está constituida principalmente por arcillas, mientras que hacia el sector de Chía-Cota (hacia el techo) se encuentran intercalaciones de arcillas arenosas y arenas arcillosas relacionadas con sedimentos de los ríos Frío y Bogotá; en la parte más norte del valle de Sopó-La Calera se encuentran intercalaciones de turba y arenas arcillosas al tope de la formación (Helmens, 1990).

La Formación Sabana suprayace la Formación Subachoque, aunque puede encontrarse directamente sobre el sustrato rocoso precuaternario, como la Formación guaduas (Helmens, 1990). En el núcleo Bogotá CUX-CUY se encontraron 3 m suprayaciendo la Formación Sabana que podrían corresponder a la Formación Chía (Helmens & Van der Hammen, 1995).



**Ilustración 96. Depósitos de la Formación Sabana, al costado de la vía Cajicá-Zipacquirá, al norte del municipio costado occidental de la autopista.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Formación Chía (Q2ch) Holoceno**

Fue definida por primera vez por Helmens (1990), y toma su nombre de la población de Chía, al norte de la ciudad de Bogotá. El área tipo es definida por el autor en la llanura de inundación del río Bogotá al sureste de Chía, La unidad consiste principalmente de arcillas de inundación,

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

localmente limos fluviales y en áreas pantanosas arcillas orgánicas lacustres (diatomitas); en la localidad tipo la litología predominante son las arcillas moteadas de color gris y naranja, e incluyen arcillas con materia orgánica suprayacidas por una capa delgada de limos y arcillas color marrón (Helmens, 1990). En el área de la población de Chía, la Formación Chía se encuentra sobre la Formación Sabana, El espesor máximo de esta formación es de alrededor de 5 m (Helmens, 1990).

- **Depósitos Coluviales (Qco)**

Dentro de los depósitos coluviales se incluyen los depósitos de pendiente de origen local, que se encuentran dispersos en el área de trabajo. Estos constan de depósitos conglomeráticos matriz-soportados de cantos y bloques, moderadamente seleccionados y subredondeados, polimícticos.

Según Carvajal et al. (2004) estos depósitos forman unidades de conos coluviales, conos de taludes, lóbulos de soliflucción y flujos torrenciales; los conos coluviales y lóbulos de soliflucción son de longitudes cortas y largas, tienen formas convexas e inclinaciones, suaves o abruptas. De acuerdo con este autor, son acumulaciones sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial, por flujo lento y viscoso de suelos saturado y no saturado, y la litología es de bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebido en un material arcilloso.



**Ilustración 97. Depósitos Coluviales cerca al Mirador la Cumbre, vereda Chuntame.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

- **Depósitos aluviales recientes (Qal)**

Son aquellos depósitos que se localizan a lo largo de los drenajes del área. Se destacan por su dimensión, los que forman, los ríos Bogotá y Neusa. Se caracterizan por presentar material no consolidado, arenoso y limoso con escasas barras de gravas; las areniscas son de varias granulometrías.



**Ilustración 98. Depósitos aluviales recientes, al lado de la vía Villa María la Petaca, al lado de la finca San Sebastián, vereda Canelón.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

### 1.5.8.3. Geología Estructural

- **Anticlinal de Zipaquirá**

Está localizado en la parte norte del municipio y se extiende desde la localidad de Zipaquirá (al sur) hasta la vereda Salinas (al norte). El rumbo preferencial del eje es N40°E, pero sufre algunas variaciones debido a las fallas de Zipaquirá y del Neusa, ésta última desplaza el anticlinal en sentido sinextral por 3 km. Su núcleo está desarrollado sobre rocas de la Formación Conejo y sus flancos por las Formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor-Tierna y Guaduas. Al norte de la falla del Neusa el anticlinal de Zipaquirá termina en la falla de Carupa.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- **Sinclinal de Río Frío**

Está localizado al noroccidente del municipio, hasta la falla del Neusa. Tanto al sur como al norte es una estructura amplia con el núcleo en rocas de la Formación Bogotá y con depósitos fluvioglaciares y de coluvión; en la parte central se angosta considerablemente por las entrantes que hacen las unidades cretácicas a través de las fallas de Zipaquirá y Chital.

- **Anticlinal de Nemocón**

Este anticlinal localizado en la parte nororiental del municipio de Cajicá está afectado por procesos diapíricos y fallas regionales que lo dividen en 3 segmentos. El segmento sur presenta un cierre estructural simétrico y hacia la localidad de Nemocón que queda interrumpido por diapiros de sal; su núcleo está ocupado por las formaciones Arenisca Dura y Conejo y en sus flancos las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor-Tierna. En el segmento intermedio, el eje se desplaza hacia el oriente, su núcleo está en la Formación Conejo y el flanco oriental dentro de la Formación Arenisca Dura está invertido y limitado por la Falla Nemocón, mientras el flanco occidental es amplio con las Formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor-Tierna, Guaduas y Cacho. El segmento norte termina sobre la falla de Nemocón con un cierre estructural, el flanco oriental está cabalgando sobre rocas paleógenas y el occidental presenta plegamientos suaves sobre la Formación Labor-Tierna.

- **Anticlinal de Bogotá**

Montoya & Reyes (2005) unen el Anticlinal de Bogotá con el de Usaquén, con base en que se puede continuar la forma anticlinal hacia el norte hasta la vereda Hato Grande, al oriente de Cajicá, sólo interrumpida por fallas de poco desplazamiento. El eje de la estructura tiene orientación de N10°E; es un anticlinal abierto, subvertical, que presenta un volcamiento hacia el sur posiblemente debido a la Falla de Bogotá. En el núcleo aflora la Formación Chipaque al sur y la Formación Arenisca de Labor y Tierna hacia el norte, con la Formación Guaduas en los flancos.

- **Falla El Porvenir**

Nombre tomado de Velandia & Bermoudes (2002), para referirse a la estructura que es la continuación por debajo de los depósitos cuaternarios de la falla que bordea por el occidente a la serranía de Chía – Cota y que se extiende hacia el norte hasta Zipaquirá. Es una falla inversa con vergencia al occidente, en su parte sur se localiza debajo de depósitos cuaternarios, pero es la responsable del levantamiento de la serranía de Chía colocando la Formación Conejo al nivel de los depósitos cuaternarios. En el sector norte desde la carretera Tabio-Cajicá, hacia Zipaquirá,

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

su trazo entra a afectar rocas de las formaciones Dura, Plaeners y Labor-Tierna, esta última cabalga sobre la Formación Guaduas, en este sentido su desplazamiento va siendo menos importante y en Zipaquirá queda involucrada en el complejo bloque fallado que existe a causa del diapirismo de sal.

### 1.5.9. Geomorfología

La geomorfología es una disciplina que proporciona información acerca de la génesis de las geoformas y los procesos denudacionales, estructurales y fluviales que interactúan en la evolución del paisaje de una región. Por lo tanto, la geomorfología constituye una herramienta fundamental para evaluar y proyectar el comportamiento del terreno y su interrelación con obras de infraestructura y los asentamientos humanos, enfocado entre otros, al análisis de las amenazas geológicas.

La geomorfología de una región está constituida por el conjunto de unidades geomorfológicas o geoformas que han sido modeladas por los agentes geológicos imperantes en el área; entendiendo que éstas, son el producto de la interacción entre los materiales térreos y los procesos donde intervienen fuerzas endógenas y exógenas, las cuales le imprimen características específicas en los diferentes ambientes y zonas geográficas del territorio.

#### 1.5.9.1. Proceso Metodológico

Para la obtención del mapa geomorfológico a nivel de “subunidad geomorfológica” a escala 1:25.000, que responde a las necesidades de la zonificación de los presentes estudios, se seguirán los lineamientos propuestos en la metodología de Carvajal (2012) y SGC (2015), donde se sugiere un análisis del terreno desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local, siendo la subunidad geomorfológica la unidad cartografiable.

|   |   |                              |   |
|---|---|------------------------------|---|
|  | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA |                              |  |
|   | ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL  | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS |   |



Esquema 5. Jerarquización geomorfológica.

Fuente: Carvajal P. José Henry (2012).

La definición de cada uno de estos rangos de clasificación se presenta en los siguientes apartados.

- **Geomorfoestructura:** extensas áreas geográficas o amplios espacios continentales o intercontinentales, caracterizadas por estructuras geológicas y topográficas regionales. Ejemplo de esta categoría son cratones, escudos, plataformas, grandes cuencas, cinturones orogénicos y valles en rift. Escala de trabajo: <math>< 1:2'500.000</math>.
- **Provincia geomorfológica:** regiones que agrupan geoformas similares definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar. Localmente corresponden a las regiones naturales y los terrenos geológicos de Colombia, demarcados por fallas regionales y continentales definidas o inferidas. Se definen los términos tales como: cinturones montañosos, llanuras, peneplanicies, cordilleras y serranías. Escala de trabajo entre <math>1:1'000.000</math> y <math>1:500.000</math>.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- **Región geomorfológica:** geoformas asociadas a la génesis de los paisajes y definidas dentro de un ambiente morfogenético específico y afectados por procesos dinámicos parecidos. Permite agrupar áreas equivalentes a vertientes contenidas en una provincia geomorfológica y que representen un ambiente genético particular con condiciones climáticas homogéneas. Escala de trabajo entre 1:250.000 y 1:500.000.
- **Unidad geomorfológica:** componen la categoría anterior y corresponden a formas genéticamente homogéneas a partir de un proceso constructivo o destructivo dentro de un ambiente geomorfológico particular. Agrupan los elementos básicos que constituyen un paisaje, definidos con criterios genéticos, morfológicos y geométricos. Escala de trabajo entre 1:50.000 y 1:100.000.
- **Subunidad geomorfológica:** definidas por diferencias morfológicas y morfométricas que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos, expresados por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación. Escala de trabajo entre 1:10.000 y 1:25.000.
- **Elemento o componente geomorfológico:** determinada por los rasgos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno en una Subunidad Geomorfológica. Igualmente, puede estar definida por micro-relieves asociados con una característica litológica o sedimentaria establecida con base en análisis detallados. Escala de trabajo mayor a 1:10.000.

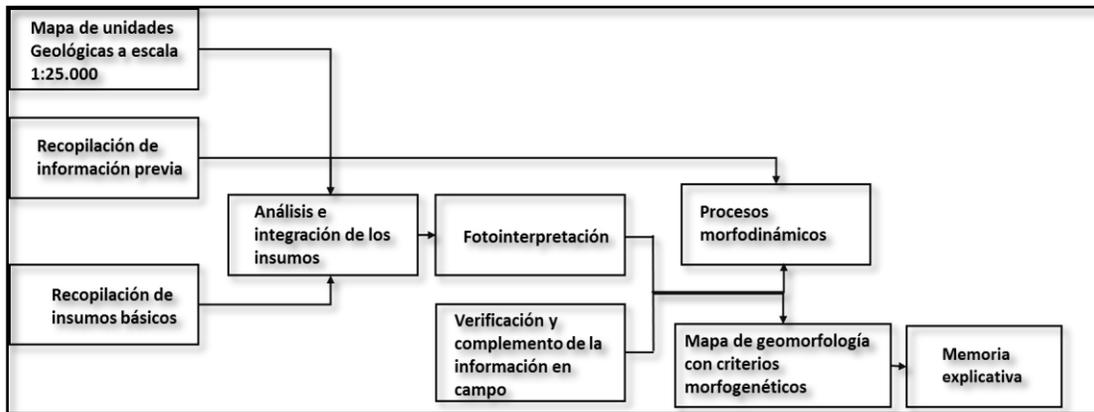
Un ambiente morfogenético agrupa las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas en las que se dio el desarrollo de las unidades geomorfológicas. Su determinación se realiza a través de la expresión e interpretación de los procesos morfológicos asentados en el terreno, los cuales impulsaron la formación, evolución y modificación de las geoformas. Estos se agrupan en nueve (9) categorías cuya distinción cartográfica se hace a partir de colores.

1. **Ambiente estructural:** geoformas originadas por la dinámica interna de la Tierra, asociadas a plegamientos y fallas. Abarca a su vez las formas originadas por la tectónica activa que se ha extendido hasta el Cuaternario. Se emplea el color púrpura para su representación.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

2. **Ambiente volcánico:** asociado a las regiones donde predominan las geoformas volcánicas por la emisión de material efusivo procedente del interior de la Tierra. Se emplea el color rojo para su representación.
3. **Ambiente denudacional:** determinado por procesos de meteorización y erosión, particularmente aquellos que involucran la erosión de tipo hídrica y por los fenómenos de transposición o de movimientos en masa que ejercen su acción sobre las geoformas preexistentes. Se emplea el color amarillo para su representación.
4. **Ambiente fluvial y lagunar:** agrupa las geoformas generadas por los procesos propios de la dinámica de las corrientes fluviales encausadas. Se emplea el color azul para su representación.
5. **Ambiente marino y costero:** geoformas producto de la actividad de las corrientes marinas y el oleaje costero. Se emplea el color verde para su representación.
6. **Ambiente glacial:** geoformas originadas por la acción de los glaciares, tanto de los casquetes polares como en las altas montañas. Se emplea el color gris para su representación.
7. **Ambiente eólico:** geoformas originadas por la acción del viento como agente modelador del paisaje, principalmente en zonas desérticas. Se emplea un color amarillo para su representación.
8. **Ambiente kárstico:** geoformas producto de la meteorización y dilución de rocas y materiales propensos a la disolución en ambientes húmedos y cálidos, tales como las calizas y la sal. Se emplea el color naranja para su representación.
9. **Ambiente antropogénico y/o biológico:** morfologías formadas por la actividad del hombre que modifica la superficie del terreno. Se emplea una trama negra para su representación.

Para la generación del mapa geomorfológico, se realiza la siguiente secuencia de actividades con base en el Esquema 6.



**Esquema 6. Proceso metodológico para la obtención del mapa geomorfológico a escala 1:25.000.**

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- Recopilación de información previa:** esta fase contempla la recopilación y el análisis de información disponible sobre la zona, que ofrece información pertinente para el desarrollo y caracterización del componente geomorfológico. Aquí, se revisan y se analizan los estudios previos de la zona relacionados a la temática y los procesos morfodinámicos recopilados a través de fuentes secundarias, se realiza una caracterización de la información en cuanto a calidad, formato en que se presenta, cubrimiento y pertinencia para la viabilidad de la incorporación en el presente estudio. Para esta fase, se cuenta con la elaboración del mapa geológico a escala 1:25.000 generado por la consultoría (insumo base para la definición y caracterización de las unidades geomorfológicas).
- Recopilación de insumos básicos:** para la escala 1:25.000, se realiza la recopilación de insumos base como el DEM 12.5 m/píxel de Alos Palsar, la cartografía base oficial, fotografías e imágenes satelitales de la zona.
- Análisis e integración de los insumos:** para la delimitación preliminar de las subunidades o componentes geomorfológicas que integran el área de estudio se utiliza un Sistema de Información Geográfica (SIG). En el cual se realiza una interpretación de las geoformas basadas en las características como pendientes, textura, tonos, relieve

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

relativo y demás variables derivadas del DEM que son empleados como insumos para la interpretación, además de la interpretación de sensores remotos. También se generan insumos multiparámetro que permite realizar un análisis más detallado, realizando los rasgos del relieve, como es la sobreposición del modelo de sombras con las pendientes.

- **Fotointerpretación:** en esta etapa se delimitan los elementos que integran el relieve dando como resultado una salida cartográfica de fotointerpretación geomorfológica con criterios morfogenéticos a nivel de subunidad o componente del terreno. La estrategia empleada en esta fase fue emplear la superposición de mapas con el modelo de sombras, lo que genera información geométrica adicional de la zona de interés (Ilustración 130); con lo cual, se realiza un análisis más detallado, realizando los rasgos del relieve.
- **Verificación y complemento de la información en campo:** la fotointerpretación del paso anterior se complementa y se calibra con la información obtenida de las jornadas de campo, dando como resultado el mapa de subunidades geomorfológicas a escala 1:25.000. La información recopilada en campo corresponde a los recorridos que se realizan sobre las vías principales del área de estudio donde se comprueba las unidades foto interpretadas o se corrigen.

La metodología de trabajo en campo busca la identificación de sitios geográficos en los cuales se pudiera reconocer los rasgos morfológicos del relieve. Por lo cual, se procede a la caracterización geomorfológica de dicho punto tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- a) Georreferenciación del punto a través de coordenadas (latitud, longitud y altura) por medio de un GPS.
  - b) Referencias geográficas a partir de nombres de caseríos, fincas, puntos de partida o inicio de vías principales, sitios o puntos a trabajar.
  - c) Orientación de la visual de las fotografías.
- **Revisión final y edición del mapa geomorfológico analítico:** al finalizar la fase de campo se lleva a cabo los ajustes al mapa preliminar de subunidades geomorfológicas según lo evidenciado en campo. Se complementan los atributos requeridos para cada subunidad geomorfológica y se consolida el mapa geomorfológico con criterios geomorfogénicos.
  - **Memoria explicativa:** por último, se realiza el documento explicativo del mapa anterior.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.9.2. Subunidades Geomorfológicas

A partir de lo anterior y teniendo en cuenta que, la morfogénesis implica el origen de las formas del terreno, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje, estas variables dependen de los procesos endogenéticos y su posterior modificación por parte de los agentes exogenéticos que actúan sobre la superficie terrestre. Por lo cual, una geoforma depende de un proceso y este de un agente y de las acciones que el agente produzca. A continuación, se presenta el mapa geomorfológico (**Ilustración 99**) y se describen las subunidades geomorfológicas de acuerdo con el ambiente de formación, identificadas para el área rural del municipio de Cajicá, teniendo en cuenta las definiciones del Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas del Servicio Geológico Colombiano (2016).

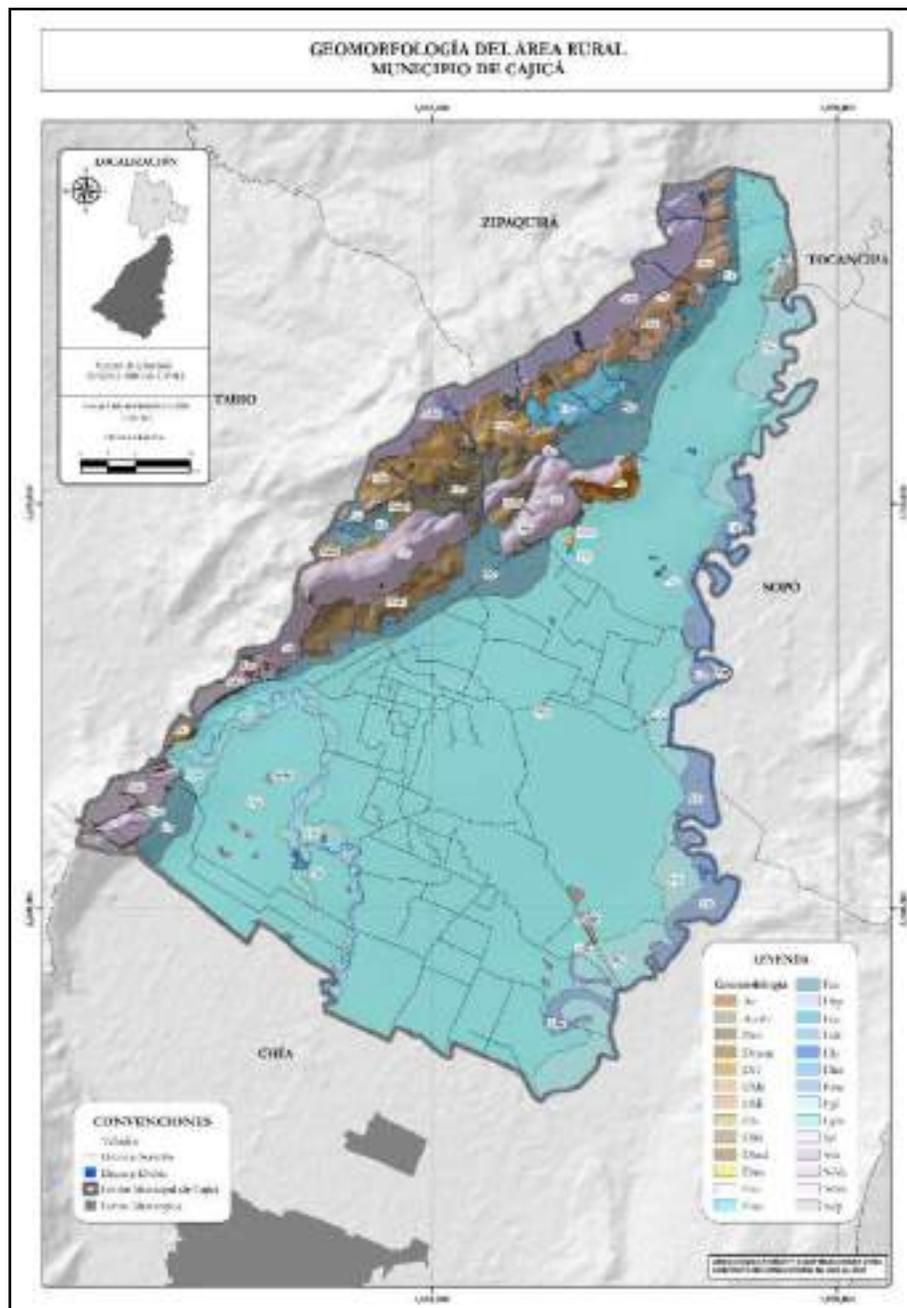


Ilustración 99. Mapa geomorfológico del área municipal de Cajicá.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.9.2.1. Ambiente Estructural

Corresponde a las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural de las rocas aflorantes. Se presentan afectadas por procesos erosivos de moderada a baja intensidad y se caracterizan por su relieve montañoso a colinado de pendientes abruptas y escarpadas localmente. Conforman el amazón estructural en dirección NNE de la sabana de Bogotá, dejando valles amplios colmatados posteriormente por sedimentos fluviales y lagunares que constituyen en la actualidad las amplias planicies, hoy localmente colonizadas. En Cajicá, este ambiente refleja el 14.17% del total del municipio.

Entre las unidades y subunidades geomorfológicas se presentan:

- **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. Su origen obedece a procesos de plegamiento o erosión diferencial que ocurre sobre una secuencia de estratos delgados duros y blandos.

- **Sierra homoclinal (Ssh)**

Prominencia topográfica simétrica o ligeramente simétrica elongada y de morfología montañosa a colinada de cimas agudas, definida por una secuencia de estratos o capas apilados e inclinados (> 35°) en una misma dirección. Generalmente es producto del desarrollo o erosión de un solo flanco de una estructura geológica.

- **Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)**

Superficie vertical a subvertical moderada a larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una estructura homoclinal.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |



**Ilustración 100.** Sierra homoclinal (área bajo la curva azul) y ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (área sobre la curva amarilla). Toma realizada en el sector La Concepción, vereda Chuntame, al centro-occidente del municipio (X: 4883770 Y: 2104170).

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)**

Superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, de longitud corta a moderada larga, formas rectas a convexas y pendientes escarpadas a muy escarpadas, relacionada a una estructura homoclinal.



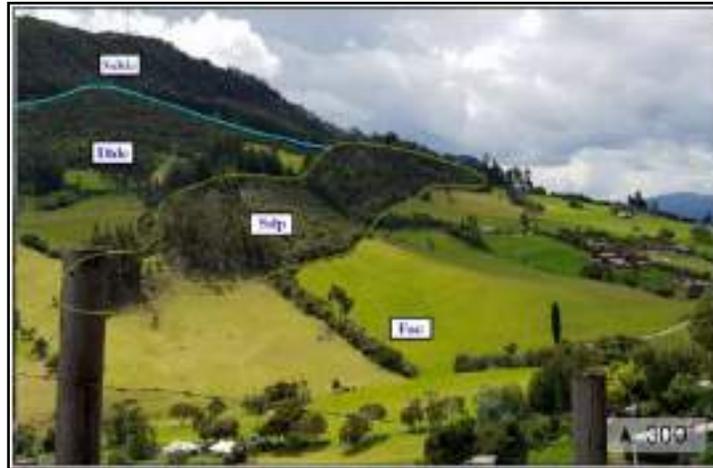
**Ilustración 101.** Ladera estructural de sierra homoclinal (área sobre la curva azul). Toma realizada sobre la vía Cajicá-Tabio (X: 4885700 Y: 2104540).

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- **Sierra y lomo de presión (Sslp)**

Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso.



**Ilustración 102. De arriba abajo en la imagen: ladera de contrapendiente de sierra homoclinal, lomo denudado, Sierra y lomo de presión y Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados. Toma hecha por la vía cerca al Mirador la Cumbre. (X: 4883820 Y: 2104420).**

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.9.2.2. Ambiente Fluvial y Lagunar

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre. En Cajicá, este ambiente refleja el 74.69% del total del municipio.

- **Abanico aluvial (Faa)**

Superficie en forma de cono, de laderas cóncavas a convexas de morfología plana, aterrazada. Su origen es relacionado a la acumulación torrencial y fluvial en forma radial, donde una corriente

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

desemboca en una zona plana. Los depósitos aluviales se acumulan radialmente desde el ápice del abanico localizado en la salida de la corriente de las montañas. Los canales fluyen cortando el abanico, siendo más profundos en el ápice del abanico y más someros al alejarse de él. Su tamaño puede alcanzar varios kilómetros de largo y de ancho.



**Ilustración 103.** Abanico aluvial, vereda Chuntame en la parte norte, costado occidental del municipio (X:4886850 Y: 2106920). Imagen de la izquierda tomada de Google Earth.

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Abanico aluvial sub-reciente (Faas)**

Superficie en forma de cono, de laderas cóncavas o convexas, de morfología plana, aterrazada. Su origen está asociado a la acumulación torrencial y fluvial en forma radial donde una corriente desemboca en una zona plana. Los canales fluyen radialmente, cortando el abanico, siendo más profundos en el ápice del abanico y más someros al alejarse de él. Su tamaño puede alcanzar kilómetros de largo y ancho. Este término se aplica para describir el abanico con una edad relativa intermedia, cuando se presentan dos o más abanicos juntos que se pueden separar como unidades geomorfológicas. Normalmente esta unidad tiene algo de incisión ya desarrollada, pero aún se puede reconocer con claridad la superficie superior. Puede o no haber generado las mesetas de abanico.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |



**Ilustración 104. Abanico aluvial sub-reciente (bajo la línea azul). Finca Aranjuez vía al autódromo, vereda Chuntame, (X: 4888160 Y: 2106450).**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados, Bajadas (Fac)**

Superficie ondulada localizada en los frentes montañosos que se han formado por la unión de varios abanicos aluviales coalescentes, formando llanuras deposicionales de piedemonte o Bajadas. Presentan pendientes del orden de 1° a 5°, aunque pueden alcanzar 10° cerca de los ápices de los abanicos. Generalmente presenta drenaje dicotómico (Ilustración 102).

- **Barra puntual (Fbp)**

Cuerpo en forma de medialuna de morfología suave ondulada, compuesta de crestas y artesas curvas de poca altura. Estos cuerpos se localizan en la parte cóncava de los meandros de los ríos, como producto de la acumulación de sedimentos erodados de la parte convexa del cauce. Su depósito está constituido por sedimentos generalmente arenosos finos y materiales arcillosos en las artesas. Cuando se dan procesos de migración lateral del cauce, la acumulación de este tipo de barras, pueden conformar conjuntos sencillos o complejos de orillales.

- **Cauce aluvial (Fca)**

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos. Cuando las corrientes fluyen en zonas semiplanas a planas (llanura aluvial), los cauces son de tipo meándrico o divagante, como producto del cambio súbito de la dirección del flujo. Dependiendo la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras unidades asociadas.



**Ilustración 105. Cauce aluvial del río Bogotá, curva de sur a norte por el costado oriental del municipio.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Divagación de cauce activo (Fdc)**

Geoforma activa, configurada a partir de una dinámica aluvial horizontal que se ensancha en función de la Llanura aluvial baja. Es un escenario dinámico donde el río transporta, acumula y re-moviliza grandes volúmenes de material de arrastre, Qal. Los principales atributos corresponden a la bifurcación y divagación del cauce principal, socavamiento lateral, configuración e inversión de meandros de gran curvatura (abiertos). En esta expresión de relieve o geoforma todos los aspectos morfológicos hacen parte del cauce activo del río (meandros, tramos de cauce y bajos tienen un carácter “dormant”, es decir en una creciente pueden ser involucrados). El río no inunda, sino que socava lateralmente. Respecto al cambio climático, las fases deposicionales demuestran un relleno aluvial. Situación que es coherente con la desglaciación y aumento del nivel del mar.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |



**Ilustración 106. Divagación de cauce activo, del río Bogotá.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Laguna (Flg)**

Depósito natural de agua de dimensiones inferiores, en relación con los lagos tanto en área como en profundidad. Dicha profundidad varía de acuerdo con las condiciones ambientales donde se localice y a su grado de colmatación (acumulación de sedimentos). Las lagunas de origen fluvial se relacionan con la inundación de antiguas depresiones durante la época de alta pluviosidad, estas pueden permanecer incluso en épocas secas ya que son pobremente drenadas.



**Ilustración 107. Laguna, cerca al río Frio, Gimnasio Campestre los Laureles, vereda Canelón.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- **Lago en media luna (Flm)**

Lago en forma de U que se forma en el meandro abandonado de un canal fluvial. Su origen es relacionado a procesos de dinámicos de acortamiento en un cauce, donde antiguos canales quedan rápidamente bloqueados y llegan a separar secciones de este. El lago tendrá forma de media luna, sólo si se corta un meandro.

- **Meandro abandonado (Fma)**

Sección en forma de curva del cauce de un río antiguo, su origen es relacionado a la migración lateral de la corriente hacia la parte contraria de la concavidad o por el corte de la zona más angosta entre dos curvas consecutivas, que generan el estrangulamiento de un meandro. Su depósito está constituido por sedimentos finos arcillosos con intercalaciones de turba, producto del estancamiento de aguas.

- **Plano o llanura de inundación (Fpi)**

Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de “U” o “V”, al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. En regiones montañosas, donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal, en red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad, se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas.



**Ilustración 108. Plano o llanura de inundación, influenciado por la dinámica del Río Bogotá.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- **Planicie y delta lacustre (Fpla)**

Superficie extensa de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes de varios metros de altura. Su origen está relacionado al desplazamiento lateral del cauce de un río dentro de la llanura aluvial. Su depósito está constituido por arcillas con intercalaciones locales de arenas finas con niveles delgados de gravas y turbas concordantes, producto de la acumulación de materiales transportados por las corrientes.



**Ilustración 109. Planicie y delta lacustre, domina la mayor parte del área plana del municipio.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

### 1.5.9.2.3. Ambiente Denudativo

Se incluyen las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas morfoestructurales preexistentes y además crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos. En la Sabana de Bogotá son de amplia distribución particularmente en la región de Mondoñedo, norte de Guasca y sector norte de Nemocón, aunque igualmente se presentan bordeando como piedemontes las sierras de carácter estructural denudativo indicadas previamente.

Entre las geoformas de origen denudativo se presentan en zonas de piedemonte de las grandes estructuras homoclinales y particularmente en las laderas de contrapendiente se presentan laderas estructurales y de contrapendiente muy denudadas y localmente asociadas con suelos residuales

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

gruesos. Se diferencian por el cambio de pendiente menor con respecto a las inclinaciones escarpadas de las sierras homoclinales asociadas y por la litología predominantemente arcillosa de las formaciones Guaduas y Bogotá donde se desarrolla un drenaje subparalelo localmente denso. En Cajicá, este ambiente refleja el 9.64% del total del municipio.

- **Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión (Dco)**

Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a areno limo-arcillosa.



**Ilustración 110. Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión. Cerca al Mirador la Cumbre, en la vereda Chuntame (X: 4884030 Y:2103830).**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Cerro remanente o relicto (Dcrem)**

Prominencias topográficas aisladas de morfología colinada, alomada o montañosa que sobresalen de la topografía circundante. La unidad presenta cimas agudas a redondeadas, laderas de longitud moderadamente corta a larga de forma convexa. Su origen se asocia a procesos de erosión y meteorización diferencial acentuada y antigua. Incluye los cerros semienterrados en sedimentos recientes.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- **Cono o lóbulo de flujo indiferenciado (Dft)**

Estructura en forma de lóbulo o abanico de morfología alomada convexa, con una longitud muy larga a extremadamente larga, abrupta a muy abrupta. El cuerpo despliega estructuras convexas de flujo en la parte frontal lobulada. Su origen es relacionado a avalanchas torrenciales inducidas posiblemente por eventos sísmicos o cambios climáticos asociados a lluvias torrenciales. Su depósito está constituido por bloques rocosos angulares a subredondeados de tamaños métricos embebidos en matriz arenosa arcillosa y por la acumulación de bloques en el frente de la onda.



**Ilustración 111. Cono o lóbulo de flujo indiferenciado, vereda Chuntame, en el parte norte costado occidental del municipio (X:4886823 Y: 2106964).**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Lomo desnudado (Dlde)**

Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; presentan forma alargada en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico (Ilustración 102).

- **Lomeríos disectados (Dldi)**

Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas redondeadas y amplias, de laderas cortas a moderadamente largas de forma rectas, cóncavas y convexas, con pendientes muy inclinadas a muy abruptas, con índice de relieve bajo. Estas geoformas son originadas por procesos de denudación intensos y cuyas laderas se caracterizan por la moderada disección, generando valles en U con fondo redondeado a plano. Se presentan movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional con superficie de falla poco profundos.



**Ilustración 112. Lomeríos disectados, costado occidental de la vía Cajicá-Zipacquirá en el sector más norte del municipio.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Ladera erosiva (Dle)**

Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y soliflucción, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura.

- **Cono o lóbulo de flujo de detritos (Dlfd)**

Estructura en forma de lóbulo y abanico con morfología alomada y aterrazada, de longitud muy larga a extremadamente larga, convexa, limitada por escarpes abruptos a muy abruptos. Su origen es relacionado a eventos fluvio torrenciales encauzados. En general, su depósito está constituido por bloques rocosos angulares a subredondeados de detritos y bloques embebidos en una matriz más fina.

- **Lomeríos muy disectados (Dlmd)**

Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas agudas a redondeadas estrechas, de laderas cortas a moderadamente largas, de forma cóncava a rectas y pendientes abruptas a escarpadas, con índice de relieve bajo. Estas geoformas son originadas por procesos de denudación intensos y cuyas laderas se caracterizan por la alta disección, generando valles en V. Estos lomeríos generalmente se encuentran en los bordes de altiplanos y frentes de erosión. En esta unidad los procesos que se presentan son movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional. Cuando está localizado en un altiplano se denomina “Lomeríos muy disectados de altiplano (DAImd)”.



**Ilustración 113. Lomeríos muy disectados, vía Manas-Molino – Cajicá-Tabio, en el sector de la Concepción.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

- **Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)**

Elevación del terreno con una altura menor de 50 metros sobre su nivel de base local, con una morfología colinada, cóncava o convexa, suavemente inclinada y con drenaje divergente. Su origen es relacionado a procesos de meteorización y erosión intensa sobre rocas blandas o friables y en sedimentos no consolidados, dispuestos de manera horizontal a ligeramente inclinados.



**Ilustración 114. Montículo y ondulaciones denudacionales, en el costado oriental de la vía Manas-Molino con la calle 3, frente al cerro Montepincio.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.9.2.4. Ambiente Antropogénico

Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno. En Cajicá, este ambiente refleja el 1.5% del total del municipio.

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

- **Canteras (Ac)**

Excavación escarpada con altura del orden decimétrico, de formas irregulares o en terrazas hechos en laderas para la extracción de materiales de construcción como piedra, arena y grava. Se incluyen en esta definición las excavaciones realizadas para la extracción de arcillas comúnmente llamadas chircales.



**Ilustración 115. Canteras. Ubicadas en diferentes puntos del municipio.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

- **Embalses (Aemb)**

Acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. La obstrucción del cauce puede ocurrir por causas naturales como, por ejemplo, el derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, la acumulación

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

de placas de hielo o las construcciones hechas por los castores, y por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas.

### 1.5.10. Relieve

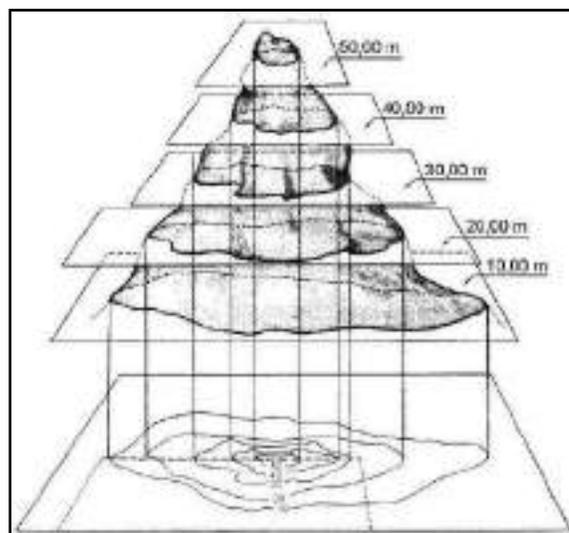
En el caso del suelo rural del municipio de Cajicá se determinó emplear la información cartográfica base oficial IGAC a escala 1:10.000; esta toda vez que contiene curvas de nivel digitalizadas en procesos de restitución fotogramétrica cumpliendo con los estándares de calidad del mismo IGAC.

Las planchas 1:10.000 empleadas fueron las 209IIC3, 209IIC4, 228IA1, 228IA2, 228IA3 y 228IA4.

#### 1.5.10.1. Curva de Nivel

Una curva de nivel es una línea, visible en el mapa, y que une todos los puntos que tienen una misma condición que por norma general es la altitud sobre el nivel del mar, o bien la profundidad.

Y es que el sistema de representación de curvas de nivel podemos visualizarlo como un corte en la superficie del terreno con un conjunto de planos paralelos entre sí, que deberán de estar separados por una distancia que, en casi todas las ocasiones, es igual. (Ver Ilustración 116).



**Ilustración 116. Modelo de elevación derivado en curvas de nivel.**

Fuente: ESRI. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Cada uno de los planos que corta el terreno forma una figura plana que recibe el nombre de curva de nivel, también llamada isohipsa. La distancia entre cada una de las curvas de nivel se conoce con el nombre de equidistancia, y que veremos a continuación.

#### 1.5.10.1.1. Equidistancia entre curvas de nivel

La equidistancia es un término que se usa con frecuencia cuando se trabaja con curvas de nivel. Y es que es la distancia existente entre las curvas de nivel y que siempre es la misma en un mapa.

Por normal general en los mapas se pueden ver varias curvas de nivel, algunas de las cuales aparecen con un color más fuerte. A estas se las conoce con el nombre de curvas de nivel maestras. Aunque tengan un color más fuerte que las demás curvas de nivel, la equidistancia es la distancia existente entre todas las curvas de nivel y no solo entre las curvas de nivel maestras. A continuación, podemos ver un ejemplo en el que las curvas de nivel maestras son cada 50 metros, y la equidistancia es de 10 metros (ver Ilustración 117).

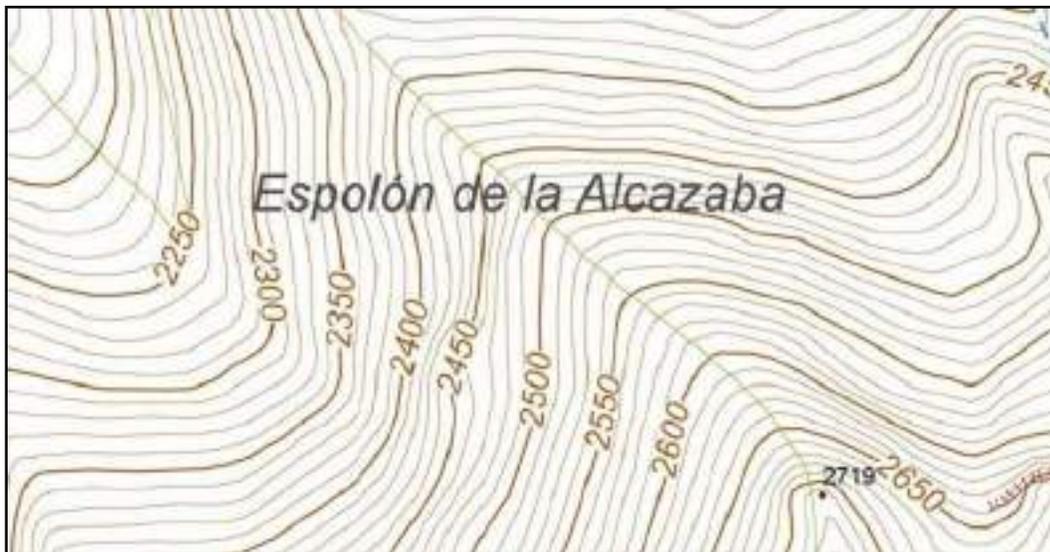


Ilustración 117. Equisditancia entre curvas de nivel.

Fuente: ESRI. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

### 1.5.10.1.2. Cota de un punto

Todos los puntos que nos encontramos en un mapa tienen una altitud definida, que se conoce como cota. En la mayoría de mapas que podemos visualizar se marcan algunas cotas para que se puedan tener como referencia.

Una definición bastante precisa de cota, sería la longitud vertical de un punto en el mapa sobre un plano de comparación, que por lo general es el nivel del mar.

Todos los puntos situados sobre la misma curva de nivel tienen la misma cota. Si el punto del cual queremos conocer la altitud se sitúa entre dos curvas de nivel, por ejemplo, entre la de 500 y 600 metros, ese punto tendrá una altitud comprendida entre esos dos valores.

### 1.5.10.1.3. Curvas de nivel auxiliares

Al igual que existen curvas de nivel maestras, también nos encontramos en los mapas con curvas de nivel auxiliares. Estas se utilizan en mapas donde la equidistancia entre curvas de nivel es grande, y no permite obtener información relativa a la topografía del terreno.

Las curvas de nivel auxiliares, se sitúan entre dos curvas de nivel comunes, y se suelen representar con trazos discontinuos. Si tenemos dos curvas de nivel de 400 y 420 metros, la curva de nivel auxiliar tendría una cota de 410 metros e iría intercalada entre las dos curvas de nivel comunes, solo que con un trazo discontinuo.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>Arco<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

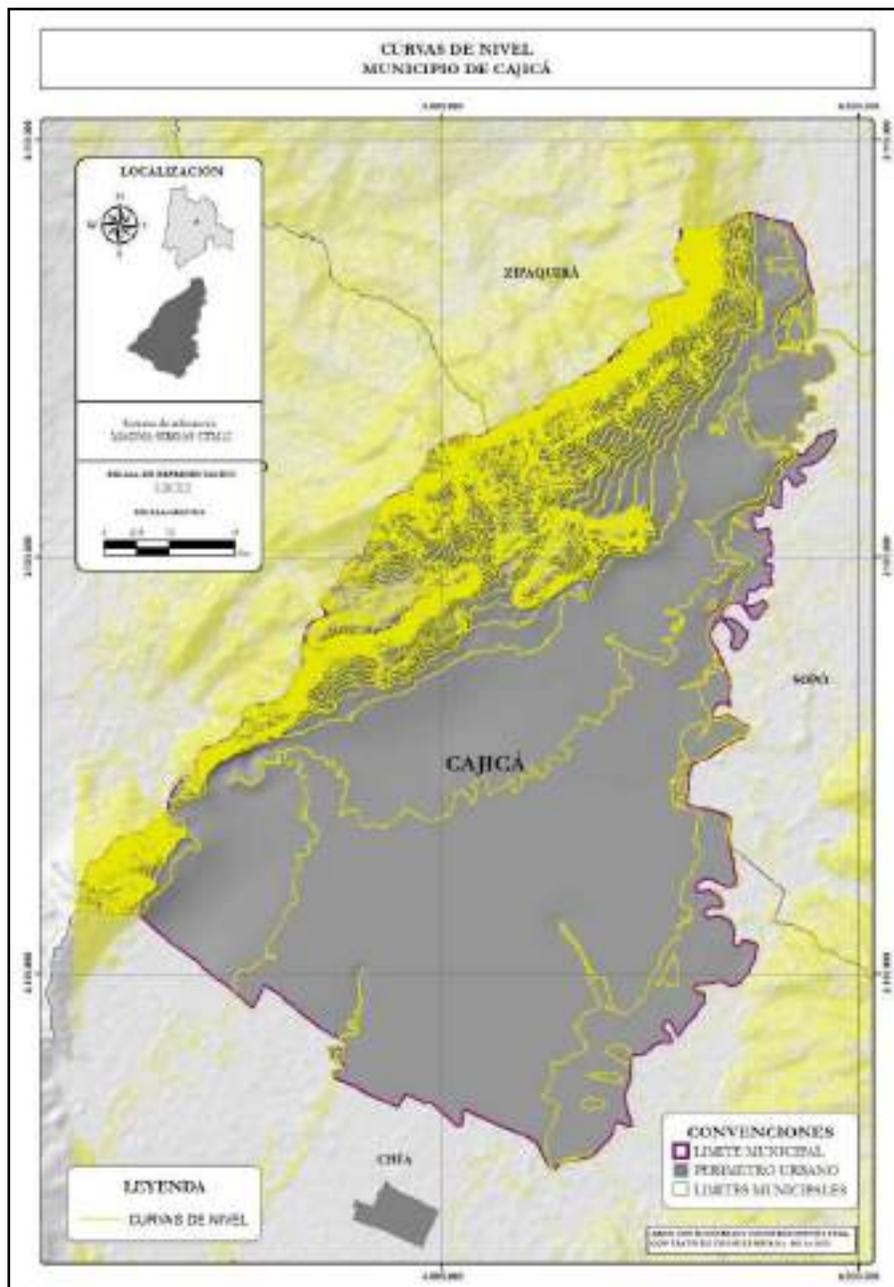


Ilustración 118. Curvas de nivel del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).



Una vez identificado la fuente de información, se procede a la generación del modelo de relieve tipo raster o conocido como modelo digital de terreno (DEM), el cual es generado a partir de la herramienta Topo To Raster de ArcGIS.

### 1.5.10.2. Topo a Raster

La herramienta De topo a ráster es un método de interpolación diseñado específicamente para la creación de modelos digitales de elevación (DEM) hidrológicamente correctos. Está basado en el programa ANUDEM desarrollado por Michael Hutchinson (1988, 1989, 1996, 2000, 2011). Vea Hutchinson and Dowling (1991), ANU Fenner School of Environment and Society y Geoscience Australia (2008) para obtener aplicaciones de ANUDEM para producción de DEM en todo el continente. Las aplicaciones de DEM para modelado ambiental se tratan en Hutchinson and Gallant (2000) y Hutchinson (2008).

De topo a ráster interpola valores de elevación para un ráster a la vez que impone restricciones que garantizan:

- Una estructura de drenaje conectado
- La correcta representación de crestas y arroyos a partir de los datos de curvas de nivel de entrada

Como tal, es el único interpolador de ArcGIS diseñado específicamente para trabajar de forma inteligente con entradas de curvas de nivel.

#### 1.5.10.2.1. El proceso de interpolación

El procedimiento de interpolación se diseñó para aprovechar los tipos de datos de entrada comúnmente disponibles y las características conocidas de las superficies de elevación. Este método utiliza una técnica de interpolación de diferencia finita iterativa. Se optimiza para tener la eficacia computacional de los métodos de interpolación local, como la interpolación de distancia inversa ponderada (IDW), sin perder la continuidad de la superficie de los métodos de interpolación global, como Kriging y Spline. Es, esencialmente, una técnica de spline de lámina delgada discretizada (Wahba, 1990) a la cual se le modificó la penalización por rugosidad para permitir que el DEM ajustado siga los cambios abruptos en el terreno, como arroyos, crestas y acantilados.

El agua es la principal fuerza erosiva que determina la forma general de la mayoría de los paisajes. Es por esto que la mayoría de los paisajes tienen varias cumbres (máximos locales) y pocos sumideros (mínimos locales), lo que resulta en un patrón de drenaje conectado. De topo a ráster utiliza estos conocimientos sobre superficies e impone restricciones en el proceso de

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

interpolación que resultan en una estructura de drenaje conectada y corrigen la representación de crestas y arroyos. Esta condición de drenaje impuesto produce superficies con mayor precisión y menos datos de entrada. La cantidad de datos de entrada puede ser de hasta un orden de magnitud menor que lo que se requiere normalmente para describir de manera adecuada una superficie con curvas de nivel digitalizadas, lo que minimiza aún más el coste de obtener DEM confiables. La condición de drenaje global también elimina prácticamente cualquier necesidad de edición o postproceso para quitar los sumideros espurios de la superficie generada.

El programa actúa de manera conservadora en la eliminación de sumideros y no impone condiciones de drenaje en las ubicaciones que podrían contradecir los datos de elevación de entrada. Estas ubicaciones suelen aparecer en el archivo de diagnóstico como sumideros. Utilice esta información para corregir los errores en los datos, en particular cuando procesa datasets de gran tamaño.

#### **1.5.10.2.2. El proceso de aplicación de drenaje**

El propósito del proceso de aplicación de drenaje es quitar todos los puntos de sumideros en el DEM de salida que no se identificaron como sumideros en el dataset de entidades de sumidero de entrada. El programa presupone que todos los sumideros no identificados son errores, ya que, por lo general, es poco común encontrarlos en paisajes naturales (Goodchild y Mark, 1987).

El algoritmo de aplicación de drenaje intenta eliminar los sumideros espurios modificando el DEM, infiriendo las líneas de drenaje a través del punto de collado más bajo en el área de drenaje que circunda cada sumidero espurio. No intenta eliminar los sumideros reales suministrados por la función Sumidero. Como la eliminación de sumideros está sujeta a la tolerancia de elevación, el programa es conservador al intentar eliminar los sumideros espurios. Es decir, no elimina los sumideros espurios que puedan contradecir los datos de elevación de entrada por más del valor de Tolerancia 1.

La aplicación de drenaje también se puede complementar con la incorporación de los datos de línea de corriente. Esto es útil cuando se requiere una ubicación más precisa de los arroyos. Distributarios de arroyos se modelan permitiendo a cada celda tener hasta dos direcciones de aguas abajo.

#### **1.5.10.2.3. Uso de los datos**

- **Curvas de Nivel**

Las curvas de nivel eran originalmente el método más común para el almacenamiento y la presentación de la información de elevación. Lamentablemente, este método también es el más

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

difícil de utilizar de manera adecuada con las técnicas de interpolación general. La desventaja radica en el submuestreo de la información entre las curvas de nivel, en especial en las áreas de relieve bajo.

Al principio del proceso de interpolación, De topo a ráster utiliza la información inherente a las curvas de nivel para construir un modelo de drenaje inicial generalizado. Esto se realiza mediante la identificación de puntos de curvatura local máxima en cada curva de nivel. Una red de arroyos y crestas curvilíneas que interseca esos puntos se deriva utilizando la cuadrícula de elevación inicial (Hutchinson, 1988). Las ubicaciones de esas líneas se actualizan iterativamente a medida que las elevaciones de DEM se actualizan iterativamente. Esta información se utiliza para garantizar propiedades hidromorfológicas adecuadas del DEM de salida y también se pueden utilizar para verificar la precisión del DEM de salida.

Los puntos de datos de curvas de nivel también se utilizan en la interpolación de valores de elevación en cada celda. Todos los datos de curvas de nivel se leen y generalizan. Un máximo de 100 puntos de datos se lee desde las curvas de nivel dentro de cada celda, con el valor de la elevación promedio que se utiliza como el único punto de datos de elevación para cada celda que interseca los datos de línea de curvas de nivel. En cada resolución DEM, se utiliza solo un punto crítico para cada celda. Por esta razón, es redundante tener una densidad de curvas de nivel con varias curvas de nivel que cruzan las celdas de salida.

Una vez que se determina la morfología general de la superficie, los datos de curvas de nivel también se utilizan en la interpolación de valores de elevación en cada celda.

Cuando estos datos se usan para interpolar información de elevación, se leen y generalizan todos los datos de curvas de nivel. Se lee un máximo de 50 puntos de datos de estas curvas de nivel dentro de cada celda. Después de la resolución final, se utiliza solo un punto crítico para cada celda. Por esta razón, es redundante tener una densidad de curvas de nivel con varias curvas de nivel que cruzan las celdas de salida.

- **Datos de Lago**

Los polígonos del lago en versiones anteriores de topo a ráster eran simplemente máscaras que fijaban la elevación de cada superficie de lago a la elevación mínima de todos los valores DEM que fueran vecinos inmediatos del lago. Se actualizó el algoritmo de los límites del lago para habilitar la determinación automática de las alturas del lago que son totalmente compatibles con líneas de arroyos de conexión y los valores de elevación vecinos.

El método revisado de los límites del lago también trata cada límite del lago como una curva de nivel con elevación desconocida y calcula iterativamente la elevación de esta curva de nivel desde

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

los valores de celda en el límite del lago. Al mismo tiempo, la elevación de cada límite del lago se establece para ajustarse a las elevaciones de cualquier lago de aguas arriba o aguas abajo. La elevación de cada límite del lago también se establece para que sea coherente con los valores de DEM vecinos. Los valores de celda inmediatamente fuera del lago se establecen para estar sobre la elevación del límite del lago y los valores de celda en el interior del lago se establecen para estar por debajo de la elevación del límite del lago.

Los límites del lago pueden incluir islas dentro de lagos y lagos dentro de islas. Todos los valores de DEM que se encuentran dentro de los lagos, según lo determinan los polígonos del límite del lago, se establecen a la altura estimada del DEM en el límite del lago.

- **Datos de Acantilado**

Las líneas de acantilado permiten un corte completo continuo entre los valores de celda vecinos en cada lado de las líneas de datos de acantilados, según están codificados en el ráster de salida. Las líneas de acantilado se deben suministrar como líneas orientadas, con el lado bajo de cada línea de acantilado a la izquierda y el lado alto de la línea de acantilado a la derecha. Esto permite la eliminación de puntos de datos de elevación que se encuentran en el lado equivocado de los acantilados, según están codificados en el ráster, así como una mejor ubicación de los acantilados en relación con los arroyos.

También se ha descubierto que los pequeños cambios en la posición de los arroyos y los acantilados a medida que se incorporan en el ráster pueden dar lugar a falsas interacciones entre estos datos. Por lo tanto, se ha desarrollado un método automatizado para realizar pequeños ajustes en la ubicación de las líneas de arroyos y acantilados en el ráster para minimizar estas falsas interacciones.

- **Líneas de Costa**

Las celdas en el DEM de salida final que se encuentran fuera de los polígonos especificados por esta clase de entidad poligonal se establecen en un valor especial determinado internamente y que es menor que el límite de altura mínima especificado por el usuario. El resultado de esto es que un polígono costero completo se puede utilizar como entrada y automáticamente se recorta a la extensión del procesamiento.

#### 1.5.10.2.4. Interpolación de resoluciones

El programa utiliza un método de interpolación de varias resoluciones, que comienza con un ráster grueso y sigue con la resolución más fina especificada por el usuario. En cada resolución, se aplican las condiciones de drenaje, se lleva a cabo la interpolación y se registra la cantidad de sumideros restantes en el archivo de diagnóstico de salida.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

#### 1.5.10.2.5. Procesamiento de datos

- **Datos de Arroyo**

La herramienta De topo a ráster requiere que los datos de red de arroyo posean todos los arcos apuntando hacia abajo y que no haya polígonos (lagos) en la red.

Los datos de arroyos deben estar compuestos por arcos individuales en un patrón dendrítico, con los bancos de arroyos paralelos, polígonos de lago, etc. que se limpian a través de la edición interactiva. Al editar polígonos de lago fuera de la red, se debe ubicar un arco individual desde el principio al final del área contenida. El arco debe seguir la ruta de un lecho fluvial histórico si se conoce o existe uno. Si se conoce la elevación del lago, el polígono de lago y su elevación se pueden utilizar como una entrada de Curva de nivel.

#### 1.5.10.2.6. Rásteres y mosaicos

A veces es necesario crear DEM a partir de teselas adyacentes de datos de entrada. Generalmente, esto ocurre cuando las entidades de entrada se derivan de una serie de hojas de mapa o cuando, debido a limitaciones de memoria, los datos de entrada deben procesarse en varias partes.

El proceso de interpolación utiliza datos de entrada de las áreas circundantes para definir la morfología y el drenaje de la superficie, e interpolar los valores de salida. Sin embargo, los valores de celda de los bordes de cualquier DEM de salida no son tan fiables como los del área central ya que están interpolados con la mitad de la información.

Para realizar las predicciones más precisas en los bordes del área de interés, la extensión de los datasets de entrada debe ser mayor que el área de interés. El parámetro Margen en celdas proporciona un método para cortar los ejes de DEM de salida en función de una distancia especificada por el usuario. Los bordes de las áreas superpuestas deben tener al menos 20 celdas de ancho.

Debe haber un poco de superposición de los datos de entrada en las áreas adyacentes cuando se combinan varios DEM de salida en un ráster único. Sin esta superposición, es posible que los bordes de los DEM fusionados no sean suaves. Las extensiones de los datasets de entrada de cada una de las interpolaciones deben tener un área aún más grande que si solo se fuera a hacer una interpolación para una interpolación simple, de forma de asegurar que los bordes se puedan prever de manera tan precisa como sea posible.



Una vez creados los DEM, se pueden combinar mejor utilizando la herramienta de geoprocésamiento Mosaico con las opciones Mezclar o Valor medio. Esta función proporciona opciones para administrar áreas superpuestas a fin de suavizar la transición entre los datasets.

#### 1.5.10.2.7. Evaluación de salida

Cada superficie creada se debe evaluar para asegurar que los datos y parámetros suministrados al programa resulten en una representación realista de la superficie. Hay varias formas de evaluar la calidad de una superficie de salida, según el tipo de entrada disponible para crear la superficie.

La evaluación más común es crear curvas de nivel desde la nueva superficie con la herramienta Curva de nivel y compararlas con los datos de curva de nivel de entrada. Es mejor crear estas curvas de nivel nuevas a la mitad del intervalo de la curva de nivel original para examinar los resultados entre éstas. Dibujar las curvas de nivel originales y las nuevas una sobre la otra puede ayudar a identificar los errores de interpolación.

Otro método de comparación visual es comparar la cubierta opcional de drenaje de salida con arroyos y crestas conocidos. La clase de entidad de drenaje contiene los arroyos y las crestas que se generaron mediante el programa durante el proceso de aplicación de drenaje. Estos arroyos y crestas deben coincidir con los arroyos y las crestas conocidos del área. Si se utilizó una clase de entidad de arroyo como entrada, los arroyos de salida deben superponerse casi perfectamente con los arroyos de entrada, aunque pueden ser levemente más generalizados.

Un método común para evaluar la calidad de una superficie generada es retener un porcentaje de los datos de entrada del proceso de interpolación. Después de generar la superficie, la altura de estos puntos conocidos se puede sustraer de la superficie generada para examinar con qué precisión la superficie nueva representa la superficie real. Estas diferencias se pueden usar para calcular una medida de error para la superficie, como el error cuadrático medio (RMS).

De topo a ráster tiene un conjunto completo de procedimientos para evaluar la calidad del DEM ajustado, para optimizar la resolución de DEM y para detectar errores en los datos de entrada.

- El Archivo de diagnóstico de salida opcional se puede utilizar para evaluar con qué eficacia los ajustes de tolerancia están eliminando los sumideros de los datos de entrada. Disminuir los valores de las tolerancias puede hacer que el programa se comporte de forma más conservadora al eliminar los sumideros.
- La clase de Entidad de punto de los sumideros restantes de salida contiene las ubicaciones de los sumideros falsos restantes. Esto se debe inspeccionar junto con las entidades de polilínea de arroyo de salida para verificar errores en todos los datos topográficos de entrada.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

- La clase de Entidad de punto residual de salida contiene las ubicaciones de todos los residuales de datos de elevación grandes como escalados por el error de discretización local. Los valores residuales de gran escala indican los conflictos entre los datos de elevación de entrada y los datos de línea de arroyos. Esos valores también pueden estar asociados con aplicaciones automáticas de drenaje deficientes. Estos conflictos se pueden resolver proporcionando datos adicionales de elevación del punto o de la línea de corriente lineal después de la primera verificación y corrección de errores en los datos de entrada existentes. Los valores residuales sin escala generalmente indican errores de elevación de entrada.
- La clase de Entidad de punto de error de curva de nivel de salida contiene las ubicaciones de puntos de las curvas de nivel de entrada con residuales influidos significativamente desde el DEM ajustado. Un valor de error 1 con frecuencia indica la ubicación de puntos donde las curvas de nivel con distintas elevaciones están conectadas, un indicador seguro de un error de etiqueta de curva de nivel.
- La clase de Entidad de punto de error de arroyo y de acantilado de salida es un indicador importante de la calidad de datos de línea de arroyo y de línea de acantilado, particularmente de los errores de dirección de arroyo y de los errores de dirección de acantilado, y se debería revisar siempre.

La clase de entidad tiene los siguientes códigos:

1. Circuito real en la red de línea de transmisión de datos.
2. El circuito en la red de corriente según se codifica en el ráster de salida.
3. El circuito en la red de corrientes a través de la conexión de los lagos.
4. Punto de bifurcaciones de ríos.
5. Transmisión en un acantilado (cataratas).
6. Puntos que indican varios flujos de salida de corrientes desde los lagos.
7. Código no utilizado.
8. Puntos junto a acantilados con alturas inconsistentes con dirección de acantilado.
9. Código no utilizado.
10. Bifurcaciones de ríos circulares eliminadas.
11. Bifurcaciones de ríos sin corriente que fluye hacia adentro.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

12. Bifurcaciones de ríos rasterizadas en celda de salida diferentes al lugar donde ocurren las bifurcaciones de ríos de la línea de transmisión de datos.
  13. Error al procesar las condiciones laterales: un indicador de datos de línea de transmisión muy complejos.
- La clase de Entidad de polilínea de arroyo de salida contiene todas las restricciones de drenaje impuestas por De topo a ráster como se determina desde los datos de línea de arroyo de entrada, líneas de arroyo y líneas de cresta inferidos de los datos de curva de nivel y líneas de arroyo obtenidos mediante aplicaciones de drenaje automáticas. Estos se pueden inspeccionar para comprobar los errores de ubicación en las líneas de arroyos de entrada y verificar la concordancia adecuada con las restricciones asociadas con las líneas de arroyos de entrada y las aplicaciones automatizadas de drenaje. A cada tipo de línea de arroyos derivado se le asigna un código diferente. Las líneas de arroyos que cruzan líneas de acantilados se indican con líneas de longitud de arroyos cortas; una celda con un código individual. La clase de entidad también incluye líneas que indican grandes márgenes de los datos de elevación de origen a través de la conexión de las líneas de arroyos y lagos que superan la segunda tolerancia de elevación. Estos pueden ser un indicador útil de los errores en los datos de elevación de origen.

Las entidades de polilínea se codifican de la siguiente forma:

1. Línea de corriente de entrada no está sobre un acantilado.
2. Línea de corriente de entrada sobre un acantilado (cascada).
3. Aplicación de drenaje despejando un sumidero espurio.
4. Línea de transmisión determinada desde la esquina de curvas de nivel.
5. Línea de cresta determinada desde la esquina de curvas de nivel.
6. Código no utilizado.
7. Condiciones laterales de línea de transmisión de datos.
8. Código no utilizado.
9. Línea que indica grandes márgenes en datos de elevación.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

#### 1.5.10.2.8. Influencia de curvas de nivel

Existe una influencia menor en el algoritmo de interpolación que hace que las curvas de nivel de entrada tengan un efecto más fuerte en la superficie de salida en la curva de nivel. Esta influencia puede resultar en un aplanamiento leve de la superficie de salida cuando cruza la curva de nivel. Esto puede generar resultados confusos al calcular la curvatura del perfil de la superficie de salida, pero no es perceptible de otro modo.

#### 1.5.10.2.9. Causas de problemas

Si encuentra cualquier problema cuando ejecute De topo a ráster, revise los siguientes puntos para obtener explicaciones y soluciones para los problemas más comunes.

- No hay recursos de sistemas suficientes disponibles. Los algoritmos utilizados en De topo a ráster contienen tanta información como sea posible en la memoria durante el procesamiento. Esto permite acceder simultáneamente a los datos de punto, de curvas de nivel, de sumidero, de arroyo y de lago. Para facilitar el procesamiento de datasets grandes, se recomienda cerrar las aplicaciones innecesarias antes de ejecutar la herramienta para liberar memoria RAM física. También es importante tener cantidades suficientes de espacio de intercambio del sistema en el disco.
- La curva de nivel o el punto de entrada puede ser demasiado denso para el tamaño de la celda de salida especificado. Si una celda de salida cubre varias curvas de nivel o puntos de entrada, el algoritmo podría no poder determinar el valor de esa celda. Para resolver esto, intente una de las siguientes opciones:
  - Reduzca el tamaño de celda y, a continuación, vuelva a muestrear al tamaño de celda mayor tras De topo a ráster.
  - Rasterice secciones más pequeñas de los datos de entrada utilizando la Extensión de salida y el Margen en celdas. Reúna los rásteres de componente resultantes con la herramienta Mosaico.
  - Corte los datos de entrada en secciones que se superpongan y ejecute De topo a ráster separadamente en cada sección. Reúna los rásteres de componente resultantes con la herramienta Mosaico.
- La aplicación de un interpolador de superficie puede no ser consistente con el dataset de entrada. Por ejemplo, la herramienta fallará si hay una entrada de sumideros con más puntos que las celdas que habrá en el ráster de salida. Las fuentes de datos muestreados densamente, tales como los datos LIDAR, pueden tener problemas similares. El uso de la opción No aplicar puede ayudar en este caso, pero es importante comprender bien cómo funciona el interpolador para evitar un uso inadecuado.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>Arco<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

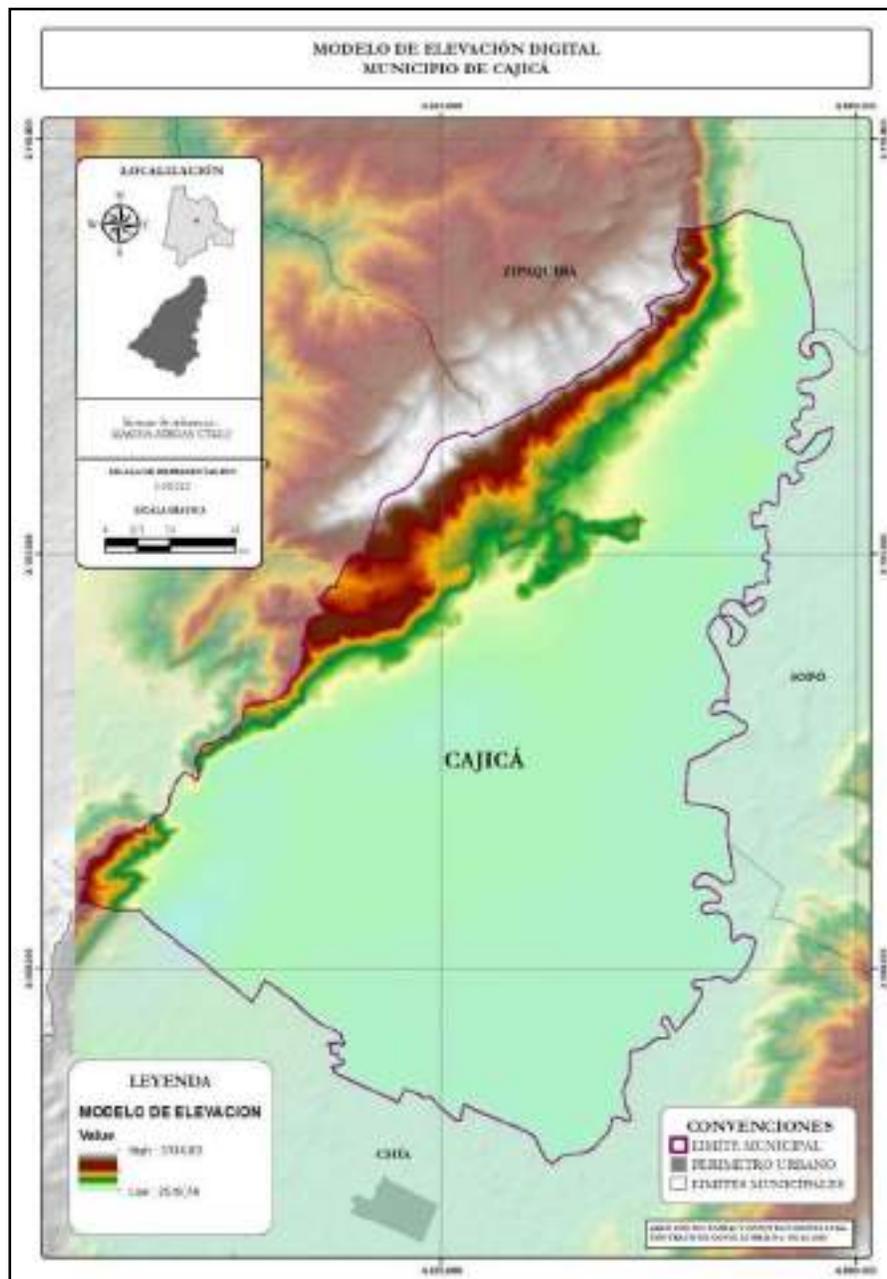


Ilustración 119. Modelo de elevación digital del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

### 1.5.10.3. Modelo de Pendientes del Suelo

La herramienta Pendiente identifica la inclinación en cada celda de una superficie de ráster. Mientras menor sea el valor de la pendiente, más plano será el terreno; mientras más alto sea el valor de la pendiente, más empinado será el terreno.

El ráster de pendiente de salida se puede calcular en dos tipos de unidades: grados o porcentaje (elevación en porcentaje). La elevación en porcentaje puede comprenderse mejor si se considera como la elevación dividida entre el avance, multiplicada por 100. Considere el triángulo B más abajo. Cuando el ángulo es de 45 grados, la elevación es igual al avance, y la elevación en porcentaje es 100%. A medida que la pendiente alcanza la vertical (90 grados), como se puede ver en el triángulo C, la elevación en porcentaje comienza a acercarse al infinito. (Ver Ilustración 120).

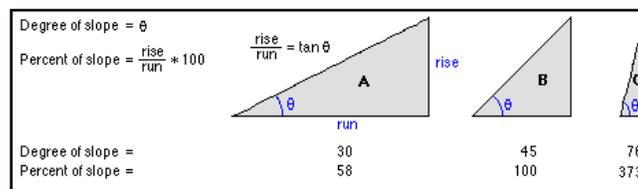


Ilustración 120. Modelo explicativo de pendientes de suelo.

Fuente: ESRI. (2021).

La herramienta Pendiente se ejecuta con más frecuencia en un dataset de elevación, tal y como se muestra en las siguientes imágenes. Las pendientes más empinadas están sombreadas en marrón más oscuro en el ráster de pendiente de salida.

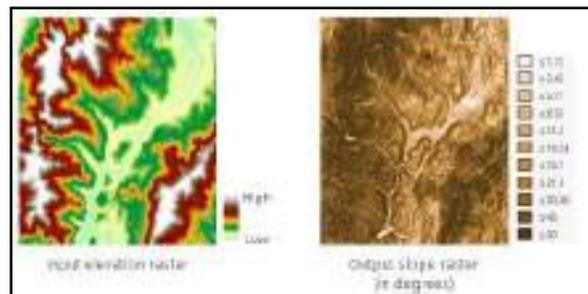


Ilustración 121. Ejemplos de modelos ráster de pendientes.

Fuente: ESRI. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

La herramienta también se puede utilizar con otros tipos de datos continuos, como la población, para identificar cambios marcados en el valor.

### 1.5.10.3.1. Metodología de procesamiento

Para calcular la pendiente hay dos métodos disponibles. Puede elegir entre realizar cálculos Planares o Geodésicos con el parámetro Método.

Para el método planar, la pendiente se mide como la tasa máxima de cambio del valor de una celda a sus vecinas inmediatas. El cálculo se realiza en un plano liso proyectado utilizando un sistema de coordenadas cartesianas 2D. El valor de la pendiente se calcula utilizando un estimador de diferencia finita de tercer orden.

Con el método geodésico, el cálculo se realizará en un sistema de coordenadas cartesianas 3D teniendo en cuenta la forma de la Tierra como un elipsoide. El valor de la pendiente se calcula midiendo el ángulo entre la superficie topográfica y el datum de referencia.

Tanto los cálculos planares como geodésicos se realizan utilizando una vecindad de celdas de 3 x 3 (ventana móvil). Para cada vecindad, si la celda de procesamiento (central) es NoData, la salida es no NoData. El cálculo también requiere que al menos siete celdas vecinas a la celda de procesamiento sean válidas. Si hay menos de siete celdas válidas, el cálculo no se realizará y la salida en esa celda de procesamiento será NoData.

Las celdas de las filas y columnas más exteriores del ráster de salida serán NoData. Esto se debe a que esas celdas no tienen suficientes vecinos válidos a lo largo del límite del dataset de entrada.

#### 1.5.10.3.1.1. Método planar

La pendiente se calcula como la tasa de cambio (delta) de la superficie en las direcciones horizontal (dz/dx) y vertical (dz/dy) desde la celda central hasta cada celda adyacente. El algoritmo básico utilizado para calcular la pendiente es el siguiente:

$$slope\_radians = ATAN ( \sqrt{([dz/dx]^2 + [dz/dy]^2)} )$$

Por lo general, la pendiente se mide en grados, y se utiliza este algoritmo:

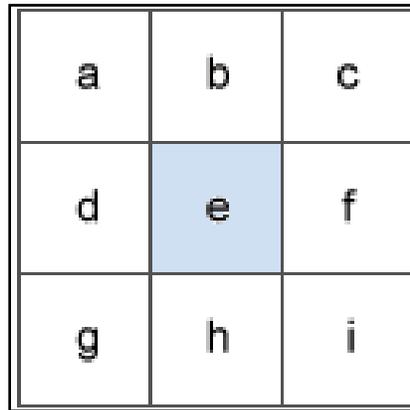
$$slope\_degrees = ATAN ( \sqrt{([dz/dx]^2 + [dz/dy]^2)} ) * 180/pi$$

El algoritmo de pendiente también se puede interpretar de la siguiente manera:

$$slope\_degrees = ATAN (rise\_run) * 180/pi$$

donde:  $rise\_run = \sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}$

Los valores de la celda central y sus ocho vecinas determinan las deltas horizontal y vertical. Las vecinas se identifican como letras, de la a a la i, con la letra y representando a la celda para la cual se calcula la orientación.



**Ilustración 122. Distribución y valores de celda.**

Fuente: ESRI. (2021).

La tasa de cambio en la dirección x de la celda y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) * 4/wght1 - (a + 2d + g) * 4/wght2) / (8 * x\_cellsize)$$

donde: wght1 y wght2 son los recuentos ponderados horizontales de las celdas válidas.

Por ejemplo, si:

- c, f e i tienen valores válidos,  $wght1 = (1+2*1+1) = 4$ .
- i es NoData,  $wght1 = (1+2*1+0) = 3$ .
- f es NoData,  $wght1 = (1+2*0+1) = 2$ .

Se aplica una lógica similar a wght2, salvo que las ubicaciones vecinas sean a, d y g.

La tasa de cambio en la dirección y de la celda y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) * 4/wght3 - (a + 2b + c) * 4/wght4) / (8 * y\_cellsize)$$

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

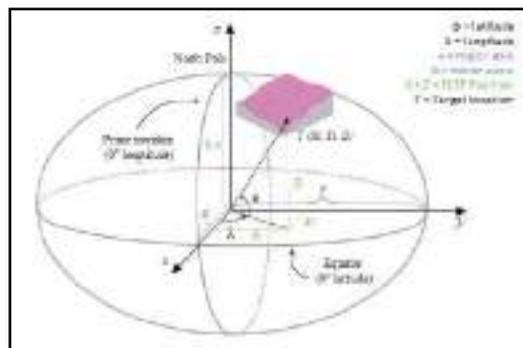
donde: wght3 y wght4 son el mismo concepto que en cálculo de  $[dz/dx]$ .

### 1.5.10.3.1.2. Método Geodésico

El método geodésico mide la pendiente en un sistema de coordenadas 3D geocéntricas, también llamado sistema de coordenadas centrado en la Tierra, Tierra fija (ECEF), teniendo en cuenta la forma de la Tierra como un elipsoide. La forma en que esté proyectado el dataset no afectará al resultado del cálculo. Se utilizarán las unidades z del ráster de entrada si están definidas en la referencia espacial. Si la referencia espacial de la entrada no define las unidades z, deberá hacerlo con el parámetro de unidad z. El método geodésico produce una pendiente más exacta que el método planar.

- **Transformación de Coordenadas Geodésicas**

El sistema de coordenadas de ECEF es un sistema de coordenadas cartesianas dextrógiro 3D cuyo origen es el centro de la Tierra, donde cualquier ubicación se representa mediante coordenadas X, Y y Z. Consulte Ilustración 123, para ver un ejemplo de una ubicación de destino T expresada con coordenadas geocéntricas.



**Ilustración 123. Ejemplo de modelo de sistema de coordenadas.**

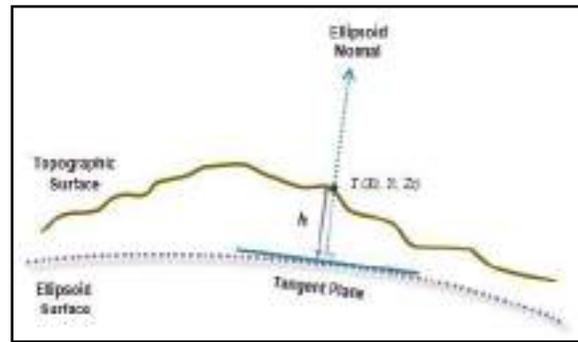
Fuente: ESRI. (2021).

El ráster de la superficie se transforma desde el sistema de coordenadas de entrada en un sistema de coordenadas geocéntricas 3D.

El cálculo geodésico utiliza una coordenada X, Y, Z que se calcula según sus coordenadas geodésicas (latitud  $\varphi$ , longitud  $\lambda$ , altura  $h$ ). Si el sistema de coordenadas del ráster de superficie de entrada es un sistema de coordenadas proyectadas (PCS), el ráster se re proyecta primero a un sistema de coordenadas geográficas (GCS) donde cada ubicación tiene una coordenada

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

geodésica y, a continuación, se transforma en el sistema de coordenadas de ECEF. La altura  $h$  (valor  $z$ ) es la altura de elipsoide asociada a la superficie de elipsoide. Consulte Ilustración 124.



**Ilustración 124. Ejemplo cálculo y comportamiento geodésico I.**

**Fuente:** ESRI. (2021).

Para transformar a coordenadas de ECEF desde una coordenada geodésica (latitud  $\varphi$ , longitud  $\lambda$ , altura  $h$ ), utilice las fórmulas siguientes:

$$X = (N(\varphi) + h)\cos\varphi\cos\lambda$$

$$Y = (N(\varphi) + h)\cos\varphi\sin\lambda$$

$$Z = (b^2/a^2 * N(\varphi) + h)\sin\varphi$$

donde:

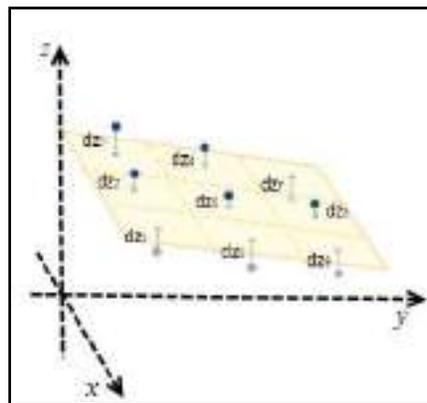
- $N(\varphi) = a^2 / \sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2\sin^2\varphi}$
- $\varphi = \text{latitud}$
- $\lambda = \text{longitud}$
- $h = \text{altura de elipsoide}$
- $a = \text{eje mayor del elipsoide}$
- $b = \text{eje menor del elipsoide}$

La altura  $h$  de elipsoide se expresa en metros en las fórmulas anteriores. Si la unidad  $z$  de su ráster de entrada se especifica en otra unidad, se transformará internamente a metros.

- **Cálculo de Pendiente**

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

La pendiente geodésica es el ángulo formado entre la superficie topográfica y la superficie del elipsoide. Toda superficie paralela a la superficie del elipsoide tiene una pendiente de 0. Para calcular la pendiente en cada ubicación, se ajusta un plano vecino con celdas de 3 x 3 alrededor de cada celda de procesamiento utilizando el método por mínimos cuadrados. El mejor ajuste en el método por mínimos cuadrados minimiza la suma de la diferencia cuadrada ( $dzi$ ) entre el valor  $z$  real y el valor  $z$  ajustado. (Ver Ilustración 125)



**Ilustración 125. Ejemplo ajuste de mínimos cuadrados.**

**Fuente:** ESRI. (2021).

Aquí, el plano se representa como  $z = Ax + By + C$ . Para cada centro de celda,  $dzi$  es la diferencia entre el valor  $z$  real y el valor  $z$  ajustado.

El plano se ajusta mejor cuando  $\sum_{i=1}^9 dzi^2$  se minimiza.

Una vez ajustado el plano, se calcula una superficie normal en la ubicación de la celda. En la misma ubicación, también se calcula una normal al elipsoide en perpendicular al plano tangente de la superficie de elipsoide.

|   |   |                              |   |
|---|---|------------------------------|---|
|  | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA |                              |  |
|   | ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL  | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS |   |

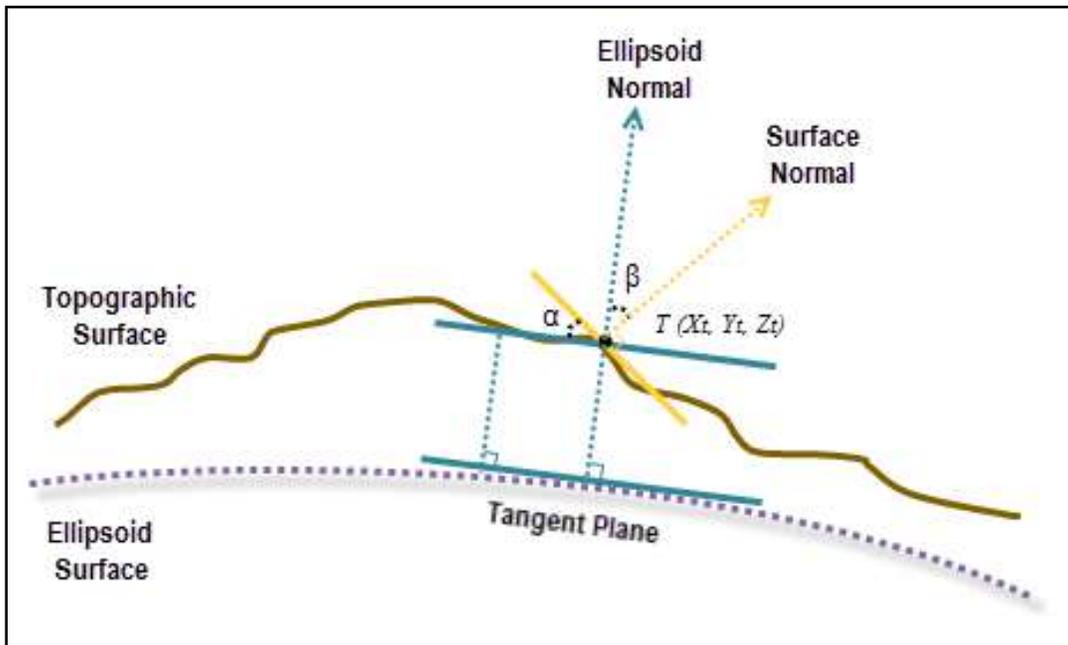


Ilustración 126. Ejemplo cálculo y comportamiento geodésico II.

Fuente: ESRI. (2021).

La pendiente, en grados, se calcula desde el ángulo entre el elipsoide normal y la superficie normal topográfica, representada aquí como  $\beta$ . Según la ilustración de arriba, el ángulo  $\alpha$  es la pendiente geodésica, que es igual que el ángulo  $\beta$ , según la ley de geometría congruente.

Para calcular la pendiente como elevación en porcentaje, se utiliza la fórmula siguiente:

$$\text{Slope\_PercentRise} = \text{ATAN}(\beta) * 100\%$$

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>Arco<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

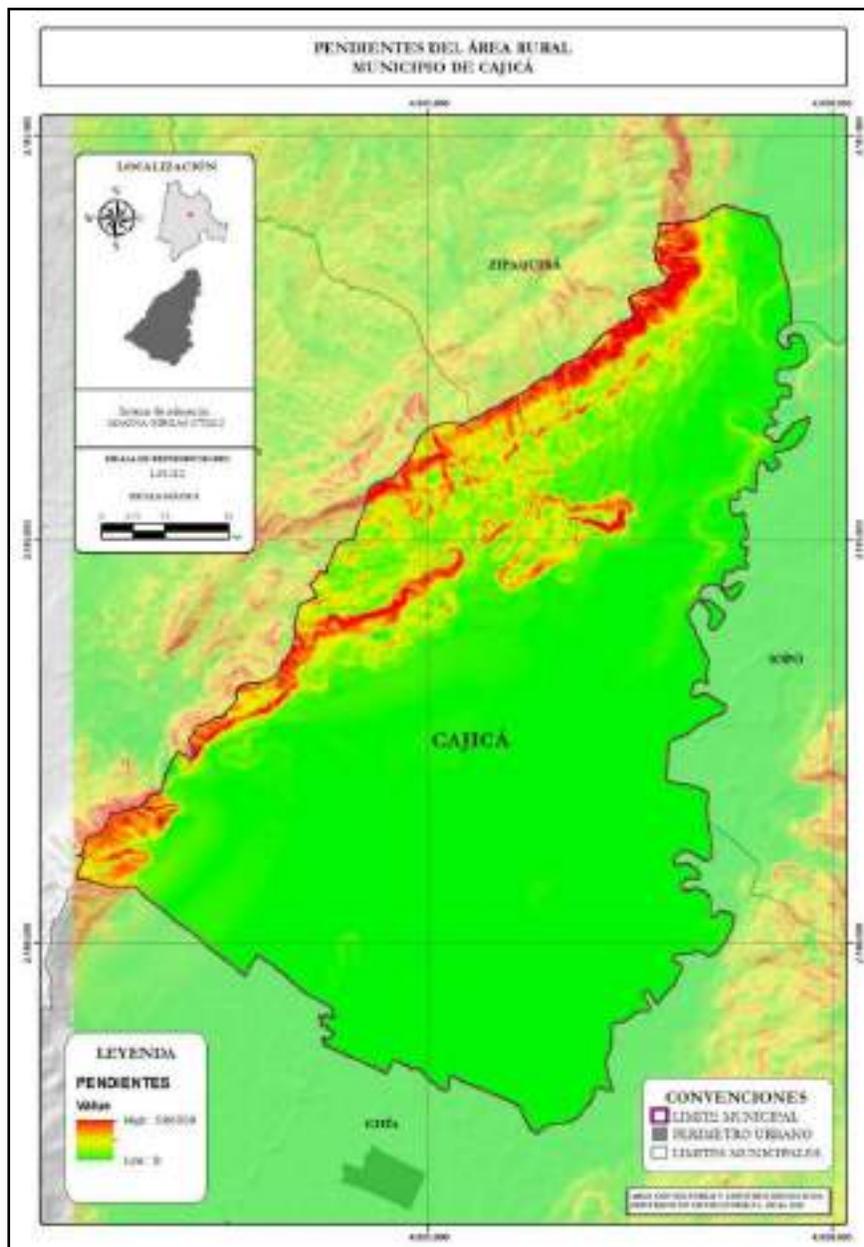


Ilustración 127. Pendientes del área rural del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

#### 1.5.10.4. Modelo de Sombras

La herramienta Sombreado obtiene la iluminación hipotética de una superficie determinando los valores de iluminación para cada celda de un ráster. Para esto, se configura la posición de una fuente de luz hipotética y se calculan los valores de iluminación de cada celda respecto de las celdas vecinas. Esto puede mejorar mucho la visualización de una superficie para su análisis o visualización gráfica, en especial cuando se utiliza la transparencia.

Por defecto, la sombra y la luz son tonos de grises asociados a números enteros, de 0 a 255 (aumenta de negro a blanco).

##### 1.5.10.4.1. Parámetros de Sombreado

El factor principal al crear un mapa de sombreado para cualquier ubicación es la ubicación del sol en el cielo.

- **Acimut**

El acimut es la dirección angular del sol, medida de 0 a 360 grados desde el Norte en sentido de las agujas del reloj. Un acimut de 90 grados es Este. El acimut predeterminado es 315 grados (NO).

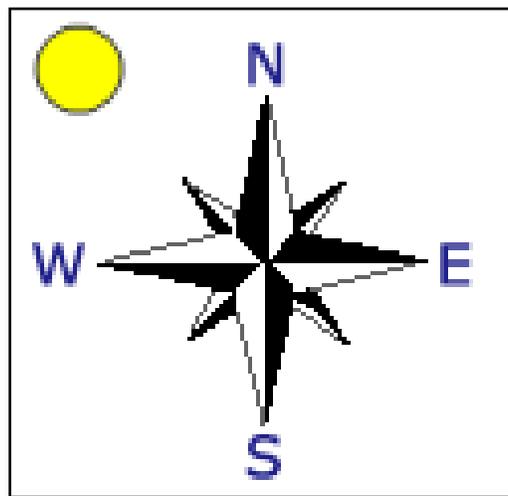


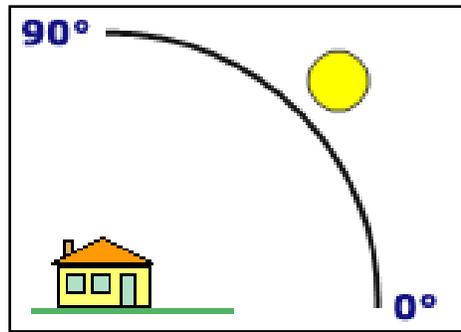
Ilustración 128. Acimut.

Fuente: ESRI. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- **Altitud**

La altitud es la pendiente o el ángulo de la fuente de iluminación por encima del horizonte. Las unidades se expresan en grados, de 0 (en el horizonte) a 90 (arriba). El valor predeterminado es 45 grados.



**Ilustración 129. Altitud y relación de ángulo.**

Fuente: ESRI. (2021).

- **Cálculo de sombras**

Para calcular el valor del tono, primero se necesita la altitud y el acimut de la fuente de iluminación. Estos valores se procesan con los cálculos de pendiente y orientación para determinar el valor final de sombreado de cada celda del ráster de salida.

El algoritmo para calcular el valor de sombreado es el siguiente:

(1) *Sombreado*

$$= 255,0 * ((\cos(\text{Zenith\_rad}) * \cos(\text{Slope\_rad})) + (\sin(\text{Zenith\_rad}) * \sin(\text{Slope\_rad}) * \cos(\text{Azimuth\_rad} - \text{Aspect\_rad})))$$

Tenga en cuenta que si el cálculo del valor de sombreado es  $< 0$ , el valor de la celda de salida será = 0.

La altitud de la fuente de iluminación se especifica en grados por encima de la horizontal. Sin embargo, la fórmula para calcular el valor de sombreado requiere que el ángulo esté representado en radianes y que sea la desviación de la vertical. La dirección recta hacia arriba desde la superficie (directamente arriba) se denomina Cénit. El ángulo cénit se mide desde el punto del cénit hacia

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

la dirección de la fuente de iluminación y es el complemento de 90 grados de la altitud. Para calcular el ángulo de iluminación, primero debe convertir el ángulo de altitud en ángulo cénit. Después convierta el ángulo a radianes.

Cambiar la altitud a ángulo cénit:

$$(2) \textit{Zenith\_deg} = 90,0 - \textit{Altitud}$$

Convertir en radianes:

$$(3) \textit{Zenith\_rad} = \textit{Zenith\_deg} * \pi / 180,0$$

La dirección de la fuente de iluminación, el acimut, se especifica en grados. La fórmula de sombreado requiere que este ángulo se exprese en unidades de radianes. Primero, se cambia el ángulo acimutal de su unidad geográfica (dirección de brújula) a una unidad matemática (ángulo recto). A continuación, el ángulo acimutal se convierte en radianes.

Cambiar la medida del ángulo acimutal:

$$(4) \textit{Azimuth\_math} = 360,0 - \textit{Azimuth} + 90,0$$

Tenga en cuenta que si  $\textit{Azimuth\_math} \geq 360,0$ , entonces:

$$(5) \textit{Azimuth\_math} = \textit{Azimuth\_math} - 360,0$$

Convertir en radianes:

$$(6) \textit{Azimuth\_rad} = \textit{Azimuth\_math} * \pi / 180,0$$

Una ventana de 3 x 3 móvil visita cada celda del ráster de entrada y, para cada celda en el centro de la ventana, se calcula un valor de orientación y de pendiente mediante un algoritmo que incorpora los valores de las ocho vecinas de la celda. Las celdas se identifican como letras, de la a a la i, con la letra e representando la celda para la cual se calcula la orientación.

La tasa de cambio en la dirección x de la celda y se calcula con el siguiente algoritmo:

$$(7) [dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * \textit{cellsize})$$

La tasa de cambio en la dirección y de la celda "e" se calcula con el siguiente algoritmo:

$$(8) [dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * \textit{cellsize})$$

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

La pendiente es el descenso cuesta abajo más empinado desde cada celda en la superficie. El algoritmo para calcular la pendiente en radianes, incorporando el factor z es:

$$(9) \text{ Slope\_rad} = \text{ATAN} \left( z_{factor} * \sqrt{\left(\left[\frac{dz}{dx}\right]^2 + \left[\frac{dz}{dy}\right]^2\right)} \right)$$

La orientación es la dirección hacia donde apunta la pendiente descendente más empinada. La orientación en radianes se define en el rango de 0 a 2pi, con el 0 hacia el este. La orientación se determina según las reglas del siguiente algoritmo:

(10) *If [dz/dx] es distinto de cero: Aspect\_rad*  
*= atan2 ([dz/dy], -[dz/dx]) if Aspect\_rad < 0 then Aspect\_rad*  
*= 2 \* pi + Aspect\_rad If [dz/dx] es cero: if [dz/dy]*  
*> 0 then Aspect\_rad = pi / 2 else if [dz/dy] < 0 then Aspect\_rad*  
*= 2 \* pi - pi / 2 else Aspect\_rad = Aspect\_rad*

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

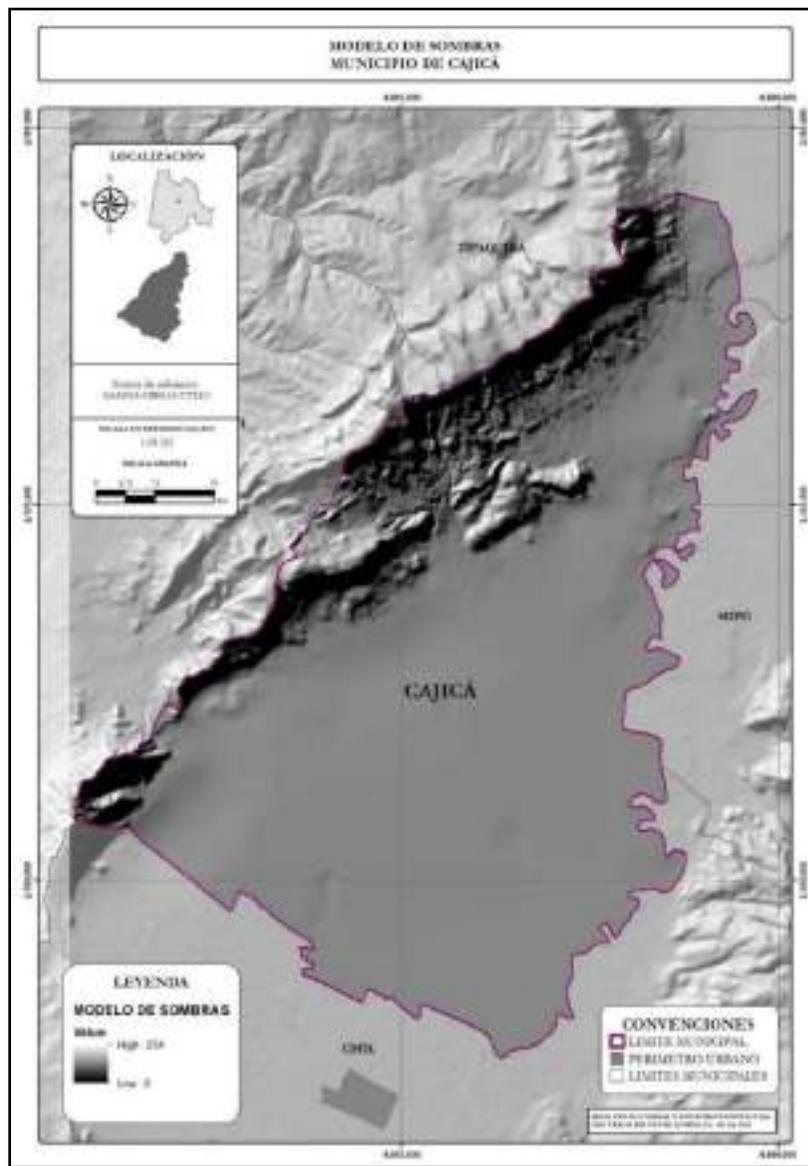


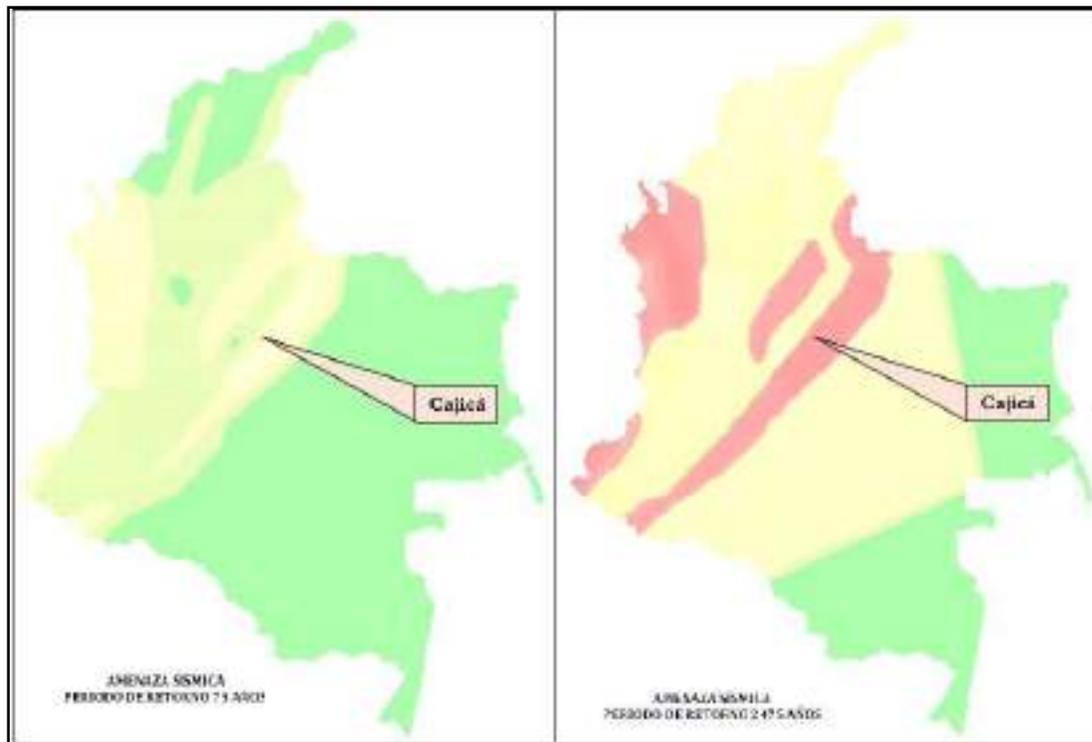
Ilustración 130. Modelo de sombras, municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

### 1.5.11. Sismicidad

La sismicidad en Colombia puede asumirse como el resultado del movimiento resultante en la corteza terrestre al liberarse la energía acumulada en las áreas de choque y tensión entre las diferentes placas tectónicas que la conforman. El territorio colombiano está influenciado por la presencia de las placas del Caribe, de Nazca y suramericana.



**Ilustración 131. Mapa de sismicidad para períodos de retorno de 75 años (izq.) y 2475 años.**

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2016).

El mapa nacional de amenaza sísmica **Ilustración 131 e Ilustración 132**, representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia. El movimiento del terreno se calcula en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA<sup>4</sup>) y se estima para probabilidades del 2%, 10% o 50% de ser sobrepasado

<sup>4</sup> PGA: relacionada con la fuerza con que se mueve un terreno en un área determinada, entre mayor sea este valor mayor será el daño potencial que pueda generar un sismo, esta aceleración hace referencia al incremento de la velocidad por unidad de tiempo, se mide en  $(cm/s^2)$ .

en un tiempo de 50 años. Estas probabilidades se asocian con la frecuencia de ocurrencia (o período de retorno) de los sismos potencialmente destructores: de ocurrencia excepcional (período de retorno de 2475 años), frecuentes (período de retorno de 475 años) o muy frecuentes (período de retorno de 75 años).

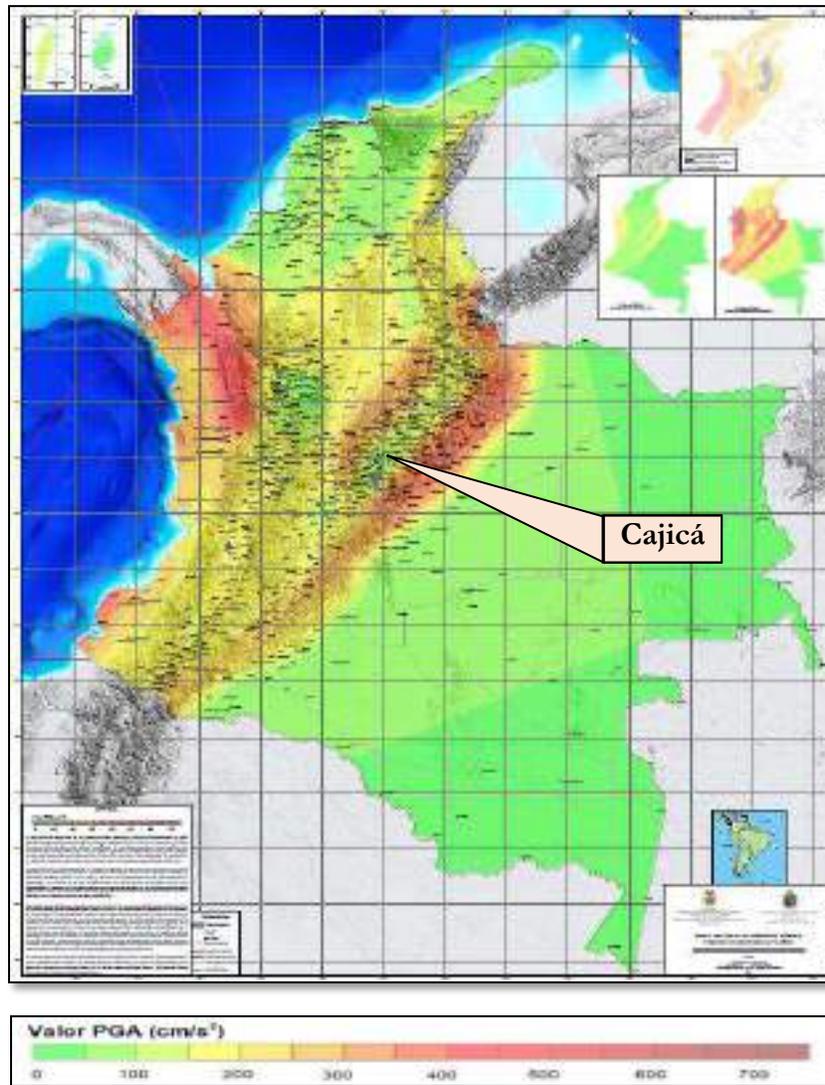
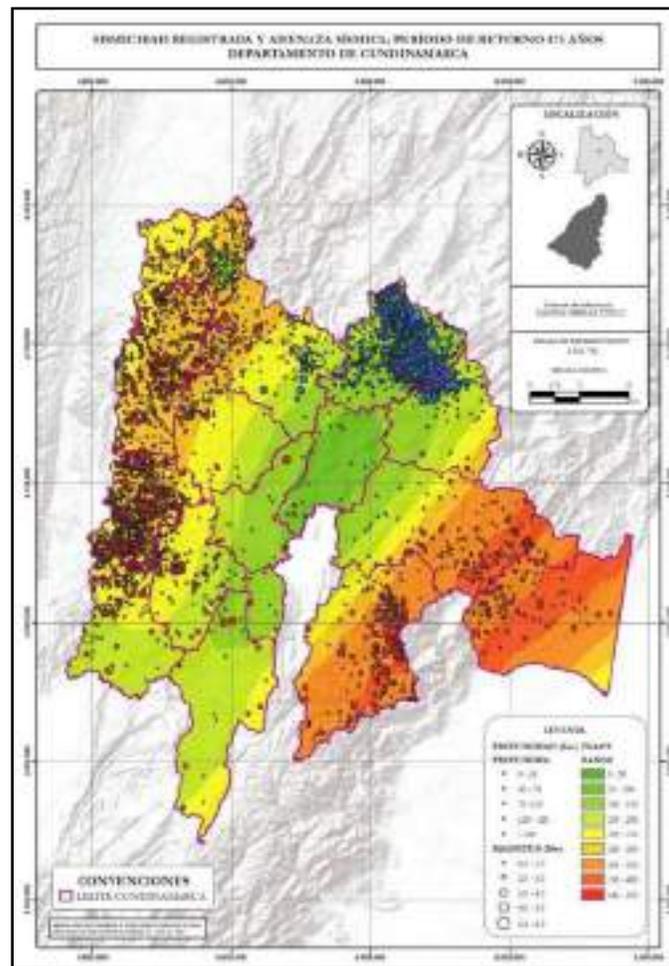


Ilustración 132. Zonificación sísmica para un período de retorno de 475 años.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2016).



La información de sismicidad fue consultada y tomada del *catálogo sísmico* publicado por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) - Servicio Geológico Colombiano, para el departamento de Cundinamarca, se registran un total de 8439 desde junio 01 de 1993 (inicio de registro sísmico por la RSNC) a la fecha y un rango de magnitudes de los eventos que varía entre 0.5 y 5.7 MI, con profundidades hasta los 99.5 km, los epicentros se encuentran distribuidos en la totalidad del departamento, sin embargo se observa una mayor concentración en el borde occidental y en la parte norte del mismo.



**Ilustración 133. Sismicidad registrada y amenaza sísmica con período de retorno 475 años en el departamento de Cundinamarca.**

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

Para el municipio de Cajicá no se han registrado eventos, no obstante, se decide analizar el comportamiento de los eventos más cercanos, en este caso, se presentan 3, localizados en el municipio de Tabio, Chía y Tocancipá, presentando magnitudes desde 1,3 a 2,0 MI y profundidades hasta 73,9 km, localizados en los límites norte, sur y oeste **Ilustración 134**. A partir de la información recopilada y la presentada en los mapas sísmicos para los tres diferentes períodos de retorno, se observa que, para el municipio de Cajicá, se proyecta que la ocurrencia de fenómenos sísmicos, observándose que el índice PGA estimado para los próximos 475 años en la zona, será entre 0 y 50 PGA (amenaza muy baja) (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

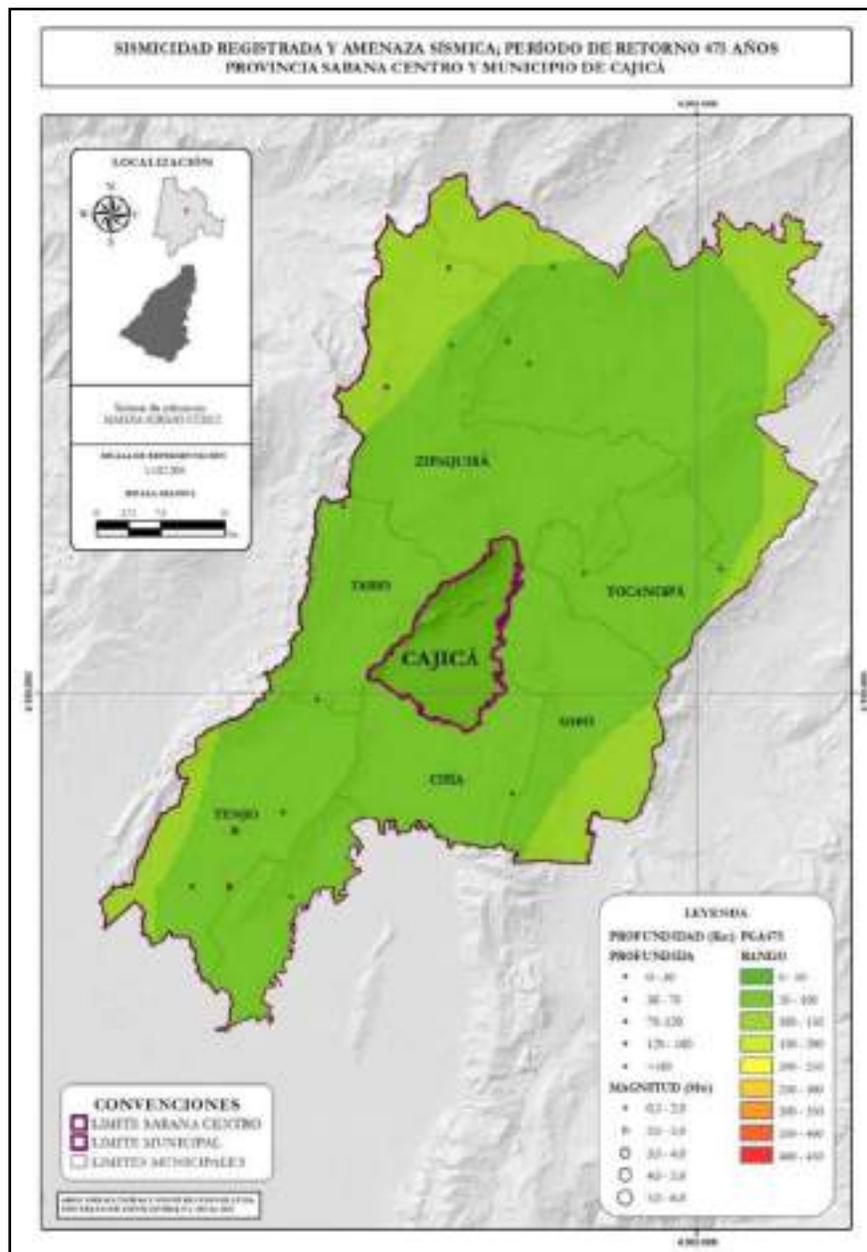


Ilustración 134. Sismicidad registrada y amenaza sísmica con período de retorno 475 años en el municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.12. Caracterización Hidrológica

El agua es el elemento más abundante de la tierra y es una fuerza exógena que modifica constantemente la corteza terrestre. Además, es el principal constituyente de todos los seres vivos al ser un factor en la climatización de nuestro planeta facilitando la existencia humana y la influencia en el progreso de la civilización.

La ciencia que trata las aguas sobre la tierra es la hidrología, mediante el estudio de su ocurrencia, circulación, distribución, propiedades físicas y químicas, y su reacción y relación con el medio ambiente. Los estudios hidrológicos sirven como una guía para la planeación y manejo de los recursos hidráulicos para la elaboración obras de diseño, operación de estructuras hidráulicas, abastecimiento de agua, tratamiento y disposición de aguas residuales, irrigación, drenajes, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, navegación, erosión y control de sedimentos, entre otras.

La característica principal de las cuencas urbanas se encuentra representada por el incremento de la impermeabilización y la reducción de infiltración debido al revestimiento del suelo como consecuencia de la construcción de predios, pavimentación de cascos urbanos y vías principales; generando una pérdida de la cobertura vegetal, lo que facilita la ocurrencia de los procesos de denudación tales como lo es la erosión generada por escorrentías instantáneas. Lo anterior aumenta la susceptibilidad a eventos naturales y de manera implícita el riesgo sobre estas poblaciones.

Este capítulo pretende estudiar la dinámica hidrológica de las unidades hidrográficas que afectan de manera directa el área de interés a través de la caracterización geomorfológica, morfométrica, topográfica y la estimación de caudales.

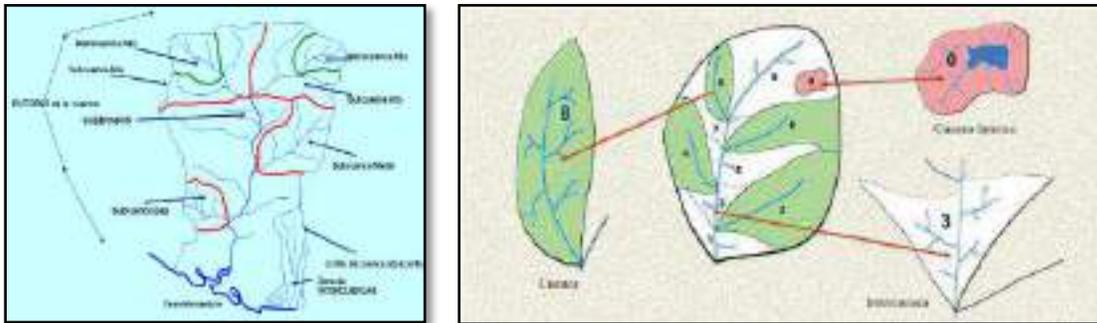
#### 1.5.12.1. Parámetros Generales de las Unidades Hidrográficas

Para realizar el estudio hidrológico es necesario, en primera instancia, definir las cuencas hidrográficas contenidas dentro del territorio comprendido por el municipio de Cajicá. Estas se definen como el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación tienden a ser drenadas en forma de escorrentía superficial, por uno o varios cursos de agua interconectados entre sí hacia un único punto de salida. La cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas o parte aguas. Dentro de la clasificación y delimitación de cuencas hidrográficas (**Ilustración 135**) se determinan las siguientes unidades:

**Subcuenca:** Es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca, varias subcuencas pueden conformar una cuenca.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

**Microcuenca:** Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca. Varias microcuencas pueden conformar una subcuenca.



**Ilustración 135. División de la Cuenca hidrográfica.**

**Fuente:** INRENA (2005).

La identificación y delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio consistió en definir la línea de divortium aquarum, que es una línea curva cerrada que parte y llega al punto de captación o salida mediante la unión de todos los puntos altos interceptados en forma perpendicular a todas las curvas de nivel presentados en la cartografía base, obteniendo así 36 unidades hidrográficas (**Ilustración 136**). Es importante mencionar que por cada cuenca hidrográfica se demarca el cauce principal la cual es determinada a partir de la red de drenaje, teniendo presente que corresponde al drenaje que pasa por el punto de salida de la microcuenca y el cual recoge todo tipo de agua aportados por otros cauces de menor envergadura y que dentro de la unidad hidrográfica corresponde a los drenajes tributarios.

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de precipitaciones extremas, existiendo 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 otras cuencas, ya que al presentar similitudes físicas pueden estar relacionándose eventos hidrológicos similares, aunque en una de ellas eventualmente no haya ocurrido, permitiendo tener medidas de predicciones de comportamientos hidrológicos entre cuencas similares.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Los parámetros morfométricos, geomorfológicos, hidrológicos y relativos al relieve de una unidad hidrográfica condicionan la velocidad del escurrimiento superficial y el transporte de sedimentos en la misma; 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, comparar la forma de las cuencas con figuras geométricas conocidas. Segundo, correlacionar los resultados de las mediciones, los cuales son adimensionales, con los obtenidos en otras cuencas en las que se tengan registros históricos de amenazas u otros fenómenos de interés.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

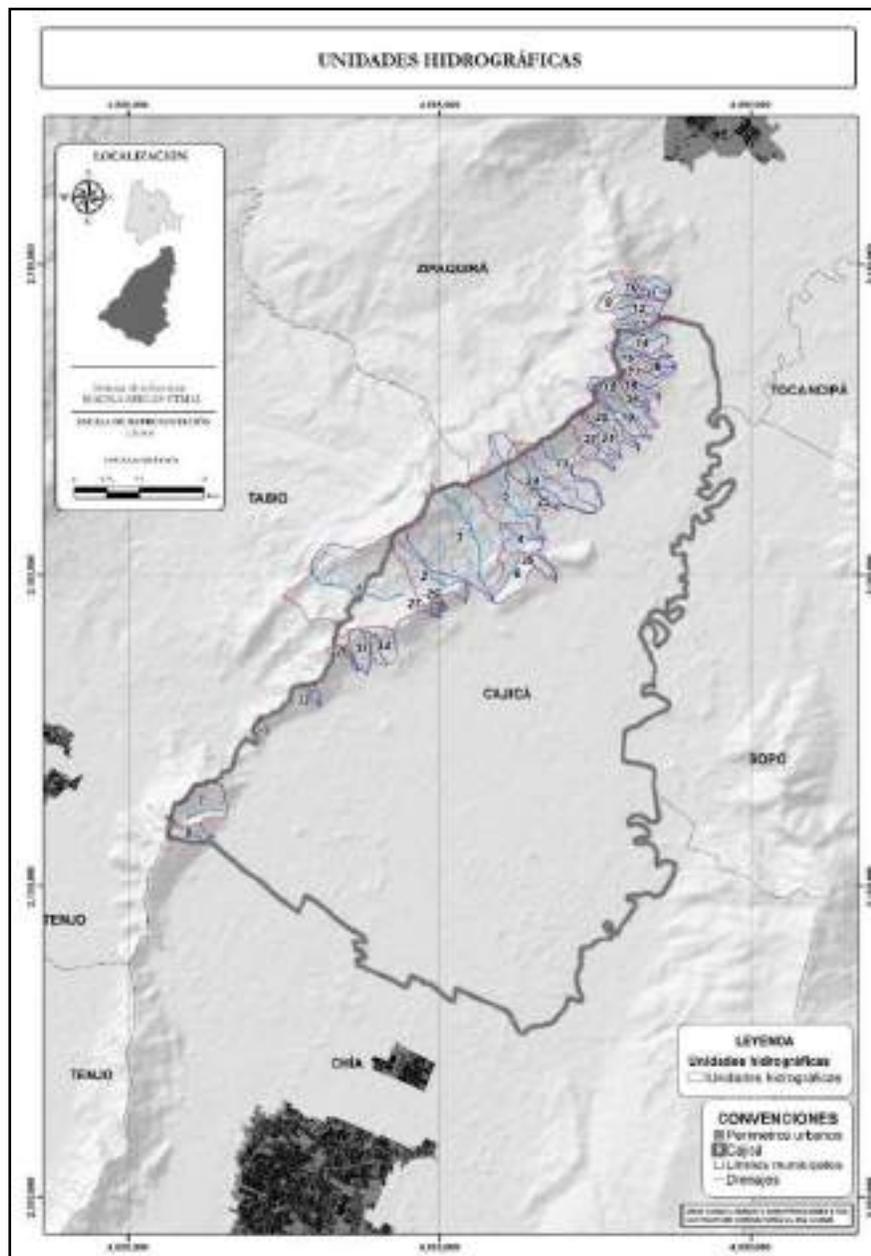


Ilustración 136. Unidades hidrográficas del área de estudio.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

### 1.5.12.1.1. Parámetros Geomorfológicos

Corresponde a la información mínima que debemos conocer para dar como primer avistamiento de la naturaleza y comportamiento de una cuenca y corresponde a parámetros de entrada para el cálculo de coeficientes más complejos.

#### 1.5.12.1.1.1. Área de la unidad hidrográfica

Definida la divisoria de la cuenca hidrográfica, su área de drenaje (A) corresponde al área plana, o en proyección horizontal, delimitada por dicha divisoria. Este parámetro hidrológico es uno de los más importantes, pues existe una relación directa entre la magnitud del área y los volúmenes de escorrentía superficial dentro de la misma. Esta medida es especialmente útil para la estimación de caudales, ya que mantiene una relación directamente proporcional a este parámetro, el cual también es requisito para establecer los modelos hidrológicos de la superficie de la cuenca, la pendiente media y densidad de drenaje. La Tabla 27, muestra las clasificaciones de cuencas según su área.

**Tabla 27. Rangos aproximados de Áreas.**

| RANGOS DE ÁREAS (Km <sup>2</sup> ) | TAMAÑO               |
|------------------------------------|----------------------|
| <25                                | Muy pequeña          |
| 25 – 250                           | Pequeña              |
| 250 – 500                          | Intermedia - Pequeña |
| 500 – 2.500                        | Intermedia - Grande  |
| 2.500 – 5.000                      | Grande               |
| >5.000                             | Muy grande           |

**Fuente:** CORTOLIMA (2009).

Teniendo esto en cuenta, la Ilustración 137 muestra el tamaño de las cuencas pertenecientes al municipio de Cajicá. La totalidad de las cuencas delimitadas para el municipio de Cajicá cuenta con menos de 25km<sup>2</sup> de área, implicando que estas cuencas son “Muy pequeñas” y sugiriendo un desarrollo de múltiples drenajes jóvenes en forma de dendritas en la ladera occidental del territorio.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>Arco<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

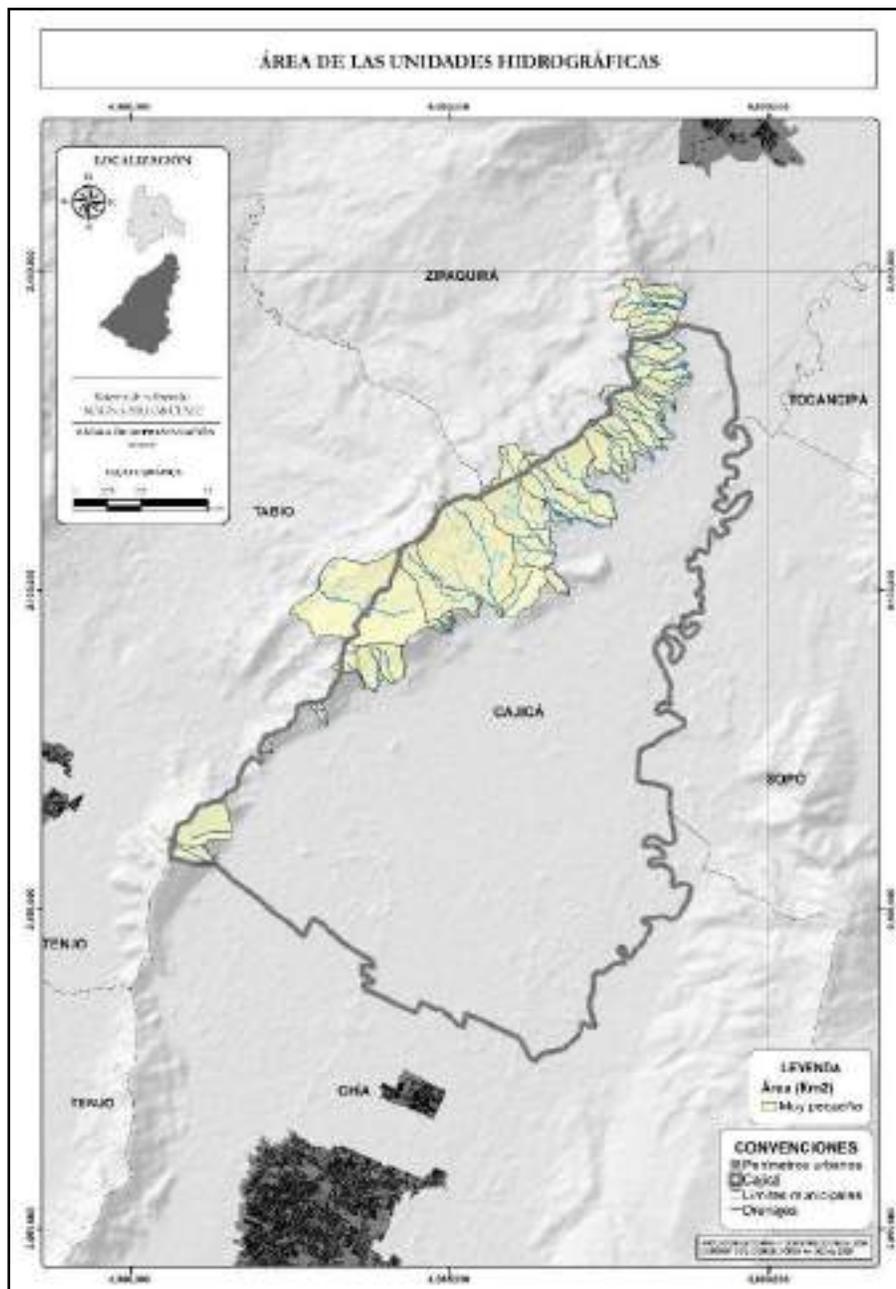


Ilustración 137. Tamaño de las unidades hidrográficas.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

#### 1.5.12.1.1.2. Perímetro de la cuenca

El Perímetro (P) corresponde con la longitud del polígono que define los límites de la cuenca, dependiendo así de la forma de la misma. Es importante aclarar que esta medida no brinda más información hidrológica relevante, pero es la base de varios parámetros morfométricos e índices hidrológicos que definen el comportamiento de cada unidad hidrográfica. La Ilustración 138, muestra los rangos de perímetros para las cuencas del municipio de Cajicá. Respecto a las microcuencas del municipio de Cajicá, estas cuentan con perímetros que van desde los 600 metros hasta los 6.3 kilómetros.

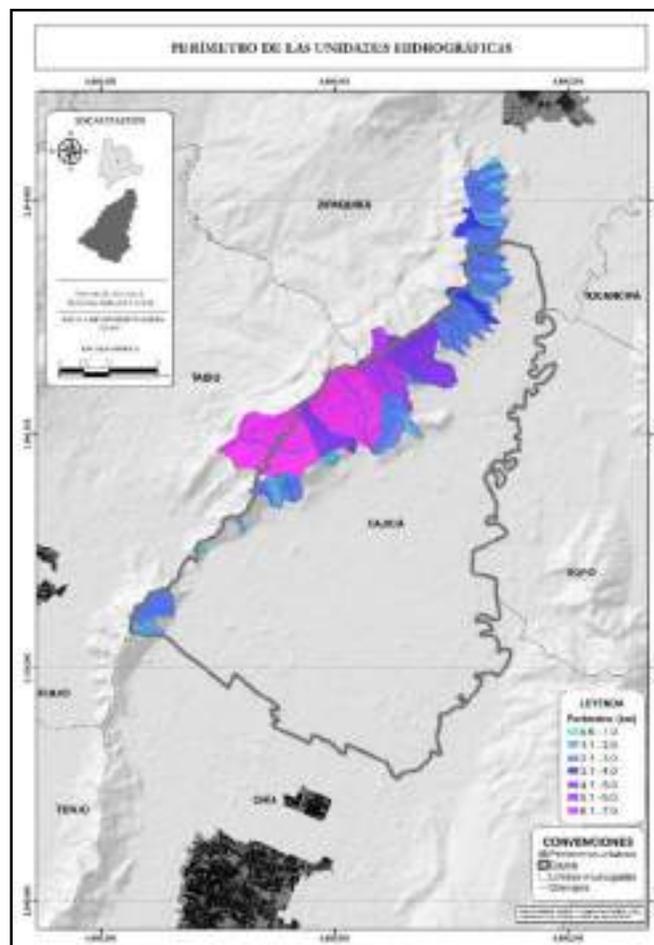


Ilustración 138. Perímetro de las cuencas.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.12.1.1.3. Longitud del cauce principal

La longitud de la cuenca (L) queda definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el drenaje entre el punto de desagüe de la cuenca (aguas abajo) y el límite definido para la cuenca. Este parámetro influye en la concentración de aguas lluvias, es decir que es determinante para el cálculo de los índices morfométricos de la unidad hidrográfica. Su clasificación se muestra en la Tabla 28.

**Tabla 28. Categorización longitud del cauce principal.**

| RANGOS DE LONGITUD (Km) | CATEGORÍA |
|-------------------------|-----------|
| 1.69 – 4.17             | Corto     |
| 4.18 – 6.65             | Mediano   |
| 6.66 – 9.13             | Largo     |

**Fuente:** CORTOLIMA (2009).

A partir de la categorización propuesta, se clasificaron las cuencas del municipio de Cajicá en cuanto a la longitud de su cauce principal en kilómetros, como se aprecia en la Ilustración 139.

La totalidad de las cuencas delimitadas para el municipio de Cajicá cuentan con longitudes cortas de sus cauces, debido al cambio de pendiente (y por tanto de unidad hidrográfica) en el valle de los ríos Bogotá y Frío respecto a la ladera occidental del municipio en cuestión de 2kms donde la montaña se hace más pronunciada, limitando el desarrollo de cuencas más considerables.

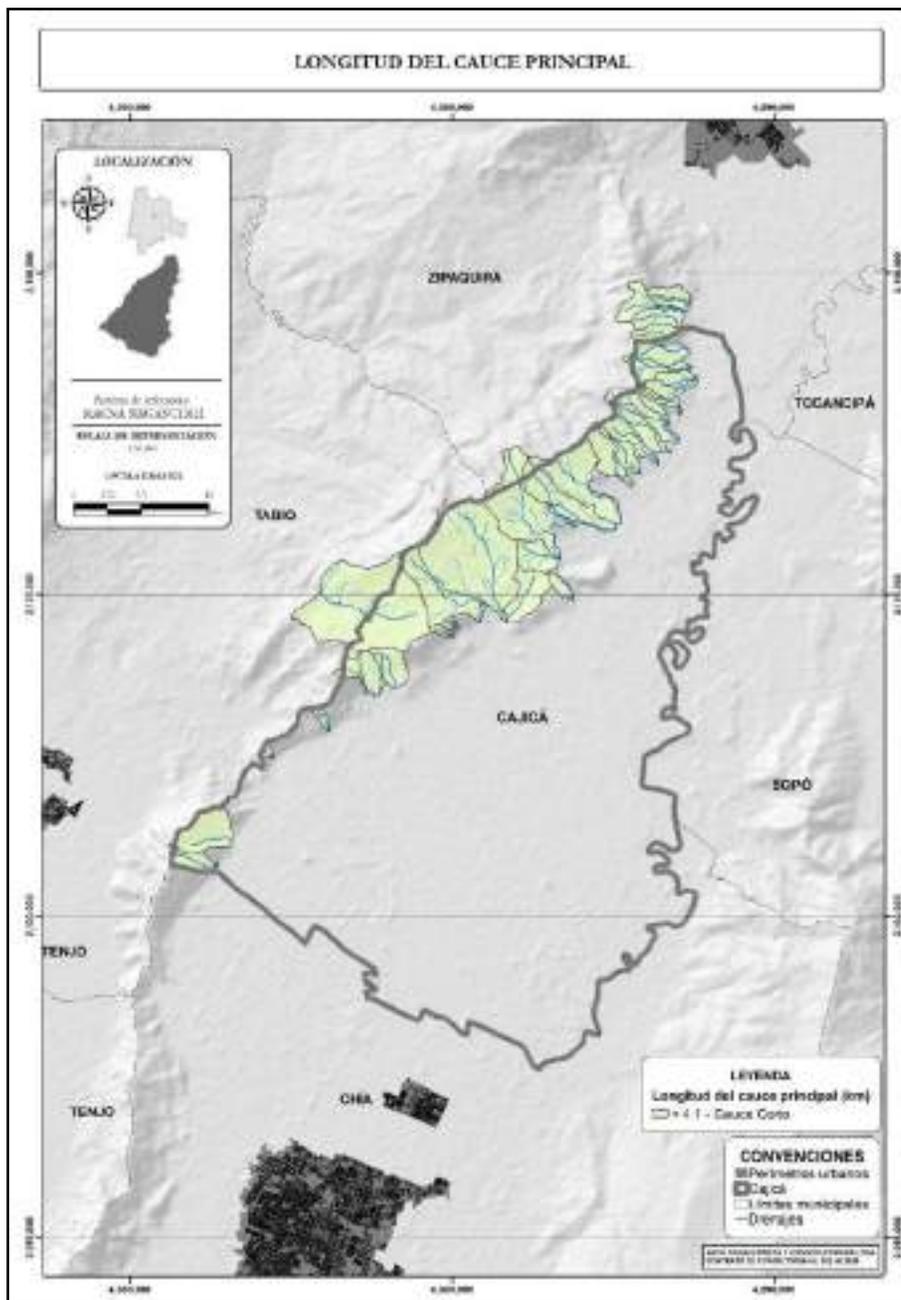


Ilustración 139. Longitud del cauce principal (kilómetros).

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

#### 1.5.12.1.1.4. Ancho de la cuenca

El ancho de la unidad hidrográfica se encuentra definido por el cociente entre el área y la longitud de la cuenca. Este factor, también llamado “amplitud de la cuenca”, permite conocer la escorrentía superficial y en qué grado o proporción se pueden concentrar las lluvias en determinados puntos de la unidad hidrográfica. A mayor ancho de la unidad, mayor elongación de la misma, repercutiendo en un mayor tiempo de residencia de las aguas en dicha cuenca. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde:

**A:** superficie de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

**L:** longitud axial de la cuenca (Km).

En general, cuando se relaciona el ancho o la amplitud de las cuencas con el tiempo que demora recorriendo las corrientes superficiales por el cauce principal, se obtienen las siguientes relaciones:

**w = 1:** tiempo de concentración de escorrentía muy rápido

**w < 1:** tiempo de concentración de escorrentía crítico.

**w > 1:** tiempo de concentración de escorrentía normal a lento.

Para las cuencas emplazadas en el municipio de Cajicá, la Ilustración 140 muestra los resultados para el ancho de las mismas.

Conforme los resultados observados, la gran mayoría de cuencas del territorio cuentan con anchos inferiores a 1km, sugiriendo tiempos de concentración lentos. No obstante, Existe una microcuenca, a la altura de la vereda Chuntame, que cuenta con un ancho cercano a 1km, implicando un probable rápido movimiento de las corrientes superficiales en esta cuenca, pudiendo generar procesos degradativos.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>Arco<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

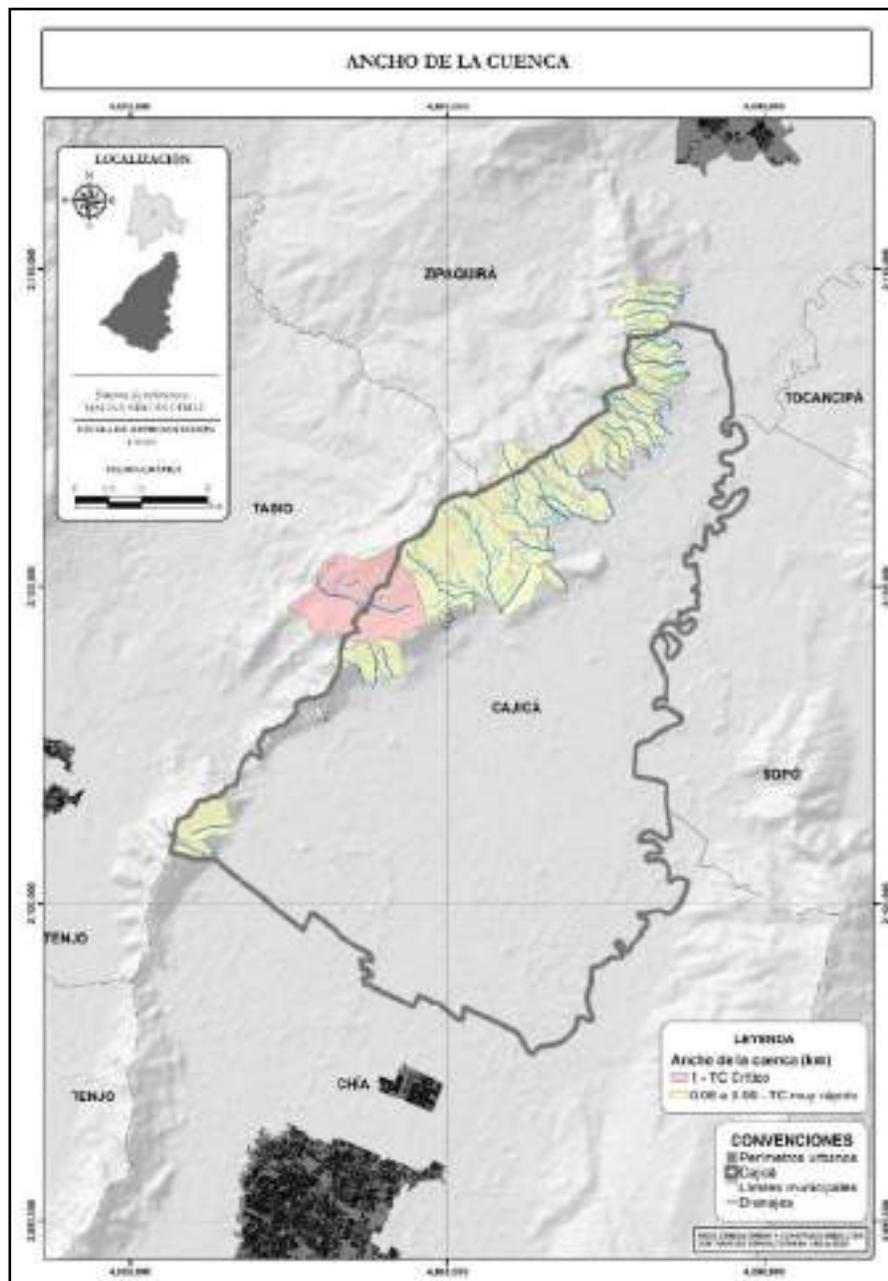


Ilustración 140. Ancho de las cuencas.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).



#### 1.5.12.1.1.5. Desnivel altitudinal

Es la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja. Este parámetro es de gran importancia en el comportamiento hidrológico dado que define la topografía de la cuenca y su potencial hidráulico, ya que los altos gradientes topográficos condicionan los procesos de erosión hídrica, los cuales son favorecidos por la velocidad que pueda adquirir el flujo y la carga de sedimentos, lo que condiciona el comportamiento torrencial y la generación de crecidas en las unidades hidrográficas. Este índice se calcula mediante la siguiente expresión:

$$DA = (H_{max} - H_{min})$$

Donde

$H_{max}$ : altura máxima de la cuenca (metros).

$H_{min}$ : altura mínima de la cuenca (metros).

A partir de los resultados que se puedan obtener de este parámetro, se encuentra categorizado el grado de desnivel altitudinal para una cuenca (Tabla 29)

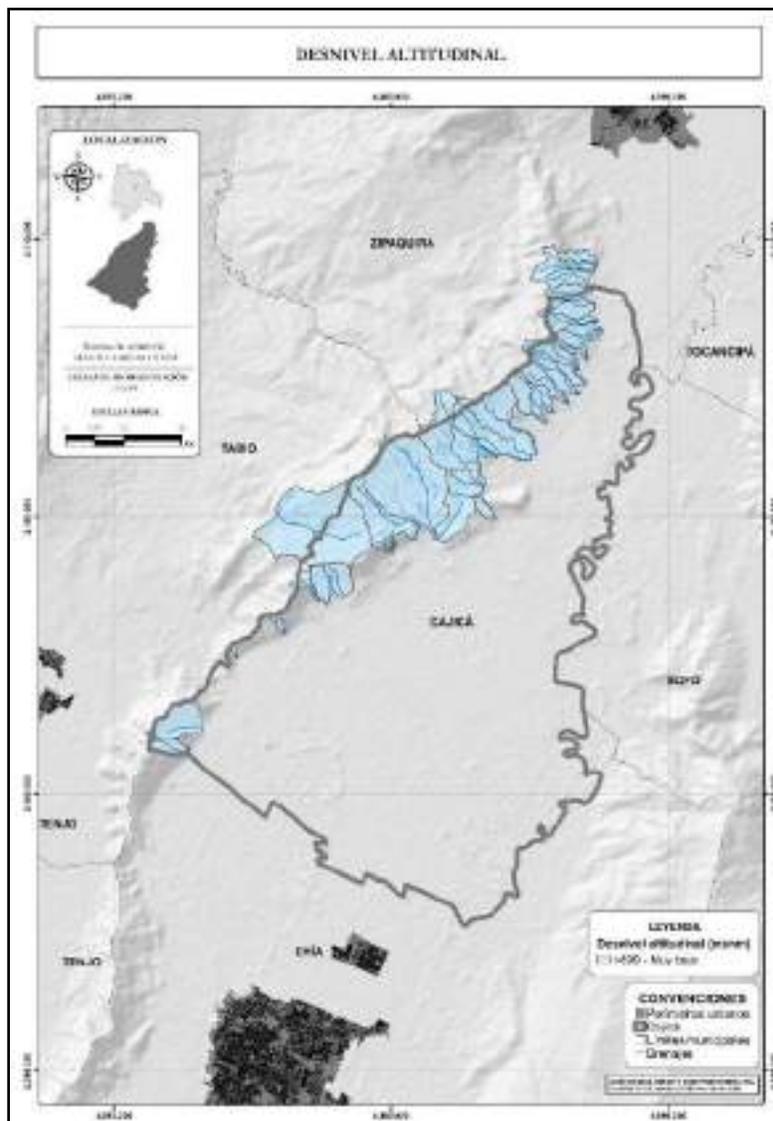
**Tabla 29. Categorización desnivel altitudinal.**

| RANGOS DE ALTITUDES (m.s.n.m) | CATEGORÍA |
|-------------------------------|-----------|
| 0 – 599                       | Muy bajo  |
| 600 – 1220                    | Bajo      |
| 1221 – 1841                   | Medio     |
| 1842 – 2462                   | Alto      |

Fuente: CORTOLIMA (2009).

Partiendo de esta clasificación, la Ilustración 141, exhibe los resultados para el municipio de Cajicá. La totalidad de las cuencas emplazadas dentro del municipio de Cajicá cuentan con un desnivel altitudinal “muy bajo”, implicando una baja variabilidad del clima y los volúmenes de precipitación en su cabecera respecto a su desembocadura, sin contar con contrastes térmicos considerables.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |



**Ilustración 141. Desnivel altitudinal.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

**1.5.12.1.2. Parámetros Morfométricos**

Dado que la topografía actual del territorio comprendido por el municipio de Cajicá es el resultado de múltiples procesos meteorológicos, erosivos y de control tectónico, es imprescindible determinar, haciendo uso de los índices morfométricos, las condiciones

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

hidrológicas, de estabilidad y de susceptibilidad a procesos degradativos ante la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

Los parámetros morfométricos facilitan la evaluación de los sectores potencialmente problemáticos mediante diferentes cálculos que permiten establecer la forma de las cuencas emplazadas en la región, y sus repercusiones en el municipio.

#### 1.5.12.1.2.1. Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelius ( $K_c$ )

Se define como la relación entre el perímetro (P) y el de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la cuenca hidrográfica, es decir, estima la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca. No obstante, este parámetro determina la forma de la unidad hidrográfica, formas que brindan información sobre la magnitud de escorrentía y la marcha del hidrograma generados por una precipitación dada (López & Mintegui, 1987).

De otra manera, este índice se basa en la comparación con una cuenca ideal de forma circular con sus cauces dispuestos radialmente y que desembocan en el punto central. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde:

**P:** perímetro (Km)

**A:** área de la cuenca ( $Km^2$ )

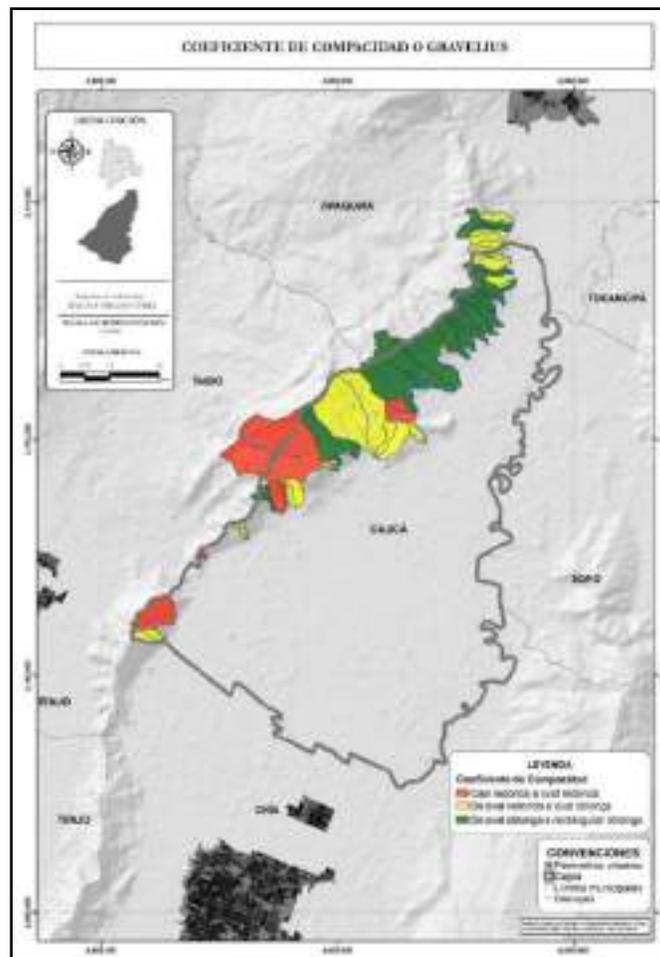
Cuando el Coeficiente de Compacidad es cercano a 1.0, se asume que la forma de la cuenca es próxima a una circunferencia. De esta manera, si se asocia este índice con el tiempo de concentración de la cuenca, se tendrá que a mayor  $K_c$  habrá mayor capacidad de concentración, entendiéndose que la magnitud de la escorrentía generada por una precipitación será menor en aquella cuenca que posee el menor coeficiente de compacidad. Es decir, cuando el valor sea cercano a 1 se incrementa la probabilidad de ocurrencia de eventos torrenciales, dado que sus tiempos de concentración en sus drenajes secundarios serán iguales y las aguas tenderán a confluir en un mismo punto del cauce principal. Este valor es adimensional y se categoriza para dar una forma a la cuenca (Tabla 30). Conforme los rangos establecidos para la forma de las cuencas según el Índice de Gravelius, la Ilustración 142, muestra los resultados para las cuencas del municipio de Cajicá.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

**Tabla 30. Rangos aproximados del Coeficiente de Compacidad.**

| <b>VALORES DE Kc</b> | <b>FORMA</b>                          |
|----------------------|---------------------------------------|
| 1.00 – 1.25          | Casi Redonda a oval redonda           |
| 1.25 – 1.50          | De oval redonda a oval oblonga        |
| >1.50                | De oval oblonga a rectangular oblonga |

**Fuente:** Campos (1992).

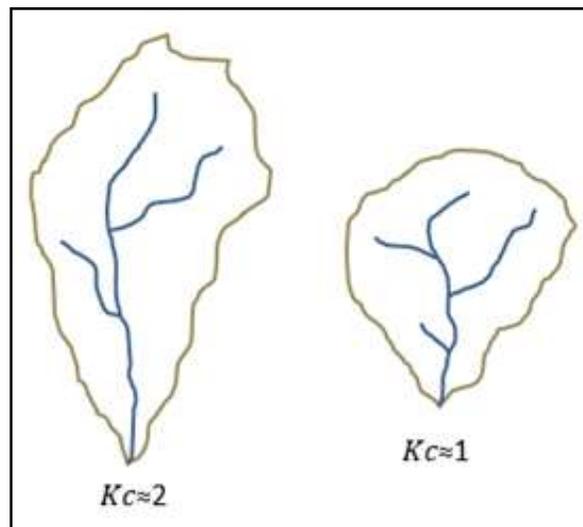


**Ilustración 142. Coeficiente de Compacidad o Gravelius.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

Conforme los resultados obtenidos para este índice, se observan 6 cuencas de forma “casi redonda a oval redonda”. Estas hojas hidrográficas, pueden presentar crecidas súbitas en sus cauces principales ante eventos de lluvias extremas y/o de larga duración sobre la cabecera de las mismas. Sus afluentes principales en general presentan patrones dendríticos con flujos de la escorrentía superficial en tiempos relativamente cercanos entre ellas dadas sus longitudes cercanas (Ver Ilustración 143), favoreciendo incrementos considerables del caudal aguas abajo e implicando una amenaza potencial de origen hidrometeorológico en estos sectores.



**Ilustración 143. Comparación de la forma de las cuencas con el Coeficiente de Compacidad.**

**Fuente:** Córdova (2016).

Las cuencas caracterizadas como “oval redonda a oval oblonga” tienen a presentar descargas en tiempos de concentración prudenciales que pueden considerarse estables, pero que llegan a generar inconvenientes ante la ocurrencia de precipitaciones sumamente extremas durante las épocas de lluvias en el municipio, dependiendo de los volúmenes de precipitación y el tipo de material suprayacente a los drenajes, repercutiendo en la posible desestabilización de taludes y socavaciones en el lecho de dichos ríos.

Sobre el extremo noroccidental del municipio se encuentra la mayoría de las cuencas “ovales oblongas a rectangulares oblongas”, estas zonas cuentan con una mejor capacidad de almacenamiento de aquellos eventos de lluvias de intensa magnitud.



#### 1.5.12.1.2.2. Factor forma

Este factor evidencia la elongación y forma de una cuenca, ésta última interviene en las características del hidrograma de descarga, principalmente en eventos de avenidas máximas. Se expresa como la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud axial de la misma. El parámetro está definido por la siguiente expresión:

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

Donde:

**A:** Área de la cuenca ( $Km^2$ )

**L:** Longitud del cauce (Km)

Cuando el Factor de Forma presenta valores menores a 1, indica una tendencia al alargamiento de las cuencas, estas zonas son menos susceptibles a eventos de inundación y torrencialidad, mientras que un valor de  $K_f$  superior a 1 proporciona el grado de achatamiento de la unidad hidrográfica o de un cauce, es decir que la cuenca va a presentar una tendencia a concentrar las aguas lluvia aumentando la probabilidad de ocurrencia de eventos torrenciales (Horton, 1932).

La Tabla 31 muestra la categorización de cuencas según rangos aproximados del Factor de Forma:

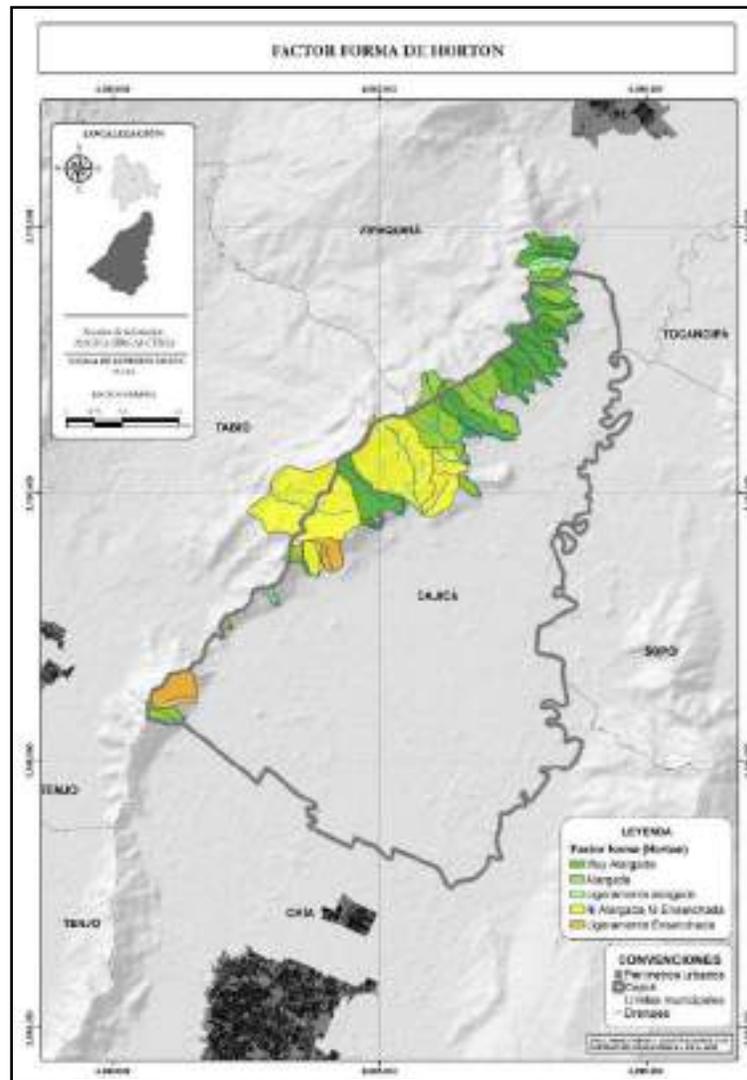
**Tabla 31. Rangos aproximados del Factor de Forma.**

| FACTOR DE FORMA | 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       |

Fuente: Pérez (1979).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

La Ilustración 144 muestra los resultados del Factor de Forma de Horton para las cuencas pertenecientes al municipio de Cajicá. Se resalta que bajo esta metodología no se presentan hoyas hidrográficas con valores iguales o superiores a 0.8, resultados que indicarían inconvenientes a nivel hídrico y erosivo dados amplios volúmenes de lluvias ocasionados por eventos meteorológicos intensos.

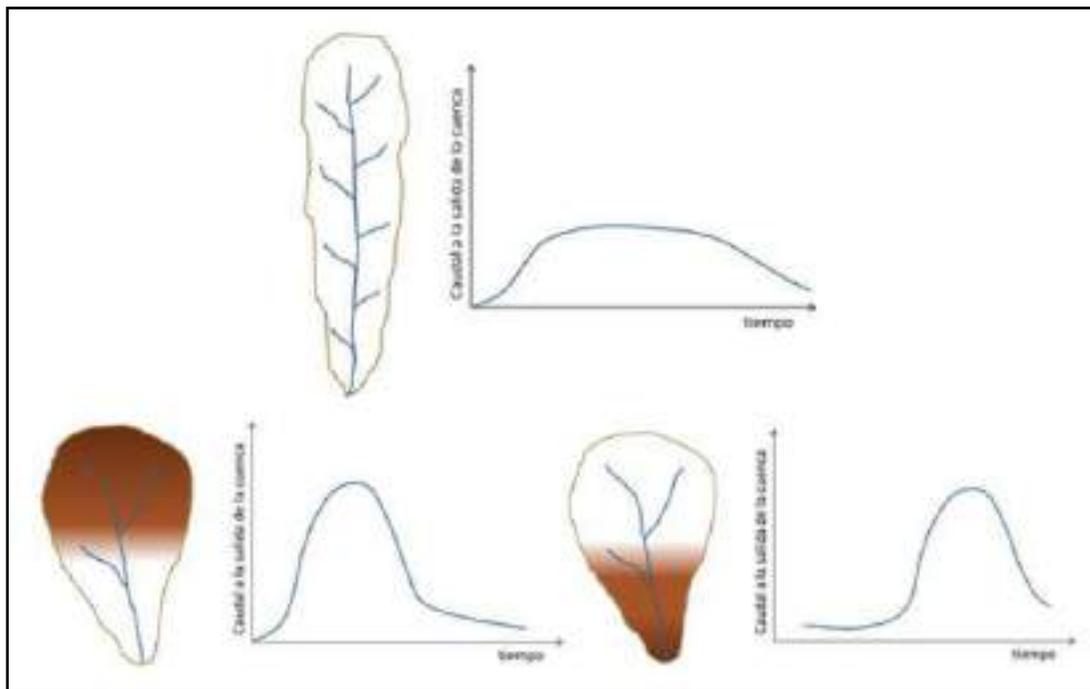


**Ilustración 144. Factor Forma de Horton.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

El cociente entre el área y el cuadrado de la longitud del cauce principal exhibe que las cuencas ubicadas al nororiente y norte del municipio son principalmente “muy alargadas” y “alargadas” para este índice, sugiriendo una buena distribución de la escorrentía superficial entre los afluentes principales y el drenaje principal de la cuenca (Ilustración 145), garantizando en principio el recurso hídrico durante todo el año, pero viéndose esta condición menguada por los bajos volúmenes de precipitación en el municipio y la alta tasa evaporativa en la región.



**Ilustración 145. Influencia de la configuración de la red hidrológica en las descargas.**

**Fuente:** Córdova (2016).

Caso contrario, sobre la zona occidental y suroccidental del municipio, se encuentran cuencas “ni alargadas ni ensanchadas” e incluso “ligeramente ensanchadas”. En estas áreas, aunque en principio no deberían presentarse inconvenientes de crecientes considerables de los drenajes (según este índice), es posible que los eventos extremos y la litología favorezcan la erosión de las laderas de estos ríos y detonen procesos degradativos.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.12.1.2.3. Coeficiente de torrencialidad

Define una relación entre el número de cauces de orden uno dentro de una cuenca y el área de la misma. Se basa en la premisa de que los drenajes de primer orden son consecuencia de procesos de meteorización dado el flujo subsuperficial de las precipitaciones, generando la paulatina incisión del terreno y formando estos drenajes jóvenes en la alta montaña. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_t = \frac{\# \text{Cauces orden 1}}{A}$$

Donde:

**A:** Área de la cuenca ( $Km^2$ )

Es un indicador del grado de la erodabilidad la zona al tener una relación directa con la capacidad de descarga de una unidad hidrográfica, debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva (erosión en surcos y cárcavas). Altos valores, superiores a 16.32 (Méndez et all, 2015), indican bajos tiempo de concentración, fuertes pendientes y una alta susceptibilidad a los procesos degradativos. Por lo anterior, estos cursos presentan una gran importancia en el análisis de las amenazas de procesos torrenciales en la región.

La Ilustración 146 muestra los resultados de este índice morfométrico para el municipio de Cajicá, diferenciando las cuencas entre las que presentan registros inferiores a 16.32 para este parámetro, y por tanto cuentan con menos características (no descartadas) torrenciales, respecto a aquellas que cuentan con mayores registros para este índice.

Algunas cuencas dispersas ubicadas en la región norte y a lo largo del margen occidental del municipio de Cajicá, cuentan con valores críticos para el índice de torrencialidad según la metodología propuesta. En la región norte las cuencas tienen numerosos drenajes de primer orden y no cuentan con un área considerable, sugiriendo una actividad erosiva muy activa en estas hoyas hidrográficas y siendo de especial atención ante la ocurrencia de eventos extremos. Las microcuencas diseminadas en la ladera dentro de la jurisdicción municipal son de una muy pequeña extensión, factor que, acompañado de algunos drenajes de primer orden en las mismas, genera el incremento de los valores para este parámetro morfométrico y sugiere una probable erosión intensa en estas pequeñas regiones.

Las tonalidades azules de la Ilustración 146 indican valores por debajo del umbral crítico de torrencialidad, pero no implican que no haya meteorización intensa ni probabilidades de ocurrencia de procesos torrenciales en estas regiones.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>Arco<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

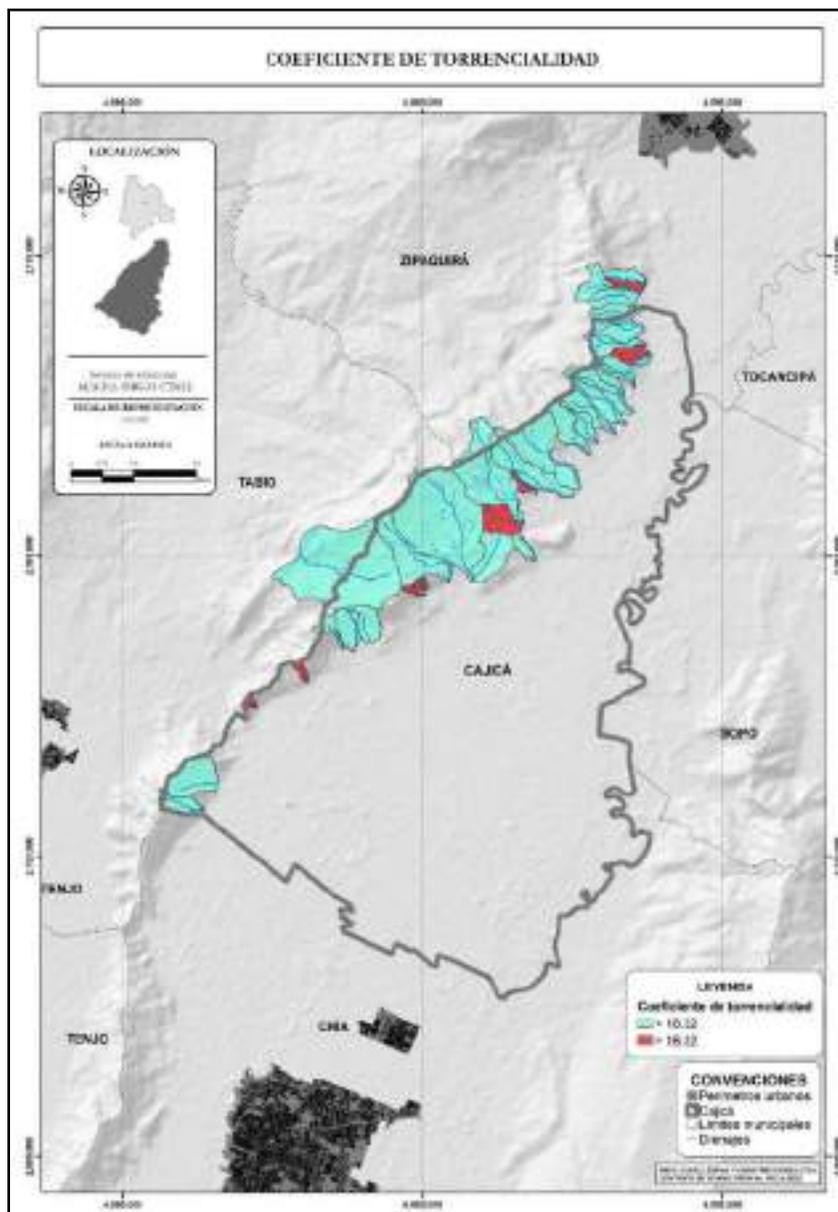


Ilustración 146. Coeficiente de torrencialidad.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.12.1.3. Parámetros Relativos al Relieve

Además del estudio de la forma o morfología de las cuencas, la cuantificación de sus propiedades relacionadas al relieve funciona como una herramienta fundamental para el entendimiento de la respuesta hidrológica de las mismas. Cuando se involucra el relieve al análisis de las unidades hidrográficas de una región, se involucra la tercera dimensión haciendo uso de modelos digitales de elevación o de curvas de nivel para agregar detalle y complementar la identificación y descripción de regiones potencialmente problemáticas.

#### 1.5.12.1.3.1. Altitud media de la cuenca

Es definida como la elevación promedio de la cuenca en cuanto al nivel de la estación de aforo de la boca de la cuenca. La variación altitudinal de la unidad hidrográfica tiene una relación directa con la climatología de la región, incidiendo en la magnitud de la escorrentía, los rangos de temperatura y por tanto de evapotranspiración potencial, la humedad relativa, entre otras variables. Este parámetro se obtiene mediante la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas. La ecuación que define este índice se presenta a continuación:

$$Hmed = \frac{\Sigma(hi * Si)}{A}$$

Donde:

**Hmed:** Altitud de la cuenca (msnm).

**hi:** Altitud de cada tramo de área contenido entre curvas de nivel (Km).

**Si:** Área contenida entre curvas de nivel (Km<sup>2</sup>).

**A:** Área total de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

A partir de la expresión que determina la altitud media de la cuenca, la Ilustración 147 exhibe los resultados para las cuencas pertenecientes al municipio de Cajicá agrupados en rangos de 50 metros sobre el nivel del mar.

No hay una variación altitudinal considerable dentro del territorio comprendido por el municipio de Cajicá. Se resalta que las cuencas de menor altura promedio se encuentran en el extremo norte de la región, siendo del orden de los 2700 m.s.n.m. En la zona noroccidental y occidental se localizan las cuencas de mayor altura promedio, llegando a un máximo de 2900 m.s.n.m.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

La baja variabilidad altitudinal en la ladera occidental de la zona de estudio sugiere que, aunque existen variaciones espaciales de las variables meteorológicas con la altura, estos cambios no cuentan con magnitudes significativas que impliquen diferencias ecosistémicas y meteorológicas drásticas a lo largo de las cuencas.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

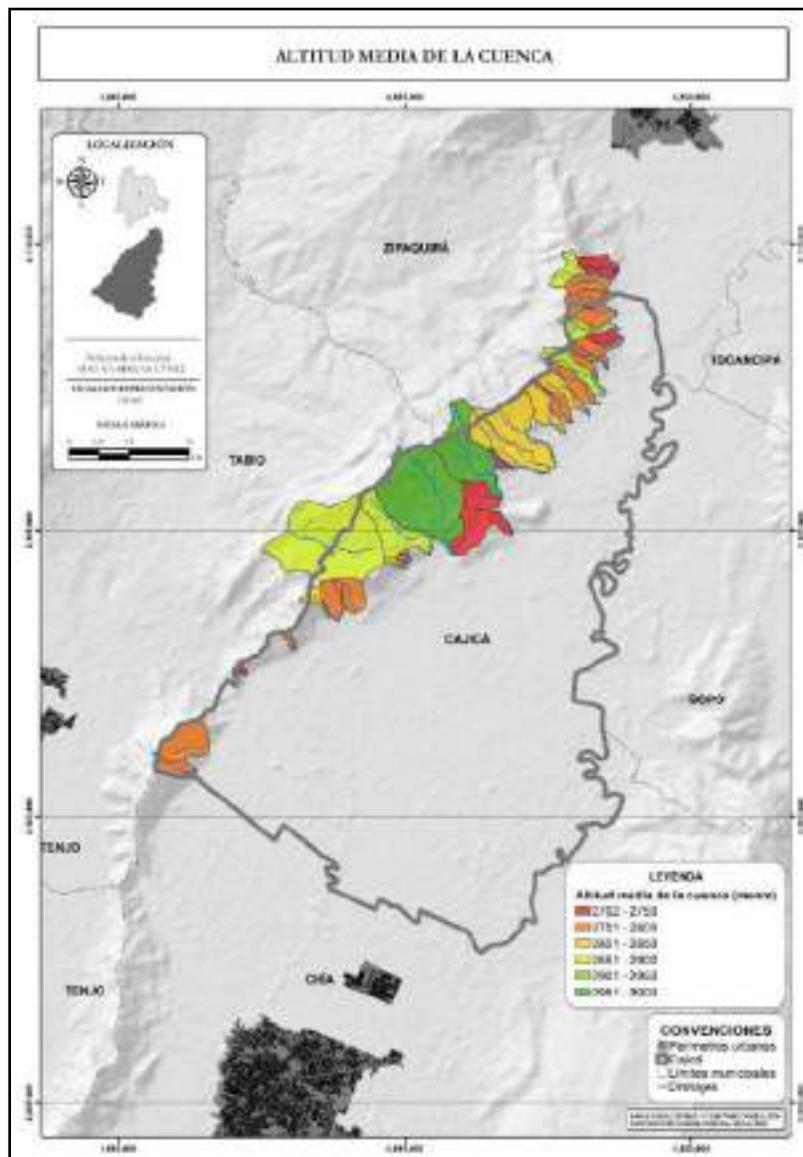


Ilustración 147. Altitud media de la cuenca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

### 1.5.12.1.3.2. Curva e integral hipsométrica

La curva hipsométrica representa gráficamente el relieve medio de la cuenca, relacionando el valor de la cota del terreno en función de la superficie de la unidad hidrográfica, adicionalmente indica el área drenada variando con la altura de la cuenca (Strahler, 1964). Dependiendo de la forma de la curva hipsométrica se puede conocer el tipo de cuenca, si es de meseta o valle aluvial, adicionalmente permite determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva de la cuenca.

La Ilustración 148, evidencia las curvas de cuencas con potenciales evolutivos distintos. Es decir, la curva roja corresponde a una cuenca con gran potencial erosivo, la curva azul es característica de una cuenca en equilibrio y la cuenca verde representa una cuenca donde predomina la sedimentación.

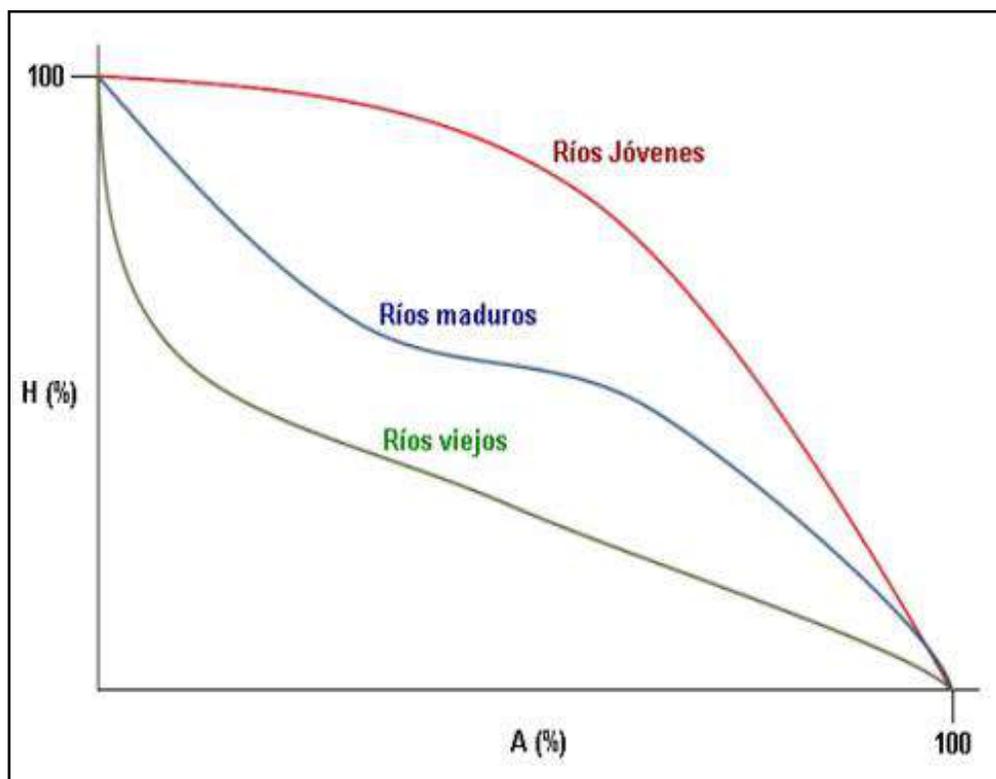


Ilustración 148. Clasificación de ríos a partir de la curva hipsométrica.

Fuente: Senciales (1992).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Para diferenciar de forma cuantitativa los tipos de cuencas con el estadio de evolución erosiva de las mismas, se calcula el área bajo la curva hipsométrica, utilizando la siguiente fórmula:

$$IH = \frac{M_{prom} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$$

Donde:

**IH:** Integral hipsométrica

**M<sub>prom</sub>:** Altura media.

**H<sub>max</sub>:** Altura máxima de la cuenca.

**H<sub>min</sub>:** Altura mínima de la cuenca.

Los resultados de la integral hipsométrica son de 0 a 1, donde los valores altos sugieren un mayor potencial erosivo de la cuenca y viceversa. La Tabla 32 muestra la clasificación de cuencas con base en el valor de la integral hipsométrica de la misma.

**Tabla 32. Clasificación de cuencas a partir de la integral hipsométrica.**

| <b>INTEGRAL HIPSOMÉTRICA</b> | <b>TIPO DE CUENCA</b> |
|------------------------------|-----------------------|
| >0.8                         | Juvenil temprana      |
| 0.79 a 0.7                   | Juvenil media         |
| 0.69 a 0.6                   | Juvenil avanzada      |
| 0.59 a 0.5                   | Madura temprana       |
| 0.49 a 0.4                   | Madura media          |
| 0.39 a 0.3                   | Madura tardía         |
| 0.21 a 0.2                   | Senil temprana        |
| 0.19 a 0.1                   | Senil media           |
| <0.1                         | Senil tardía          |

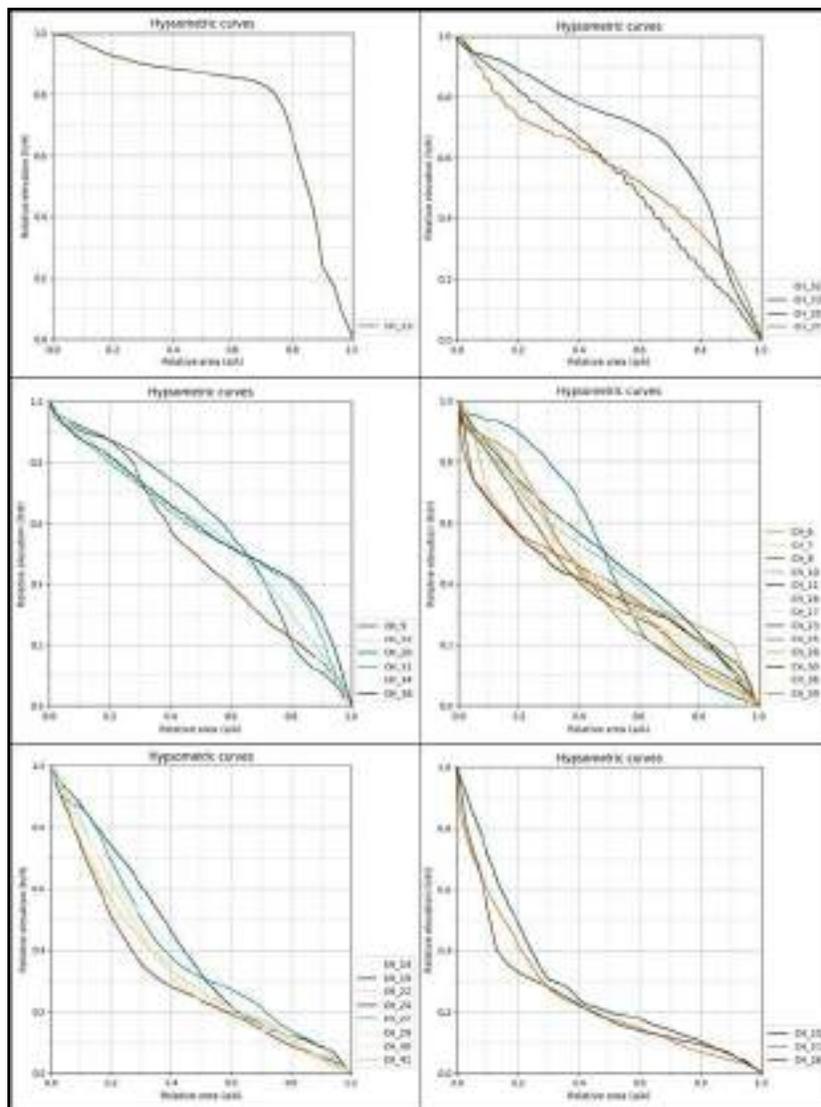
**Fuente:** Senciales (1992).

Teniendo en cuenta la clasificación mostrada, la Ilustración 149 muestra el mosaico de curvas hipsométricas de las cuencas pertenecientes al municipio de Cajicá, donde se obtuvieron valores de la integral entre 0.66 y 0.35.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

Las cuencas clasificadas como maduras (Ilustración 149 “b”, “c” y “d”) son cuencas estables que se encuentran en un balance relativo entre los procesos tectónicos y erosivos que las afectan. No obstante, el estado de estas cuencas es transitorio y con la degradación de sus laderas, llegarán a convertirse en cuencas seniles, como las exhibidas en la Ilustración 149f.

Por otra parte, 5 cuencas fueron clasificadas como juveniles medias y avanzadas, indicando que una gran proporción de su superficie se sitúa en la parte alta de la cuenca, representando la predominancia de los procesos tectónicos sobre los agentes meteorizantes, e implicando la disponibilidad de material para ser erosionado de la cabecera de las hoyas hidrográficas en eventos de lluvias extremas.



**Ilustración 149.** Curvas hipsométricas a) juveniles medias, b) juveniles avanzadas, c) madura temprana, d) madura media, e) madura avanzada y f) seniles tempranas.

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Para evaluar la distribución espacial de las cuencas jóvenes, maduras y seniles del municipio de Cajicá, la Ilustración 150 muestra la clasificación de las unidades hidrográficas conforme el resultado de la integral hipsométrica.

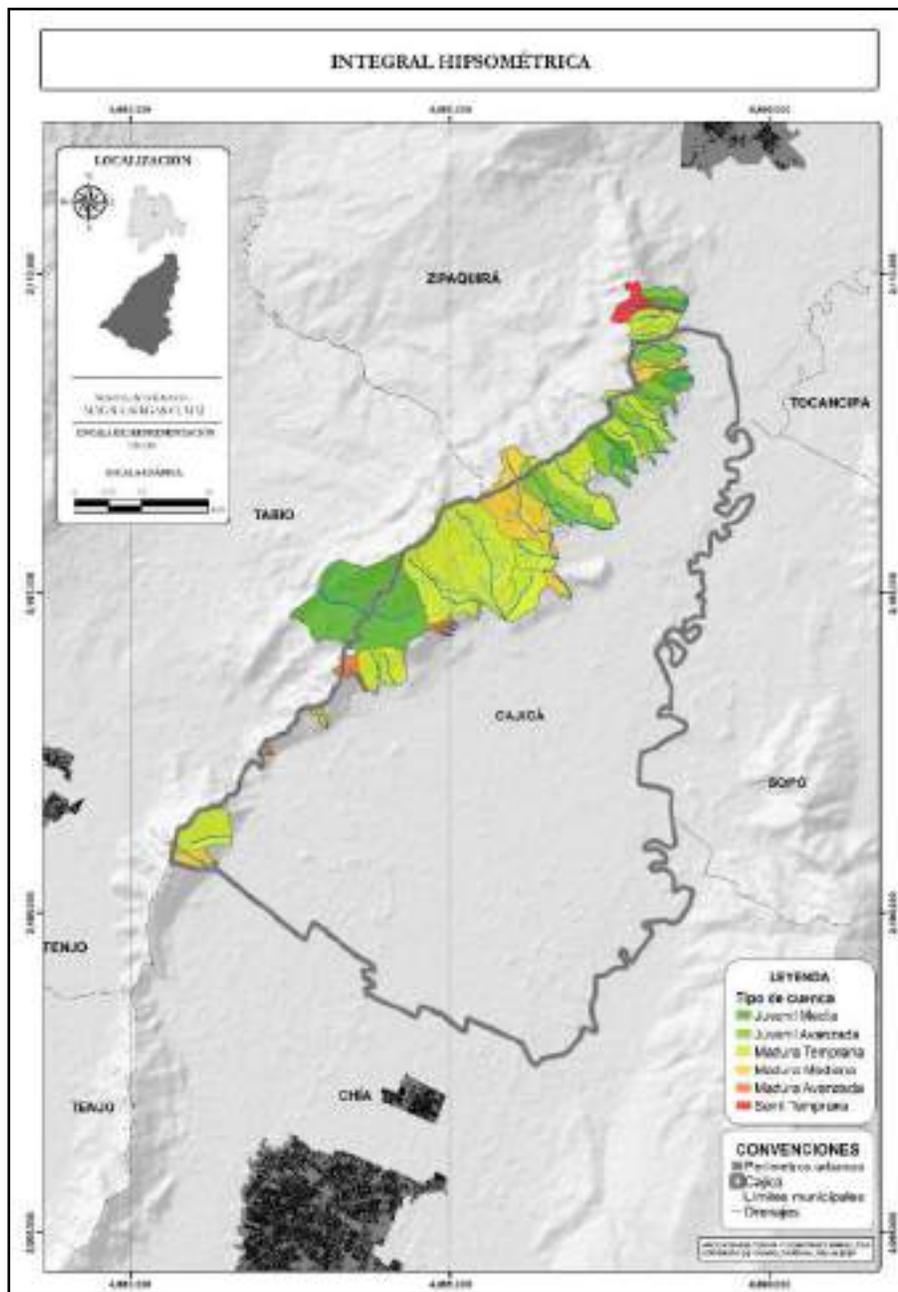


Ilustración 150. Clasificación de cuencas con base a la integral hipsométrica.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

Conforme los resultados de la integral hipsométrica se puede observar la presencia de varias cuencas juveniles (tonalidades verdes) a lo largo del flanco occidental del municipio de Cajicá. Estas cuencas representan las zonas donde los agentes erosivos pueden actuar con mayor facilidad dado el alto porcentaje de área de la cuenca en su cabecera, donde existen las mayores pendientes de las mismas y hay un relativo mayor régimen de humedad.

Por otra parte, aquellas cuencas clasificadas como maduras, sugieren un estado de equilibrio en la evolución de los drenajes evaluados. Así mismo, estas zonas son las que han sufrido mayores procesos erosivos en la región que han deteriorado paulatinamente las laderas de las cuencas.

Finalmente, existen cuencas seniles tempranas que exhiben aquellas zonas donde las hoyas hidrográficas tienen estadios de erosión muy avanzados, presentando poca área relativa en sus cabeceras por la meteorización de las mismas, y ocasionando una paulatina acumulación de material en su desembocadura.

#### 1.5.12.1.3.3. Histograma de frecuencias altimétricas

Representa la superficie en Km<sup>2</sup> o en porcentaje comprendida entre dos cotas, donde el promedio de las alturas es definido por los intervalos. Este parámetro se puede obtener de los mismos datos de la curva hipsométrica, sin embargo, el histograma indica la probabilidad de la variación de la altura de la cuenca. La frecuencia altimétrica se determina para cada intervalo de altura, con la siguiente expresión

$$Fa = \frac{Aa}{Ap} * 100\%$$

Donde:

**Fa:** Frecuencia altimétrica

**Aa:** Área acumulada (Km<sup>2</sup>)

**Ap:** Área parcial (Km<sup>2</sup>)

Los histogramas de frecuencias altimétricas para las cuencas pertenecientes al municipio de Cajicá fueron construidos con intervalos de 20 metros de altura, contando con mayor o menor cantidad de cotas dependiendo de la diferencia de altura de la cabecera de la cuenca respecto a su desembocadura. La Ilustración 151 muestra la totalidad de los histogramas de frecuencias altimétricas para las hoyas hidrográficas dentro del área de estudio.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Las cuencas en general tienen mayor área relativa en las partes altas de las mismas, sugiriendo que se trata de hoyas hidrográficas relativamente jóvenes que pueden sufrir procesos erosivos en las laderas de las cabeceras. Este resultado se correlaciona con los resultados de la curva hipsométrica, donde se identificaron cuencas jóvenes y maduras, más no seniles, para las microcuencas emplazadas en el municipio de Cajicá.

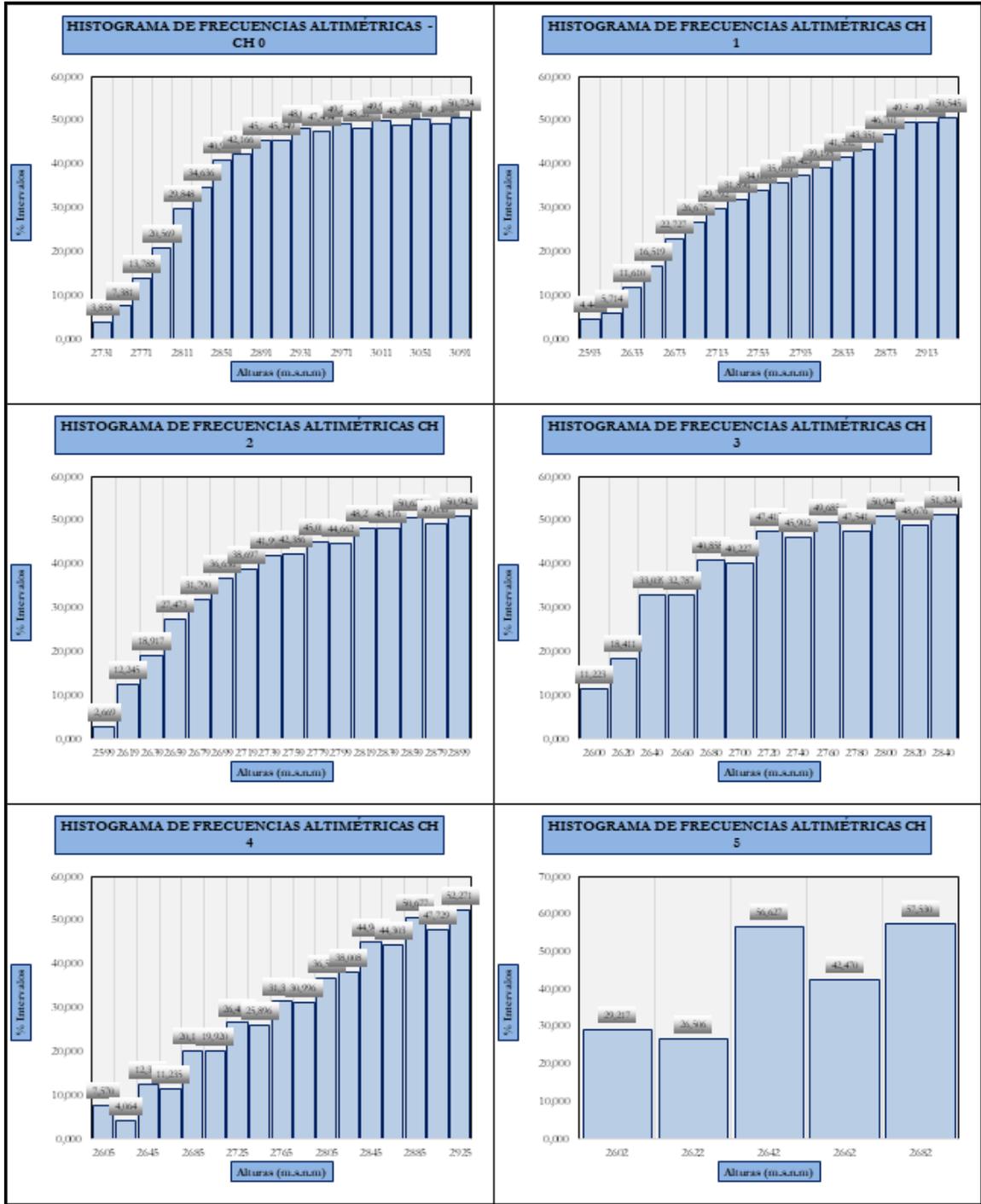


ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ



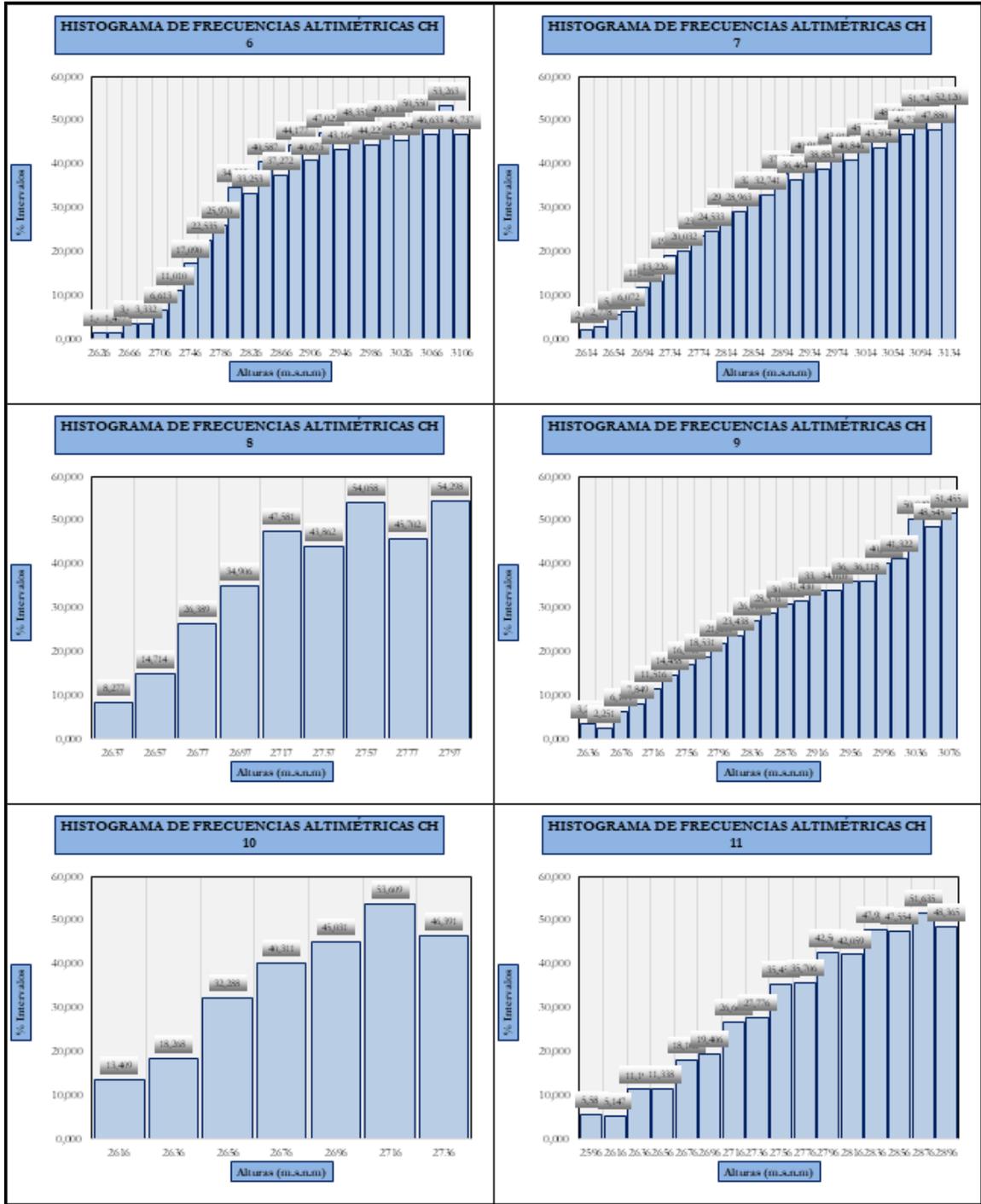


ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ



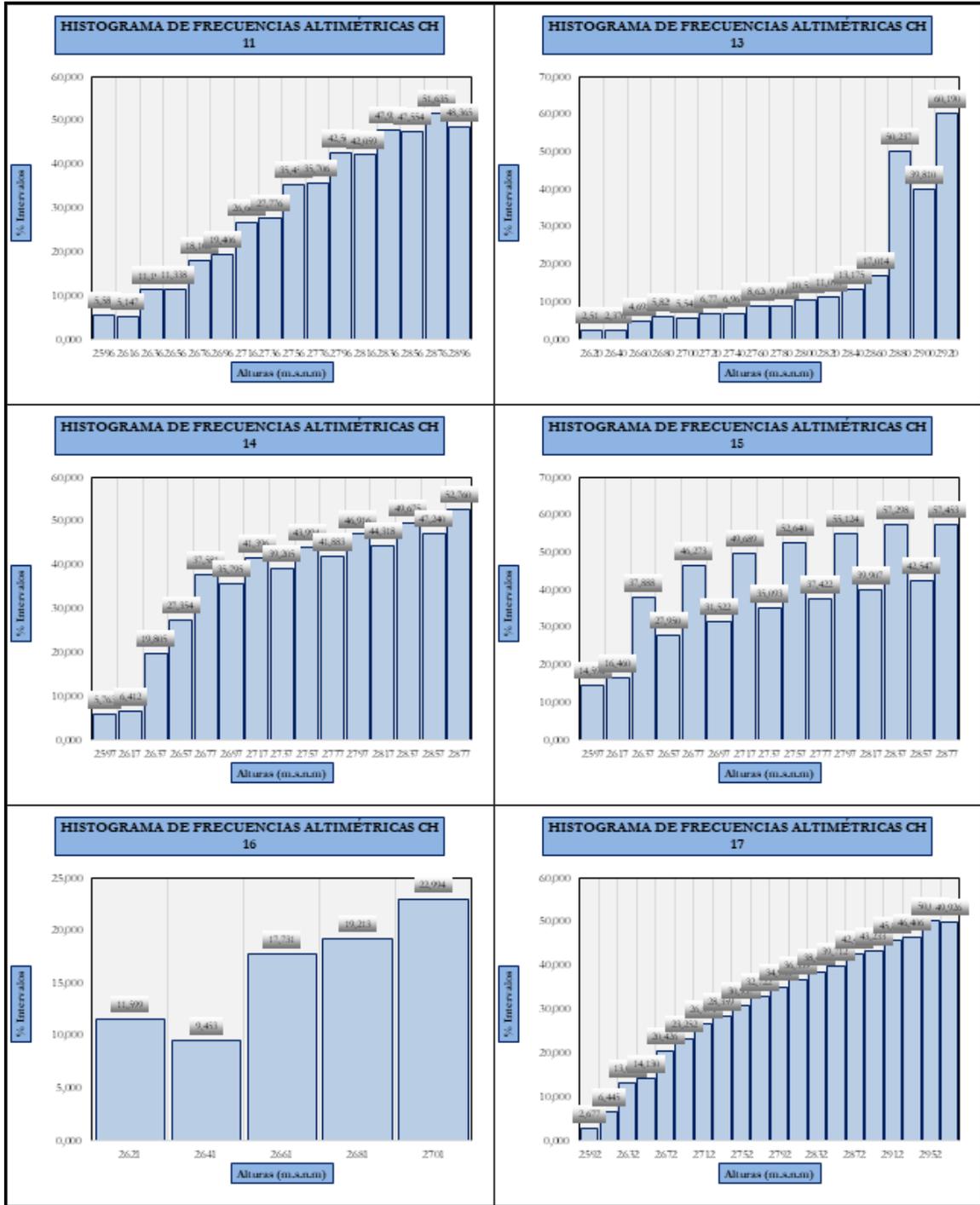


ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ



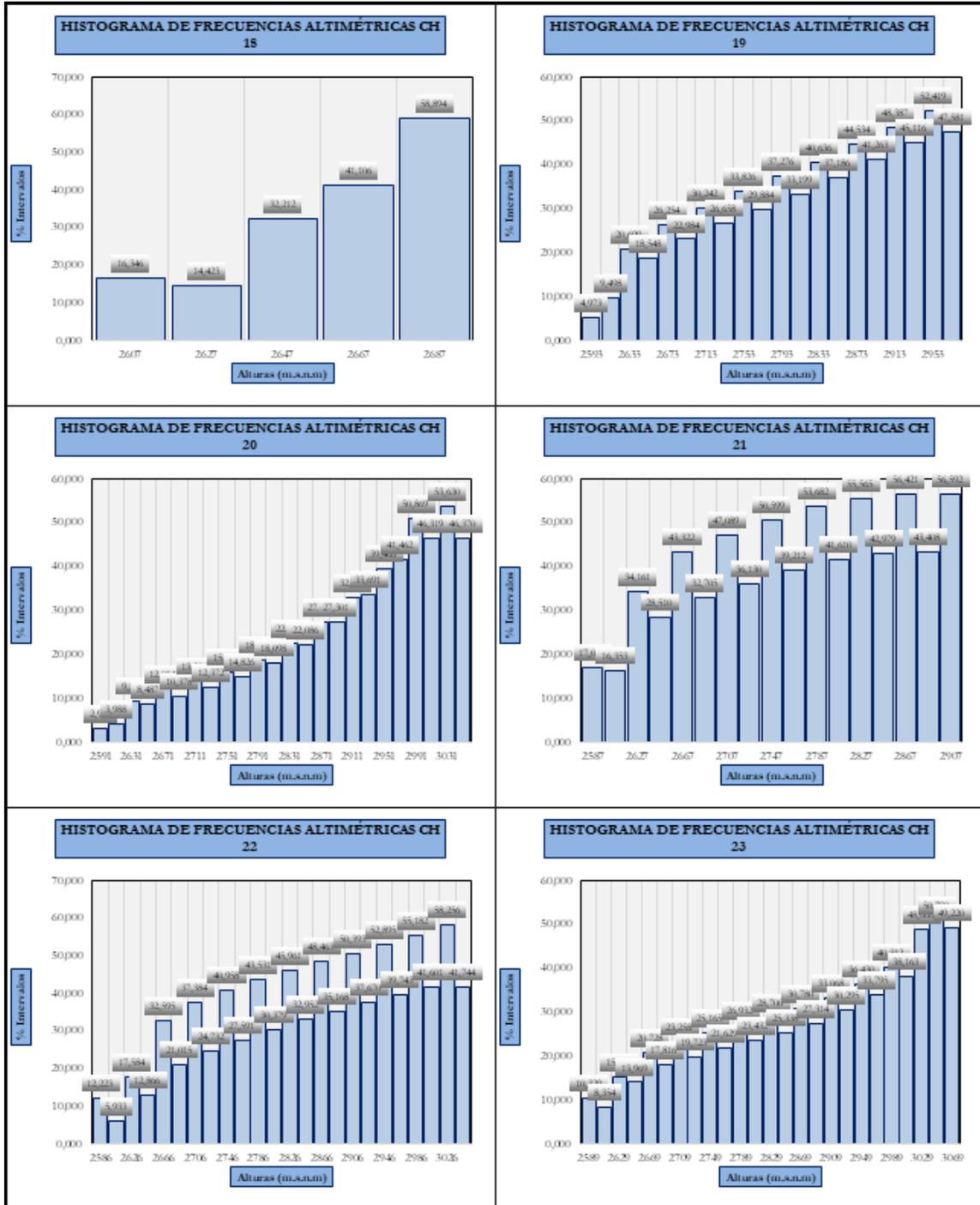


ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ



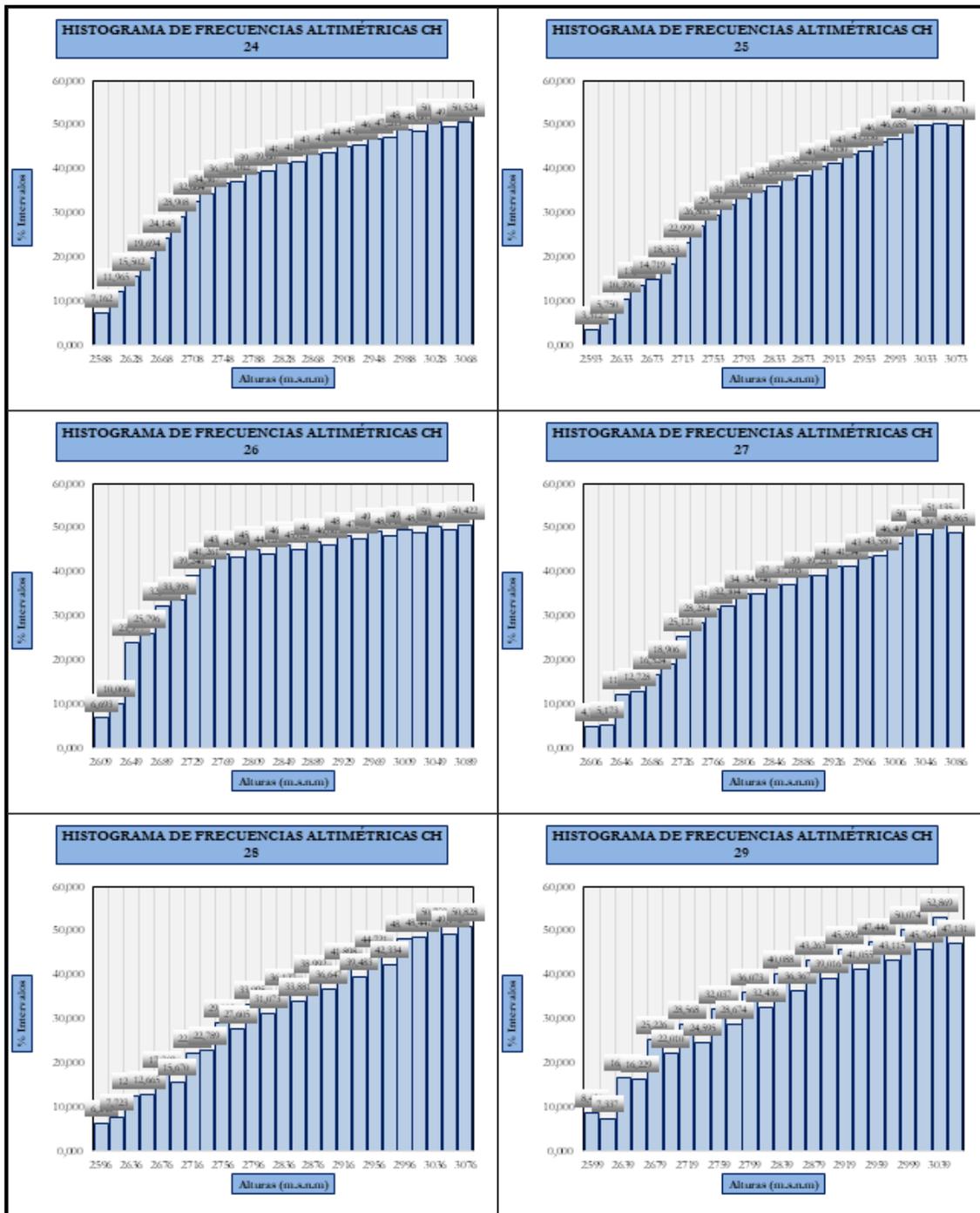


ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ



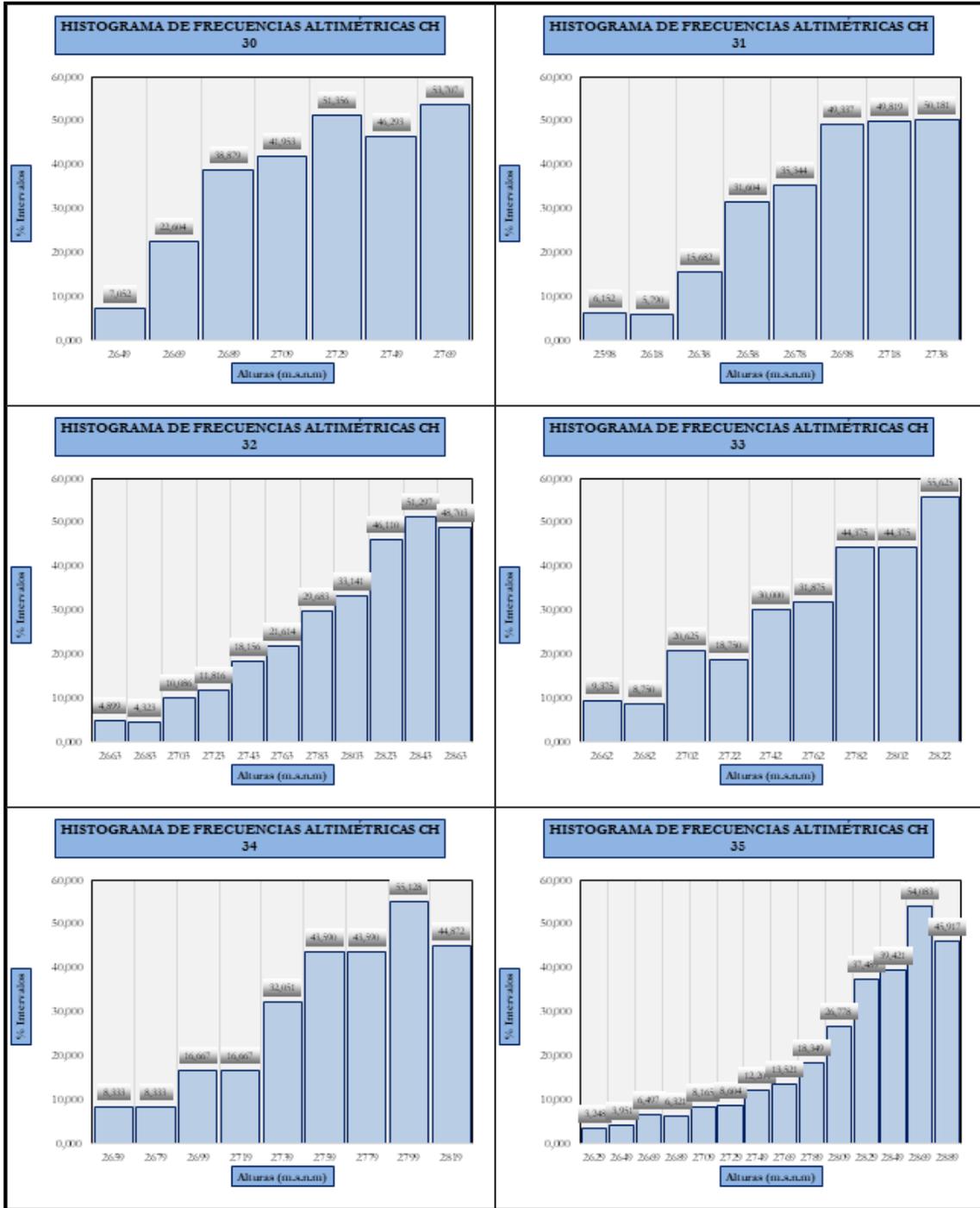


ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ





ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ

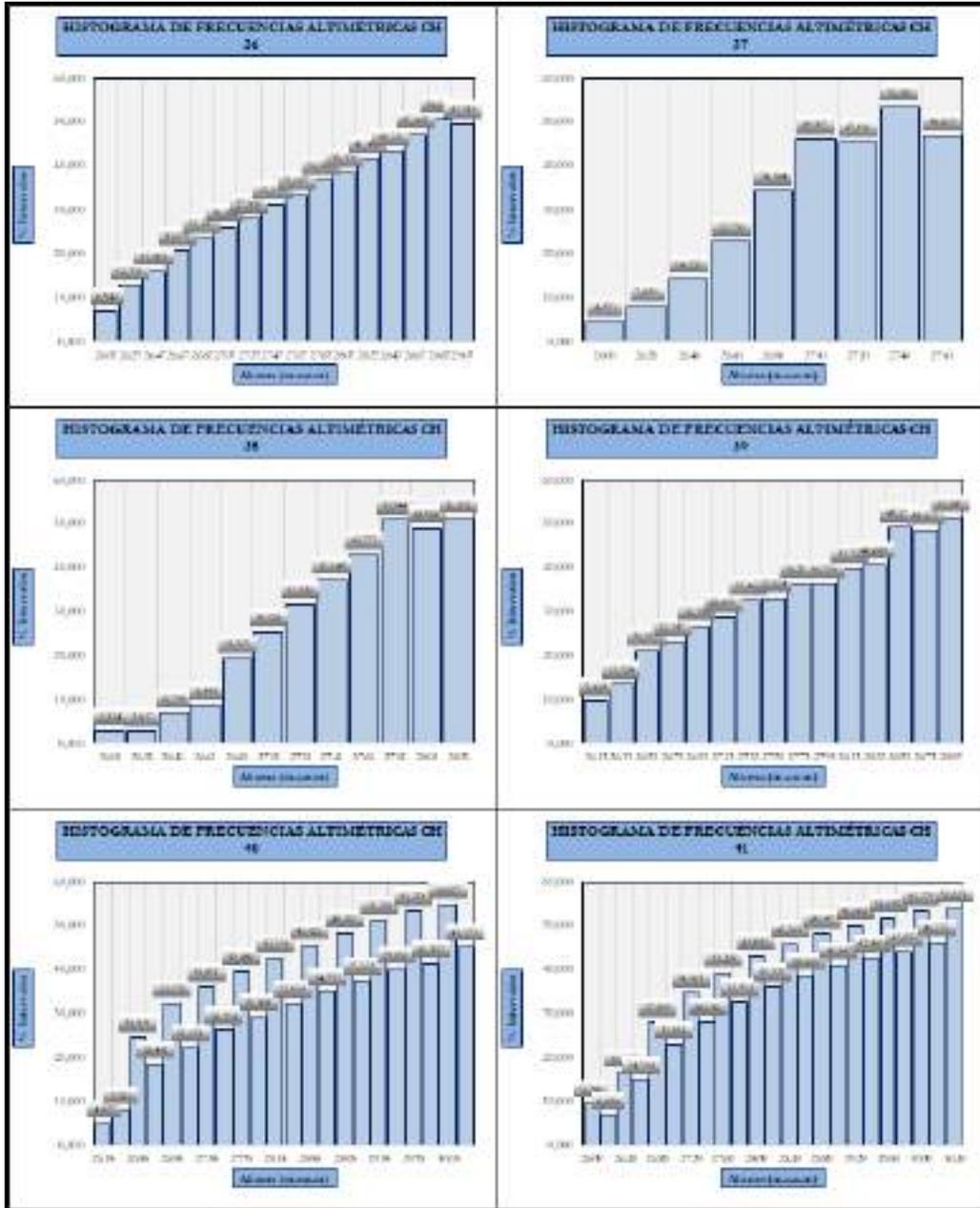


Ilustración 151. Mosaico de histogramas de frecuencias altimétricas.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).



#### 1.5.12.1.3.4. Pendiente media de la cuenca

Este factor indica la inclinación promedio de los drenajes de toda la zona, tanto del cauce principal como los de menor orden. La incidencia de este factor es la de mayor peso en el estudio hidrológico, debido a que a mayor pendiente las condiciones de estabilidad de terreno serán menores.

Esta variable tiene influencia significativa en el cambio de un caudal en un periodo de tiempo corto; ya que controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que requiere el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas. En la Tabla 33, se relaciona la topografía adaptada por una cuenca con los rangos aproximados de la pendiente media.

**Tabla 33. Rangos aproximados de la Pendiente Media de la cuenca.**

| PENDIENTE MEDIA (%) | TERRENOS                |
|---------------------|-------------------------|
| 0 – 2               | Llano                   |
| 2 – 5               | Suave                   |
| 5 – 10              | Accidentado medio       |
| 10 – 15             | Accidentado             |
| 15 – 25             | Fuertemente Accidentado |
| 25 – 50             | Escarpado               |
| >50                 | Muy Escarpado           |

**Fuente:** Pérez (1979).

Según la clasificación propuesta, el porcentaje de inclinación media de las unidades hidrográficas del municipio de Cajicá se presentan en la Ilustración 152. De acuerdo con los resultados obtenidos, el grado de pendiente de las cuencas de la región es alto, donde predominan las cuencas escarpadas en la región norte y noroccidental del municipio, y se cuentan con algunas cuencas diseminadas por el territorio que cuentan con más del 50% de pendiente, sugiriendo terrenos muy escarpados.

La alta inclinación de todas las cuencas de análisis sugiere tiempos de concentración bastante rápidos, debido a que la escorrentía superficial se ve afectada por la fuerza de gravedad dada la topografía accidentada de la zona y repercute en caudales bastante rápidos. Este proceso limita el tiempo de reacción de la comunidad ante eventos amenazantes de las cabeceras municipales, por tanto, los mecanismos de alertas tempranas deben ser supremamente efectivos para lograr

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

mitigar el mayor riesgo posible cuando se genere una crecida de los drenajes o algún otro fenómeno que sea canalizado por los cauces principales del municipio.

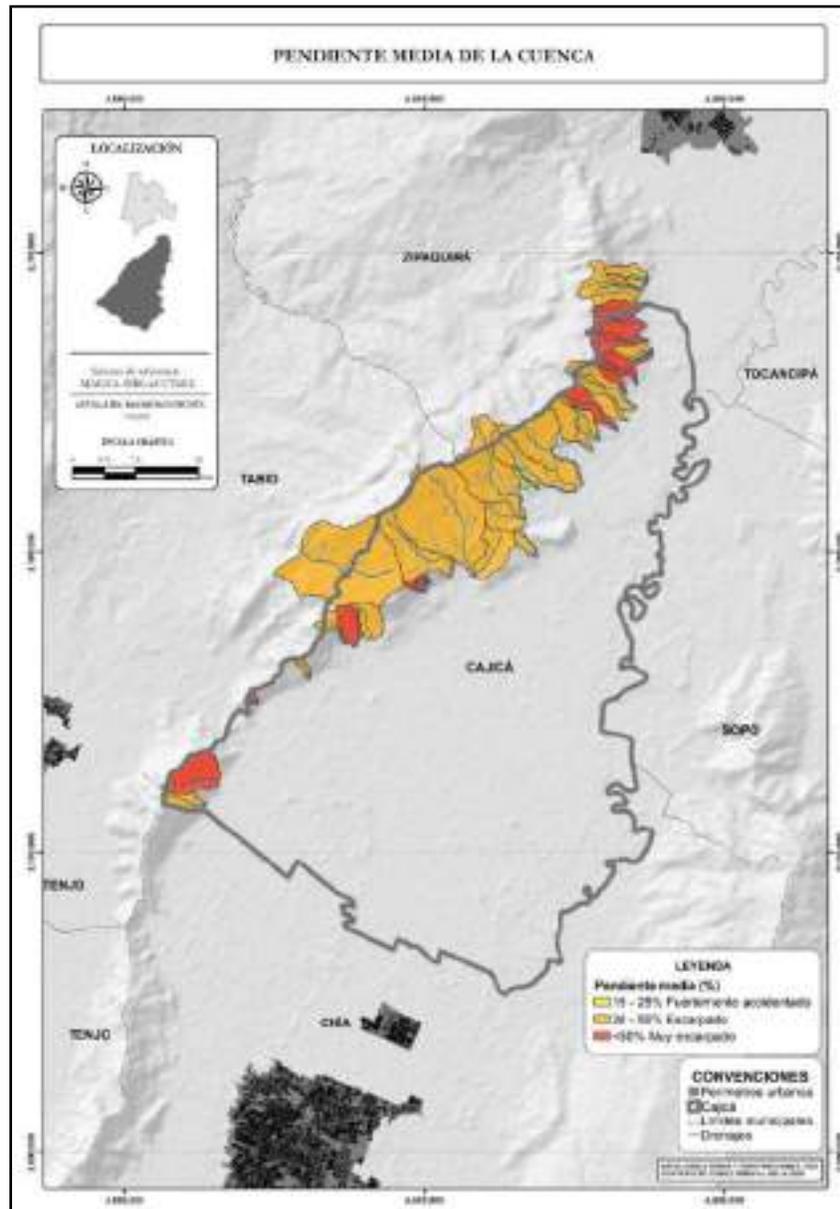


Ilustración 152. Pendiente media de la cuenca.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

### 1.5.12.1.3.5. Pendiente media del cauce principal

La influencia de la configuración topográfica en el proceso de erosión de una cuenca y en la formación de descargas altas, se presenta de acuerdo con los mayores y menores grados de pendiente, no únicamente de la cuenca, sino del cauce principal como tal (López, 1998). Para estimar la inclinación del drenaje principal de cada cuenca, se utiliza la siguiente expresión:

$$S = \frac{H_{MAX} - H_{MIN}}{L}$$

Donde:

**$H_{max}$** : Altura máxima del cauce principal (Km).

**$H_{min}$** : Altura mínima del cauce principal (Km).

**L**: Longitud (Km).

Este parámetro es de vital importancia para los estudios hidrológicos, debido a que permite conocer cualitativamente la velocidad de la escorrentía, la capacidad de transportar sedimentos y los posibles problemas de erosión sobre la cuenca. La Tabla 34, corresponde a la categorización de cauce principal según rangos aproximados de la pendiente media:

**Tabla 34. Rangos aproximados de la Pendiente Media del cauce principal.**

| <b>PENDIENTE MEDIA (%)</b> | <b>TERRENOS</b>         |
|----------------------------|-------------------------|
| 0 – 2                      | Plano o casi a nivel    |
| 2 – 4                      | Ligeramente inclinado   |
| 4 – 8                      | Moderadamente inclinado |
| 8 – 15                     | Fuertemente inclinado   |
| 15 – 25                    | Moderadamente empinado  |
| 25 – 50                    | Empinado                |
| 50 -75                     | Muy empinado            |
| >75                        | Extremadamente empinado |

**Fuente:** Peruano (2009).

Haciendo uso de la clasificación descrita, la pendiente media del cauce principal de cada microcuenca perteneciente al municipio de Cajicá se muestra en la Ilustración 153. Los cauces principales que

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

cuentan con pendientes “moderadamente inclinadas” y “fuertemente inclinadas” en general no cuentan con mayores velocidades de escorrentía ni poder de arrastre de sedimentos grandes en su drenaje. Cabe indicar que esto no implica que no exista la probabilidad de presentarse eventos torrenciales en estas regiones, sugiere que el cauce principal es menos proclive a desarrollar este tipo de procesos degradativos en comparación a cuencas muy empinadas.

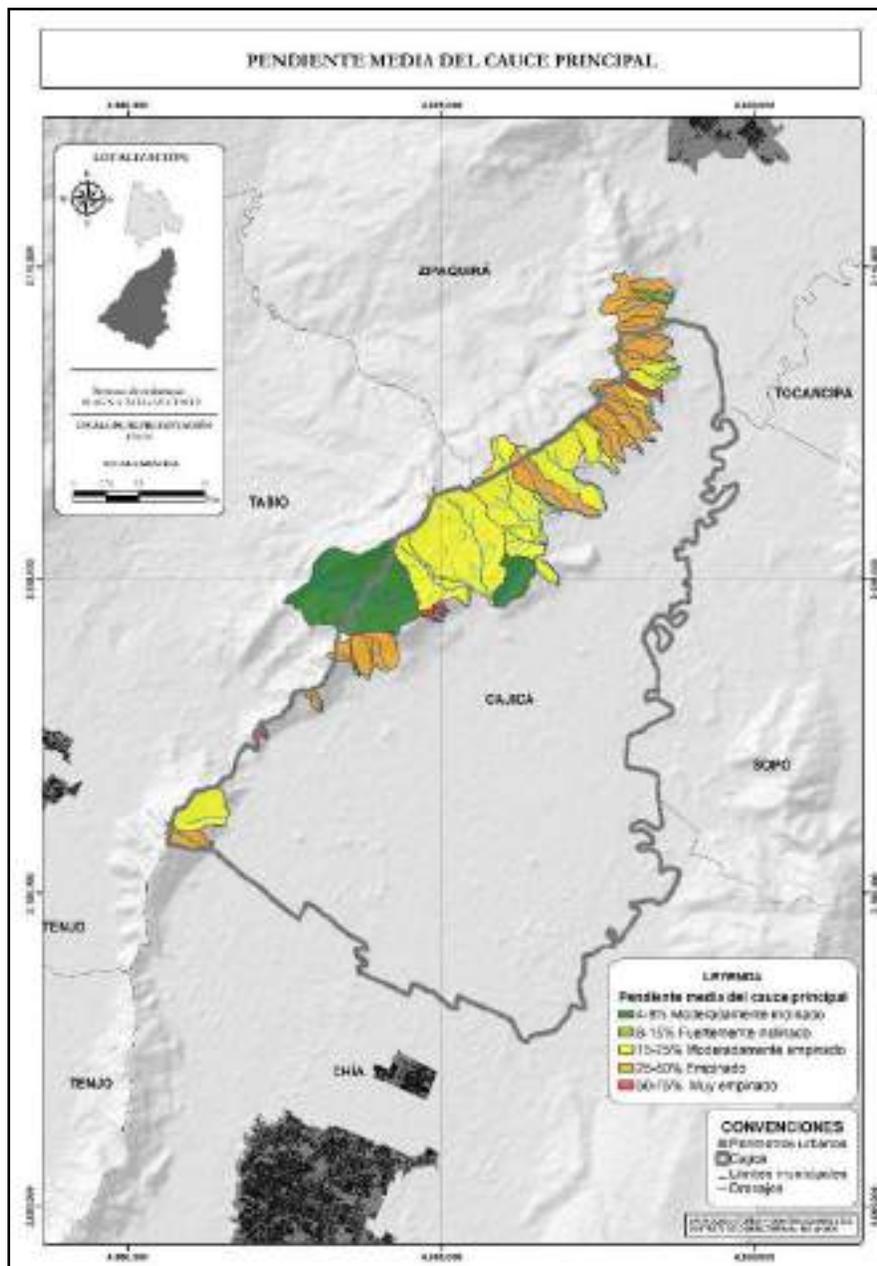


Ilustración 153. Pendiente media del cauce principal.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

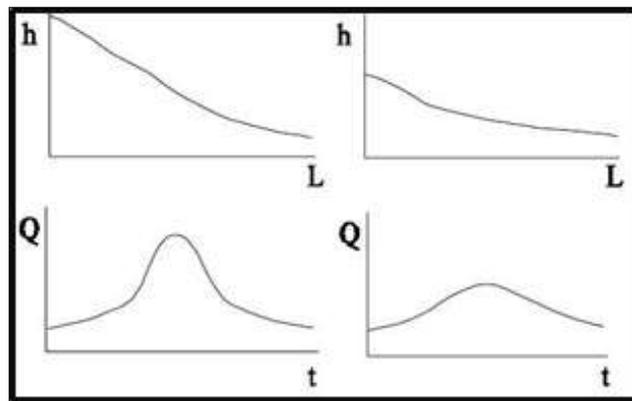
|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Las cuencas “moderadamente empinadas”, “empinadas” y “muy empinadas” cuentan con tiempos de concentración bastante cortos, factor que, acompañado de una alta capacidad de transportar sedimentos en su cauce por la alta energía potencial de la cabecera respecto a la desembocadura, puede generar eventos torrenciales cuando se presenten lluvias extremas y/o de larga duración. Esta condición se ve asentada o menguada dependiendo de la forma de la cuenca y la cantidad o densidad de drenajes secundarios, por tanto, es de vital importancia correlacionar los demás parámetros morfométricos para establecer con mayor certeza aquellas cuencas que reúnen varias características torrenciales, además de la pendiente alta de su cauce principal.

#### 1.5.12.1.3.6. Perfil altimétrico del cauce principal

Representa una altura en función de la longitud al largo del eje principal del cauce. Este parámetro infiere rasgos generales del comportamiento hidrológico de la cuenca, es decir la variabilidad del caudal en cortos periodos de tiempo. Se implementa con el fin de identificar las cuencas que producen crecida con sedimentos y las zonas que presentan una mayor susceptibilidad a eventos torrenciales; ya que esta es directamente proporcional a la velocidad media de escorrentía y por ende su poder de arrastre generado por los procesos de erosión.

La Ilustración 154, muestra esquemática y cualitativamente la relación del perfil altimétrico de un cauce, y la respuesta hidrológica representada en un hidrograma asociado a dos perfiles característicos de un río.

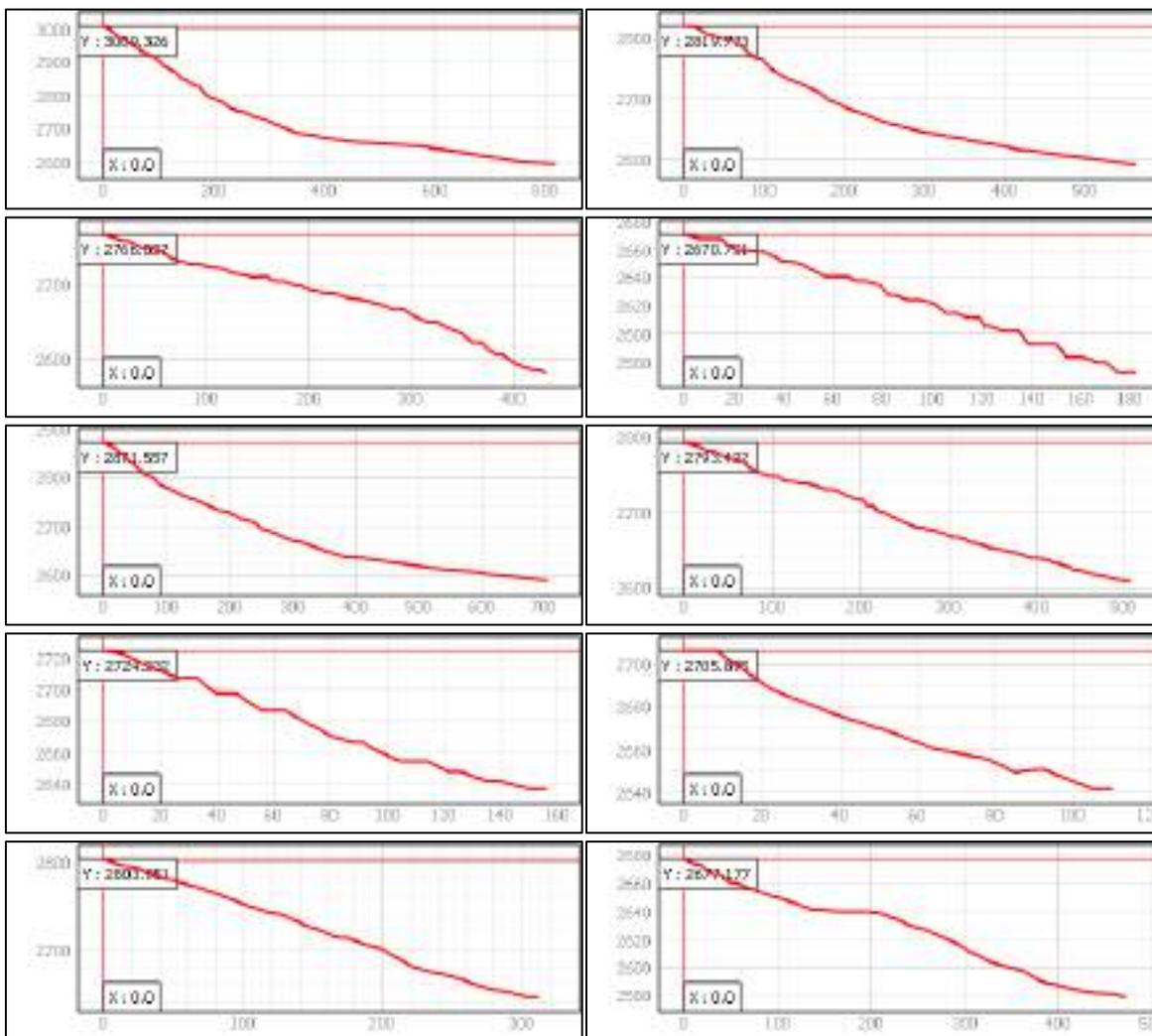


**Ilustración 154. Hidrogramas en relación perfil altimétrico cauce principal.**

Fuente: Pérez (1979).

Cuando existen altas pendientes en el cauce principal, que denoten un perfil muy inclinado, se esperan respuestas hidrológicas rápidas y de grandes caudales por cortos periodos de tiempo. Caso contrario, cuando la pendiente de un río no es significativamente pronunciada, el hidrograma no presenta un pico significativo ante la ocurrencia de una precipitación o evento que pueda potencialmente aumentar su caudal.

Para las cuencas dentro del municipio de Cajicá se realizaron los perfiles altimétricos de los 42 cauces principales, donde el eje “Y” representa la altitud, y el eje “X” representa la longitud del río. La Ilustración 155, muestra un mosaico de los perfiles altimétricos de los cauces dentro de la jurisdicción del municipio.





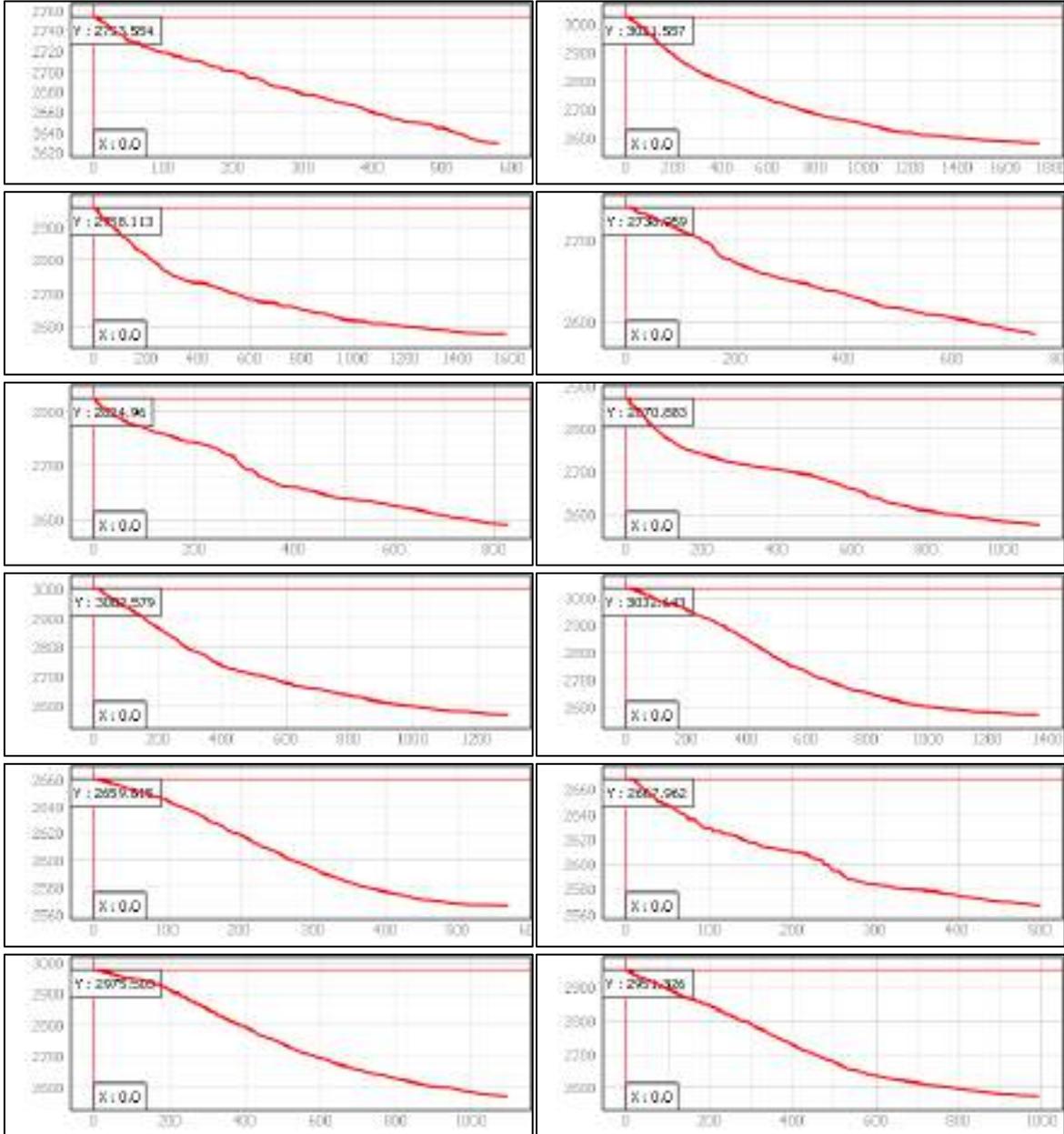
ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA  
INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL  
RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -  
CUNDINAMARCA



ASPECTOS  
GENERALES  
SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS  
DE AMENAZAS

CAJICÁ



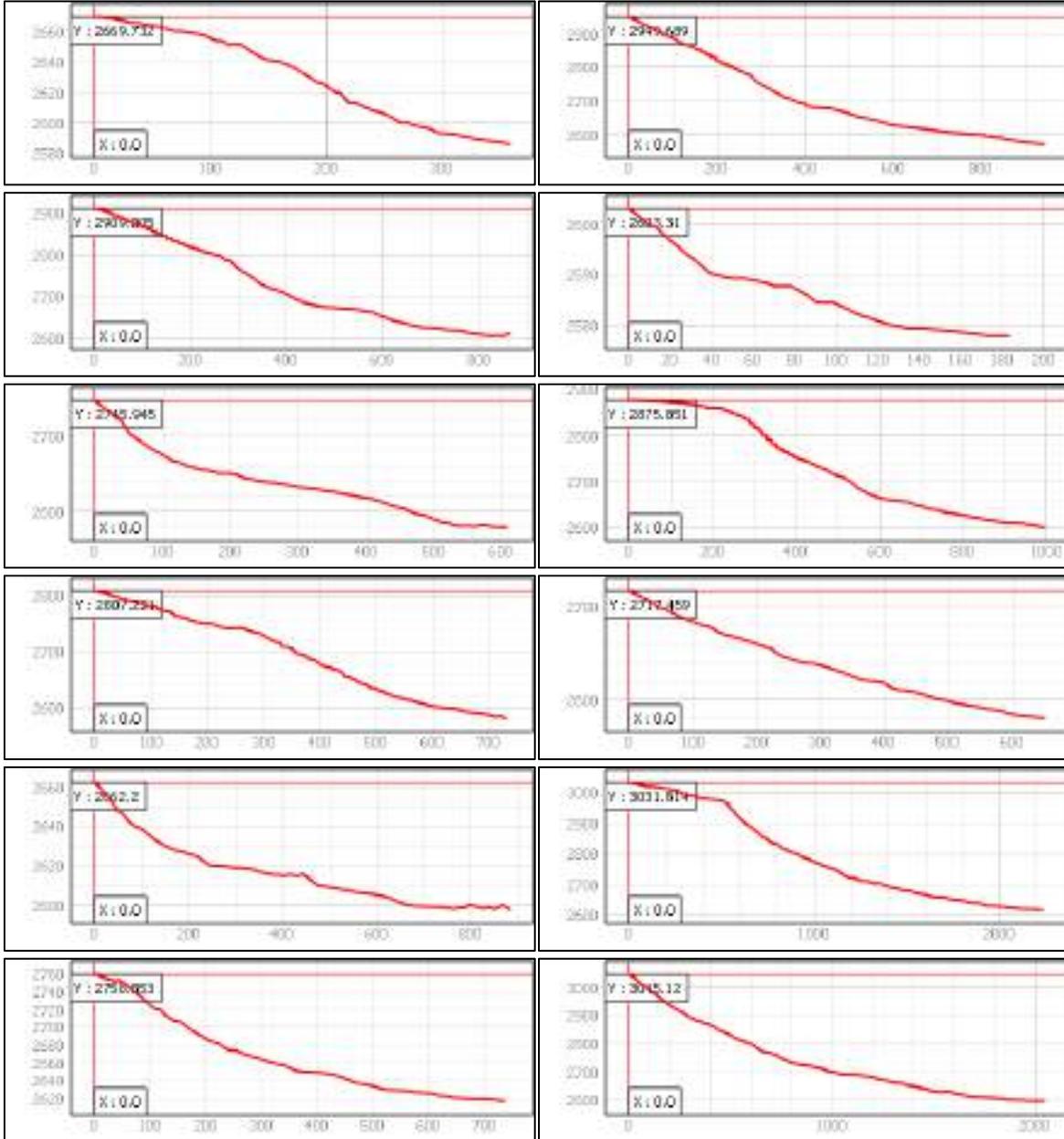


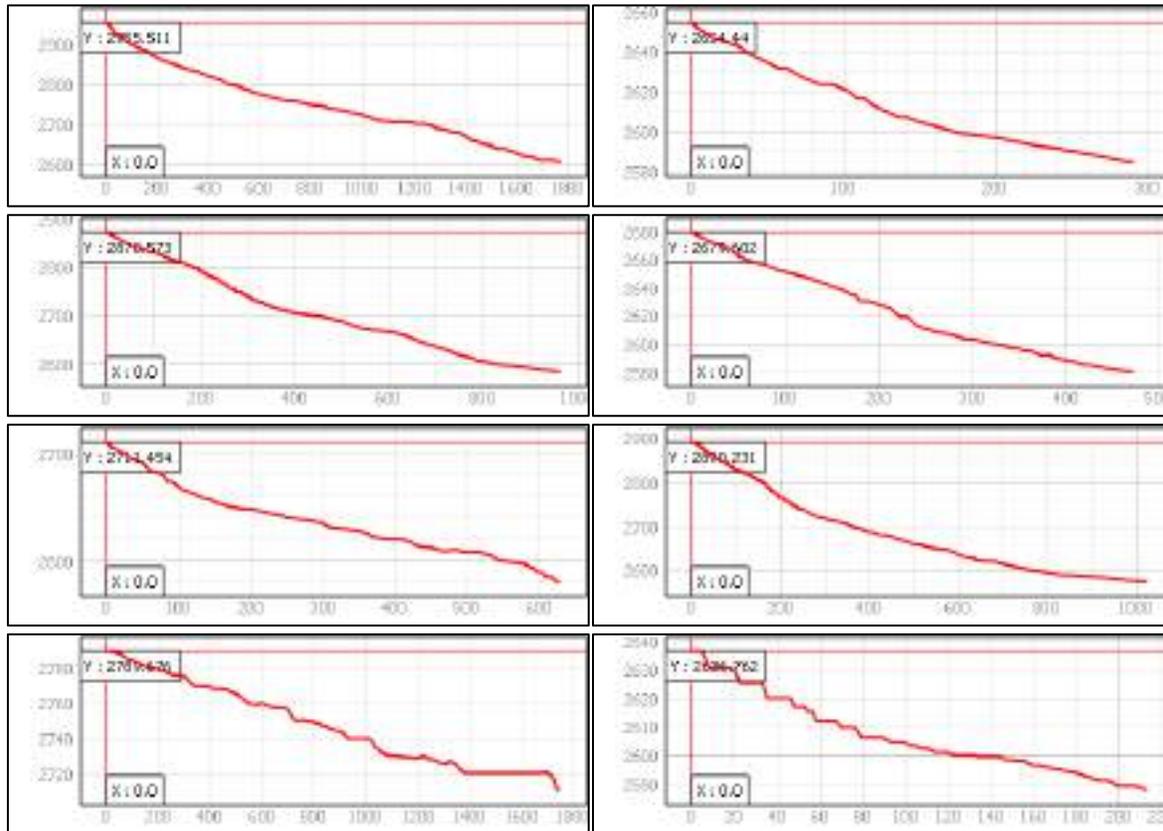
ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA  
INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL  
RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -  
CUNDINAMARCA

ASPECTOS  
GENERALES  
SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS  
DE AMENAZAS

CAJICÁ





**Ilustración 155. Mosaico de perfiles altimétricos de cauces principales.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

La tendencia de los perfiles altimétricos de los cauces evaluados es a presentar altas pendientes con relieves ligeramente cóncavos, información que sugiere el drenaje efectivo de las precipitaciones dadas las respuestas hidrológicas rápidas que suelen tener este tipo de cuencas. Así mismo, los perfiles altimétricos permiten inferir los incrementos súbitos de caudales ante la ocurrencia de eventos de lluvias extremos. Factor que, sumado a la presencia o no de sedimentos o material que pueda ser potencialmente transportado, puede ocasionar grandes movimientos de partículas sólidas de diversos tamaños aguas abajo en cortos periodos de tiempo y favorecer la ocurrencia de procesos degradativos en la región.

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

#### 1.5.12.1.4. Caracterización de la Red de Drenajes

Para determinar las cualidades de las cuencas respecto a la eficiencia del drenaje de la misma, se hace imperativo entender la red de pequeños y grandes cursos de agua que transcurren en cada cuenca de análisis. La dinámica de la red de drenajes depende de múltiples factores como las unidades geológicas superficiales, la geomorfología, la cobertura vegetal, el grado de erosión del suelo, y variables meteorológicas como la precipitación, temperatura, evapotranspiración, entre otras.

Teniendo en cuenta la complejidad del análisis y de los actores influyentes en la caracterización de las redes de drenajes, y buscando establecer la capacidad de cada cuenca de almacenar un volumen de agua dado, se hace útil establecer la densidad de drenajes para representar estas características y su relación con la topografía.

##### 1.5.12.1.4.1. Densidad de Drenajes

Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas, adicionalmente, expresa la capacidad de desalojar un determinado volumen de agua. Se enuncia mediante la siguiente ecuación:

$$D_d = \frac{\sum Lc_i}{A}$$

Donde:

$\sum Lc_i$ : Longitud total de los cauces de agua (Km).

**A**: Área que abarca la cuenca ( $Km^2$ )

Este índice permite identificar la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca, dado que es representativo respecto a la topografía de la unidad hidrográfica. Conforme la cantidad y longitud de drenajes dentro del área de la cuenca, la Tabla 35 muestra la clasificación de las redes hídricas.

Tabla 35. Clasificación de cuencas por la densidad de drenajes.

| DENSIDAD DE DRENAJE (Km/Km <sup>2</sup> ) | CLASIFICACIÓN |
|---|---------------|
| <1  | Muy baja      |
| 1.001 – 1.5                               | Baja          |



| DENSIDAD DE DRENAJE (Km/Km <sup>2</sup> ) | CLASIFICACIÓN      |
|---|--------------------|
| 1.5001 – 2                                | Moderada           |
| 2.001 – 2.5                               | Moderadamente alta |
| 2.5001 – 3                                | Alta               |
| >3  | Muy alta           |

Fuente: IDEAM (2013).

El resultado del cálculo de la densidad de drenajes para las microcuencas emplazadas en el municipio de Cajicá se observa en la Ilustración 156. Sólo existe una cuenca con moderada densidad de drenajes, localizada en el extremo suroccidental del municipio, sugiriendo que en este sector se encuentran suelos duros, macizos rocosos altamente permeables y/o coberturas vegetales muy densas. Estas cuencas se consideran mal drenadas ya que cuentan con respuestas hidrológicas lentas, disminuyendo la probabilidad de presentarse eventos torrenciales en estas cuencas.

Se presentan algunas microcuencas diseminadas a lo largo del flanco occidental del municipio de Cajicá que cuentan con una densidad de drenajes alta y moderadamente alta, en estas microcuencas existe una menor cobertura vegetal y competencia del macizo rocoso, permitiendo la socavación del terreno y generando un incremento en la cantidad de drenajes.

La mayoría de las cuencas pertenecientes al municipio de Cajicá cuentan con una muy alta densidad de drenajes, en respuesta a la baja densidad de vegetación, baja conductividad hidráulica y la probable presencia de suelos blandos que se erosionan con facilidad y generan drenajes intermitentes o de primer orden (Villón M., 2002).

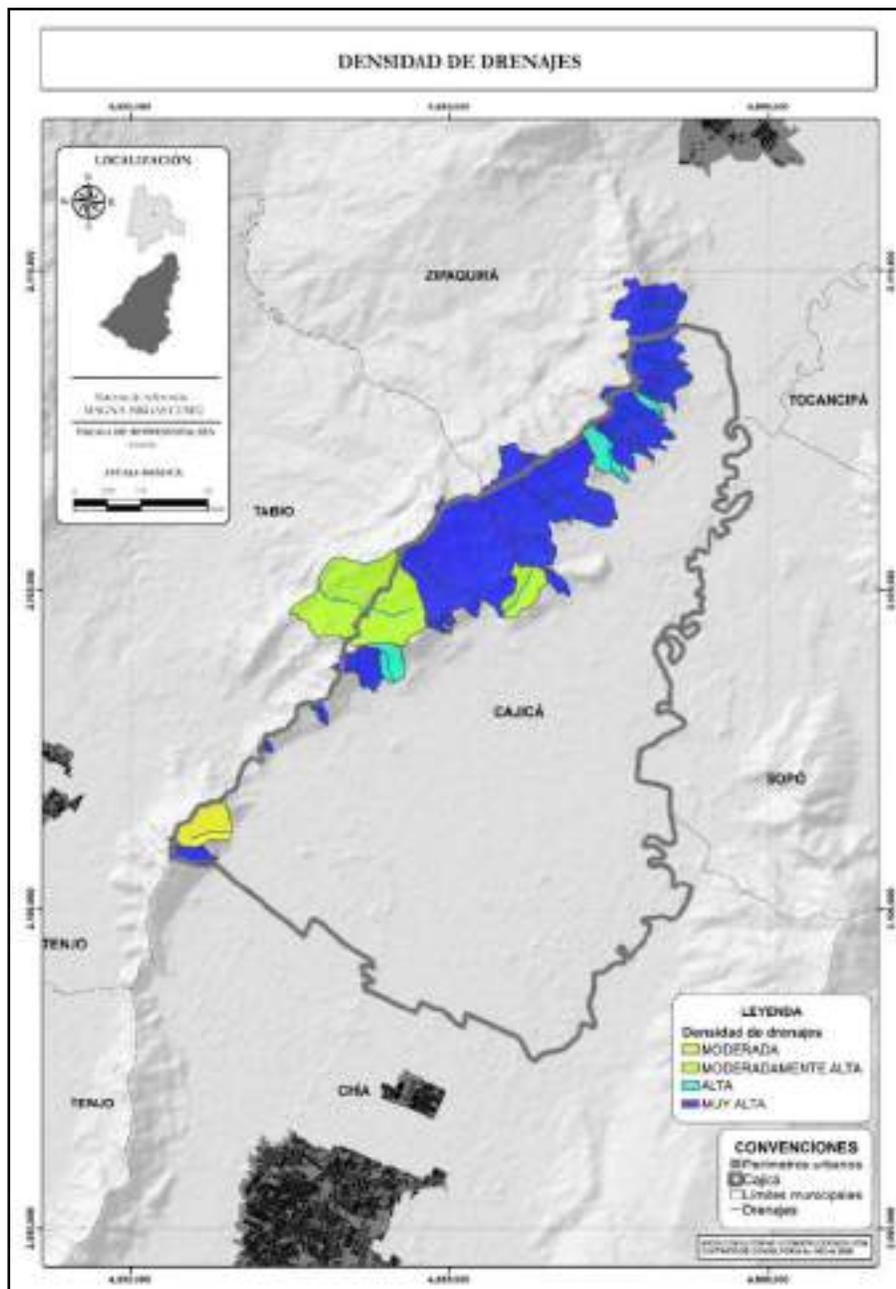


Ilustración 156. Densidad de drenajes.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

### 1.5.12.1.5. Parámetros Hidrológicos

Los parámetros hidrológicos de las unidades hidrográficas funcionan como una herramienta fundamental para el entendimiento de la relación de las características intrínsecas del terreno (suelos, coberturas vegetales, topografía, entre otros) con el comportamiento del flujo de los drenajes principales de las hoyas hidrográficas, brindando información vital para la adecuada gestión del riesgo y sistemas de alertas tempranas.

#### 1.5.12.1.5.1. Curva número

Es un método que estima la magnitud de escorrentía a partir de la precipitación efectiva, dado que descuenta de la lluvia caída dentro de una cuenca las pérdidas que se deben a factores tales como la infiltración, la evapotranspiración, la intercepción y el almacenamiento superficial (Gaspari, 2007). Este procedimiento fue desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS, National Engineering Handbook, 1972) de Estados Unidos; y puede adaptarse a cualquier región para estimar la escorrentía a partir de la precipitación neta ( $P_n$ ).

Para la obtención de curva número (CN), se debe calcular el umbral de escorrentía mediante el cruce de las unidades geológicas del suelo (UGS) y las coberturas vegetales. Las UGS permiten identificar el grupo de suelo hidrológico, el cual se categoriza de la A hasta la D a partir de la identificación de la composición y textura, donde A presenta una magnitud mínima de escorrentía y D corresponde a potencial alto de concentración de aguas lluvia. El agrupamiento de los diferentes tipos de suelos para la estimación de la Curva Número se presenta en la Tabla 36.

**Tabla 36. Clasificación textural del suelo**

| GRUPO DEL SUELO | TEXTURA USDA           |
|-----------------|------------------------|
| A               | Arenosa                |
|                 | Arenoso-franca         |
| B               | Franco-arenosa         |
|                 | Arcillo-arenosa        |
| C               | Franca                 |
|                 | Franco-arcillosa       |
|                 | Franco-arcillo-arenosa |
|                 | Franco-arcillo-limosa  |
|                 | Franco-limosa          |

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

| <b>GRUPO DEL SUELO</b> | <b>TEXTURA USDA</b> |
|------------------------|---------------------|
| D                      | Arcillosa           |
|                        | Limosa              |
|                        | Arcillo-limosa      |

**Fuente:** National engineering handbook (1964).

Así mismo, la evaluación del tipo de cobertura vegetal acentuado en el territorio permite no solo identificar los procesos de escorrentía, sino también dimensionar la evapotranspiración del sector, de acuerdo con el uso y el estado del mismo.

Teniendo en cuenta que la caracterización de las coberturas y usos del suelo del municipio de Cajicá se hizo con base en la metodología de Corine Land Cover, y que la SCS propuso la Curva Número utilizando otra clasificación de coberturas vegetales, la Tabla 37 muestra las equivalencias de ambas metodologías para establecer la CN para las unidades hidrográficas de la región de estudio.

**Tabla 37. Equivalencia de las coberturas Corine Land Cover con la S.C.S.**

| <b>CORINE LAND COVER</b>        | <b>S.C.S</b>                                       |
|---------------------------------|--|
| Vegetación secundaria           | Bosques - cubierta buena                           |
| Tierras desnudas                | Calles y carreteras – tierra                       |
| Tejido urbano discontinuo       | Residenciales - 500m <sup>2</sup> o menor          |
| Tejido urbano continuo          | Residenciales - 10000m <sup>2</sup>                |
| Red vial                        | Calles y carreteras – pavimentadas                 |
| Plátano y banano                | Tierra cultivada – sin tratamiento de conservación |
| Pastos y árboles plantados      | Áreas abiertas – condición optima                  |
| Pastos limpios                  | Pastizales – condiciones pobres                    |
| Pastos enmalezados              | Pastizales – condiciones optimas                   |
| Pastos arbolados                | Pastizales – condiciones optimas                   |
| Parques urbanos                 | Áreas abiertas – según sea el caso                 |
| Otras zonas verdes urbanas      | Césped – óptimas condiciones                       |
| Mosaico de cultivos, pastos ... | Tierra cultivada – con tratamiento                 |

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

| <b>CORINE LAND COVER</b>                     | <b>S.C.S</b>                       |
|--|------------------------------------|
| Mosaico cultivos con espacios naturales      | Tierra cultivada – con tratamiento |
| Herbazal abierto                             | Bosques – cubierta pobre           |
| Cultivos y árboles plantados                 | Tierra cultivada – con tratamiento |
| Cultivo permanente arbustivo                 | Tierra cultivada – con tratamiento |
| Bosque fragmentado                           | Bosque – tronco delgado            |
| Bosque fragmentado por vegetación secundaria | Bosque – tronco delgado            |
| Bosque de galería                            | Bosque – tronco delgado            |
| Bosque abierto bajo                          | Bosque – tronco delgado            |
| Áreas deportivas                             | Áreas abiertas – según caso        |
| Arbustal abierto                             | Bosque – tronco delgado            |
| Hortalizas                                   | Tierra cultivada – sin tratamiento |
| Bosque denso                                 | Bosque – cubierta buena            |
| Plantación forestal                          | Bosque – tronco delgado            |
| Zonas pantanosas                             | Calles y carreteras – tierra       |
| Canales artificiales                         | Vegas de ríos                      |
| Cunetas artificiales                         | Vegas de ríos                      |
| Cultivos confinados                          | Tierra cultivada – con tratamiento |
| Otros cultivos transitorios                  | Tierra cultivada – sin tratamiento |
| Estanques para cultivos                      | Vegas de ríos                      |

**Fuente:** National engineering handbook (1964).

Para determinar la curva número es necesario en primera instancia, y haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica, interponer la capa (ráster) de delimitación de tipos de suelo en el municipio (clasificada texturalmente de A D anteriormente) con la capa de coberturas vegetales siguiendo la propuesta del SCS, para obtener posteriormente un Número de Curva para cada cruce de suelo y cobertura específico. Los valores típicos de la CN al realizar este proceso se muestran en la Tabla 38.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

**Tabla 38. Número de curva condición humedad antecedente media para áreas urbanas.**

| DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA                             | A  | B  | C  | D  |
|--|----|----|----|----|
| Prado y parques (áreas abiertas, césped, cementerios)        |    |    |    |    |
| - Óptimas condiciones (pasto <75%)                           | 39 | 61 | 74 | 80 |
| - Condiciones aceptables (pastos de 50 al 70%)               | 49 | 69 | 79 | 84 |
| - Condiciones pobres (pastos <50%)                           | 68 | 79 | 86 | 89 |
| Vegas de ríos  | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Parqueaderos pavimentados, estacionamientos, techos, accesos | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Calles y carreteras  |    |    |    |    |
| - Pavimentados   | 98 | 98 | 98 | 98 |
| - Grava  | 76 | 85 | 89 | 91 |
| - Tierra   | 72 | 82 | 87 | 89 |
| Distritos urbanos  |    |    |    |    |
| - Comerciales  | 89 | 92 | 94 | 95 |
| - Industriales   | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Residenciales  |    |    |    |    |
| - Sitios 500m <sup>2</sup> o menor                           | 77 | 85 | 90 | 92 |
| - Sitios 1000m <sup>2</sup>                                  | 61 | 75 | 83 | 87 |
| - Sitios 2000m <sup>2</sup>                                  | 54 | 70 | 80 | 85 |
| - Sitios 5000m <sup>2</sup>                                  | 51 | 68 | 79 | 84 |
| - Sitios 10000m <sup>2</sup>                                 | 46 | 65 | 77 | 82 |
| Bosques  |    |    |    |    |
| - Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas              | 45 | 66 | 77 | 83 |
| - Cubierta buena   | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Pastizales   |    |    |    |    |
| - Condiciones optimas  | 39 | 61 | 74 | 90 |
| - Condiciones pobres   | 68 | 79 | 86 | 89 |
| Tierra cultivada   |    |    |    |    |
| - Sin tratamiento de conservación                            | 72 | 81 | 88 | 91 |
| - Con tratamiento de conservación                            | 62 | 71 | 78 | 81 |

**Fuente:** National engineering handbook (1964).

Buscando estimar el valor de la Curva Número para cada unidad hidrográfica dentro de la jurisdicción del municipio de Cajicá, es necesario entonces realizar un promedio ponderado de la CN de todos aquellos diferentes cruces entre el tipo de suelo y la cobertura en cada cuenca, apelando a la siguiente ecuación.

$$CN_{CH} = \frac{\sum CN_i * A_{CNi}}{A_{CH}}$$

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

Donde:

$CN_{CH}$  = Curva número de la unidad hidrográfica.

$CN_i$  = Valor del número del polígono asociado a un suelo hidrológico y cobertura específica.

$A_{CNI}$  = Área del polígono.

$A_{CH}$  = Área de la unidad hidrográfica.

El resultado de la Curva Número es adimensional y varía entre 0 y 100, donde aquellas zonas que no cuentan con grandes magnitudes de escorrentía presentan valores bajos, y las unidades hidrográficas que cuentan con grandes volúmenes de agua en sus cauces presentan CN cercanos a 100. Los resultados de la Curva Número para las unidades hidrográficas pertenecientes al municipio de Cajicá se presentan en la Ilustración 157.

Los mayores valores de la Curva Número de las unidades hidrográficas estudiadas se localizan de forma diseminada en el margen occidental del municipio, con CN superiores a 80 y exhibiendo las zonas donde se cuenta probablemente con suelos impermeables (probablemente arcillosos) o coberturas de suelo que limitan la infiltración de aguas, otorgando a la cuenca una mayor capacidad de concentración de aguas lluvias, y un dominio de la escorrentía sobre la infiltración en estas regiones.

Los valores altos de Curva Número sugieren a su vez que en estas regiones se favorecen los procesos erosivos, lo cual puede ayudar a presentar procesos degradativos en la zona, sumado a pérdida de sedimentos, nutrientes y humedad (Díaz & Mercado, 2017).

Caso contrario, las cuencas con CN relativamente baja, indican el bajo potencial de escorrentía de estas hoyas hidrográficas, debido principalmente a la alta porosidad y conductividad hidráulica del terreno y/o la presencia de extensos pastales.

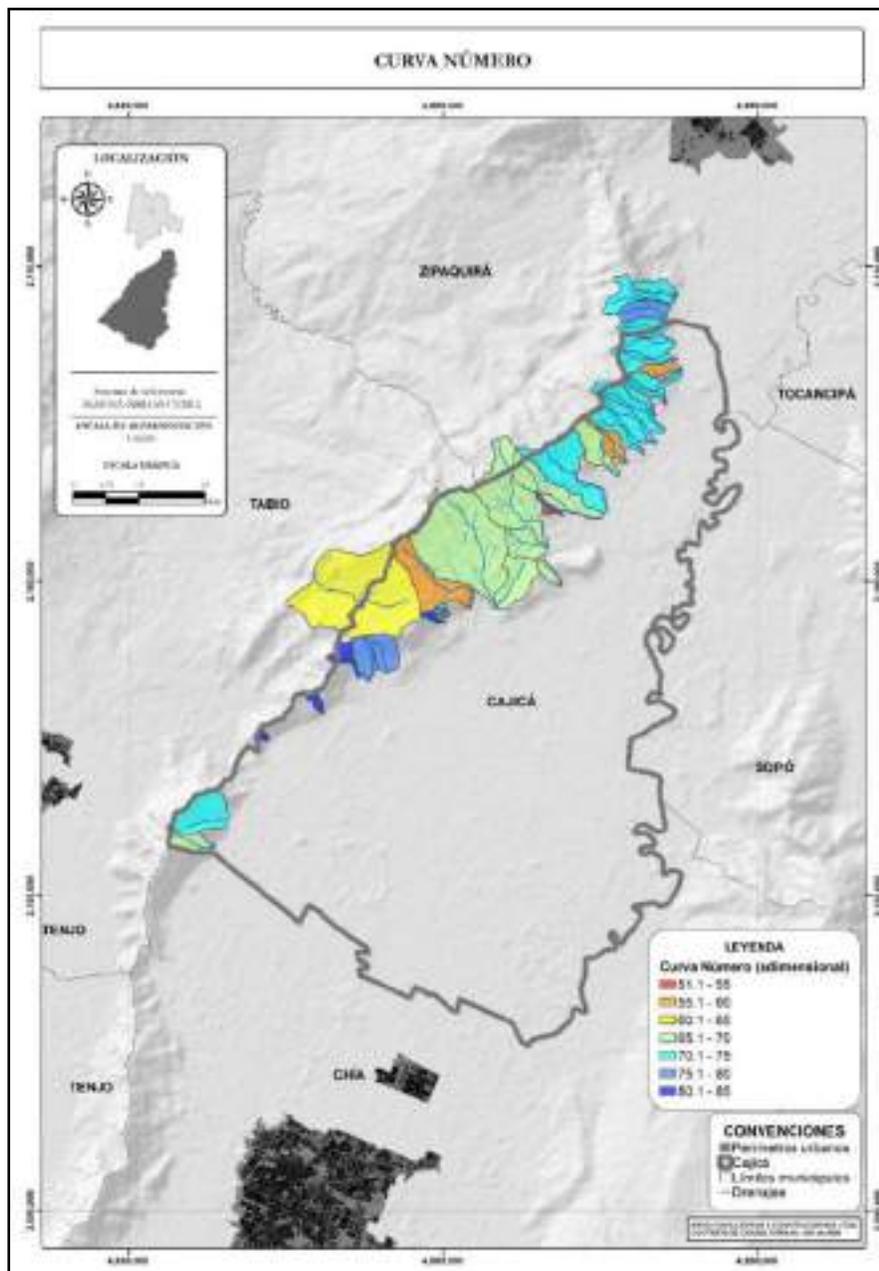


Ilustración 157. Curva Número por unidad hidrográfica.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

#### 1.5.12.1.5.2. Tiempo de concentración

Conocido también como tiempo de respuesta o de equilibrio. Es considerado como el tiempo requerido para que la escorrentía superficial del lugar más lejano de la cuenca alcanza el punto de salida, es decir el tiempo en el cual toda la unidad hidrográfica contribuye al flujo. 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, incluyendo al menos cinco metodologías diferentes para la estimación del tiempo de concentración (Chow, Maidment, & Mays, 1988).

Ramser y Kirpich lo definen como el tiempo al pico  $T_p$ , es decir, es el tiempo que transcurre desde que se inicia el escurrimiento directo hasta el pico del hidrograma, por otro lado, Viessman y Lewis determinan que es 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 hidrograma después del caudal pico (Viessman & Lewis, 2003). Témez especifica que concierne a la diferencia entre el tiempo de finalización del hidrograma de escorrentía superficial directa y el tiempo de finalización de la precipitación efectiva (Témez, 1978).

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 (Vélez & Botero, 2011). A continuación, se presenta un resumen de las ecuaciones utilizadas en el presente estudio y tomadas de diferentes fuentes.

- **Formula de Kirpich:**

Fue desarrollada partiendo de los datos de SCS en cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes entre 3 y 10% (Kirpich, 1940). Se sugiere que sea usada en cuencas menores a las 100 Ha y se estima mediante la siguiente expresión:

$$T_c = 0.06628 \left( \frac{L}{\sqrt{S_o}} \right)^{0.77}$$

Dónde:

$T_c$  : Tiempo de concentración, en horas ( $hr$ ).

$L$  : Longitud del cauce principal de la cuenca, en kilómetros ( $km$ ).

|   |  |                                 |        |   |
|---|--|---------------------------------|--------|---|
|  | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        |  |
|   | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |   |

$S_o$  : Diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca, en metros, dividida por L (es decir, la pendiente promedio del recorrido en  $m/m$ ).

- **Formula de California Culvert Practice:**

Esta metodología está basada esencialmente es la ecuación de Kirpich, pero fue desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en la región de California, Estados Unidos. Se describe mediante la siguiente expresión (California, 1955):

$$Tc = \left( 0.87019 \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

$Tc$  : Tiempo de concentración, en horas ( $hr$ ).

$L$  : Longitud del cauce principal, en kilómetros ( $km$ ).

$H$  : Diferencia de cotas entre puntos extremos del cauce principal, en metros ( $m$ ).

- **Ecuación de Témez:**

Es apto para cuencas con una superficie hasta 3000 Km<sup>2</sup> aproximadamente, y para tiempos de concentración pequeños ( $0.25h > Tc > 24h$ ). Adicionalmente, el cálculo hidrológico para determinar los caudales máximos tendrá mayor precisión (García, 2017). Su cálculo se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$Tc = 0.3 \left( \frac{L}{S_o^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Dónde:

$Tc$  : Tiempo de concentración, en horas ( $hr$ ).

$L$  : Longitud del cauce principal de la cuenca, en kilómetros ( $Km$ ).

$S_o$  : Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- **Fórmula de Giandotti:**

Calcula el tiempo de concentración ( $T_c$ ) en horas, este método fue desarrollado para obtener un único valor por unidad de estudio, es decir, considera un área de influencia en cada tramo de la cuenca (López M. , 2006). Se calcula de la siguiente manera:

$$T_c = \left( \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{SL}} \right)$$

Dónde:

**L** : Longitud del cauce principal, en kilómetros ( $km$ ).

**S** : Pendiente promedio del cauce principal de la cuenca en  $m/m$ .

**A** : Superficie de la cuenca en kilómetros cuadrados ( $km^2$ ).

- **Ecuación de SCS – Ranser:**

Calcula el tiempo de concentración,  $T_c$ , en horas (SCS, 2010), según la ecuación:

$$T_c = 0.97 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

**L** : Longitud del cauce principal, en kilómetros ( $km$ ).

**H** : Diferencia de cotas entre puntos extremos del cauce principal, en metros ( $m$ ).

- **Ecuación de Ventura – Heron:**

Formuladas en 1949, es utilizada en cuencas con pendientes onduladas y calcula el tiempo de concentración,  $T_c$ , en horas (SCS, 2010), de la siguiente forma:

$$T_c = 0.30 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75}$$

Dónde:

**L** : Longitud del cauce principal, en kilómetros ( $km$ ).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

**S** : Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).

- **Ecuación de Bransby-Williams:**

Formulada confines ingenieriles en Estados Unidos, y recomendada para cuencas rurales de hasta 75 Km<sup>2</sup>. Calcula el tiempo de concentración, *T<sub>c</sub>*, en horas (SCS, 2010), según la ecuación:

$$T_c = 0.2426L \left( \frac{1}{A^{0.1} S^{0.2}} \right)$$

Dónde:

**L** : Longitud del cauce principal, en kilómetros (*km*).

**A** : Área de la cuenca (*km<sup>2</sup>*).

**S** : Pendiente total del cauce principal, (%).

- **Ecuación de SCS:**

Desarrollada por el SCS en 1973, a partir de la información de las cuencas de uso agrícola, adaptada a pequeñas cuencas urbanas y con áreas inferiores a 800 Ha (SCS, 2010). Se define con la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{0.0136 * L^{0.8} \left( \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \right)}{S^{0.5}}$$

Dónde:

**L** : Longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo (m)

**CN** : Curva Número

**S** : Pendiente promedio de la cuenca, (*m/m*).

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

- **Ecuación de Clark:**

Proporciona el tiempo de concentración de la cuenca en horas, haciendo uso de la siguiente expresión:

$$Tc = 0.335 * \frac{A^{0.593}}{S^{0.5}}$$

Dónde:

**A:** Área de la unidad hidrográfica (Km<sup>2</sup>).

**S:** Pendiente media del cauce principal.

- **Ecuación de Passini**

Calcula el tiempo de concentración en horas haciendo uso del área de la cuenca, junto con los valores de pendiente y longitud del cauce principal haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Tc = \frac{(0.108 * (A * L)^{\frac{1}{5}})}{S^{0.5}}$$

Dónde:

**A:** Área de la unidad hidrográfica (Km<sup>2</sup>).

**S:** Pendiente media del cauce principal.

**L:** Longitud del cauce principal (Km).

Aplicando todas las fórmulas para el cálculo del tiempo de retorno descritas, se hizo una media acotada entre los resultados obtenidos de las metodologías empleadas para determinar aquella expresión matemática que más se acerca al promedio establecido, y tomar este valor como la mejor aproximación a las condiciones hidrológicas reales de cada cuenca de estudio. La Tabla 39 muestra el resumen de los tiempos de concentración más cercanos a la media acotada para las microcuencas del municipio de Cajicá.

**Tabla 39. Tiempos de concentración (TC) más cercanos a la media acotada por microcuenca.**

| CUENCA | MEDIA ACOTADA | Tc SELECCIONADO  | MINUTOS     |
|--------|---------------|------------------|-------------|
| CH_0   | 51,31343259   | Bransby-Williams | 43,94819151 |
| CH_6   | 26,08090837   | Clark            | 23,52901334 |

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>Arco<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

| CUENCA | MEDIA ACOTADA | Tc SELECCIONADO  | MINUTOS     |
|--------|---------------|------------------|-------------|
| CH_7   | 30,97424629   | Giandotti        | 30,00671827 |
| CH_8   | 15,55917345   | Clark            | 14,46446462 |
| CH_9   | 31,54773216   | Clark            | 31,41269775 |
| CH_10  | 23,77882924   | Clark            | 23,73097253 |
| CH_11  | 14,34296189   | Bransby-Williams | 14,06365745 |
| CH_12  | 12,09441240   | Giandotti        | 13,72214827 |
| CH_13  | 15,02325757   | Giandotti        | 15,03433337 |
| CH_14  | 10,77810915   | SCS              | 12,79850948 |
| CH_15  | 7,48979317    | SCS              | 7,59384088  |
| CH_16  | 12,13683993   | Giandotti        | 13,23979958 |
| CH_17  | 12,16463609   | Ventura - Heras  | 12,36084428 |
| CH_19  | 12,93309598   | Giandotti        | 12,94264394 |
| CH_20  | 13,38281689   | Giandotti        | 12,69455030 |
| CH_21  | 11,25965678   | Bransby-Williams | 11,86148495 |
| CH_22  | 13,02876990   | Bransby-Williams | 14,02714766 |
| CH_23  | 16,33872887   | Ventura - Heras  | 17,68568339 |
| CH_24  | 15,35670069   | Giandotti        | 13,79615848 |
| CH_25  | 15,91951250   | Giandotti        | 15,10685352 |
| CH_26  | 13,24686046   | Giandotti        | 13,73857911 |
| CH_27  | 15,35907077   | Clark            | 14,88541234 |
| CH_28  | 23,33968545   | Giandotti        | 21,96735765 |
| CH_29  | 22,58319713   | Clark            | 19,48177876 |
| CH_30  | 11,05300397   | Giandotti        | 12,02576737 |
| CH_31  | 10,46341108   | Bransby-Williams | 11,94512887 |
| CH_32  | 5,01456799    | SCS              | 4,46320969  |
| CH_33  | 2,35405565    | Passini          | 2,36539955  |
| CH_34  | 3,01250479    | SCS              | 3,04253875  |
| CH_35  | 8,51179695    | SCS              | 7,67637933  |
| CH_36  | 10,52168655   | Clark            | 10,30549453 |
| CH_37  | 3,34385774    | Passini          | 3,08537013  |
| CH_38  | 6,65865080    | SCS              | 6,22438747  |
| CH_39  | 9,09504989    | Ventura - Heras  | 9,33743498  |
| CH_40  | 9,12301408    | Ventura - Heras  | 9,05021601  |
| CH_41  | 6,16977544    | Passini          | 5,94157444  |

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la metodología que ha representado el tiempo de concentración con mayor frecuencia es la propuesta por Giandotti (11), seguido de la fórmula de Clark (7) y la ecuación del SGC (6). Para representar visualmente el TC de mejor ajuste para las hoyas hidrográficas del municipio de Cajicá, la Ilustración 158 exhibe los resultados obtenidos en las cuencas de análisis.

Los menores tiempos de concentración se ubican principalmente en la región norte del municipio, junto con algunas cuencas pequeñas en el margen occidental de Cajicá. Estos sectores son de principal atención debido a que la velocidad del curso del agua en épocas de lluvias puede representar un peligro para las poblaciones aguas abajo, implicando un corto tiempo de respuesta ante crecidas súbitas en las partes altas de estas cuencas hacia su desembocadura.

Las cuencas al occidente del municipio con tonalidades azules en la Ilustración 158 representan las regiones donde existe una menor velocidad de flujo superficial de agua, sugiriendo un menor potencial de arrastre de sedimentos de diversos tamaños respecto a las cuencas con tiempos de retorno más cortos. Así mismo, existe un mayor tiempo de respuesta frente a lluvias extensas que puedan generar crecidas súbitas o avenidas torrenciales que pongan en peligro la comunidad aguas abajo.

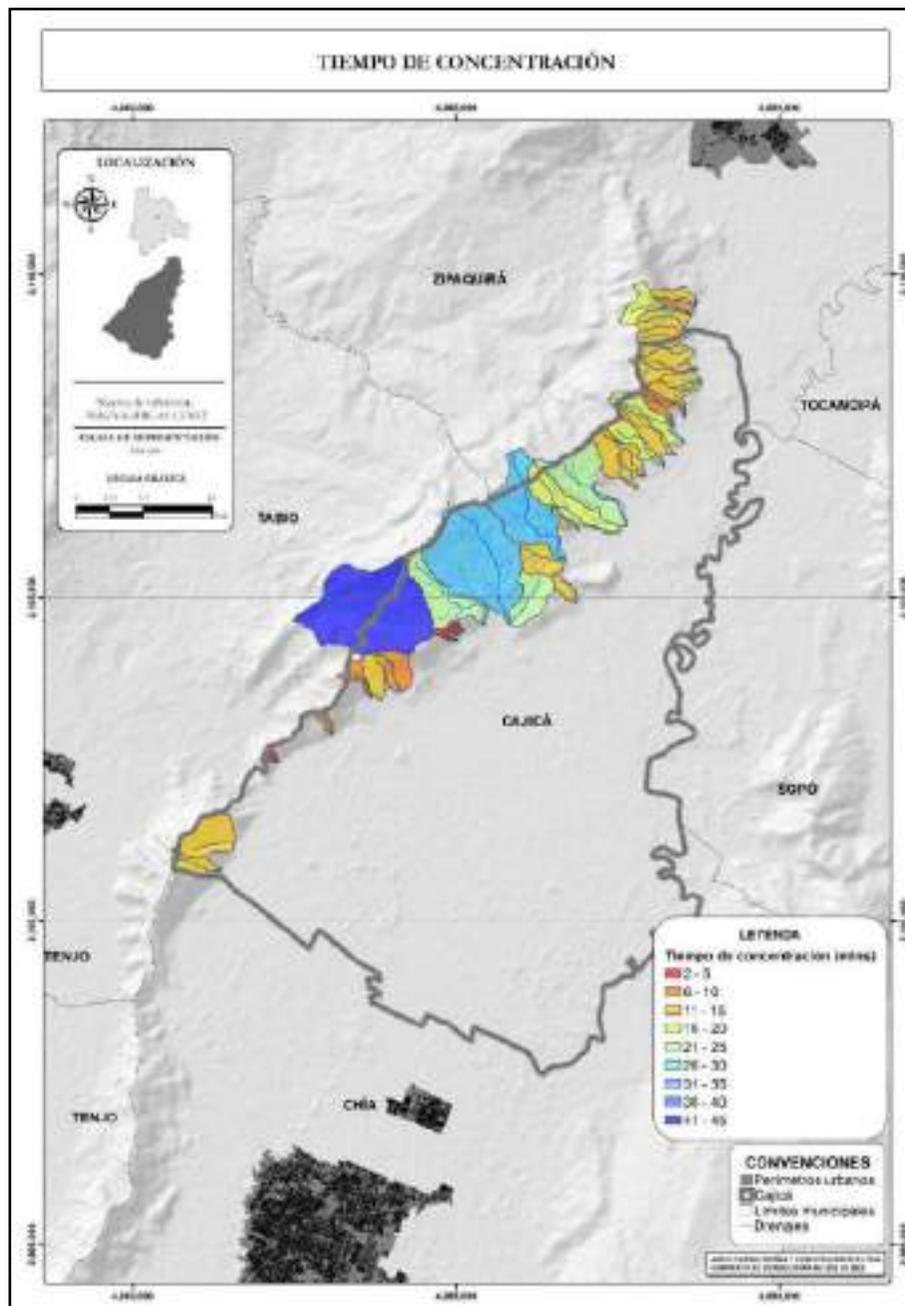


Ilustración 158. Tiempo de concentración de las microcuencas.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).



### 1.5.12.1.5.3. Tiempo de retardo o rezago

El Tiempo de Retardo o de Rezago ( $T_{lag}$ ) corresponde al tiempo que transcurre entre la precipitación y el caudal máximos de cada unidad hidrográfica, representando el tiempo de retardo de la lluvia (Vélez & Botero, 2011). Esta variable depende principalmente de la longitud, el desnivel del cauce, las características geomorfológicas de la cuenca y la magnitud de escorrentía.

Se puede determinar a partir de los registros de lluvia. Sin embargo, el Tiempo de Retardo representa aproximadamente el 60% del tiempo de concentración (Chow e. a., 1988), parámetro estimado en el apartado anterior, y permitiendo utilizar la siguiente relación:

$$T_{lag} = 0.6 * T_c$$

Dónde:

$T_{lag}$  : Tiempo de Retardo

$T_c$  : Tiempo de Concentración

Para la estimación de este parámetro hidrológico, y siguiendo la metodología propuesta por el SGC, se establecieron los tiempos de rezago para las unidades hidrográficas de interés (Tabla 40).

**Tabla 40. Tiempo de retardo ( $T_{lag}$ ) de las microcuencas del municipio de Cajicá.**

| CUENCA | $T_c$ - SCS (MINUTOS) | $T_{lag}$ (MINUTOS) |
|--------|-----------------------|---------------------|
| CH_0   | 98,2                  | 58,9                |
| CH_6   | 54,6                  | 32,8                |
| CH_7   | 43,6                  | 26,2                |
| CH_8   | 21,7                  | 13                  |
| CH_9   | 49,1                  | 29,5                |
| CH_10  | 38,1                  | 22,9                |
| CH_11  | 15,6                  | 9,4                 |
| CH_12  | 16                    | 9,6                 |
| CH_13  | 20,4                  | 12,2                |
| CH_14  | 12,8                  | 7,7                 |
| CH_15  | 7,6                   | 4,6                 |
| CH_16  | 14,1                  | 8,5                 |

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

| <b>CUENCA</b> | <b>Tc - SCS (MINUTOS)</b> | <b>Tlag (MINUTOS)</b> |
|---------------|---------------------------|-----------------------|
| CH_17         | 15,5                      | 9,3                   |
| CH_19         | 17,1                      | 10,3                  |
| CH_20         | 17,1                      | 10,3                  |
| CH_21         | 17,8                      | 10,7                  |
| CH_22         | 17,1                      | 10,2                  |
| CH_23         | 22,9                      | 13,8                  |
| CH_24         | 22                        | 13,2                  |
| CH_25         | 22,3                      | 13,4                  |
| CH_26         | 25,1                      | 15,1                  |
| CH_27         | 20                        | 12                    |
| CH_28         | 31,6                      | 19                    |
| CH_29         | 37,4                      | 22,5                  |
| CH_30         | 25,1                      | 15,1                  |
| CH_31         | 14,4                      | 8,6                   |
| CH_32         | 4,5                       | 2,7                   |
| CH_33         | 2,1                       | 1,2                   |
| CH_34         | 3                         | 1,8                   |
| CH_35         | 7,7                       | 4,6                   |
| CH_36         | 11,5                      | 6,9                   |
| CH_37         | 2,6                       | 1,6                   |
| CH_38         | 6,2                       | 3,7                   |
| CH_39         | 8,8                       | 5,3                   |
| CH_40         | 12,5                      | 7,5                   |
| CH_41         | 6,4                       | 3,8                   |

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Cabe resaltar que el Tiempo de Rezago tiene influencia no sólo de la escorrentía superficial directa, sino también depende de la precipitación directa en el cauce, del nivel de agua subterránea y del flujo subsuperficial en la cuenca.

Las unidades hidrográficas de mayor longitud cuentan con tiempos de retardo del orden de los 30 a 50 minutos, representando un lapso temporal relativamente extenso entre el inicio de una precipitación, y el pico del caudal del drenaje principal. No obstante, algunas cuencas pequeñas

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

cuentan con tiempos de rezago cercanos a los 5 minutos, sugiriendo la rapidez de flujo de estos drenajes.

### 1.5.12.2. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

Las curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración (IDF) son insumos significativos en la estimación de los diferentes caudales de diseño para cada una de las cuencas establecidas que influyen dentro del área de estudio. Ante la ausencia de registros de caudales en los drenajes principales del municipio, se hace necesario recurrir a los modelos de lluvia escorrentía para el cálculo de los caudales máximos, donde las curvas IDF se hacen relevantes para este proceso, ya que representan las intensidades máximas de la lluvia para distintos intervalos de tiempo en una misma área, teniendo en cuenta diferentes periodos de retorno o probabilidades de excedencia de volúmenes de precipitación depositados en el área.

Para la determinación de las intensidades de los eventos se consultó en primera instancia la información disponible por el IDEAM, en la cual no se encontraron curvas IDF disponibles en la zona, razón por la cual las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia empleadas para el análisis hidrológico de las cuencas pertenecientes a Cajicá fueron construidas a partir del método de “regionalización de intensidad duración frecuencia para Colombia” elaborado por Vargas R. y Díaz Granados M. (1998), donde las curvas se generan a partir de la siguiente ecuación:

$$I = a \times \frac{T^b}{t^c} \times M^d \times N^e \times PT^f$$

Donde:

**I:** Intensidad de la tormenta (mm/h).

**T:** Período de retorno en años.

**t:** Duración en horas.

**M:** Promedio del valor máximo de precipitación diaria.

**N:** Número de días con lluvia en el año.

**PT:** Precipitación media anual en milímetros.

**a, b, c, d, e y f:** coeficientes estimados para cada región del país.

Siguiendo la metodología propuesta, los coeficientes de regionalización (a,b,c,d,e,f) de las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia fueron estimados mediante regresiones, donde los

|  |  |                                 |  |
|--|--|---------------------------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS |  |

resultados obtenidos por Vargas-Díaz para la Región Andina (R1), donde se localiza el municipio de Cajicá, se muestran en la Tabla 41.

**Tabla 41. Coeficientes de regionalización de las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia.**

| a    | b    | c    | d    | e     | f    |
|------|------|------|------|-------|------|
| 1,61 | 0,19 | 0,65 | 0,75 | -0,15 | 0,08 |

**Fuente:** Vargas & Díaz (1998).

Respecto a los parámetros M, N y PT, estos fueron determinados a partir de las series de precipitación diaria utilizada para el análisis climático del municipio de Cajicá. La Tabla 42 exhibe el resumen de los parámetros utilizados para cada una de las estaciones de análisis.

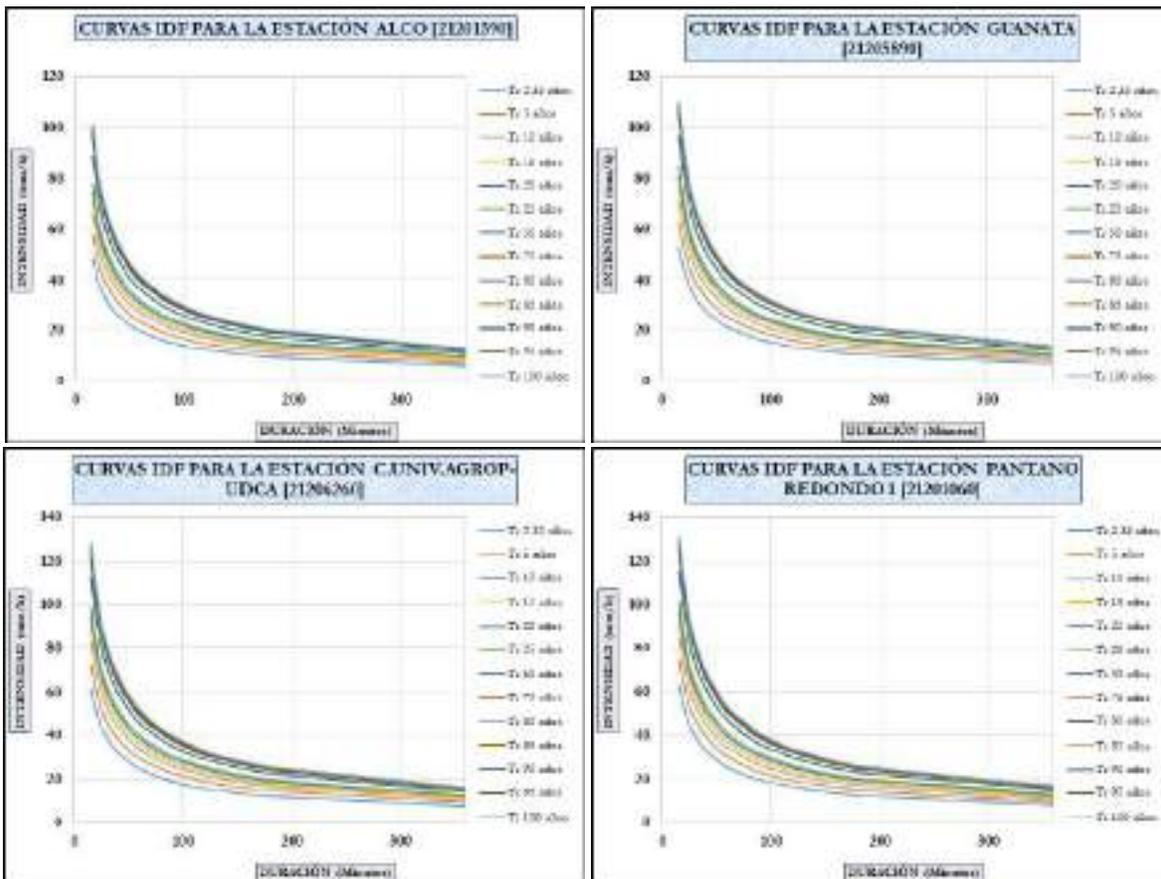
**Tabla 42. Parámetros M,N y PT de las estaciones de análisis.**

| ESTACIÓN                     | PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS PROMEDIO (M) | NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA (N) | PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL (PT) |
|------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------------|
| ALCO [21201590]              | 33,61                                      | 194                           | 649,18                             |
| C.UNIV.AGROP-UDCA [21206260] | 43,91                                      | 183                           | 901,76                             |
| GUANATA [21205890]           | 36,76                                      | 197                           | 825,07                             |
| LA COSECHA - AUT [21205910]  | 43,91                                      | 163                           | 826,84                             |
| PANTANO REDONDO 1 [21201060] | 44,13                                      | 183                           | 1196,64                            |
| SANTILLANA [21206020]        | 35,15                                      | 160                           | 869,53                             |
| STA ISABEL [21201760]        | 26,56                                      | 83                            | 528,58                             |
| SUASUQUE [21205920]          | 38,49                                      | 172                           | 881,79                             |
| TABIO GRANJA [21201630]      | 43,88                                      | 201                           | 938,27                             |

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Haciendo uso de la expresión propuesta por Vargas & Díaz (1998) para los periodos de retorno de eventos de lluvia de 2.33, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 80, 85, 90, 95 y 100 años, se construyeron las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia exhibidas en el mosaico de la Ilustración 159.

Conforme los resultados obtenidos para la totalidad de estaciones utilizadas en el análisis de la precipitación en la región, se puede apreciar que se esperan lluvias intensas, del orden de los 40 a 60mm en la región en periodos de retorno de 2.33 años. Según las curvas IDF se esperarían volúmenes de precipitación superiores a los 70mm con un tiempo de recurrencia mínimo de 10 años, y eventos de lluvia de más de 110mm en 24 horas se espera que ocurran al menos una vez cada 100 años.





ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ

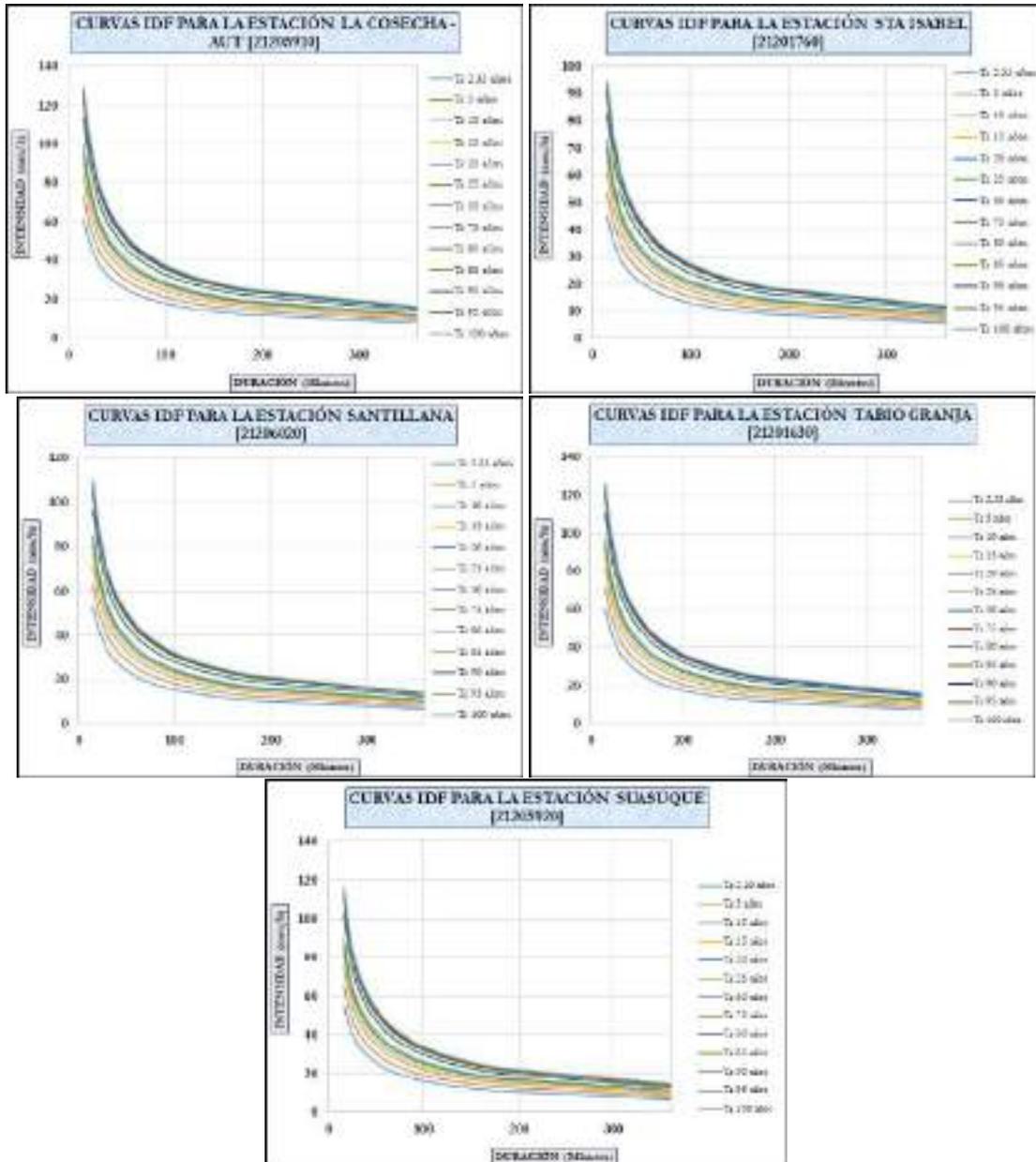


Ilustración 159. Mosaico de Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) para las estaciones de análisis.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.12.3. Análisis de Frecuencia de Eventos Extremos

La ocurrencia de eventos de precipitaciones extremas no es posible de pronosticar a largo plazo y con suficiente exactitud a partir de procesos determinísticos, razón por la cual se requiere apelar a procesos probabilísticos para suponer la ocurrencia, en tiempo y magnitud, de lluvias de altas intensidades que puedan desencadenar procesos degradativos (Tito, Zamanillo, & Díaz, 2016). Para la descripción estadística de la precipitación se utilizan diferentes funciones de distribución de probabilidades, mediante la estimación de frecuencias de ocurrencia de eventos extremos para diferentes tiempos de retorno o de recurrencia de las mismas.

Para determinar las precipitaciones máximas mediante funciones de probabilidad, se utilizan como insumos las precipitaciones máximas diarias registradas en cada mes y para cada año a lo largo del lapso temporal disponible de los datos observados, es decir, de los registros de las estaciones meteorológicas evaluadas en la caracterización hídrica del municipio de Cajicá.

A partir de estos valores de entrada, y organizados de mayor a menor volumen registrado, se estiman los eventos de precipitaciones máximos para distintos periodos de retorno mediante diferentes funciones de probabilidad, buscando elegir aquella metodología que muestre mejor bondad de ajuste con los datos observados. Para estimar las precipitaciones máximas en la región de estudio, se evaluaron las siguientes funciones probabilísticas:

- ✓ Gumbel
- ✓ Exponencial de Gumbel
- ✓ Normal
- ✓ Exponencial normal
- ✓ Gamma
- ✓ Pearson tipo III
- ✓ Exponencial de Pearson tipo III

Para establecer la función de probabilidad de mejor bondad de ajuste respecto a los valores observados desde las estaciones meteorológicas de la región, se utilizó la prueba de Chi o Ji Cuadrado, cuyo resumen se presenta en la Tabla 43.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>Arco<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

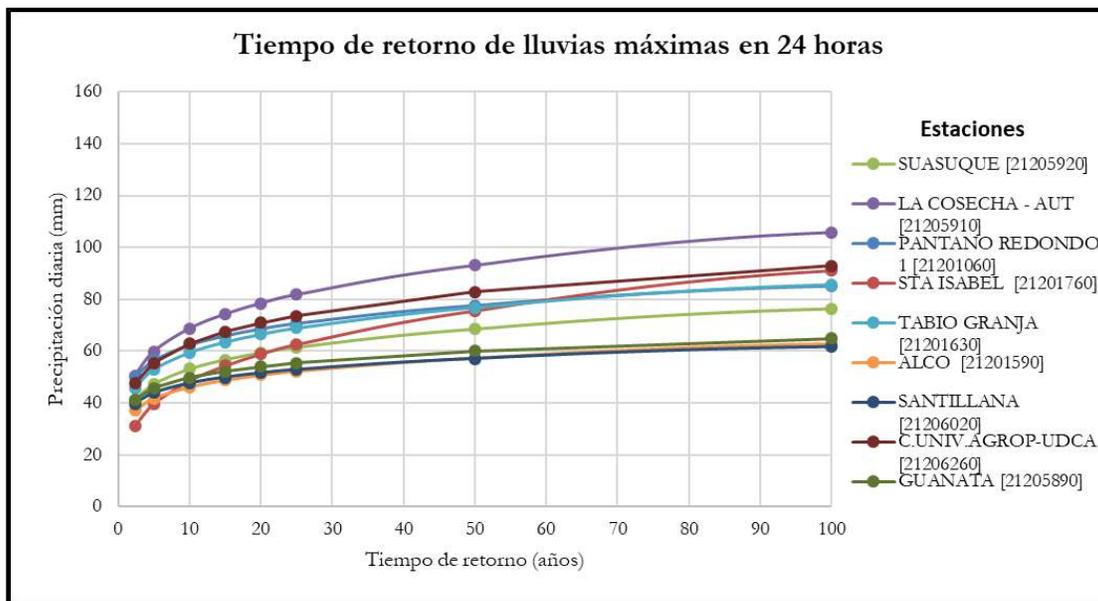
Tabla 43. Chi cuadrado de funciones de probabilidad vs datos observados.

| ESTACIÓN                           | GUMBEL      | EXP<br>GUMBEL | NORMAL      | EXP<br>NORMAL | GAMMA       | PEARSON<br>III |
|------------------------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|----------------|
| C.UNIV.AGROP-<br>UDCA [21206260]   | 0,991410798 | 0,999725810   | 0,432308640 | 0,941845335   | 0,855287643 | 0,999996879    |
| GUANATA<br>[21205890]              | 1           | 1             | 0,999999990 | 1             | 1           | 1              |
| SUASUQUE<br>[21205920]             | 0,999755008 | 0,999996600   | 0,865102440 | 0,994997377   | 0,983114148 | 0,999999999    |
| SANTILLANA<br>[21206020]           | 1           | 1             | 0,999999990 | 1             | 1           | 1              |
| STA ISABEL<br>[21201760]           | 0,532523880 | 0,997560430   | 0,007196300 | 0,649792437   | 0,232487157 | 0,999880683    |
| TABIO GRANJA<br>[21201630]         | 0,999376570 | 0,999982650   | 0,827747940 | 0,990023205   | 0,973659293 | 0,999999761    |
| ALCO [21201590]                    | 1           | 1             | 0,999971670 | 0,999999771   | 0,999999060 | 1              |
| PANTANO<br>REDONDO 1<br>[21201060] | 1           | 1             | 0,999978980 | 0,999999904   | 0,999999653 | 1              |
| LA COSECHA -<br>AUT [21205910]     | 0,999986910 | 0,999999960   | 0,859149040 | 0,999243492   | 0,996257268 | 0,999999994    |

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

A partir de los resultados obtenidos, la función de distribución que mejor obtuvo resultados para las estaciones emplazadas en la región de estudios es la correspondiente a la metodología “Exponencial de Gumbel”.

Para representar gráficamente las precipitaciones máximas esperadas para periodos de retorno de 2.33 a 100 años, la Ilustración 160 muestra las gráficas correspondientes a la función exponencial de Gumbel a partir de los registros de las estaciones meteorológicas evaluadas.



**Ilustración 160. Lluvias máximas para periodos de retorno de 2.33 a 100 años.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Los resultados obtenidos sugieren la presencia de lluvias del orden de los 30 a 55mm con un periodo de recurrencia de mínimo 2.33 años, presentando los valores máximos en la estación “LA COSECHA – AUT” ubicada al norte del municipio de Cajicá y sus mínimos en la estación “SANTILLANA”, ubicada en cercanías del Río Frío en cercanías del extremo sur de Cajicá. Así mismo, se pronostica al menos un evento extremo (60 a 100mm) cada 100 años, volúmenes de precipitación capaces de saturar el suelo y detonar diferentes procesos erosivos en la región.

Para establecer la distribución espacial de las lluvias máximas con recurrencia de 2.33, 25 y 100 años, se hizo una interpolación de los valores encontrados a partir de la función exponencial de Gumbel para las estaciones de la región, esto mediante la herramienta “Análisis Geoestadístico” de ArcGIS. La Ilustración 161, Ilustración 162 e Ilustración 163, muestra la regionalización de las precipitaciones extremas para el municipio de Cajicá y sus alrededores. La Ilustración 161 muestra la regionalización de precipitaciones máximas para el municipio de Cajicá para una recurrencia de 2,33 años.

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> |   |

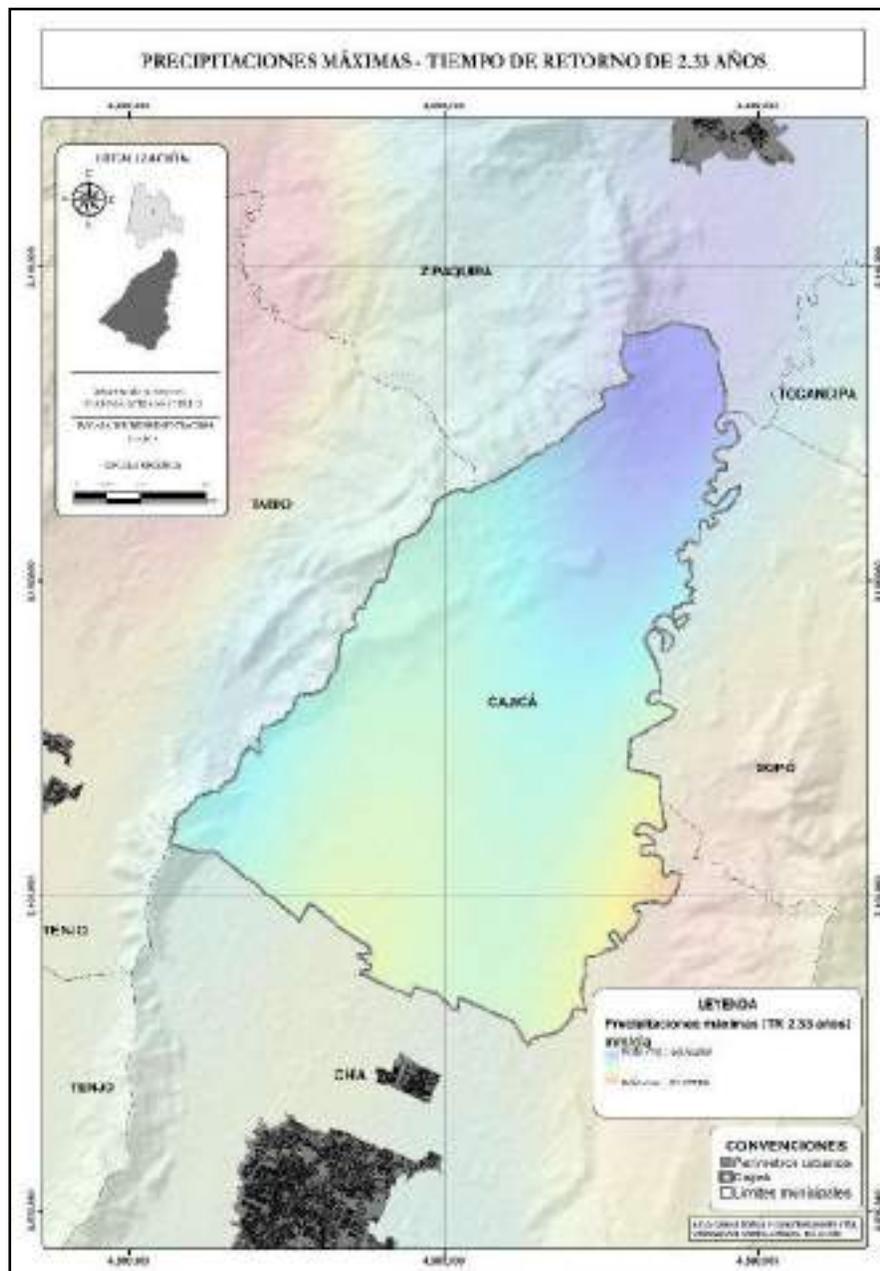
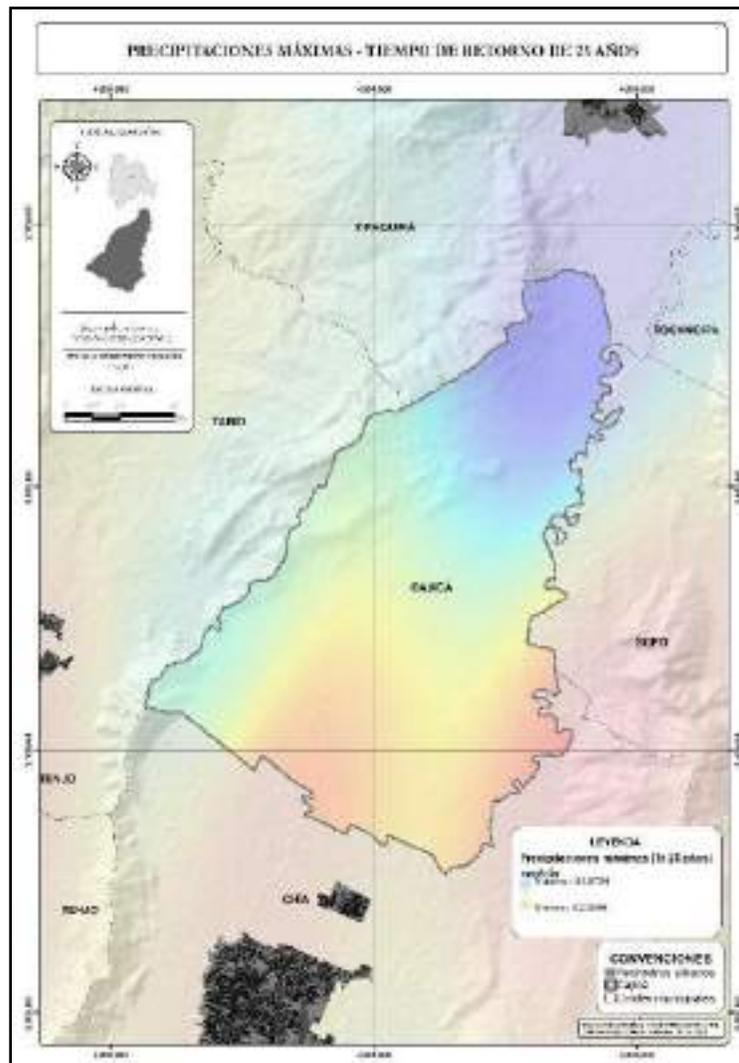


Ilustración 161. Precipitaciones máximas esperadas para periodos de retorno de 2,33 años.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

Conforme los resultados obtenidos, se estimaron precipitaciones máximas encima de los 40mm para la totalidad del territorio comprendido por el municipio de Cajicá, sugiriendo lluvias de hasta 50mm en el extremo noroccidental del municipio. Caso contrario, se esperan lluvias intensas, pero de menores magnitudes, en la zona sur y suroriental del municipio, asociado a los valles de los ríos Frío y Bogotá. La Ilustración 162 muestra los resultados de la interpolación de lluvias máximas para un periodo de retorno de 25 años.



**Ilustración 162. Precipitaciones máximas esperadas para periodos de retorno de 25 años.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

Para un periodo de recurrencia se estimaron precipitaciones máximas en el margen norte y noroccidental del orden de los 80mm. Por otra parte, en la zona suroriental se espera al menos un evento de lluvia mayor a los 55mm en el lapso de 25 años. La regionalización de las precipitaciones máximas para el periodo de retorno de 100 años se presenta en la Ilustración 163.

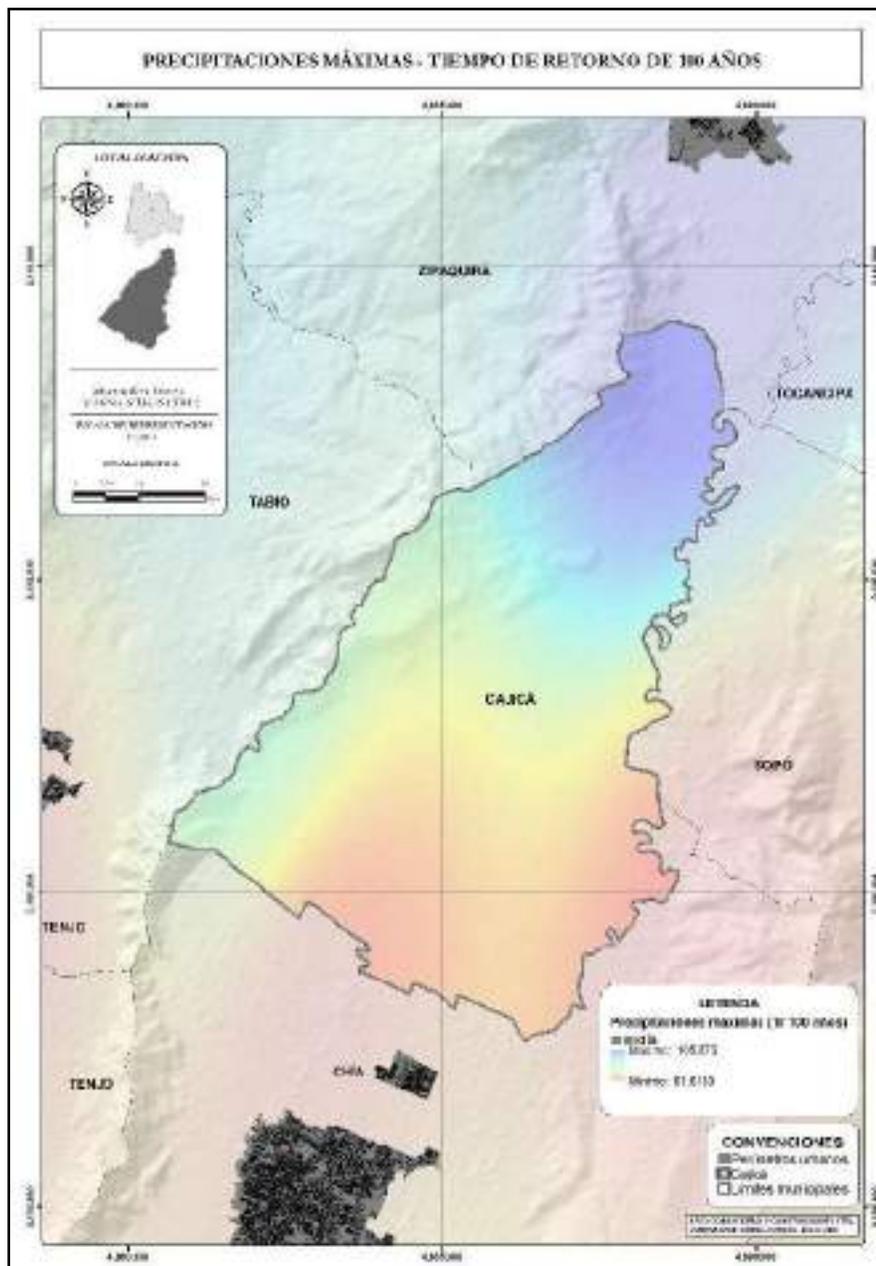


Ilustración 163. Precipitaciones máximas esperadas para periodos de retorno de 100 años.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

La región sur y occidental del municipio de Cajicá, en cercanías de los ríos Bogotá y Frío, representan las zonas donde se esperarían lluvias máximas de menores magnitudes, variando desde los 40 a los 70mm en 24 horas. Caso contrario, en la parte noroccidental del municipio, sobre la cadena montañosa, se pronostican los mayores volúmenes de precipitaciones del área, con eventos desde los 50 hasta los 100mm.

#### 1.5.12.4. Régimen Hidrológico

##### 1.5.12.4.1. Caracterización de los caudales

A partir de la información de las estaciones de tipo limnimétrica dispuestas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) se seleccionan las siguientes series mensuales multianuales las cuales caracterizan los valores de caudales medios, máximo y mínimos de las corrientes del Río Bogotá (Refisal [2120987], Puente Vargas [2120734], La Balsa Chía [2120742] y Puente La Virgen [2120973]), Río Frío (Pozo Hondo [2120966], Puente Calamar [2120925], Puente La Virginia [2120735] y Puente Cacique [2120960]) y Quebrada Tinca (Antes Acueducto Tabio [2120923]). Se debe destacar que todas las estaciones (ver Tabla 44) se encuentran activas.

**Tabla 44. Estaciones limnimétrica disponibles CAR-IDEAM para el área de estudio.**

| CÓD.    | NOMBRE                | TIPO | CATEGORÍA    | ESTADO | LOCALIZACIÓN |          |          |      | INSTALADA | SUBZONA HIDRO |
|---------|-----------------------|------|--------------|--------|--------------|----------|----------|------|-----------|---------------|
|         |                       |      |              |        | MUNICIPIO    | ALT.     | LAT.     | LOG. |           |               |
| 2120923 | ANTES ACUEDUCTO TABIO | LM   | Limnimétrica | Activa | Tabio        | 4,930361 | -74,1076 | 2669 | 1975      | Q. TINCA      |
| 2120734 | PUENTE VARGAS         | LM   | Limnimétrica | Activa | Cajicá       | 4,920972 | -74,006  | 2574 | 1824      | RÍO BOGOTA    |
| 2120742 | LA BALSA CHIA         | LM   | Limnimétrica | Activa | Chía         | 4,829556 | -74,0708 | 2568 | 1843      | RÍO BOGOTA    |
| 2120973 | PUENTE LA VIRGEN      | LM   | Limnimétrica | Activa | Cota         | 4,79925  | -74,0959 | 2565 | 1844      | RÍO BOGOTA    |
| 2120987 | REFISAL               | LM   | Limnimétrica | Activa | Cajicá       | 4,97375  | -73,9969 | 2573 | 1820      | RÍO BOGOTA    |
| 2120735 | PUENTE LA VIRGINIA    | LM   | Limnimétrica | Activa | Tabio        | 4,926056 | -74,0682 | 2593 | 1846      | RÍO FRIO      |
| 2120925 | PUENTE CALAMAR        | LM   | Limnimétrica | Activa | Tabio        | 4,9745   | -74,0685 | 2647 | 1821      | RÍO FRIO      |
| 2120960 | PUENTE CACIQUE        | LM   | Limnimétrica | Activa | Chía         | 4,854667 | -74,0675 | 2573 | 1843      | RÍO FRIO      |
| 2120966 | POZO HONDO            | LM   | Limnimétrica | Activa | Zipaquirá    | 5,070944 | -74,0555 | 3013 | 1852      | RÍO FRIO      |

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).



La ubicación de las estaciones limnimétricas utilizadas en el procesamiento y análisis de la caracterización de los caudales de los drenajes principales en el municipio de Cajicá se presenta en la Ilustración 164.

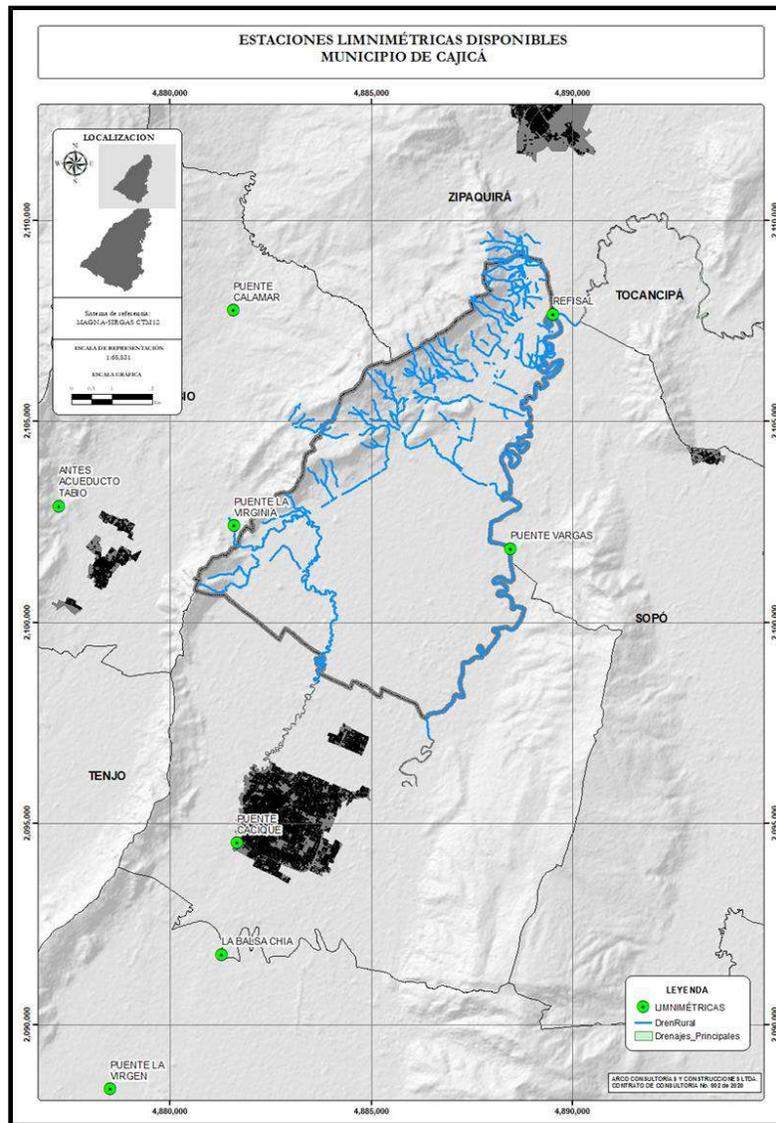


Ilustración 164. Estaciones limnimétricas utilizadas para el análisis de caudales.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

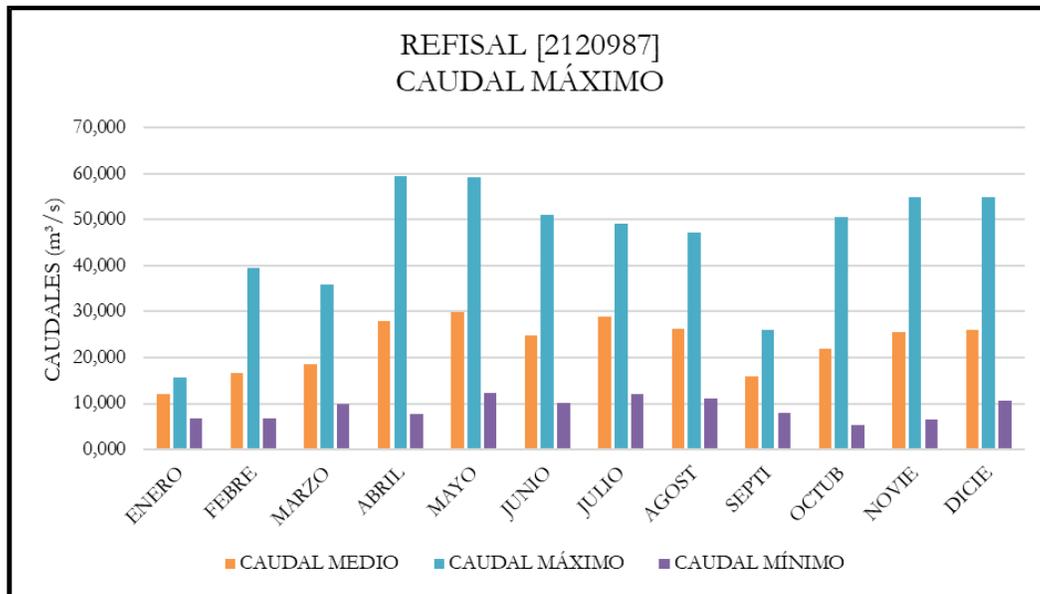
|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

La evaluación de este parámetro se basó en los lineamientos de la “Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales”<sup>5</sup>, la Guía de Prácticas Climatológicas (OMM, 2011). El criterio de selección se basa en verificar el estado de la estación si se encuentra activa o suspendida, la temporalidad de las series donde se abarquen eventos extremos como los ocurridos en el 2010-2011 con los efectos climáticos de la Niña y que estas se encuentren dentro de la zona de estudio.

#### 1.5.12.4.2. Caudales máximos

La caracterización de los caudales máximos correspondientes a la corriente del río Bogotá el cual limita con el municipio de Cajicá-Cundinamarca sobre la zona oriental del municipio están registrados en las estaciones de Refisal [2120987], Puente Vargas [2120734], La Balsa Chía [2120742] y Puente La Virgen [2120973], ubicadas desde aguas arriba hacia aguas abajo respectivamente. Sobre la zona norte en el casco urbano del municipio de Cajicá-Cundinamarca se encuentra la estación Refisal [2120987] ubicada a una elevación de 2773 msnm. Como se aprecia en la Ilustración 165, se tiene un comportamiento bimodal con dos temporadas de eventos máximos presentes en abril-mayo en el primer semestre del año y octubre-noviembre-diciembre sobre el segundo semestre del año, no obstante, se registra un evento máximo de 59.5 m<sup>3</sup>/s en el mes de abril del año 2012 lo cual tiene que ver con los efectos climáticos de la Niña; valor similar se evidencia en el mes de mayo con un caudal de 59.19 m<sup>3</sup>/s en el 2013. Para octubre-noviembre-diciembre se disminuyen los caudales con valores de los 50.6, 54.9 y 54.9 m<sup>3</sup>/s registrados en el 2011. Adicionalmente de estos caudales máximos se tiene valores medios que no superan los 29.8 m<sup>3</sup>/s con picos sobre los meses ya mencionados.

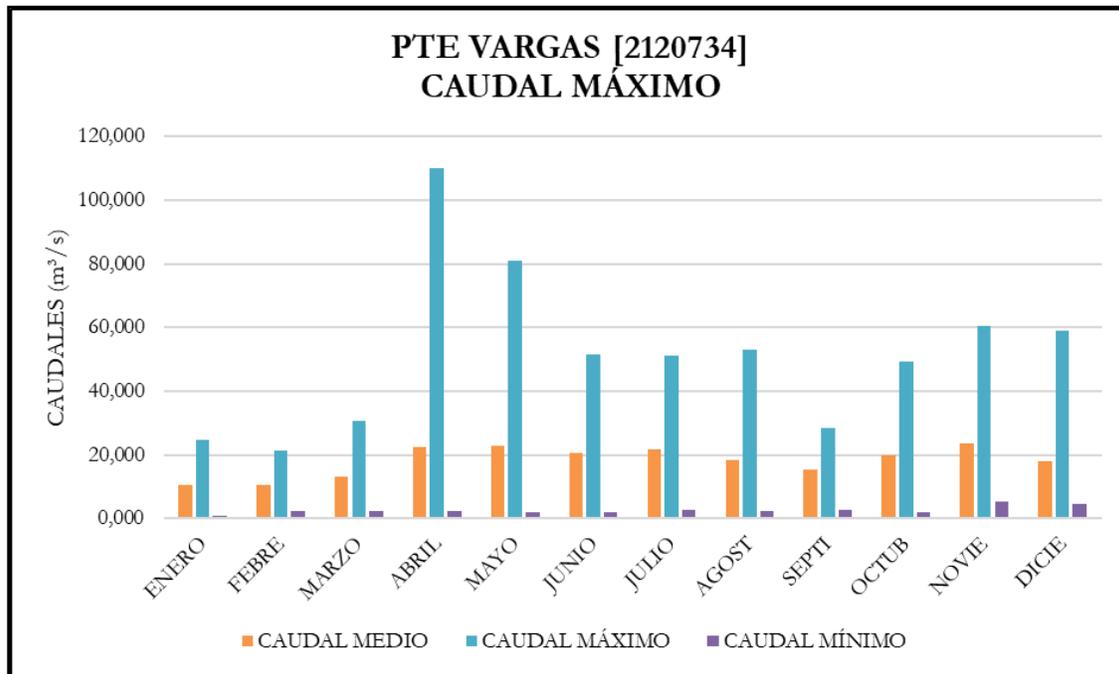
<sup>5</sup> Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial. 2010



**Ilustración 165. Caudales máximos estación Refisal [2120987].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

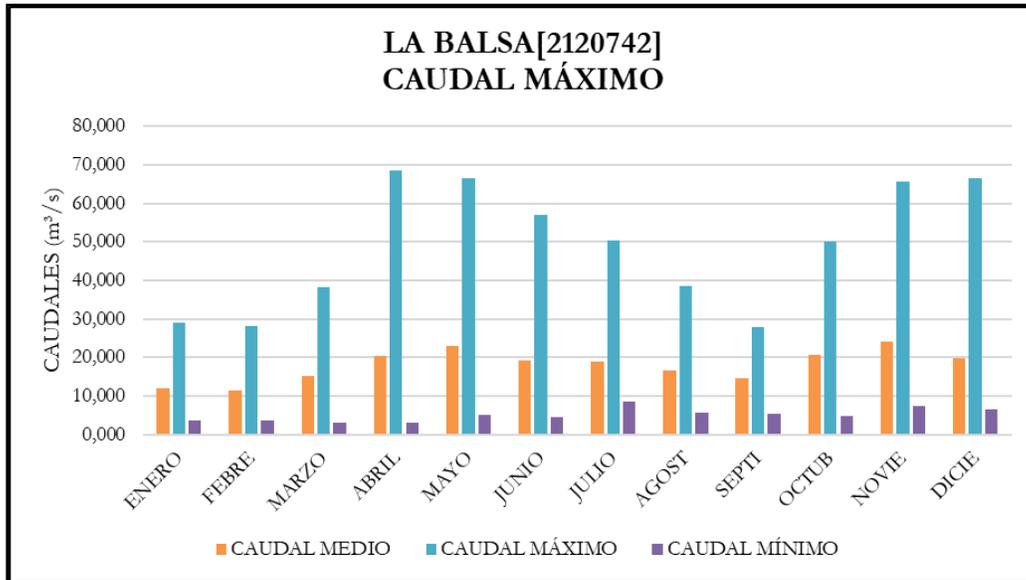
Aguas abajo de la estación Refisal [2120987] se ubica la estación Puente Vargas [2120734] a una altura de 2574 msnm, sobre el oriente del casco urbano del municipio de Cajicá-Cundinamarca. Se tiene registro de un evento máximo sobre el mes de abril con un caudal de 110.0 m<sup>3</sup>/s en el año 2012, lo que significa un incremento significativo con la estación inmediatamente anterior, llegando a duplicar el valor del caudal máximo registrado, esto debido a la intercepción con el río Teusacá. Como se tiene en la Ilustración 166, se conserva el comportamiento bimodal, acentuando más la presencia de eventos máximos sobre el primer semestre del año en abril-mayo y octubre-noviembre-diciembre sobre el segundo semestre del año. Para el mes de mayo se presenta otro pico con un caudal de 80.8 m<sup>3</sup>/s en el 2011, mientras que para octubre-noviembre-diciembre se disminuyen los caudales con valores de los 49.4, 60.5 y 58.8 m<sup>3</sup>/s registrados en 2012, 2011 y 2011. Los valores medios no superan los 23.5 m<sup>3</sup>/s.



**Ilustración 166. Caudales máximos estación Puente Vargas [2120734].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

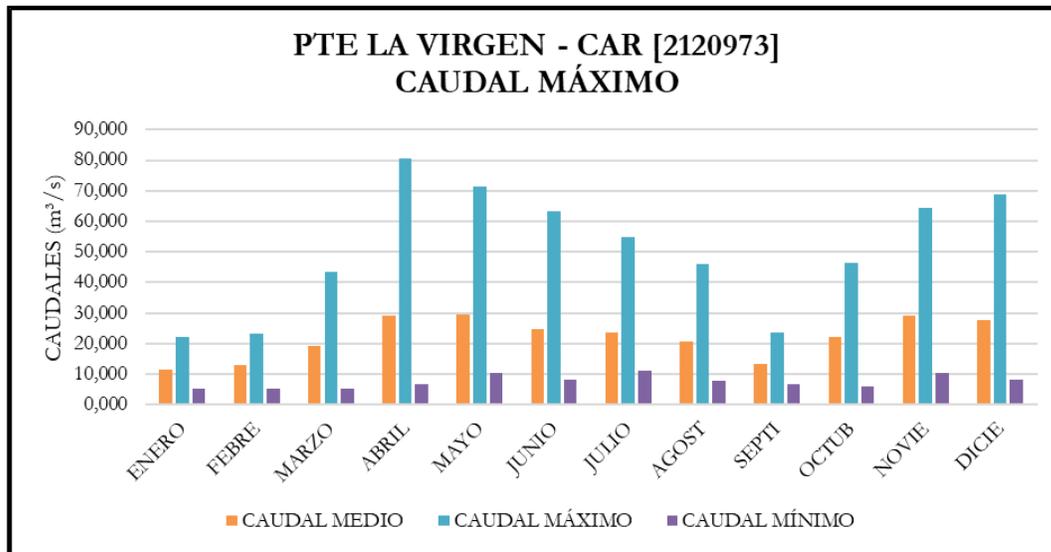
Por último, se toman las estaciones de La Balsa Chía [2120742] (Ilustración 167) y Puente La Virgen [2120973] (Ilustración 168), ubicadas sobre los municipios de Chía (2568 msnm) y Cota (2565 msnm) respectivamente, presentado valores de eventos máximos en el mes abril para las dos estaciones con caudales de 68.7 y 80.43 m<sup>3</sup>/s en el año 2011. Se evidencia el impacto sobre la corriente del río Bogotá en los efectos climáticos de la Niña ocurridos en el 2010-2011.



**Ilustración 167. Caudales máximos estación La Balsa Chía [2120742].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Para estas dos últimas estaciones se muestra un comportamiento similar en los meses de octubre-noviembre-diciembre donde los mayores registros son de 50.0, 65.7 y 68.6 m<sup>3</sup>/s, ubicados sobre los años 2010 y 2011. En cuanto a los caudales máximos medios los registros no superan los 29.5 m<sup>3</sup>/s.



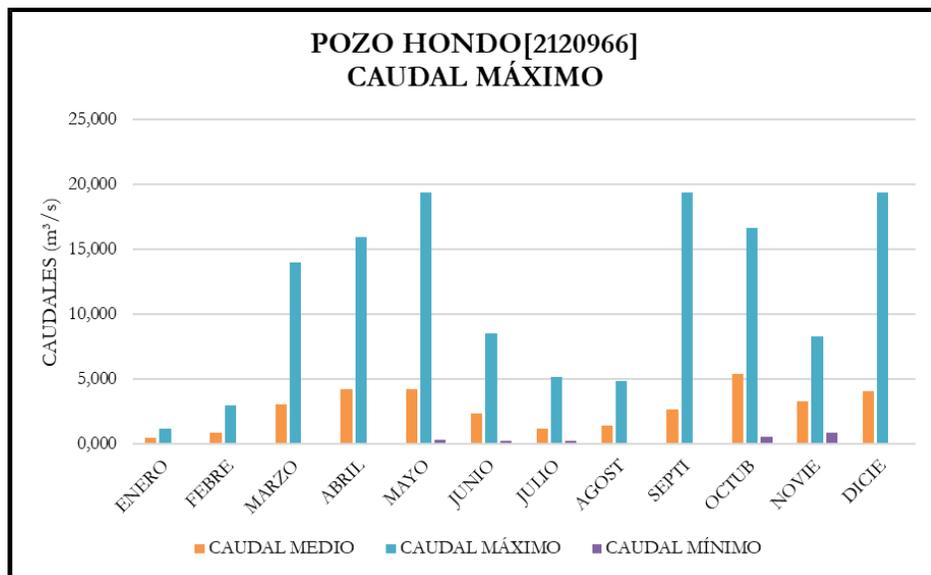
**Ilustración 168. Caudales máximos estación Puente La Virgen [2120973].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Sobre la corriente del río Frio el cual se ubica en la zona norte de la zona rural del municipio de Cajicá-Cundinamarca, llegando hasta el casco urbano y desemboca en el río Bogotá se cuentan con las estaciones limnimétricas de Pozo Hondo [2120966], Puente Calamar [2120925], Puente La Virginia [2120735] y Puente Cacique [2120960], ubicadas desde el punto más lejano aguas arriba hasta el punto de confluencia con el río Bogotá.

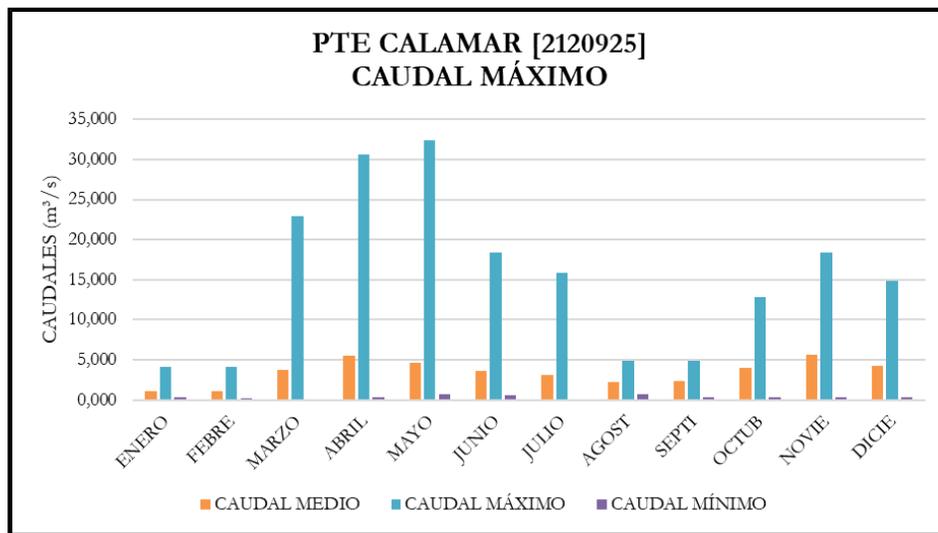
La estación Pozo Hondo [2120966] ubicada en la cuenca alta del cauce, sobre la vereda San Isidro a una altura de 3013 msnm presenta un régimen bimodal como se aprecia en la Ilustración 169 con las épocas de mayores registros en marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-diciembre, registrando valores máximos de hasta 19.4 m<sup>3</sup>/s en los meses de mayo y diciembre en el 2014 para los dos meses.

Aguas abajo se encuentra la estación de Puente Calamar [2120925] (Ilustración 170) a una altura de 2647 msnm sobre el municipio de Tabio entre las veredas de río Frio Occidental y río Frio Oriental. Con un comportamiento bimodal, los valores máximos encontrados se dan sobre el primer semestre del año en los meses de marzo-abril-mayo con caudales de 22.8, 30.6 y 32.3 m<sup>3</sup>/s, registrados en el 2011. Dentro de los caudales máximos medios los registros no superan los 5.6 m<sup>3</sup>/s, presentado un comportamiento constante con respecto a la estación anterior donde los caudales medios no superan los 5.4 m<sup>3</sup>/s, en los meses de mayor precipitación.



**Ilustración 169. Caudales máximos estación Pozo Hondo [2120966].**

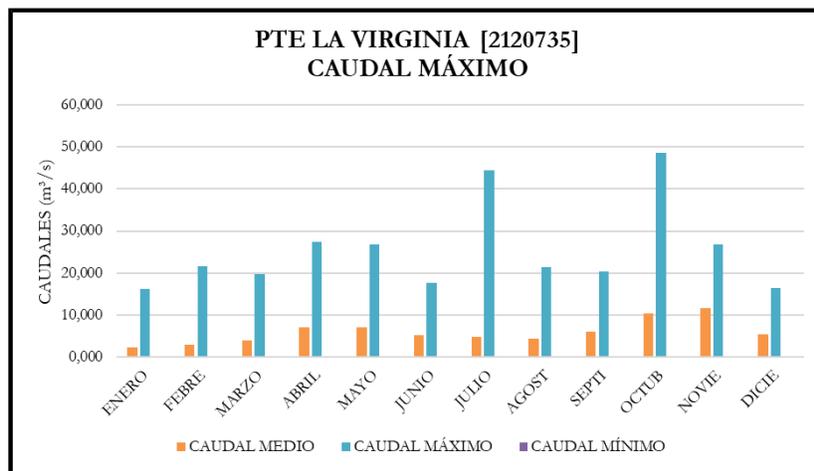
Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).



**Ilustración 170. Caudales máximos estación Puente Calamar [2120925].**

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

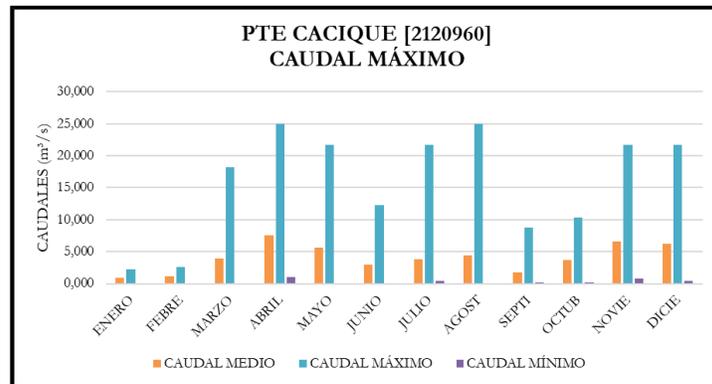
Sobre la zona occidental del casco urbano del municipio de Cajicá-Cundinamarca se encuentra la estación Puente La Virginia [2120735] ubicada a una elevación de 2593 msnm, en la vereda Lourdes en el municipio de Tabio. Como se aprecia en la Ilustración 171 se tiene un comportamiento bimodal con dos temporadas de eventos máximos presentes en abril-mayo en el primer semestre del año y octubre-noviembre sobre el segundo semestre del año, no obstante, se registra un evento máximo de 48.6 m<sup>3</sup>/s en el mes de octubre del año 1979 y un valor extremo de 44.4 m<sup>3</sup>/s en el mes de julio del año 2010 lo cual es producto de los efectos climáticos de la Niña. Para los meses de abril-mayo-noviembre se disminuyen los caudales con valores entre los 26.7 a 27.4 m<sup>3</sup>/s registrados en 1971, 1998 y 1979. Adicionalmente de estos caudales máximos se tiene valores medios que no superan los 11.6 m<sup>3</sup>/s sobre los meses ya mencionados.



**Ilustración 171. Caudales máximos estación Puente La Virginia [2120735].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Por último, se cuenta con la estación de Puente Cacique [2120960] a una altura de 2573 msnm, ubicada hacia la desembocadura en el río Bogotá sobre el municipio de Chía.

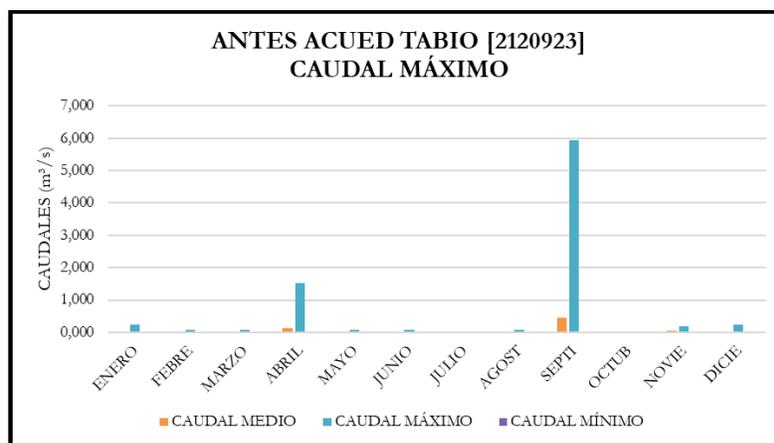


**Ilustración 172. Caudales máximos estación Puente Cacique [2120960].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Como se evidencia en la Ilustración 172, se encuentran eventos máximos en los meses de abril-agosto con valores de 24.9 m<sup>3</sup>/s registrados en el 2019. Adicionalmente como se esperaba de la estación aguas arriba, también se registra el evento del 2010 con un caudal de 21.7 m<sup>3</sup>/s.

Para la quebrada Tinca se cuenta con la estación de medición Antes Acueducto Tabio [2120923], ubicada sobre la vereda Juaica del municipio de Tabio donde los caudales máximos registrados alcanzan los 5.9 m<sup>3</sup>/s en el 2009 sobre el mes de septiembre. Los valores medios oscilan entre los 0.069 m<sup>3</sup>/s y no superan los 0.44 m<sup>3</sup>/s a lo largo del año.



**Ilustración 173. Caudales máximos estación Antes Acueducto Tabio [2120923].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C&C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.12.4.3. Caudales medios

Con el objetivo de identificar las condiciones del caudal medio y régimen hidrológico de las corrientes de los ríos Bogotá, Frio y quebrada Tinca. A continuación, se presenta un compilado de los caudales medios mensuales multianuales para cada una de las estaciones limnimétricas seleccionadas.

**Tabla 45. Caudales medios, medios máximos, medios mínimos (m<sup>3</sup>/s).**

| ESTACIÓN                           | VALORES | ENE   | FEB  | MAR   | ABR  | MAY   | JUN  | JUL  | AGO   | SEP  | OCT   | NOV   | DIC  | ANUAL |
|------------------------------------|---------|-------|------|-------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| REFISAL<br>[2120987]               | MEDIA   | 6,96  | 6,75 | 9,05  | 13,8 | 14,09 | 9,97 | 13,2 | 11,58 | 7,65 | 10,1  | 12,09 | 10,6 | 10,5  |
|                                    | MÁXIMA  | 10,48 | 9,8  | 16,13 | 32,5 | 43,56 | 26,8 | 23,8 | 27,17 | 11   | 22,28 | 29,19 | 25,2 | 43,6  |
|                                    | MINIMA  | 4,71  | 4,17 | 1,54  | 3,6  | 3,32  | 4,52 | 6,84 | 7,02  | 3,71 | 2,8   | 3,97  | 2,8  | 1,5   |
| PUENTE<br>VARGAS<br>[2120734]      | MEDIA   | 7,12  | 7,07 | 8,25  | 11,1 | 11,64 | 11,7 | 12,3 | 11,01 | 9,11 | 10,31 | 12,16 | 8,73 | 10    |
|                                    | MÁXIMA  | 22,86 | 18   | 23,29 | 45,5 | 50,9  | 38,6 | 32,9 | 31,11 | 23,8 | 22,34 | 34,45 | 28,6 | 50,9  |
|                                    | MINIMA  | 0,68  | 1,6  | 1,5   | 1,71 | 1,35  | 1,35 | 2,11 | 1,64  | 1,91 | 1,51  | 3,06  | 1,54 | 0,7   |
| LA BALSA<br>CHIA<br>[2120742]      | MEDIA   | 7,84  | 8    | 9,8   | 12,6 | 13,76 | 12,1 | 12,5 | 11    | 9,57 | 11,93 | 15,65 | 11   | 11,3  |
|                                    | MÁXIMA  | 25,57 | 20,9 | 23,57 | 40,8 | 57,75 | 36   | 28,5 | 28,04 | 21,9 | 24,57 | 39,91 | 39,8 | 57,8  |
|                                    | MINIMA  | 2,03  | 2,12 | 2,19  | 3,51 | 3,41  | 4,02 | 4,8  | 2,89  | 3,81 | 4,08  | 4,92  | 3,17 | 2     |
| PUENTE LA<br>VIRGEN<br>[2120973]   | MEDIA   | 8,35  | 8,42 | 11,19 | 17,1 | 18,73 | 14,5 | 14   | 12,96 | 9,42 | 12,97 | 18,27 | 15,1 | 13,4  |
|                                    | MÁXIMA  | 15,83 | 14,5 | 26,65 | 45,5 | 65,88 | 42,3 | 30,4 | 30,29 | 15   | 25,44 | 41,55 | 43,8 | 65,9  |
|                                    | MINIMA  | 4,38  | 3,7  | 2,98  | 5,04 | 6,65  | 6,73 | 6,98 | 6,16  | 5,06 | 5,56  | 6,85  | 6,17 | 3     |
| POZO<br>HONDO<br>[2120966]         | MEDIA   | 0,29  | 0,33 | 0,58  | 1,63 | 1,53  | 0,84 | 0,81 | 0,58  | 0,56 | 0,96  | 1,48  | 0,67 | 0,9   |
|                                    | MÁXIMA  | 0,73  | 0,81 | 1,62  | 12,5 | 12,94 | 3,39 | 4,03 | 1,25  | 1,02 | 2,4   | 6,37  | 2,71 | 12,9  |
|                                    | MINIMA  | 0,03  | 0,03 | 0,04  | 0,09 | 0,16  | 0,13 | 0,11 | 0,12  | 0,09 | 0,24  | 0,38  | 0,04 | 0     |
| PUENTE<br>CALAMAR<br>[2120925]     | MEDIA   | 0,55  | 0,5  | 0,99  | 1,41 | 1,3   | 1,19 | 1,16 | 0,96  | 0,94 | 1,38  | 1,73  | 1,02 | 1,1   |
|                                    | MÁXIMA  | 1,47  | 1,82 | 2,87  | 6,16 | 3,82  | 2,19 | 3,36 | 2,22  | 2,59 | 3,56  | 4,36  | 2,49 | 6,2   |
|                                    | MINIMA  | 0,12  | 0,06 | 0,03  | 0,12 | 0,33  | 0,14 | 0,05 | 0,4   | 0,23 | 0,17  | 0,23  | 0,05 | 0     |
| PUENTE LA<br>VIRGINIA<br>[2120735] | MEDIA   | 0,69  | 0,66 | 0,91  | 1,65 | 1,88  | 1,57 | 1,48 | 1,12  | 1,57 | 2,58  | 3,19  | 1,48 | 1,6   |
|                                    | MÁXIMA  | 2,13  | 3,12 | 4,59  | 7,68 | 8,27  | 7,98 | 7,63 | 3,38  | 7,47 | 9,05  | 9,19  | 9,45 | 9,4   |
|                                    | MINIMA  | 0     | 0    | 0     | 0    | 0     | 0,01 | 0    | 0     | 0    | 0,01  | 0,01  | 0,01 | 0     |
| PUENTE<br>CACIQUE<br>[2120960]     | MEDIA   | 0,56  | 0,62 | 1,46  | 3,23 | 2,96  | 1,63 | 1,68 | 1,72  | 0,92 | 1,72  | 3,33  | 2,41 | 1,9   |
|                                    | MÁXIMA  | 1,49  | 1,38 | 7,4   | 12,2 | 17,32 | 8,46 | 7,88 | 5,24  | 3,19 | 4,88  | 11,46 | 11   | 17,3  |
|                                    | MINIMA  | 0,02  | 0,01 | 0,02  | 0,69 | 0,02  | 0,08 | 0,28 | 0,07  | 0,13 | 0,11  | 0,63  | 0,15 | 0     |
|                                    | MEDIA   | 0,01  | 0,01 | 0,01  | 0,01 | 0,01  | 0,01 | 0,01 | 0,01  | 0,02 | 0,01  | 0,01  | 0,01 | 0     |



| ESTACIÓN                        | VALORES | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  | ANUAL |
|---------------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ANTES ACUEDUCTO TABIO [2120923] | MÁXIMA  | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,07 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,1   |
|                                 | MINIMA  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Para la corriente del río Bogotá se tiene un valor medio a lo largo del cauce, respecto a las estaciones seleccionadas que van desde los 10.5 m<sup>3</sup>/s hasta 13.4 m<sup>3</sup>/s. Sobre el casco urbano se tienen valores de 7.1 a 11.7 m<sup>3</sup>/s registrados en la estación de Puente Vargas [2120734], además de valores máximos medios de 50.9 m<sup>3</sup>/s en mayo de 2011 y un mínimo de 0.7 m<sup>3</sup>/s, presente en épocas secas. Como previamente se evidencia el régimen de las diferentes corrientes instrumentadas presentan un comportamiento bimodal con dos periodos máximos entre abril-mayo y octubre-noviembre. Por otra parte, a la salida del municipio Cajicá-Cundinamarca, aguas abajo se registran valores máximos entre 57.8 a 65.9 m<sup>3</sup>/s en las estaciones de La Balsa Chía [2120742] y Puente La Virgen [2120973], registrados en los meses de mayo en las épocas de invierno 2010-2011.

Sobre la corriente del Rio Frio se registran valores medios desde 0.9 m<sup>3</sup>/s hasta 1.9 m<sup>3</sup>/s, con valores sobre el casco urbano del municipio de Cajicá-Cundinamarca de aproximadamente 1.6 m<sup>3</sup>/s. Por otra parte, el comportamiento de los registros máximos de los caudales medios se tiene valores de 12.9 m<sup>3</sup>/s en la estación de Pozo Hondo [2120966] ocurrido en abril del 2006, 6.2 m<sup>3</sup>/s en Puente Calamar [2120925] presentado en abril 2011, 9.4 m<sup>3</sup>/s en Puente La Virginia [2120735] en diciembre de 2008, 17.3 m<sup>3</sup>/s en Puente Cacique [2120960] en mayo de 2011.

Por último, sobre la quebrada Tinca en la estación de Antes Acueducto Tabio [2120923], se tiene un valor medio de 0.01 m<sup>3</sup>/s con un registro máximo de 0.07 m<sup>3</sup>/s.

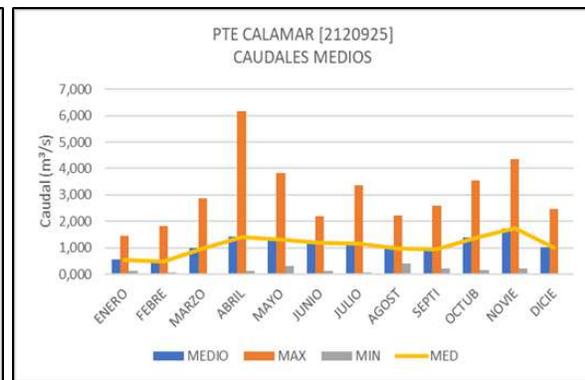
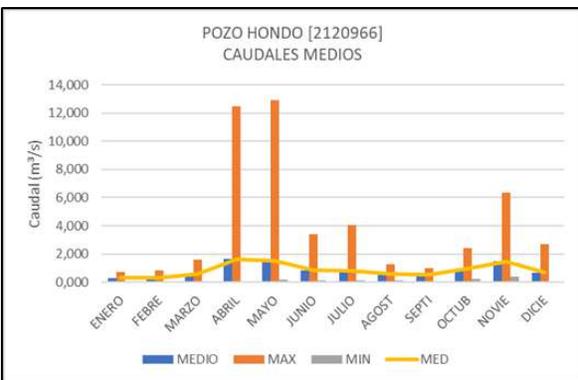
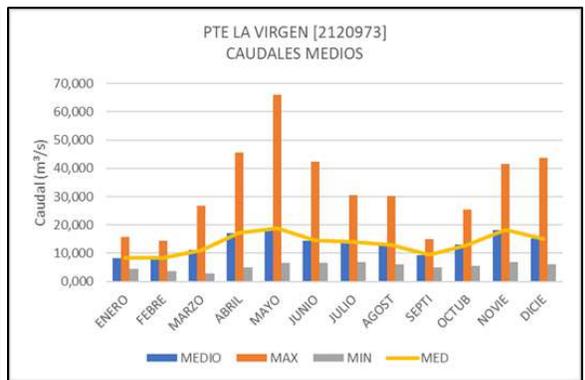
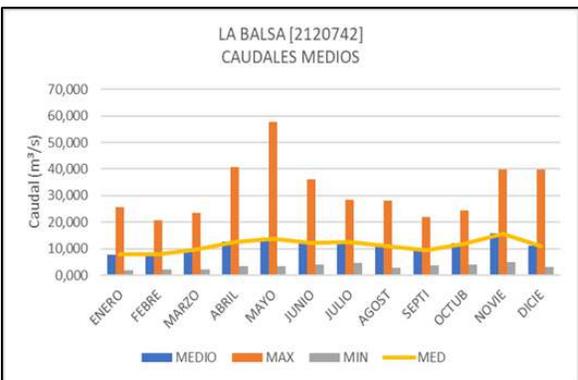
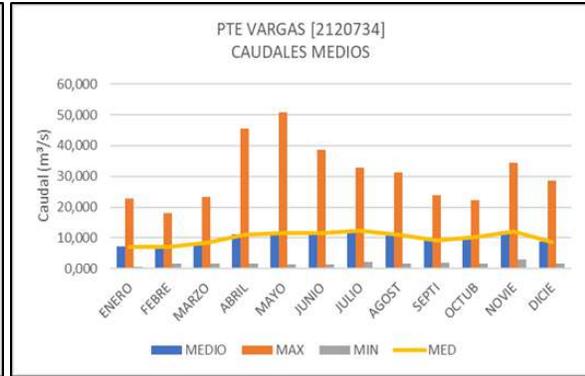
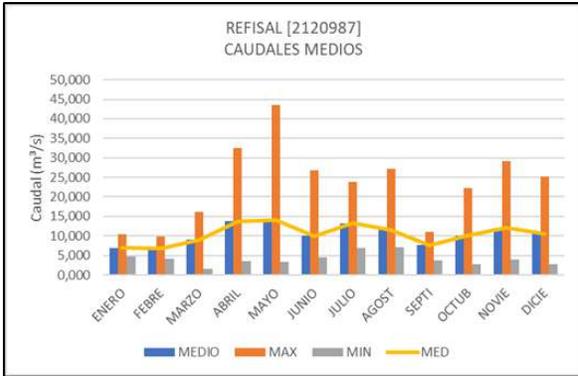


ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ





**Ilustración 174. Caudales medios estaciones seleccionada Cajicá (Cundinamarca).**

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.12.4.4. Caudales mínimos

Los valores de caudales mínimos junto a los medios permiten identificar el comportamiento precedente que tiene las diferentes corrientes al momento de presentar un evento máximo, lo cual como ya se menciona es uno de ellos factores que condiciona la probabilidad de ocurrencia. En la Tabla 46, se compilan los registros de las diferentes estaciones que miden los caudales de los ríos Bogotá, Frio y quebrada Tínc.

**Tabla 46. Caudales mínimos, medios mínimos, máximos mínimos (m<sup>3</sup>/s).**

| ESTACIÓN                     | VALORES | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY   | JUN   | JUL  | AGO   | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  | ANUAL |
|------------------------------|---------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| <b>REFISAL<br/>[2120987]</b> | MEDIA   | 4    | 3,19 | 4,21 | 4,3  | 7,47  | 4,59  | 5    | 6,88  | 2,85 | 3,4  | 4,73 | 3,98 | 4,55  |
|                              | MÁXIMA  | 7,38 | 5,68 | 7,93 | 8,12 | 34,41 | 15,61 | 6,83 | 17,39 | 5,68 | 6,26 | 8,92 | 9,41 | 34,41 |
|                              | MINIMA  | 0,91 | 1,03 | 0    | 0,25 | 0,29  | 0,62  | 1,99 | 2,31  | 1,05 | 0,43 | 1,23 | 0,86 | 0     |

|  |   |  |               |  |
|--|---|--|---------------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>         INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>         RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>         CUNDINAMARCA</b> |  |               | <br>ARCO<br>C&C |
|  | <b>ASPECTOS<br/>         GENERALES<br/>         SUELO RURAL</b>   | <b>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>         DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |  |

| ESTACIÓN                                  | VALORES | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   | ANUAL |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>PUENTE VARGAS</b><br>[2120734]         | MEDIA   | 4,63  | 4,8   | 5,07  | 5,27  | 6,29  | 7,16  | 7,54  | 6,63  | 5,17  | 4,96  | 6,04  | 4,65  | 5,68  |
|   | MÁXIMA  | 18,73 | 14,07 | 19,33 | 13,34 | 35,77 | 30,15 | 21,91 | 21,22 | 17,69 | 12,29 | 26,44 | 16,89 | 35,77 |
|   | MINIMA  | 0,3   | 1     | 1,17  | 1,41  | 0,96  | 0,96  | 0,99  | 0,7   | 0,86  | 0,39  | 0,21  | 0,7   | 0,21  |
| <b>LA BALSA CHIA</b><br>[2120742]         | MEDIA   | 4,98  | 5,5   | 6,05  | 6,51  | 8,04  | 7,66  | 8,11  | 7,23  | 5,73  | 5,98  | 8,53  | 5,5   | 6,65  |
|   | MÁXIMA  | 19,63 | 17,63 | 15,97 | 14,31 | 47,01 | 26,53 | 20,87 | 20,85 | 17,11 | 16,36 | 31,83 | 16,54 | 47,01 |
|   | MINIMA  | 1,3   | 1,51  | 1,34  | 1,29  | 1,85  | 1,61  | 1,64  | 1,33  | 1,54  | 1,72  | 1,97  | 1,93  | 1,29  |
| <b>PUENTE LA VIRGEN</b><br>[2120973]      | MEDIA   | 6,29  | 6,22  | 6,86  | 7,21  | 12,74 | 9,31  | 9,06  | 8,9   | 7,12  | 7,02  | 9,55  | 7,41  | 8,14  |
|   | MÁXIMA  | 11,06 | 11,59 | 13,66 | 11,3  | 55,91 | 24,94 | 15,36 | 20,48 | 11,22 | 9,84  | 21,93 | 16,26 | 55,91 |
|   | MINIMA  | 2,89  | 2,73  | 2,32  | 2,62  | 3,58  | 3,58  | 3,12  | 4,64  | 3,18  | 3,32  | 5,41  | 3,07  | 2,32  |
| <b>POZO HONDO</b><br>[2120966]            | MEDIA   | 0,19  | 0,18  | 0,22  | 0,33  | 0,52  | 0,43  | 0,39  | 0,34  | 0,3   | 0,3   | 0,37  | 0,26  | 0,32  |
|   | MÁXIMA  | 0,58  | 0,52  | 0,72  | 0,95  | 3,06  | 1,06  | 1,11  | 0,74  | 0,71  | 1,06  | 0,86  | 0,52  | 3,06  |
|   | MINIMA  | 0     | 0     | 0     | 0,04  | 0,04  | 0,09  | 0,09  | 0,02  | 0,06  | 0,04  | 0,04  | 0,03  | 0     |
| <b>PUENTE CALAMAR</b><br>[2120925]        | MEDIA   | 0,33  | 0,29  | 0,38  | 0,43  | 0,58  | 0,61  | 0,59  | 0,59  | 0,48  | 0,67  | 0,56  | 0,45  | 0,5   |
|   | MÁXIMA  | 0,75  | 1,04  | 1,53  | 1,01  | 1,33  | 1,19  | 1,53  | 1,38  | 0,87  | 2,24  | 0,92  | 1,04  | 2,24  |
|   | MINIMA  | 0     | 0     | 0     | 0,09  | 0,11  | 0,06  | 0,02  | 0,21  | 0,11  | 0,02  | 0,04  | 0     | 0     |
| <b>PUENTE LA VIRGINIA</b><br>[2120735]    | MEDIA   | 0,39  | 0,31  | 0,35  | 0,45  | 0,68  | 0,63  | 0,71  | 0,57  | 0,71  | 0,69  | 0,93  | 0,53  | 0,58  |
|   | MÁXIMA  | 1,27  | 1,15  | 1,52  | 2,28  | 3,99  | 1,7   | 1,66  | 1,41  | 5,19  | 2,47  | 3,21  | 1,69  | 5,19  |
|   | MINIMA  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| <b>PUENTE CACIQUE</b><br>[2120960]        | MEDIA   | 0,3   | 0,35  | 0,49  | 0,64  | 1,61  | 0,86  | 0,85  | 0,78  | 0,52  | 0,61  | 1,19  | 0,68  | 0,74  |
|   | MÁXIMA  | 0,85  | 0,83  | 2,27  | 1,45  | 12,52 | 4,93  | 3,18  | 2,09  | 1,14  | 2,15  | 3,08  | 2,11  | 12,52 |
|   | MINIMA  | 0,01  | 0     | 0,01  | 0,04  | 0,01  | 0,02  | 0,13  | 0,05  | 0,04  | 0,02  | 0,12  | 0,04  | 0     |
| <b>ANTES ACUEDUCTO TABIO</b><br>[2120923] | MEDIA   | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0     | 0,01  | 0,01  | 0     | 0     | 0,01  | 0,01  |
|   | MÁXIMA  | 0,06  | 0,06  | 0,06  | 0,06  | 0,06  | 0,06  | 0,02  | 0,06  | 0,06  | 0,01  | 0,01  | 0,03  | 0,06  |
|   | MINIMA  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Para la corriente del río Bogotá se presentan caudales medios mínimos de 4.55 a 8.14 m<sup>3</sup>/s, con los mayores niveles entre los registros mínimos de 34.41 m<sup>3</sup>/s en mayo en la estación de Refisal [2120987], 35.77 m<sup>3</sup>/s en mayo en la estación de Puente Vargas [2120734], 47.01 m<sup>3</sup>/s en mayo en la estación de La Balsa Chía [2120742] y 55.91 m<sup>3</sup>/s en mayo en la estación de Puente La Virgen [2120973].

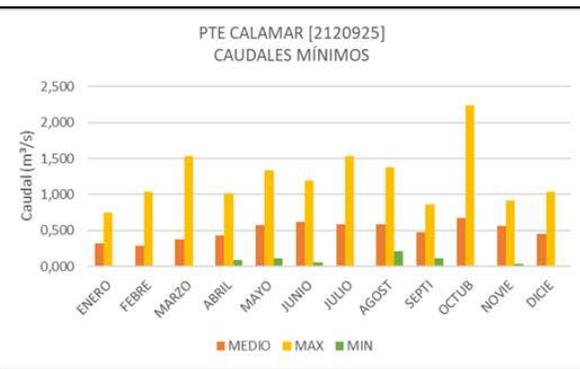
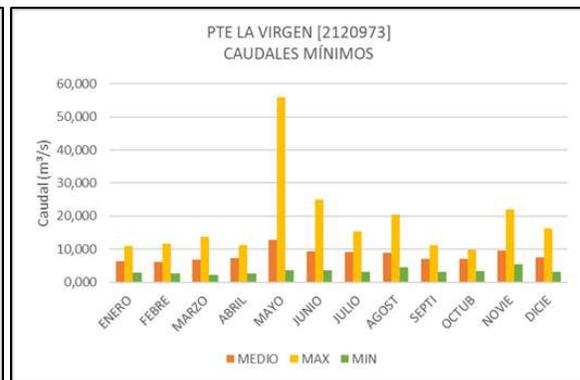
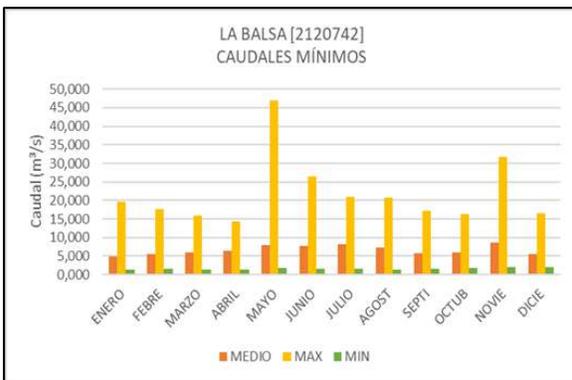
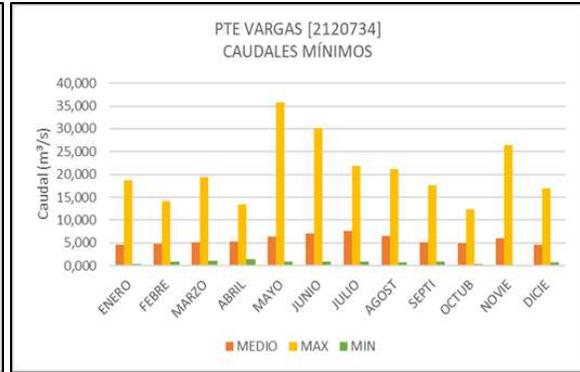
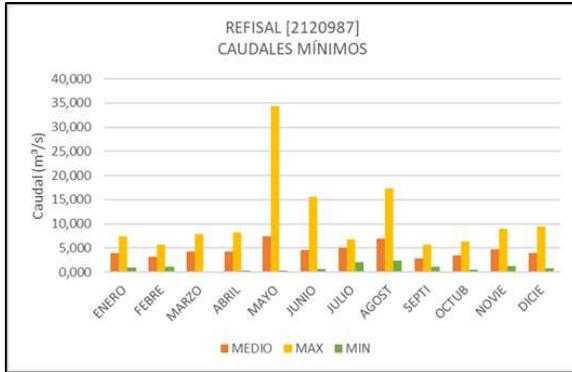


ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA

ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS

CAJICÁ





**Ilustración 175. Caudales mínimos estaciones seleccionada Cajicá (Cundinamarca).**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Sobre el río Frio se tienen valores de 3.06 m<sup>3</sup>/s en mayo en la estación Pozo Hondo [2120966], 2.24 m<sup>3</sup>/s en octubre en la estación Puente Calamar [2120925], 5.19 m<sup>3</sup>/s en septiembre en la estación Puente La Virginia [2120735] y 12.52 m<sup>3</sup>/s en mayo en la estación Puente Cacique [2120960]. En cuanto a los valores medios mínimos los caudales oscilan entre 0.32 a 0.74 m<sup>3</sup>/s. Por último, sobre la quebrada Tinca en la estación de Antes Acueducto Tabio [2120923], se tiene un valor medio de 0.01 m<sup>3</sup>/s con un registro máximo de 0.06 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.5.12.4.5. Niveles máximos, medios y mínimos

El registro de ellos niveles en los ríos Bogotá, Frio y quebrada Tinca permitirán tener un control sobre los resultados que arrojen las modelaciones tanto hidrológicas como hidráulicas, permitiendo una calibración de los hidrogramas que transitan por estas corrientes



instrumentadas. En la Tabla 47 se recopila la información de los niveles expresados en cm, de los valores medios, medios máximos y medios mínimos.

- Los niveles medios que presenta el río Bogotá sobre las estaciones limnimétrica arroja valores máximos desde 323 a 1093 cm a lo largo del cauce. Se tiene evidencia de los efectos climáticos de la Niña registrados en el 2010-2011 dado que en estas fechas y sobres los meses de abril y mayo se registran la mayor cantidad de niveles máximos. Desde aguas arriba hasta el punto más bajo se tiene que el comportamiento del río Bogotá en cuanto al caudal medio es de 161 cm, 303 cm, 128 cm y 245 cm, lo que significa un incremento la altura del casco urbano del municipio de Cajicá-Cundinamarca en la estación de Puente Vargas [2120734]. Para los niveles medios mínimos en las temporadas de invierno los niveles no descienden los 88 cm.
- Los niveles medios que presenta el río Frío sobre las estaciones limnimétricas de Pozo Hondo [2120966], Puente Calamar [2120925], Puente La Virginia [2120735] y Puente Cacique [2120960] arrojan valores máximos entre los 124 cm a 1423 cm. Para los niveles medios mínimos en las temporadas de invierno los niveles no descienden los 15 cm a 32 cm.

**Tabla 47. Niveles medios, medios máximos y medios mínimos (cm).**

| ESTACIÓN                         | VALORES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY  | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| REFISAL<br>[2120987]             | MEDIA   | 135 | 134 | 152 | 185 | 176  | 164 | 188 | 173 | 144 | 158 | 171 | 156 | 161   |
|                                  | MÁXIMA  | 189 | 174 | 215 | 282 | 323  | 264 | 218 | 267 | 188 | 243 | 270 | 254 | 323   |
|                                  | MINIMA  | 90  | 94  | 95  | 123 | 102  | 126 | 153 | 130 | 96  | 88  | 102 | 103 | 88    |
| PUENTE<br>VARGAS<br>[2120734]    | MEDIA   | 262 | 268 | 288 | 309 | 316  | 320 | 331 | 322 | 297 | 306 | 326 | 288 | 303   |
|                                  | MÁXIMA  | 423 | 439 | 495 | 700 | 1093 | 600 | 589 | 527 | 491 | 576 | 631 | 628 | 1093  |
|                                  | MINIMA  | 94  | 144 | 140 | 150 | 130  | 130 | 132 | 143 | 141 | 131 | 127 | 138 | 94    |
| LA Balsa<br>CHIA<br>[2120742]    | MEDIA   | 87  | 90  | 118 | 140 | 154  | 134 | 150 | 137 | 110 | 131 | 165 | 126 | 128   |
|                                  | MÁXIMA  | 220 | 235 | 353 | 477 | 470  | 436 | 422 | 372 | 269 | 406 | 469 | 472 | 477   |
|                                  | MINIMA  | 9   | 13  | 23  | 18  | 15   | 9   | 41  | 19  | 14  | 4   | 2   | 20  | 2     |
| PUENTE LA<br>VIRGEN<br>[2120973] | MEDIA   | 202 | 201 | 229 | 268 | 279  | 257 | 257 | 248 | 217 | 244 | 284 | 254 | 245   |
|                                  | MÁXIMA  | 295 | 285 | 386 | 460 | 570  | 468 | 406 | 384 | 299 | 375 | 464 | 472 | 570   |
|                                  | MINIMA  | 107 | 111 | 129 | 183 | 141  | 190 | 182 | 160 | 125 | 126 | 153 | 122 | 107   |
| POZO<br>HONDO<br>[2120966]       | MEDIA   | 50  | 50  | 55  | 65  | 65   | 61  | 60  | 59  | 58  | 65  | 70  | 57  | 60    |
|                                  | MÁXIMA  | 61  | 64  | 87  | 124 | 108  | 80  | 76  | 70  | 71  | 89  | 88  | 75  | 124   |
|                                  | MINIMA  | 35  | 34  | 35  | 38  | 45   | 34  | 32  | 39  | 41  | 43  | 48  | 35  | 32    |
|                                  | MEDIA   | 49  | 46  | 55  | 63  | 64   | 62  | 61  | 59  | 57  | 64  | 70  | 57  | 59    |
|                                  | MÁXIMA  | 95  | 93  | 183 | 237 | 224  | 163 | 177 | 355 | 155 | 193 | 187 | 177 | 355   |

| ESTACIÓN                               | VALORES | ENE | FEB | MAR  | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--|---------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| <b>PUENTE CALAMAR [2120925]</b>        | MINIMA  | 19  | 2   | 20   | 33  | 36  | 36  | 30  | 40  | 36  | 30  | 34  | 13  | 2     |
| <b>PUENTE LA VIRGINIA [2120735]</b>    | MEDIA   | 136 | 133 | 147  | 142 | 146 | 148 | 145 | 144 | 148 | 162 | 167 | 158 | 148   |
|  | MÁXIMA  | 228 | 259 | 1423 | 293 | 328 | 313 | 400 | 293 | 279 | 334 | 308 | 317 | 1423  |
|  | MINIMA  | 45  | 0   | 16   | 0   | 18  | 0   | 0   | 50  | 0   | 30  | 20  | 48  | 0     |
| <b>PUENTE CACIQUE [2120960]</b>        | MEDIA   | 92  | 97  | 125  | 163 | 168 | 134 | 142 | 140 | 114 | 136 | 181 | 151 | 137   |
|  | MÁXIMA  | 186 | 198 | 373  | 400 | 414 | 321 | 396 | 400 | 207 | 297 | 400 | 400 | 414   |
|  | MINIMA  | 17  | 15  | 20   | 35  | 45  | 28  | 68  | 42  | 34  | 25  | 67  | 36  | 15    |
| <b>ANTES ACUEDUCTO TABIO [2120923]</b> | MEDIA   | 40  | 40  | 40   | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40    |
|  | MÁXIMA  | 44  | 44  | 45   | 49  | 44  | 44  | 177 | 44  | 69  | 43  | 48  | 204 | 204   |
|  | MINIMA  | 38  | 28  | 38   | 36  | 38  | 38  | 37  | 38  | 38  | 38  | 37  | 36  | 28    |

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

La Ilustración 176, representa gráficamente los niveles máximos, máximos medio y mínimos mínimos de la estación de Refisal [2120987]. Se tiene un valor máximo de 323 cm registrado en mayo del 2011, y de 282 cm en abril de 2011, por lo que en correlación con el análisis de los caudales máximos se identifica este año junto con el 2010 uno de los años de mayor presencia de eventos máximos. Aclarando que la temporalidad de las series va desde 2010 hasta el 2019. Por otra parte, en cuanto niveles máximos se tiene un promedio 161 cm a lo largo del año, pero con niveles desde los 215 cm hasta 323 cm en las temporadas de lluvia.

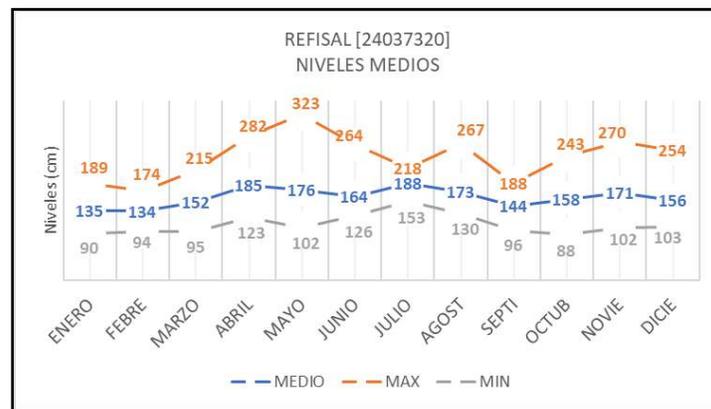
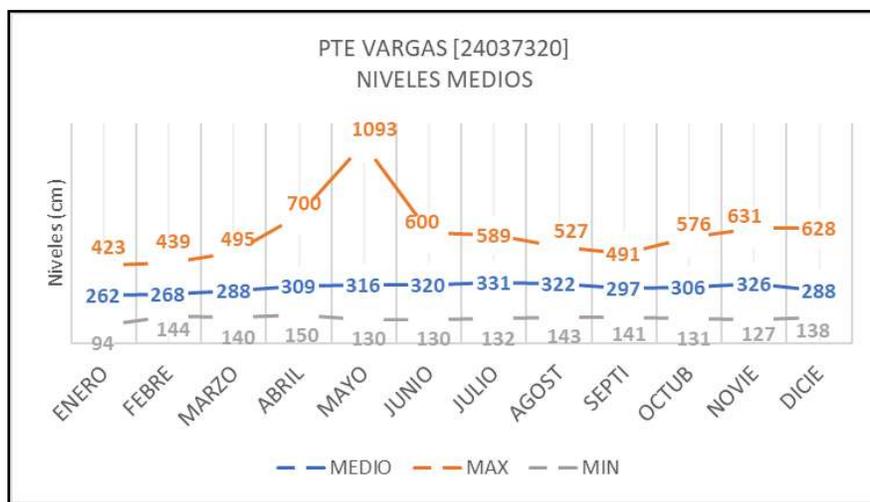


Ilustración 176. Niveles máximos estación Refisal [2120987].

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

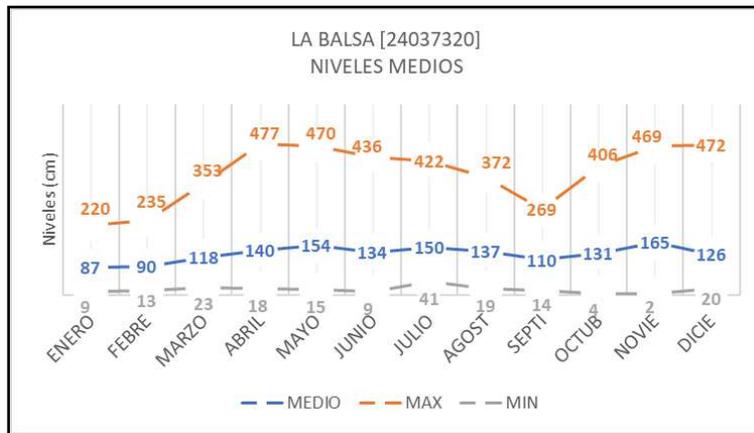
La Ilustración 177, representa gráficamente los niveles máximos, máximos medio y máximos mínimos de la estación de Puente Vargas [2120734]. Se tiene un valor máximo de 1093 cm registrado el 31 de mayo de 2017 y seguido de un nivel de 700 en varios días del mes de abril de 2011. Además, Se aprecia un comportamiento de niveles máximos en los meses de junio, noviembre y diciembre que oscilan entre los 600 cm a 631 cm. El nivel promedio a lo largo del año es de 303 cm a lo largo del año, con niveles desde los 262 cm hasta 331 cm. Comparando con la estación de Refisal [2120987], ubicada aguas arriba, se observa que el valor medio en Puente Vargas [2120734] igual el valor máximo registrado aguas arriba.



**Ilustración 177. Niveles máximos estación Puente Vargas [2120734].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

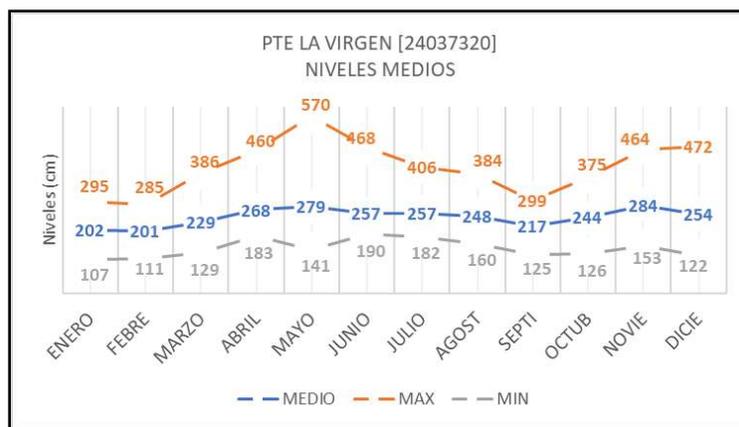
La **Ilustración 178**, representa gráficamente los niveles máximos, máximos medio y máximos mínimos de la estación de La Balsa Chía [2120742]. Se tiene un valor máximo de 477 cm registrado el 29 de abril del 2011, seguido de eventos máximos en mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre que oscilan entre los 406 a 472 cm registrados sobre la temporada 2010-2011. El nivel promedio a lo largo del año es de 128 cm, con niveles desde los 140cm hasta 165 cm en las temporadas de lluvia.



**Ilustración 178. Niveles máximos estación La Balsa Chía [2120742].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

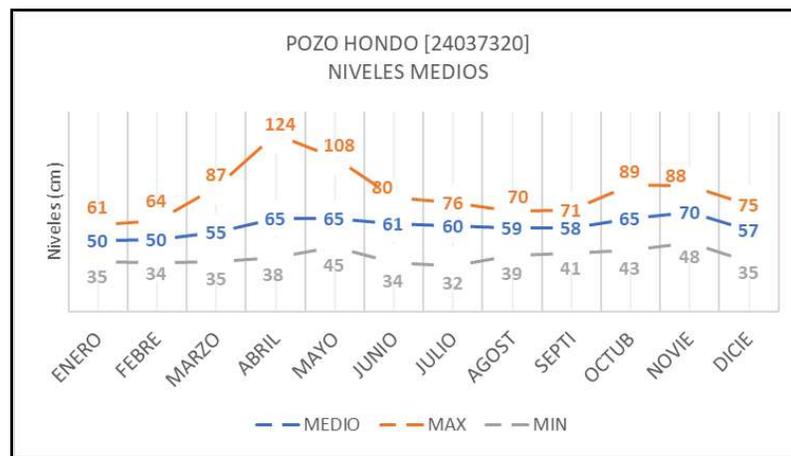
La Ilustración 179, representa gráficamente los niveles máximos, máximos medio y máximos mínimos de la estación de Puente La Virgen [2120973]. Se tiene un valor máximo de 570 cm registrado en mayo del 2011, seguido de un nivel de 472, 468 y 464 cm en los meses de diciembre, junio y noviembre registrados de 2010-2011. El nivel promedio a lo largo del año es de 254 cm, con niveles desde los 202 cm hasta 284 cm.



**Ilustración 179. Niveles máximos estación Puente La Virgen [2120973].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

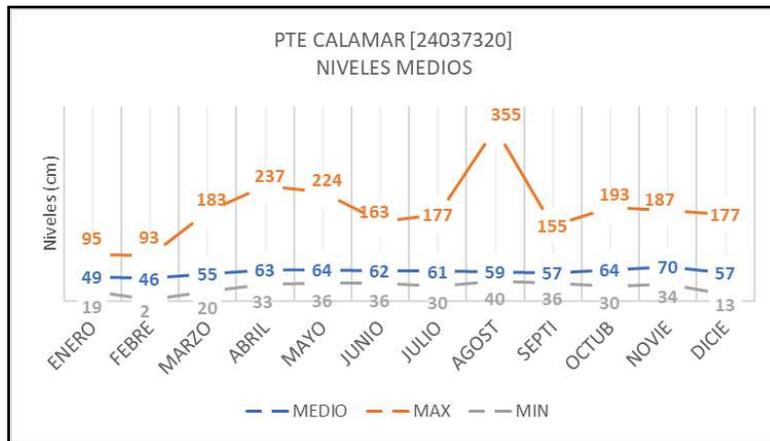
La Ilustración 180, representa gráficamente los niveles máximos, máximos medio y máximos mínimos de la estación de Pozo Hondo [2120966], ubicada sobre la corriente del río Frío. Se tiene un valor máximo de 124 cm registrado en abril de 2011. Se aprecia un comportamiento de niveles máximos entre los meses de marzo a mayo en el primer semestre del año y en octubre a diciembre con valores que oscilan entre los 87 a 108 cm. El nivel promedio a lo largo del año es de 60 cm, con niveles desde los 50 cm hasta 70 cm.



**Ilustración 180. Niveles máximos estación Pozo Hondo [2120966].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

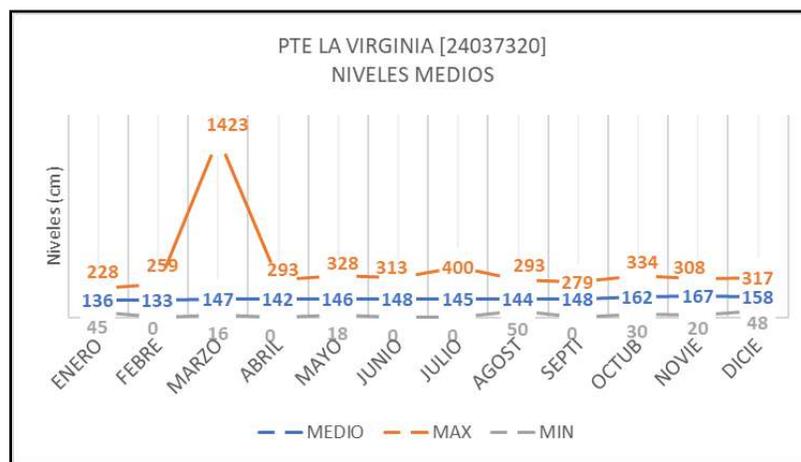
En la Ilustración 181, representa gráficamente los niveles máximos, máximos medio y máximos mínimos de la estación de Puente Calamar [2120925]. Se tiene un valor máximo de 355 cm el 18 de agosto de 2002. El nivel promedio a lo largo del año es de 59 cm, con niveles desde los 49 cm hasta 70 cm.



**Ilustración 181. Niveles máximos estación Puente Calamar [2120925].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

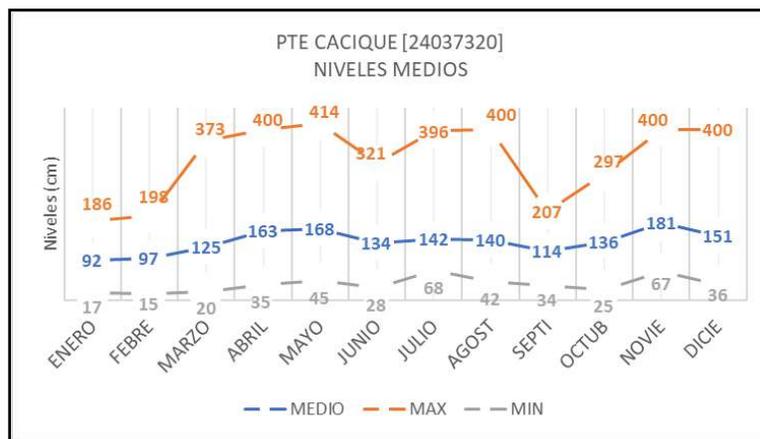
La Ilustración 182, representa gráficamente los niveles máximos, máximos medio y máximos mínimos de la estación de Puente La Virginia [2120735]. Se tiene un valor máximo de 1423 cm registrado el 11 de marzo de 2011. El nivel promedio a lo largo del año es de 148 cm, con niveles desde los 136 cm hasta 167 cm.



**Ilustración 182. Niveles máximos estación Puente La Virginia [2120735].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

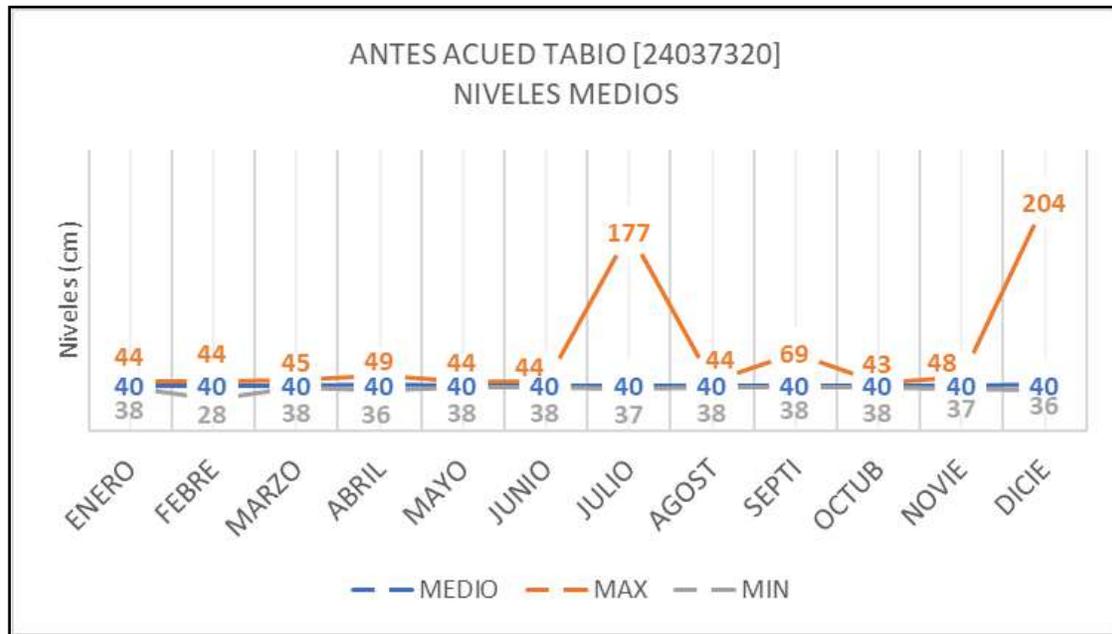
La Ilustración 183, representa gráficamente los niveles máximos, máximos medio y máximos mínimos de la estación de Puente Cacique [2120960]. Se tiene un valor máximo de 414 cm registrado el 23 de mayo de 2011, seguido de un registro en niveles de 400 cm en los meses de abril, agosto, noviembre y diciembre. En cuanto niveles máximos se tiene un promedio de 137 cm a lo largo del año, pero con niveles desde los 126 cm hasta 181 cm en las temporadas de lluvia.



**Ilustración 183. Niveles máximos estación Puente Cacique [2120960].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

La Ilustración 184, representa gráficamente los niveles máximos, máximos medio y máximos mínimos de la estación de Antes Acueducto Tabio [2120923]. Se tiene dos registros máximos de 204 y 177 cm registrado el 16 de diciembre de 2020 y el 7 de julio de 2008. El nivel promedio a lo largo del año es de 40 cm.



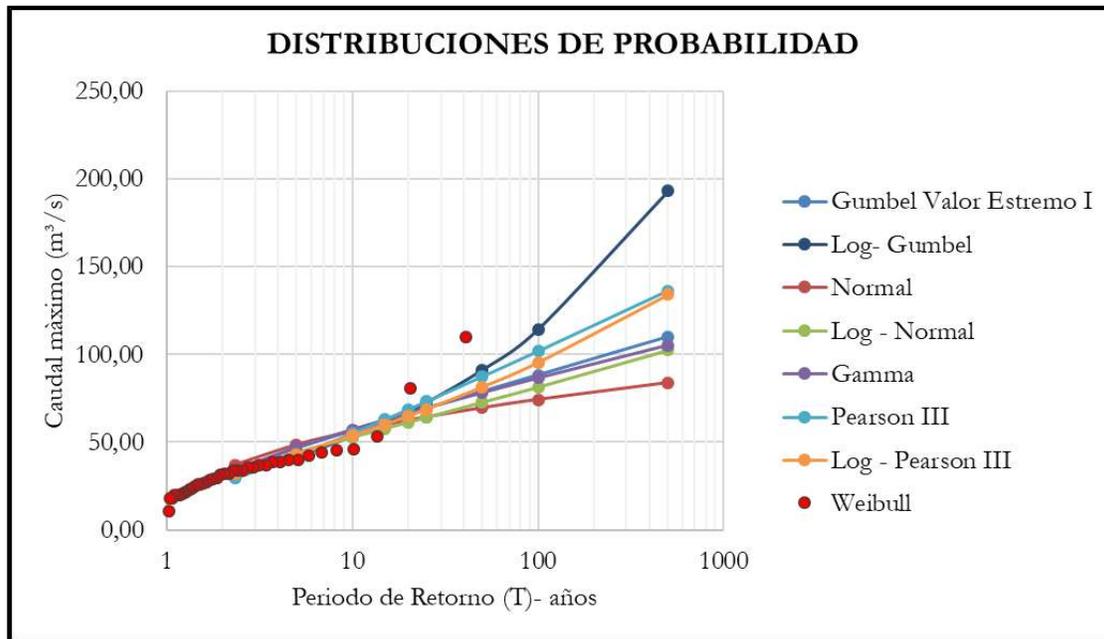
**Ilustración 184. Niveles máximos estación Antes Acueducto Tabio [2120923].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.12.4.6. Análisis de frecuencias de caudales máximos

El análisis de frecuencias de caudales máximos sigue la “Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales”<sup>6</sup>, la Guía de Prácticas Climatológicas (OMM, 2011), con la variación de que los valores a ajustar son los caudales máximos de las estaciones limnimétricas seleccionadas. En la Ilustración 185 Ilustración 176, se presenta gráficamente los valores de caudal máximo de la estación de Puente Vargas [2120734], estación ubicada sobre el río Bogotá en la zona oriental del casco urbano.

<sup>6</sup> Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial. 2010



**Ilustración 185. Ajuste distribuciones de probabilidad estación Puente Vargas [2120734].**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

La Tabla 48, se tiene los valores de caudales máximos para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 y 500 años con la respectiva distribución de probabilidad que más se ajustó. Como se puede apreciar en términos generales las distribuciones de mejor comportamiento para eventos máximo fueron la Gumbel Valor Extremo I, Log-Gumbel y Log-Pearson Tipo III.

**Tabla 48. Ajuste distribuciones de probabilidad caudales máximos.**

| PERIODO DE RETORNO $T_r$ (AÑOS) | 2,33   | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 50     | 100    | 500     | DISTRIBUCIÓN    |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------------|
| REFISAL [2120987]               | 40,295 | 53,648 | 64,524 | 70,66  | 74,957 | 78,266 | 88,46  | 98,579 | 121,963 | Gumbel          |
| PUENTE VARGAS [2120734]         | 32,089 | 43,232 | 53,673 | 60,132 | 64,912 | 68,745 | 81,425 | 95,427 | 134,08  | Log Pearson III |

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

| PERIODO DE RETORNO $T_r$ (AÑOS) | 2,33   | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 50     | 100    | 500     | DISTRIBUCIÓN    |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------------|
| LA Balsa CHIA [2120742]         | 32,432 | 41,037 | 48,207 | 52,319 | 55,229 | 57,49  | 64,573 | 71,804 | 89,44   | Log Pearson III |
| PUENTE LA VIRGEN [2120973]      | 40,777 | 54,326 | 65,363 | 71,589 | 75,949 | 79,307 | 89,652 | 99,92  | 123,648 | Gumbel          |
| POZO HONDO [2120966]            | 9,31   | 13,189 | 16,348 | 18,131 | 19,379 | 20,341 | 23,302 | 26,242 | 33,035  | Gumbel          |
| PUENTE CALAMAR [2120925]        | 7,912  | 12,704 | 17,988 | 21,618 | 24,475 | 26,869 | 35,422 | 45,951 | 80,543  | Log Pearson III |
| PUENTE LA VIRGINIA [2120735]    | 15,022 | 23,056 | 29,6   | 33,292 | 35,877 | 37,868 | 44,002 | 50,09  | 64,16   | Gumbel          |
| PUENTE CACIQUE [2120960]        | 11,141 | 16,831 | 21,466 | 24,081 | 25,912 | 27,322 | 31,667 | 35,979 | 45,944  | Gumbel          |
| ANTES ACUEDUCTO TABIO [2120923] | 0,045  | 0,229  | 0,827  | 1,675  | 2,723  | 3,943  | 12,058 | 35,518 | 394,808 | Log Pearson III |

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

### 1.5.12.5. Hietogramas de Diseño

Son representaciones gráficas para entender los eventos de precipitación en intervalos de tiempo, en otras palabras, es una forma de representar la intensidad de la lluvia durante todo su tiempo de duración.

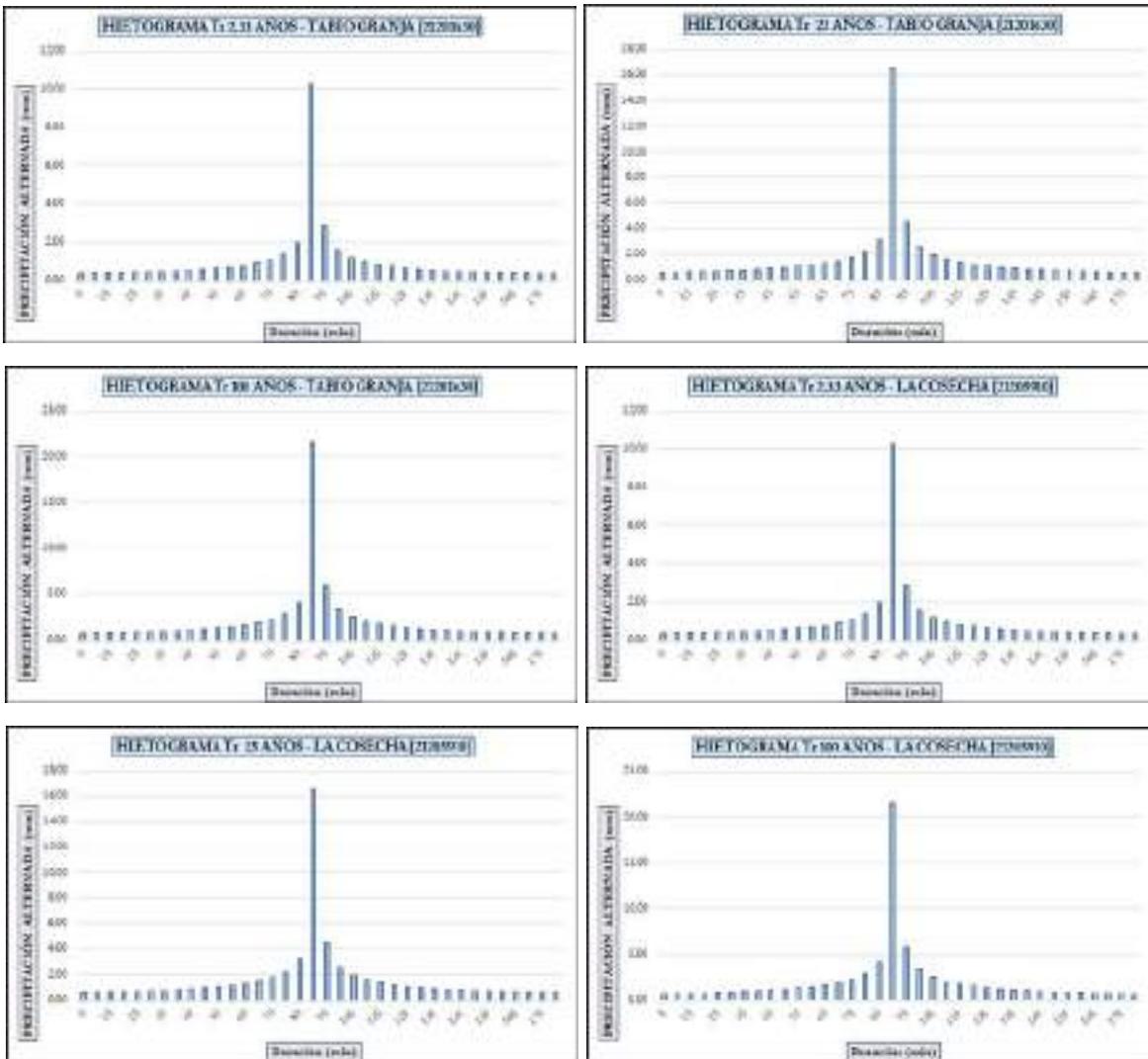
Los hietogramas de diseño se construyen debido a que los valores de precipitaciones máximas no explican la duración y las características de una tormenta en la región, haciendo necesario conocer la evolución de los eventos de lluvia hasta su pico y su posterior descenso. Teniendo esto en cuenta, y a partir de las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF), se siguió la metodología de bloques alternos (Chow et al, 1994) para la construcción de los mismos para todas las estaciones analizadas en la región de estudio.

El procedimiento consiste en estimar la duración total de la tormenta y dividirla en incrementos iguales de tiempo, y leer para cada tiempo en la curva IDF los valores de intensidad de

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

precipitación para la frecuencia deseada según el diseño. Posteriormente se transforma la intensidad de la lluvia, en profundidad de lluvia acumulada para ese incremento de tiempo (mm/h). A partir de estos valores se obtiene por diferencia la profundidad de lluvia para cada intervalo. Finalmente se representa el tiempo en el eje de las abscisas y la profundidad para cada intervalo en las ordenadas, en donde previamente se debe reordenar los valores de lluvia de manera que la máxima profundidad se pone en el periodo central de la tormenta y se van ordenando hacia la derecha y hacia la izquierda de forma alterna las demás profundidades decrecientes de lluvia.

Dentro de la construcción de los hietogramas, se asume una tormenta de 3 horas de duración y se expresa la intensidad de la lluvia en intervalos de 5 minutos, todo esto para periodos de retorno de 2.33, 25 y 100 años. El mosaico de la Ilustración 186 muestra los hietogramas de diseño para las estaciones “TABIO GRANJA [21201630]” y “LA COSECHA – AUT [21205910]”, estaciones emplazadas en el extremo occidental y norte del municipio de Cajicá.



**Ilustración 186. Mosaico de Hietogramas de diseño de las estaciones “TABIO GRANJA [21201630]” y “LA COSECHA – AUT [21205910]” para periodos de retorno de 2.33, 25 y 100 años.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

Conforme a los resultados obtenidos de los hietogramas de las estaciones emplazadas en cercanías del municipio de Cajicá, se esperarían lapsos de tiempo (5 minutos) donde se depositen 11.68 mm de lluvia en un periodo de recurrencia de 2.33 años, 18.88 mm para un periodo de 25

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

años y 24.57 mm para un periodo de 100 años en una hipotética tormenta captada por la estación “Tabio Granja [21201630]”. Del mismo modo, en la estación “La Cosecha [21205910]” se esperarían valores del orden de los 10.23 mm con un periodo de retorno de 2.33 años, 16.53 mm para un periodo de 25 años y 21.51 mm para un periodo de 100 años.

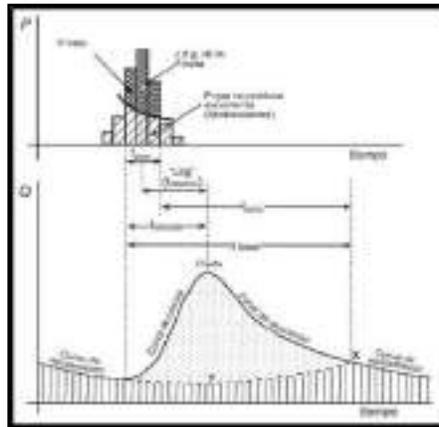
#### 1.5.12.6. Hidrogramas

En 1932, Sherman desarrolló el concepto de Hidrograma, herramienta ampliamente utilizada en la actualidad para el estudio de cuencas de diversos tamaños. Los hidrogramas o hidrógrafas se caracterizan por ser una representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo (Dooge, 1973) y su curva cuenta con los siguientes tramos:

- **Curva de Concentración o de crecida:** Corresponde al acenso del hidrograma, en esta fase se puede presentar una magnitud de escorrentía de media, donde parte de la lluvia es interceptada por la vegetación y la otra es retenida en depresiones por las bajas condiciones de humedad del suelo.
- **Pico o punta del hidrograma:** Es la zona que rodea el caudal máximo, es decir que en esta fase la lluvia contribuye con el aumento del caudal.
- **Curva de descenso (Rama Descendiente):** Esta fase corresponde a la disminución progresiva del caudal, se compone por flujo subsuperficial dado que, la escorrentía superficial cesa.
- **Curva de agotamiento (Curva de Recesión):** Los aportes al caudal provienen únicamente de la escorrentía básica es decir de las reservas de agua subterránea.

La Ilustración 187, muestra las partes de un hidrograma unitario, es decir, únicamente de un evento de lluvia en el punto de análisis.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |



**Ilustración 187. Tiempos característicos en un hidrograma.**

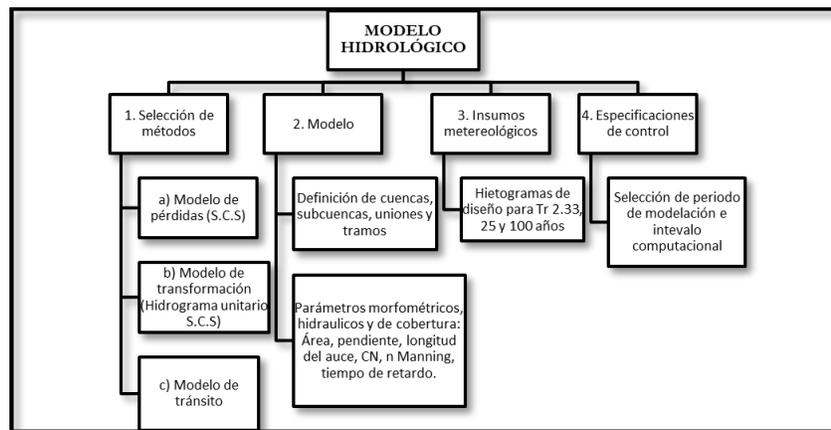
**Fuente:** Sánchez (2007).

En términos generales, un hidrograma unitario es la función de respuesta de pulso unitario para un sistema lineal, y se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de una unidad de exceso de lluvia (precipitación efectiva) generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva. Las suposiciones del modelo son:

- ✓ El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva
- ✓ El exceso de precipitación está fuertemente distribuido a través de toda el área de drenaje
- ✓ El tiempo base, del hidrograma unitario resultante de un exceso de lluvia de una duración dada, es constante,
- ✓ El eje de la variable ordenada de todos los hidrogramas es directamente proporcional a la cantidad de escorrentía directa, y
- ✓ El hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de una cuenca.

Existen diversas metodologías para la elaboración de hidrogramas unitarios para una cuenca, y la selección del método más apropiado depende principalmente del área de drenaje de la cuenca. Así, para cuencas con área menor a 2,5 km<sup>2</sup> se utiliza comúnmente el método racional, mientras que para cuencas con área mayor se utilizan modelos del hidrograma de escorrentía directa (INVIAS, 2009) o el hidrograma unitario del SCS.

Mediante la aplicación del modelo del software gratuito HEC-HMS y con los parámetros correspondientes a: área de drenaje, curva número, tiempo de retardo el cual se calculó con base en el tiempo de concentración por medio de los métodos escogido para cada escenario y los datos de lluvia máxima, se configuró el modelo de cuenca, además dado que el software permite el ingreso de los datos de serie de tiempo se realizó el modelo meteorológico, con el fin de calcular la estimación de caudales máximos de las crecientes producidas por las cuencas hidrográficas mayores para periodos de retorno entre 2.33, 10, 15, 50 y 100 años.



**Esquema 7. Modelo hidrológico HEC-HMS.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.12.6.1. Modelo de pérdidas (S.C.S)

La precipitación efectiva es la precipitación que se convierte en escorrentía directa, por lo tanto, es importante calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

El método implementado se denomina “Número de Curva”, propuesto por el SCS; en este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN. El número de curva varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la cuenca hidrográficas: i) tipo de suelo hidrológico, ii) utilización y tratamiento del suelo, iii) condiciones de la superficie del terreno, y iv) condición de humedad antecedente del suelo. (INVIAS, 2009).

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

El valor CN corresponde con el número de curva de la metodología del Soil Conservation Service, de acuerdo con el tipo de cobertura vegetal del suelo, y la geología del suelo en la zona de estudio.

De acuerdo con lo anterior, se utilizó un CN de 74 correspondiente a pastos en condiciones óptimas de grupo hidrológico C.

La lluvia efectiva que causa escorrentía superficial, y la magnitud de las abstracciones de una tormenta, se pueden obtener por el método del Soil Conservation Service, a partir de las siguientes relaciones empíricas:

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P - 0.8 S}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Donde Q es la escorrentía total acumulada, pulgadas, P es la precipitación total del evento, pulgadas. S es la infiltración o retención potenciales máximas, pulgadas y CN es la curva número de curva.

#### 1.5.12.6.2. Modelo de transformación (hidrograma unitario S.C.S)

En términos generales, un hidrograma unitario es la función de respuesta de pulso unitario para un sistema lineal, y se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de una unidad de exceso de lluvia (precipitación efectiva) generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva (Ven Te Chow, 1994). Las suposiciones del modelo son: i) El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva, ii) El exceso de precipitación está fuertemente distribuido a través de toda el área de drenaje, iii) el tiempo base, del hidrograma unitario resultante de un exceso de lluvia de una duración dada, es constante, iv) las ordenadas de todos los hidrogramas son directamente proporcionales a la cantidad de escorrentía directa, y v) el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de una cuenca.

El SCS propuso un hidrograma sintético triangular cuya geometría se define con el área y el tiempo de concentración de la cuenca, así:

$$Q_p = 0.2083 \frac{A}{t_p} E$$

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |

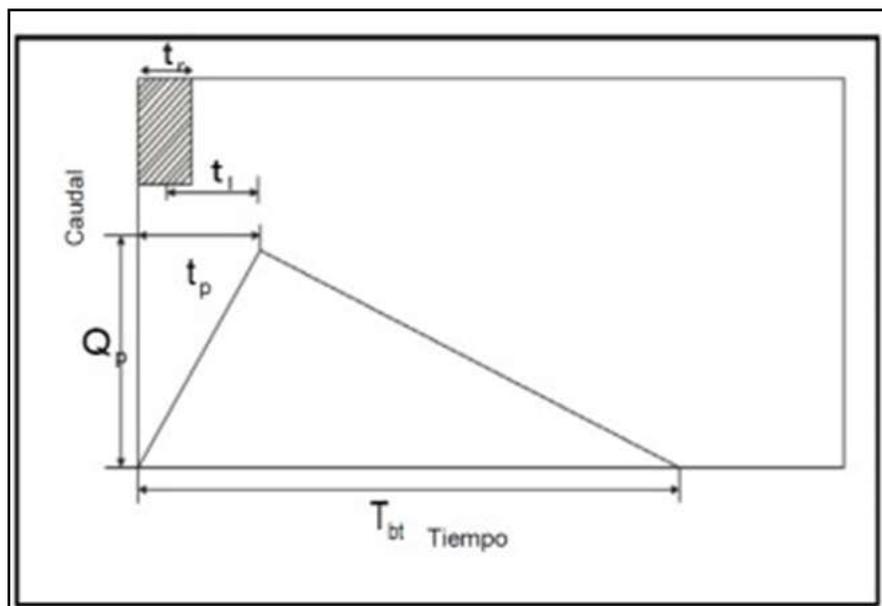
Donde  $A$  es el área de la cuenca en  $Km^2$ ,  $E$  es la escorrentía unitaria,  $1mm$  y  $t_p$  el tiempo al pico medio desde el comienzo del hidrograma, el cual se obtiene con la expresión:

$$t_p = \frac{d}{2} + t_l = \frac{d}{2} + 0.6 * t_c$$

Donde  $t_l$  es el tiempo rezagado de la cuenca que corresponde a una fracción (60%) del tiempo de concentración  $t_c$  y  $d$  es la duración de exceso de precipitación unitaria.

Para finalizar la descripción geométrica del hidrograma, el ancho de la base se define como:

$$T_{bt} = \frac{8}{3} t_p$$



**Ilustración 188. Hidrograma Unitario Triangular del SCS.**

**Fuente:** Valentín (2005).

Dada la carencia de cuencas instrumentadas en la zona plana del área de estudio, se evidenció la necesidad de implementar modelos de transformación de precipitación en escorrentía directa; con estos métodos, en los que se requieren datos históricos de lluvia de corta duración y que se aplican a una cuenca hidrográfica, se calcula el caudal máximo de escorrentía superficial.



Existen dos métodos ampliamente utilizados y la selección de ellos depende del área de drenaje de la cuenca. Así, para cuencas con área menor a 2,5 km<sup>2</sup> se utiliza el método racional y para cuencas con área mayor se utilizan modelos del hidrograma de escorrentía directa (INVIAS, 2009), o el hidrograma unitario del SCS.

### 1.5.12.6.3. Aplicación del modelo hidrológico HEC – HMS

Mediante la aplicación del modelo del software gratuito HEC-HMS y con los parámetros correspondientes a: área de drenaje, curva número, tiempo de retardo el cual se calculó con base en el tiempo de concentración por medio de la fórmula de Kirpich, tipo de hietograma de diseño y duración teórica del evento de precipitación. El resumen de los parámetros ingresados al modelo se presenta en la Tabla 49.

**Tabla 49. Resumen de parámetros de modelación para hidrogramas en HEC – HMS.**

| CUENCA | ÁREA (Km <sup>2</sup> ) | Tc (min) | Tlag (min) | CN   | HIETOGRAMA  | DURACIÓN DE AGUACERO |
|--------|-------------------------|----------|------------|------|-------------|----------------------|
| CH_0   | 2,2                     | 20,2     | 58,9       | 62,7 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_6   | 0,6                     | 11,5     | 32,8       | 56,9 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_7   | 2,8                     | 12,4     | 26,2       | 68,2 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_8   | 0,3                     | 6,0      | 13,0       | 66,7 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_9   | 0,9                     | 14,2     | 29,5       | 69,8 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_10  | 0,4                     | 9,8      | 22,9       | 68,3 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_11  | 0,4                     | 5,2      | 9,4        | 72,9 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_12  | 0,2                     | 4,9      | 9,6        | 68,7 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_13  | 0,2                     | 6,5      | 12,2       | 70,6 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_14  | 0,1                     | 4,4      | 7,7        | 72,7 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_15  | 0,1                     | 2,4      | 4,6        | 72,2 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_16  | 0,2                     | 5,3      | 8,5        | 75,7 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_17  | 0,2                     | 5,4      | 9,3        | 72,3 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_19  | 0,2                     | 5,7      | 10,3       | 71,0 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_20  | 0,2                     | 6,2      | 10,3       | 74,5 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_21  | 0,1                     | 4,2      | 10,7       | 59,4 | SCS tipo II | 3                    |

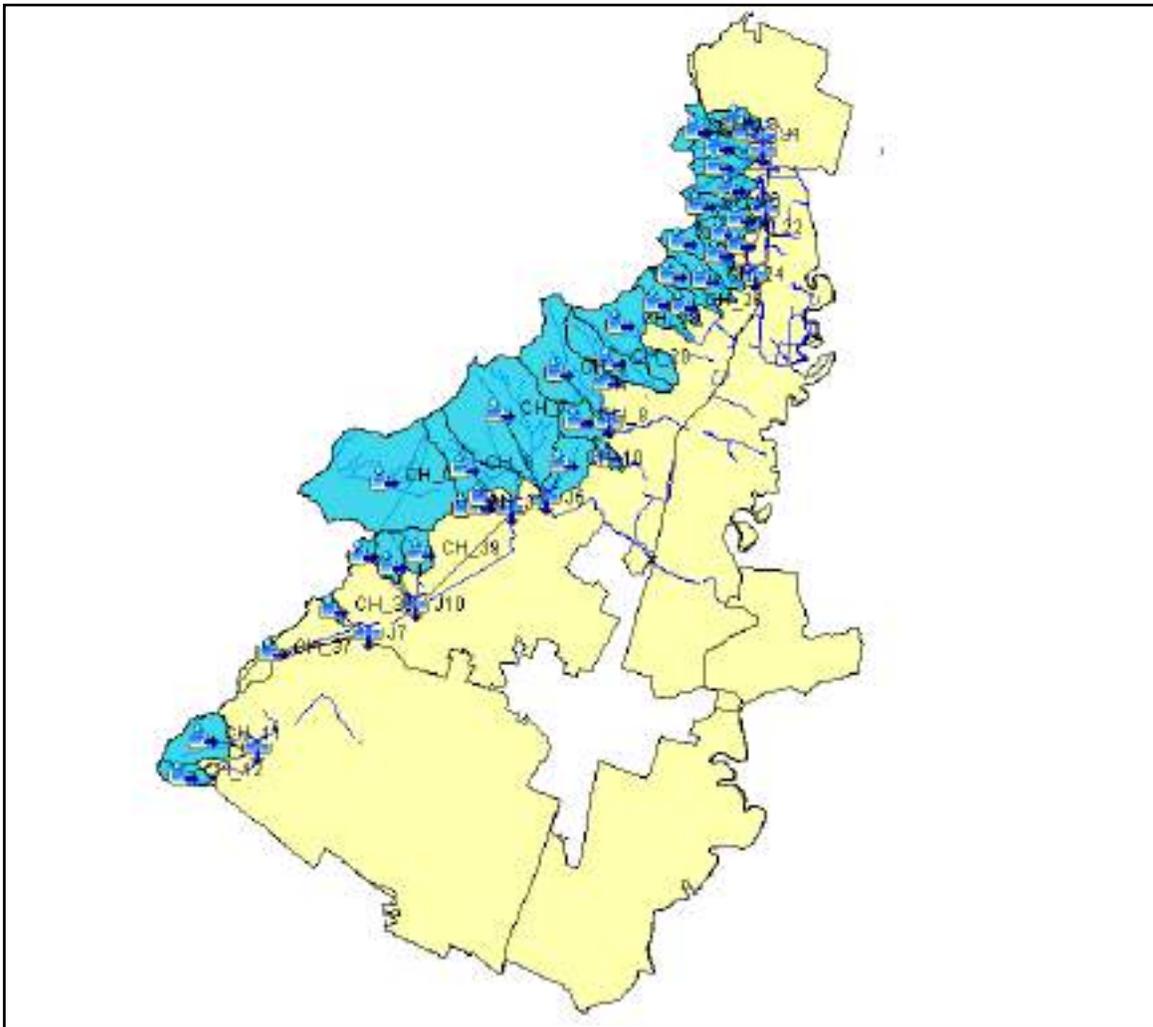


| CUENCA | ÁREA (Km <sup>2</sup> ) | Tc (min) | Tlag (min) | CN   | HIETOGRAMA  | DURACIÓN DE AGUACERO |
|--------|-------------------------|----------|------------|------|-------------|----------------------|
| CH_22  | 0,1                     | 5,2      | 10,2       | 10,5 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_23  | 0,3                     | 7,7      | 13,8       | 72,1 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_24  | 0,2                     | 7,4      | 13,2       | 71,9 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_25  | 0,2                     | 7,0      | 13,4       | 70,3 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_26  | 0,2                     | 5,6      | 15,1       | 56,4 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_27  | 0,3                     | 6,0      | 12,0       | 69,4 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_28  | 0,7                     | 9,8      | 19,0       | 70,7 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_29  | 0,5                     | 10,4     | 22,5       | 66,5 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_30  | 0,1                     | 4,8      | 15,1       | 51,1 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_31  | 0,1                     | 4,2      | 8,6        | 67,5 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_32  | 0,0                     | 2,2      | 2,7        | 81,2 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_33  | 0,0                     | 0,9      | 1,2        | 77,0 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_34  | 0,0                     | 1,2      | 1,8        | 73,5 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_35  | 0,1                     | 3,5      | 4,6        | 81,6 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_36  | 0,2                     | 4,4      | 6,9        | 75,3 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_37  | 0,0                     | 1,4      | 1,6        | 82,6 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_38  | 0,1                     | 2,9      | 3,7        | 81,5 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_39  | 0,2                     | 3,6      | 5,3        | 77,4 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_40  | 0,1                     | 4,4      | 7,5        | 71,5 | SCS tipo II | 3                    |
| CH_41  | 0,1                     | 2,1      | 3,8        | 71,7 | SCS tipo II | 3                    |

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

En adición a los parámetros de entrada, es necesario establecer los puntos de inicio y desembocadura del cauce principal para cada hoya hidrográfica modelada, cuyo resultado se muestra en la Ilustración 189.

|   |  |                                     |   |
|---|--|-------------------------------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> |   |



**Ilustración 189. Modelo de distribución de cuenca en HMS.**

**Fuente:** Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### **1.5.12.6.4. Resultados del modelo hidrológico**

Dado que el software permite el ingreso de datos de series de tiempo, se aplicó el modelo hidrológico con el fin de estimar los caudales máximos de las crecientes máximas producidas por un evento de lluvia de alta intensidad sobre las unidades hidrográficas para los periodos de retorno de 2.33, 25 y 100 años. A partir de esta información se derivaron los hidrogramas

|   |  |   |               |   |
|---|--|---|---------------|---|
|  <p>ALCALDÍA MUNICIPAL<br/>DE CAJICÁ</p> | <p>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br/>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br/>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br/>CUNDINAMARCA</p> |   |               |  <p>ARCO<br/>C &amp; C</p> |
|   | <p>ASPECTOS<br/>GENERALES<br/>SUELO RURAL</p>  | <p>ESTUDIOS BÁSICOS<br/>DE AMENAZAS</p> | <p>CAJICÁ</p> |   |

unitarios para los tiempos de recurrencia establecidos, cuyo mosaico para una cuenca emplazada dentro del municipio de Cajicá se presenta en la Ilustración 190.

Los resultados obtenidos sirven como insumos para la zonificación de avenidas torrenciales e inundaciones para el municipio de Cajicá.

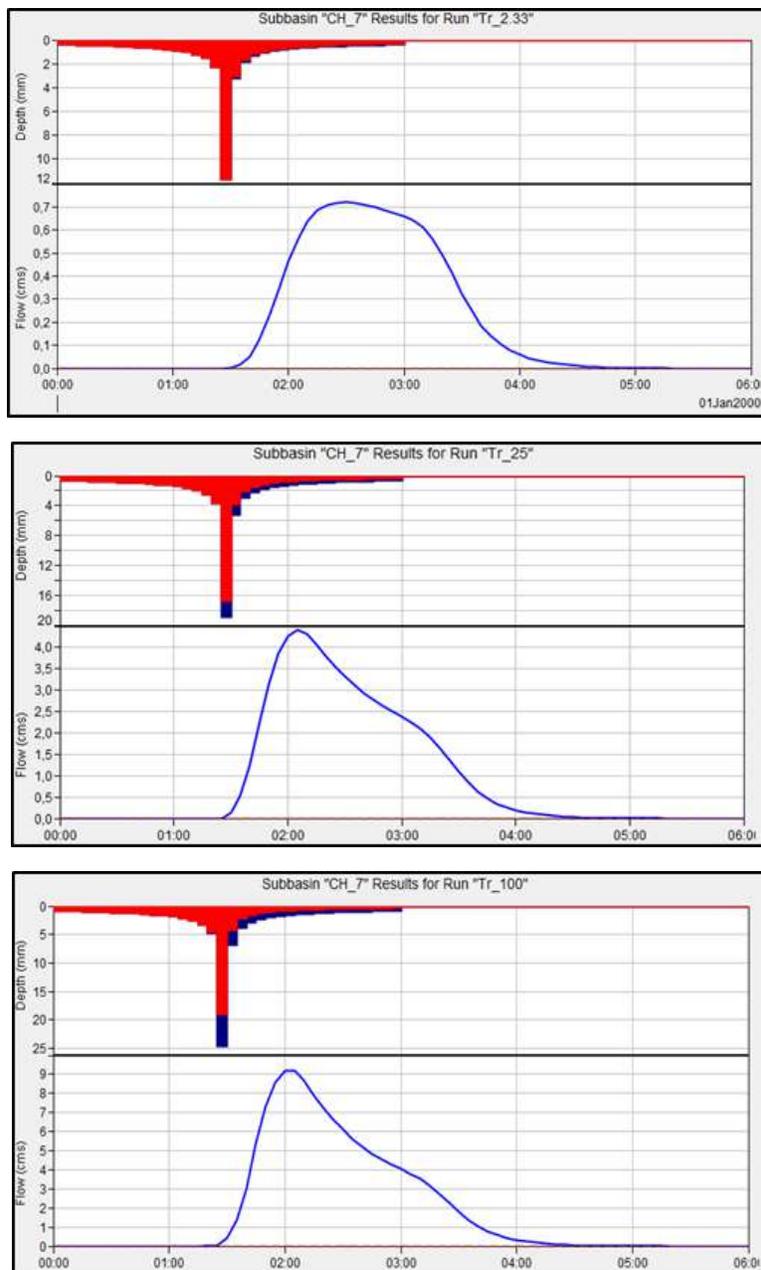


Ilustración 190. Mosaico de hidrogramas unitarios para los periodos de retorno de 2.33, 25 y 100 años.

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.12.6.5. Caudales máximos instantáneos

Teniendo en cuenta la modelación realizada en el software HEC-HMS, se han establecido los caudales picos del drenaje principal de las unidades hidrográficas del municipio, como se muestra en la Tabla 50.

**Tabla 50. Picos de flujo total para Tr 2.3,15 y 100 años.**

| CUENCA | TIEMPO DE RETORNO |         |          |
|--------|-------------------|---------|----------|
|        | 2,33 AÑOS         | 25 AÑOS | 100 AÑOS |
| CH_0   | 0,2501            | 21,0090 | 46,5350  |
| CH_10  | 0,1480            | 0,9343  | 19,6520  |
| CH_11  | 0,4776            | 26,8670 | 52,5970  |
| CH_12  | 0,0884            | 0,6826  | 15,4780  |
| CH_13  | 0,0759            | 0,5986  | 13,5060  |
| CH_14  | 0,0728            | 0,5355  | 11,2260  |
| CH_15  | 0,0369            | 0,3198  | 0,7089   |
| CH_16  | 0,2041            | 11,4410 | 21,9980  |
| CH_17  | 0,1078            | 0,7885  | 17,1910  |
| CH_19  | 0,0894            | 0,6980  | 16,0490  |
| CH_20  | 0,1557            | 0,9166  | 18,6840  |
| CH_21  | 0,0008            | 0,0654  | 0,2302   |
| CH_22  | 0,0018            | 0,0837  | 295,0000 |
| CH_23  | 0,1373            | 0,9063  | 19,6290  |
| CH_24  | 0,1049            | 0,7219  | 15,6720  |
| CH_25  | 0,0737            | 0,5635  | 13,0230  |
| CH_26  | 0,1522            | 0,7158  | 13,6070  |
| CH_27  | 0,0767            | 0,6627  | 15,6560  |
| CH_28  | 0,2485            | 1,7010  | 36,5840  |
| CH_29  | 0,0778            | 0,6403  | 15,6520  |
| CH_30  | 0,0031            | 0,0453  | 0,1372   |
| CH_31  | 0,0166            | 0,1729  | 0,4684   |

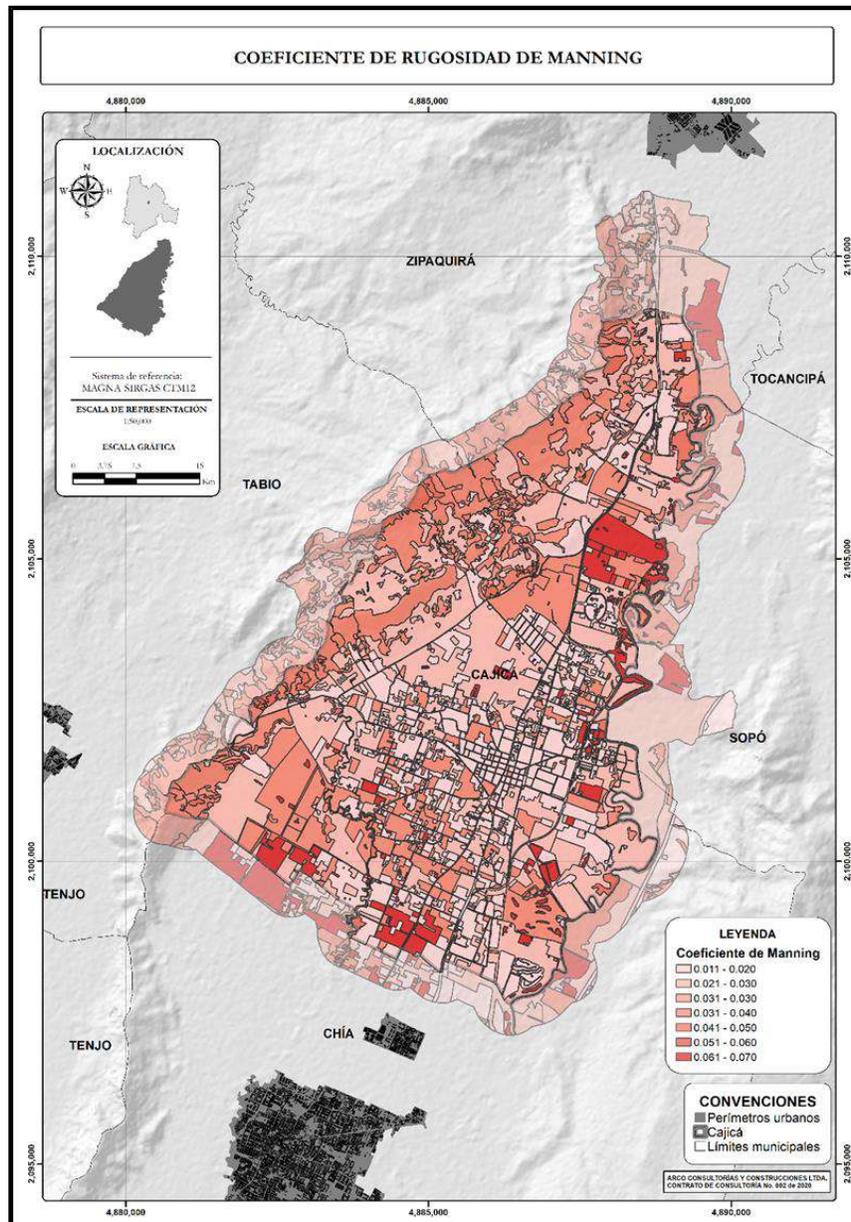
| CUENCA | TIEMPO DE RETORNO |         |          |
|--------|-------------------|---------|----------|
|        | 2,33 AÑOS         | 25 AÑOS | 100 AÑOS |
| CH_32  | 0,2051            | 0,6937  | 11,5090  |
| CH_33  | 0,0474            | 0,2409  | 0,4371   |
| CH_34  | 0,0259            | 0,1696  | 0,3426   |
| CH_35  | 0,5952            | 18,0740 | 29,1690  |
| CH_36  | 0,3713            | 1,7690  | 33,3530  |
| CH_37  | 0,2157            | 0,6601  | 10,6670  |
| CH_38  | 0,2686            | 0,8680  | 14,4340  |
| CH_39  | 0,6039            | 25,5860 | 44,9760  |
| CH_40  | 0,0380            | 0,3124  | 0,6834   |
| CH_41  | 0,0380            | 0,3430  | 0,7554   |
| CH_6   | 0,0059            | 0,3463  | 0,9820   |
| CH_7   | 0,7201            | 44,1280 | 92,0010  |
| CH_8   | 0,0432            | 0,4180  | 10,8040  |
| CH_9   | 0,2501            | 1,5910  | 34,0170  |

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

#### 1.5.12.7. Coeficiente de Rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning funciona como una técnica para parametrizar la velocidad de corrientes superficiales y subterráneas a través de un canal determinado. Entre más alto coeficiente de rugosidad de Manning o “n”, mayor resistencia al flujo tendrá el canal. Por esta razón resulta útil su caracterización para entender la dinámica hidrológica de cada drenaje y su lecho para modelaciones de avenidas torrenciales e inundaciones. Su estimación para el municipio de Cajicá se presenta en la Ilustración 191.

Conforme los resultados obtenidos, existen zonas donde el coeficiente de fricción de Manning llega a valores de 0.07, implicando una mayor fricción de los drenajes principales respecto al fluido que almacenan, factor que influye en un descenso de las velocidades de movimiento promedio ante la ocurrencia de eventos extremos de precipitaciones. Caso contrario, las unidades hidrográficas y regiones del municipio que cuentan con un bajo índice de rugosidad, exhiben las zonas donde el flujo no tiende a perder mucha energía conforme se desplaza por los canales.



**Ilustración 191. Coeficiente de rugosidad de Manning.**

Fuente: Arco Consultorías y Construcciones Ltda. (2021).

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

### 1.5.12.8. Conclusiones

Las cuencas emplazadas dentro del territorio comprendido por el municipio de Cajicá cuentan en general con áreas de pequeñas dimensiones, cauces cortos y bajo desnivel altitudinal, denotando que las hoyas hidrográficas evaluadas son relativamente jóvenes y de alta montaña.

La mayoría de las cuencas tienen formas alargadas que sugieren una buena distribución de la escorrentía superficial en la cuenca. No obstante, existen algunas cuencas diseminadas a lo largo del margen occidental del municipio con forma redonda o cuasi redonda, implicando la posible presencia de crecidas súbitas en sus cauces principales ante la confluencia de descargas hídricas de sus afluentes en tiempos cercanos. Estos posibles incrementos de caudal aguas abajo representan una amenaza potencial para la población.

El análisis de la hipsometría y la frecuencia altimétrica de las cuencas emplazadas en el municipio de Cajicá denota que existen únicamente cuencas jóvenes y maduras, denotando que las hoyas hidrográficas cuentan con material disponible en sus laderas para ser potencialmente erodado e incorporado al cauce principal en eventos hidrometeorológicos extremos en la región.

La pendiente media de la totalidad de las unidades hidrográficas estudiadas sugiere terrenos fuertemente accidentados y escarpados, factor que implica tiempos de concentración rápidos y aumentos súbitos de caudales ante la presencia de lluvias de intensidad anómala. Así mismo, la alta pendiente implica un aumento de la energía potencial de los sedimentos potencialmente desprendidos de las cabeceras de las cuencas, favoreciendo el arrastre de material sólido de diversos tamaños a los cauces.

La mayoría de las cuencas de la zona de estudio cuenta con una muy alta densidad de drenajes y con un valor alto de Curva Número, exhibiendo que la región cuenta con suelos impermeables y/o de baja conductividad hidráulica, factores que vienen acompañados de bajas coberturas vegetales y favorecen el escurrimiento superficial de las aguas lluvias y la formación de múltiples drenajes en cada una de las hoyas hidrográficas.

El modelo de probabilidad de eventos extremos exponencial de Gumbel y las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) sugieren la existencia de precipitaciones máximas del orden de los 40 a 60mm para periodos de retorno de 2.33 años, llegando a intensidades máximas de 70 a 100mm en tiempos de recurrencia de 100 años.

En adición a esto, las regiones próximas a los ríos Bogotá y Frío cuentan con los pronósticos de lluvias máximas de menor intensidad del municipio. Caso contrario, la cadena montañosa del occidente y norte del municipio cuenta con los mayores volúmenes de lluvia estimados para los diferentes periodos de retorno.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

## 1.6. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad temático de la información consiste en determinar sus cualidades y características para la realización de análisis en distintos tipos de estudios. Es importante tener en cuenta que tanto el control temático como el control cartográfico se deben llevar a cabo tanto para la información de entrada como para los productos generados del estudio.

### 1.6.1. Control de Calidad Temático

Entre los factores para tener en cuenta para el análisis de la calidad de la información a nivel temático se tienen:

- **Escala de trabajo**, esta se relaciona directamente con la finalidad del producto, por lo cual se convierte en un factor importante. La escala debe permitir generar información que se adecúe a las necesidades planteadas dentro de los objetivos y alcance del producto a desarrollar.
- **Exactitud temática**, la cual indica la fidelidad con que se clasifican y representa los rasgos en la base de datos de atributos (De León, 2007). La aplicación de este componente de la calidad permite la obtención de productos con un alto grado de confiabilidad y aplicabilidad en la planificación. Ya que, este componente de calidad temática de la información es difícil de determinar en los insumos, se recomienda que la información utilizada para el análisis de riesgos provenga de fuentes oficiales, con el fin de garantizar el mayor grado de confiabilidad. En caso de no tener acceso a información oficial para alguno de los componentes, se hace necesario establecer protocolos de generación de información, compatibles con los estándares nacionales. Para los productos resultantes del proyecto, se tiene en cuenta el cumplimiento del aspecto de calidad.
- **Credibilidad**, la credibilidad está fuertemente asociada a la exactitud temática y se refiere a la confiabilidad de la fuente que está generando la información, esto está relacionado con su tradición y función dentro de la temática a tratar, lo que le da la autoridad y capacidad para producir información confiable y buena calidad (Figuerola, 2007)
- **Temporalidad**, este elemento de la calidad se refiere al período de tiempo a que corresponde la información, el cual puede causar o no interpretaciones erróneas de los riesgos que se van a estimar. Es importante tener en cuenta que algunos factores permanecen relativamente estables en el tiempo (geología, clima); sin embargo, existen otros factores que presentan

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

altas dinámicas (suelo, población, infraestructura, etc.) por lo cual se debe tener en cuenta la temporalidad de la información a utilizar para cada uno de los factores de estudio. Es importante saber que muchos de los insumos utilizados en la determinación de riesgos provienen del nivel nacional y que esta información tiene una temporalidad de al menos 5 años, lo que quiere decir que, debido al alta dinámica del territorio, algunos de los factores pueden haberse transformado al momento de hacer los análisis, lo que puede influir en el resultado y hacer que este no refleje la realidad existente. Por lo tanto, cualquier análisis se debe tomar como una aproximación para la planificación.

- **Información mínima requerida**, los insumos a utilizar dentro del proceso de generación de los mapas de riesgos a movimientos en masa debe contener información que: a) facilite la localización espacial (poseer unas coordenadas, por consiguiente, un sistema coordinado); b) permita ubicarse geográficamente (un lugar); c) información de los valores o características que presenta el área representada por cada polígono que conforma la capa. Esto último es lo que permite llevar a cabo el proceso de calificación y categorización de los factores para cada uno de los componentes del riesgo a movimientos en masa. Igualmente, los productos generados deben cumplir con elemento de la calidad.
- **Polígonos adyacentes con el mismo código**, Para la generalización de polígonos adyacentes con el mismo código se pueden seguir dos procedimientos, cuya selección dependerá del producto que se esté trabajando. Una consiste en la realización de la generalización de los polígonos adyacentes con el mismo código de forma automatizada utilizando la herramienta disponible en el programa para tal fin que permite unir automáticamente polígonos adyacentes con el mismo código, esto solo se debe hacer en el caso de que se tenga la certeza de que la calificación realizada para cada uno de los polígonos es correcta. La otra es la generalización mediante revisión visual en pantalla, esta se utiliza en aquellos casos en que se puedan haber presentado errores en la asignación de valores de calificación y permite tomar una decisión acerca de si debe unirse el polígono y a qué polígono se debe hacer o si por el contrario se le debe asignar un nuevo valor de calificación al mismo.
- **Unidad mínima cartografiable**, la cual guarda relación con la escala de trabajo y hace referencia a la unidad cartografiable o elemento menor, que se puede apreciar a determinada escala de salida gráfica, lo que permite la “coherencia en la representación espacial, eficiencia en la lectura y utilidad del mapa”. Por norma cartográfica esta debe ser similar al área de un cuadrado



de 0,5 cm x 0,5 cm (USAID, 2012). La **Tabla 51**, muestra las unidades mínimas de mapeo para las escalas de trabajo de mapas de zonificación, conforme las recomendaciones del IGAC para Colombia.

**Tabla 51.** Escalas de trabajo para los mapas de zonificación.

| CORPORACIÓN | ESCALA    | UNIDAD MÍNIMA | UNIDAD MÍNIMA |
|-------------|-----------|---------------|---------------|
| CAR         | 1:100.000 | 25,0          | 250.000       |
| CORMACARENA | 1:100.000 | 25,0          | 250.000       |
| CDMB        | 1:25.000  | 1,56          | 15.625        |
| IGAC        | 5000      | 625           | 0,06          |
| IGAC        | 2000      | 100           | 0,01          |

**Fuente:** Arco Consultoría y Construcciones Ltda. (2021).

En este contexto, las capas deben ser revisadas, con el fin de generalizar los polígonos con áreas inferiores al área mínima cartografiable. Para llevar a cabo este proceso se debe tener en cuenta que dichos polígonos deben ser unidos a los polígonos adyacentes.

### 1.6.2. Control Cartográfico

El control cartográfico debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Concordancia de límites**, la información a utilizar debe cubrir toda el área de la corporación, con el fin de no generar vacíos en los resultados, sin embargo, si llega a presentarse el caso de que existan vacíos de información que no puedan ser subsanados, se hace necesario dejar constancia en los resultados de la existencia de estos.
- **Control topológico de la información**, este se refiere a la detección y corrección de huecos y superposiciones que puedan presentarse entre los polígonos que conforman las capas. Para ello se utiliza la herramienta topológica disponible en el programa que se esté utilizando, la cual permite detectar los errores que se presenten para que puedan ser corregidos. Para el ajuste topológico las capas deben ser trabajadas dentro de una geodatabase. El control topológico de la información busca detectar espacios vacíos entre polígonos (huecos) y polígonos superpuestos. La corrección se debe realizar de forma visual en pantalla.
- **Comprobación de sistema de proyección cartográfica**, se refiere a la determinación del sistema de proyección utilizado para la creación de la información en comparación con el seleccionado para el desarrollo del proyecto. En caso de que la información no se encuentre en el sistema de coordenadas requerido se debe llevar a cabo una re-proyección de dicha

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

información. Si la información no tiene sistema de coordenadas, pero se conoce el sistema en que fue creada, se le puede asignar el sistema de referencia (proyectar) y realizar las transformaciones pertinentes para llevarlo al sistema de coordenadas deseado; de lo contrario se debe volver a la fuente para obtener la información con su sistema de coordenadas. Para la re-proyección se deben tener en cuenta que el sistema geodésico de referencia a utilizar debe ser Magna-Sirgas, el cual fue adoptado en el año 2005 por el IGAC que es la Institución encargada de la cartografía oficial en Colombia (IGAC, 2004); (IGAC, 2005). Se debe anexar que mediante la Resolución 388, actualizada con la Resolución 509, la Resolución 471 actualizada con la Resolución 529, expedidas en el año 2020 por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, reglamenta el uso de un nuevo Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 para la gestión, integración y uso de la información de la Cartografía Básica para fines oficiales. En estas resoluciones se determina que la implementación del Origen CTM-12 es "...de obligatorio cumplimiento para las personas naturales, jurídicas, públicas o privadas, que produzcan cartografía para fines oficiales, así como para los Gestores Catastrales". (Resolución 471 – Artículo 2).

## 1.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Cajicá. (2014). Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Cajicá, Cundinamarca: Consejo Municipal de Cajicá.
- Alcaldía de Cajicá. (2016). Acuerdo 04. Cajicá, Cundinamarca: Consejo Municipal de Cajicá.
- ANU Fenner School of Environment and Society and Geoscience Australia, 2008. GEODATA 9 Second DEM and D8 Digital Elevation Model and Flow Direction Grid, User Guide. Geoscience Australia, 43 pp. Consulte: [http://www.ga.gov.au/image\\_cache/GA11644.pdf](http://www.ga.gov.au/image_cache/GA11644.pdf).
- B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger and J. Collins, 2001. GPS - theory and practice. Sección 10.2.1. p. 282.
- Burrough, P. A. y McDonell, R. A., 1998. Principles of Geographical Information Systems (Oxford University Press, New York), 190 pp.
- California, S. o. (1955). California Culvert Practice . Departament of Public Works, Division of Highways.
- Camara de Comercio de Bogotá. (2015). Caracterización Económica y Empresarial de 19 municipios de Cundinamarca. Bogotá D.C.: Camara de Comercio de Bogotá.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- Carvajal Perico, J. H. (2012). Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano.
- Chow, e. a. (1988). Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. (J. G. Saldarriaga, Trad.) Texas, EE.UU: Tata McGraw-Hill Education.
- Consejo Municipal de Cajicá. (2016). Acuerdo 04 del 2016. Cajicá, Cundinamarca: Alcaldía de Cajicá.
- Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2019). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Cajicá, Cundinamarca: Consorcio Consultoría Cajicá.
- Consorcio Consultoría Cajicá. (2019). Plan municipal de gestión del riesgo de desastres. Consejo municipal para la gestión del riesgo de Desastre, Cundinamarca. Cajicá: Consorcio Consultoría Cajicá.
- Corporación Autónoma Regional. (2006). Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá. Bogotá D.C.: CAR.
- Corporación Autónoma Regional. (2018). Ajuste del plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Bogotá. Bogotá D.C.: CAR.
- Corporación Autónoma Regional. (2019). Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Bogotá. Bogotá D.C.
- Corporación Autónoma Regional. (2019). Ajuste y/o actualización del POMCA del Río Bogotá. Bogotá D.C.: CAR.
- David Eberly 1999. Least Squares Fitting of Data (Geometric Tools, LLC), pp. 3.
- De León, D. P. (2007). Documentación de la calidad de la información edafológica digital: exactitud temática del mapa nacional de suelos (serie Habana). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 16(4), 79-83.
- Díaz, Á., & Mercado, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. Montería: Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Dooge, J. (1973). Linear theory of hydrological systems. Washington D.C.: USDA, ARS, Tech. Bull, o n 1468,.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

Ecoforest Ltda; Planeación Ecológica. (2020). Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá, Subcuenca del Río Frío. Bogotá D.C.: Ecoforest Ltda.

Figueroa, B. (2007). Criterios para evaluar la información. España: Recinto de Ponce.

García, E. (2017). Cálculo Hidrológico del Barranco de los Carriles aplicando el Método Racional modificado por Témez. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.

Gaspari, F. E. (2007). Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias, vol. XXXIX, 21 - 28.

Gobernación de Cundinamarca. (2016). Plan de Desarrollo de Cundinamarca. Gobernación de Cundinamarca.

Gobernación de Cundinamarca. (2020). Caracterización General del Departamento: Las Dimensiones de Cundinamarca. Bogotá D.C.: Gobernación de Cundinamarca.

Goodchild, M. F. y D. M. Mark. 1987. The fractal nature of geographic phenomena. *Annals of Association of American Geographers*. 77 (2): 265–278.

Hutchinson, M. F. 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Ponencia presentada en el Third International Symposium on Spatial Data Handling en Sídney, Australia.

Hutchinson, M. F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106: 211–232.

Hutchinson, M. F. y T. I. Dowling. 1991. A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia. *Hydrological Processes* 5: 45–58.

Hutchinson, M. F. 1993. Development of a continent-wide DEM with applications to terrain and climate analysis. En *Environmental Modeling with GIS*, ed. M. F. Goodchild et al., 392–399. Nueva York: Oxford University Press.

Hutchinson, M. F. 1996. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models. En *Procedimientos, Tercer conferencia/taller internacional sobre la integración del modelado ambiental con SIG*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis. Consulte: [http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA\\_FE\\_CD-ROM/sf\\_papers/hutchinson\\_michael\\_dem/local.html](http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/hutchinson_michael_dem/local.html).



- Hutchinson, M.F. 2000. 2000. Optimising the degree of data smoothing for locally adaptive finite element bivariate smoothing splines. ANZIAM Journal 42(E): C774–C796.
- Hutchinson, M.F. y Gallant, J.C. 2000. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: J.P. Wilson and J.C. Gallant (eds) Terrain Analysis. Wiley, New York, pp. 29–50.
- Hutchinson, M.F. 2008. Adding the Z-dimension. In: J.P. Wilson and A.S. Fotheringham (eds), Handbook of Geographic Information Science, Blackwell, pp 144–168.
- Hutchinson, M.F., Stein, J.A., Stein, J.L. y Xu, T. 2009. Locally adaptive gridding of noisy high resolution topographic data. In Anderssen, R.S., R.D. Braddock and L.T.H. Newham (eds) 18th World IMACS Congress. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation, July 2009, pp. 2493–2499. Consulte: <http://www.mssanz.org.au/modsim09/F13/hutchinson.pdf>.
- Hutchinson, M.F., Xu, T. y Stein, J.A. 2011. Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure. En: Geomorphometry 2011, edited by T. Hengel, I.S. Evans, J.P. Wilson and M. Gould, pp. 19–22. Redlands, California, USA. Consulte: <http://geomorphometry.org/HutchinsonXu2011>.
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100.000. Bogotá D.C.
- IGAC. (2004). Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS, con datum oficial de Colombia. Bogotá: Subdirección de Geografía y Cartografía. Subdivisión de Geodesia.
- IGAC. (2005). Resolución 068. Bogotá D.C.: Diario Oficial No. 45.812.
- Instituto Agropecuario Colombiano. (2020). Censo Pecuario Nacional. Colombia: Minagricultura.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (4 de Julio de 2021). <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/clima-text.pdf>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (24 de Junio de 2021). <http://www.meteoaeronautica.gov.co/cartas-de-vientos>.

|  |  |                                 |        |  |
|--|--|---------------------------------|--------|--|
| <br>ALCALDÍA MUNICIPAL<br>DE CAJICÁ | ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA<br>INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL<br>RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ -<br>CUNDINAMARCA |                                 |        | <br>ARCO<br>C & C |
|  | ASPECTOS<br>GENERALES<br>SUELO RURAL   | ESTUDIOS BÁSICOS<br>DE AMENAZAS | CAJICÁ |  |

- Inzunza, J. (2006). Meteorología descriptiva, capítulo 4. Obtenido de [http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso\\_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva\\_Inzunza/cap4\\_Inzunza\\_Temperatura.pdf](http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap4_Inzunza_Temperatura.pdf)
- JAXA. (s.f.). Japan Aerospace Exploration Agency Earth Observation Research Center. Obtenido de Japan Aerospace Exploration Agency Earth Observation Research Center: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm>
- Jiménez, L., & Leonardo, V. (2013). Propuesta metodológica para el rediseño de una red meteorológica en un sector de la región andina colombiana. Bogotá, Colombia: Universidad de La Salle.
- Kirpich, Z. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. New York, USA.
- Lavorato, M., Lakkis, S., & Canziani, P. (2015). Radiación solar: métodos de regresión para datos del 2010-2013 en Buenos Aires. Buenos Aires.
- López, M. (2006). Análisis de los principales parámetros de un método hidrometeorológico para el cálculo de avenidas y aplicación a una cuenca mediterránea. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Lorente, J. (2010). Curso de fotoprotección. Barcelona: Departamento de Astronomía y Meteorología.
- Marcin Ligas, and Piotr Banasik, 2011. Conversion between Cartesian and geodetic coordinates on a rotational ellipsoid by solving a system of nonlinear equations (GEODESY AND CARTOGRAPHY), Vol. 60, No 2, 2011, pp. 145-159
- Ministerio de Agricultura. (2020). Evaluaciones Agropecuarias. Bogotá D.C.: Ministerio de Agricultura.
- Montoya, J., & Campozaño, L. (2019). Estudio del impacto de la variabilidad climática sobre el rendimiento del cultivo de maíz en Ecuador. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Nieves Martínez, I. (2014). Laboratorio de Química Física 1.
- Organización Meteorológica Mundial OMM. (2010). Papel de los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales en la integración de los servicios climáticos en la gestión de riesgo climáticos. Cancún, México: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- Pérez, J. (1979). Fundamentos del Ciclo Hidrológico. Caracas, Venezuela: Ediciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.
- PERUANO, E. (2009). Decreto Supremo N° 017 – 2009. Perú.
- Racero Armario, C. (2012). Viabilidad de un Parque Eólico con Sistema de Almacenamiento de Energía Mediante el uso de Modelos de Predicción. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Restrepo, L., & González, J. (2007). De Pearson a Spearman. Universidad de Antioquia, Universidad de Caldas.
- Ruiz, O., Arteaga, R., Vásquez, M., Ontiveros, R., & López, R. (2012). Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. Tabasco: Universidad y Ciencia, Trópico húmedo.
- Sánchez, F. (2017). Hidrología superficial y subterránea. Salamanca: Createspace Independent Pub 414.
- Sánchez, J. (2007). Hidrología Superficial y Subterránea . Salananca, España : Universidad de Salamanca .
- SCS. (1964). National engineering handbook, Section 4, Hydrology. Washington: Department of Agriculture.
- SCS. (1972). National Engineering Handbook. En V. Mockus, Hydrologic Soil-Cover Complexes (pág. Chapter 9). United States.
- SCS. (2010). Chapter 15 Time of Concentration. Natural Resources Conservation Service.
- Secretaría de Planeación Departamental, Dirección de sistema de información Geográfico, Análisis y Estadístico. (2020). Caracterización general del departamento: Las dimensiones de Cundinamarca. Bogotá D.C.: Gobernación de Cundinamarca.
- Senciales, J. y. (1992). Análisis morfométrico de la cuenca del río Benamargosa (provincia de Málaga) en López B. F., C. Conesa y M.A. Romero: Estudios de de Geomorfología, Murcia. . Murcia.
- Servicio Geológico Colombiano. (2018). Catálogo de Aceleración Sismica. Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano.
- Servicio Geológico Colombiano. (2018). Catálogo de Sismicidad. Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano.

|   |  |                                     |               |   |
|---|--|-------------------------------------|---------------|---|
|  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS PARA LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO AL POT DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ - CUNDINAMARCA</b> |                                     |               |  |
|   | <b>ASPECTOS GENERALES SUELO RURAL</b>  | <b>ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZAS</b> | <b>CAJICÁ</b> |   |

- Servicio Geológico Colombiano. (2021). Mapa de Amenaza Sísmica. Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano.
- Strahler, A. N. (1964). Handbook of Applied Hydrology. En V. In Chow, Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. (págs. 439-476.). New York. : McGraw-Hill.
- Témez, J. (1978). Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. . Madrid, España.: Dirección General de Carreteras. MOPU. .
- Tito, M., Zamanillo, E., & Díaz, E. (2016). Metodologías de análisis de frecuencia en variables hidrológicas y el Fenómeno del Niño. Cuadernos del Curihan, vol. 22.
- Tsonis, A. A. (2007). An introduction to atmospheric thermodynamics. Cambridge University Press, 2 edition.
- USAID. (2012). Definición del estado de conservación de los ecosistemas para recategorización y declaratoria de las áreas protegidas en el ámbito regional (áreas seleccionadas por la UAESPNN). Recuperado el abril de 2014, de Identificación de vacíos y definición de prioridades de conservación, Documento de procedimiento para la homologación de categorías de áreas protegidas: <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/InformeFinalTecnico3PoliticPublicasNoviembre.pdf>
- Vélez, J., & Botero, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada san luis, manizales. DYNA. Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). Facultad de Minas. , 58 - 71.
- Viessman, W., & Lewis, G. (2003). Introduction to Hydrology. . NJ, USA: Prentice Hall.
- Villón M. (2002). Hidrología. Lima, Perú: Ediciones Villon.
- Wahba, G. 1990. Spline models for Observational data. Documento presentado en la Serie de conferencias regionales de CBMS-NSF sobre matemáticas aplicadas. Philadelphia: Soc. Ind. Appl. Maths.