

**ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA
TORRENCIAL**

MUNICIPIO DE CALDAS – ANTIOQUIA

ELABORADO POR:

BIOEXPLORA S.A.S.



MEDELLÍN-ANTIOQUIA

SEPTIEMBRE DE 2023

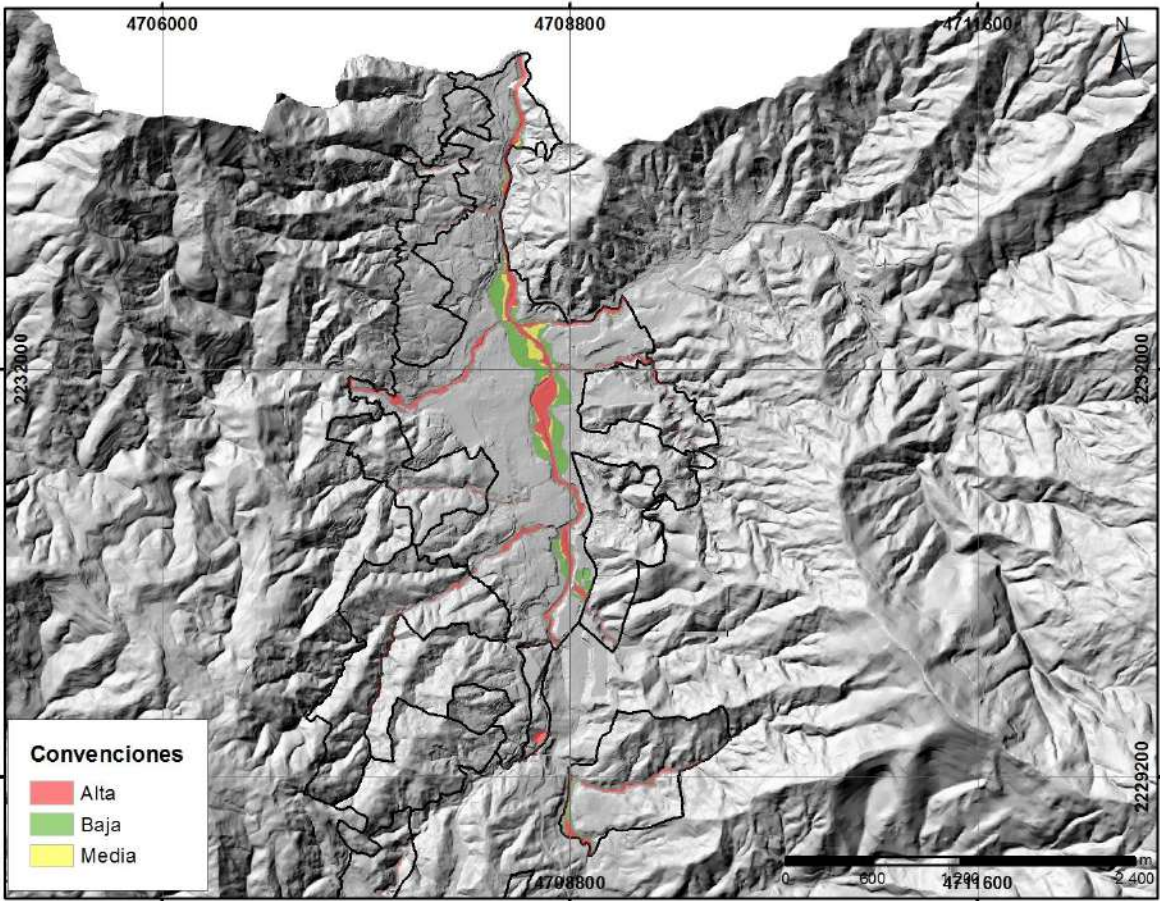
CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	26
1.1 Objetivos	26
1.1.1 Objetivo General.....	26
1.1.2 Objetivos específicos	26
2. CONTEXTO TERRITORIAL.....	28
2.1 UBICACIÓN.....	28
2.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO PROPUESTA	29
3. METODOLOGÍA ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS	31
3.1 Amenaza por Movimiento en Masa	32
3.1.1 Suelo Urbano, de Expansión Urbana y Centros Poblados	33
3.1.2 Suelo Rural.....	46
3.2 Amenaza por Inundación	47
3.2.1 Estimación de Caudales Máximos	48
3.2.2 Modelación Hidráulica.....	66
3.2.3 Clasificación de la amenaza.....	69
3.3 Amenaza por Avenida Torrencial	70
3.4 Delimitación y Zonificación de las Áreas con Condición de Amenaza y con Condición de Riesgo	73
4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA RECOPIADA.....	73
4.1 Estudios anteriores	73
4.2 Revisión de parámetros GEOTÉCNICOS de los suelos	76
4.3 Reporte histórico de eventos.....	77
4.4 Información cartográfica básica.....	83
4.4.1 Modelo de elevación digital.....	83
4.4.2 Sensores Remotos	89
5. CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL.....	91
5.1 Geología Regional	91
5.1.1 Grupo Caldas	92

5.1.2 Esquistos de Cajamarca (TReC).....	93
5.1.3 Stock de Amagá (TRgA)	94
5.1.4 Gabros de Romeral (JgR)	94
5.1.5 Dunita de Medellín (JKuM).....	94
5.1.6 Complejo Quebradagrande	94
5.1.7 Depósitos de vertiente (Qd-NFI-NQFII-NFprel).....	95
5.1.8 Depósitos aluviotorrenciales (Qat)	96
5.1.9 Depósitos aluviales (Qal)	96
5.1.10 Depósitos antrópicos (QII).....	96
5.2 Geología Local	96
5.2.1 Unidades geológicas del suelo urbano	97
5.2.2 Formaciones superficiales en suelo urbano.....	102
5.2.3 Unidades geológicas en suelo rural.....	106
5.2.4 Formaciones superficiales en suelo rural	114
5.3 Geomorfología Regional	118
5.4 Geomorfología Local.....	121
5.4.1 Geomorfología en suelo urbano	122
5.4.2 Geomorfología en suelo rural.....	138
5.5 Procesos morfodinámicos	153
5.5.1 Procesos morfodinámicos en suelo urbano	154
5.5.2 Procesos morfodinámicos en suelo rural.....	159
6. MODELACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DE LAS CORRIENTES A ANALIZAR	165
6.1 Estudio Hidrológico	165
6.1.1 Análisis de susceptibilidad y determinación de las corrientes hídricas a analizar	165
6.1.2 Caracterización morfométrica de las cuencas estudiadas.....	166
6.1.3 Tormenta de diseño.....	176
6.1.4 Estimación de caudales máximos	189

6.2 Estudio Hidráulico	196
6.2.1 Estrategia y escenarios de modelación	196
6.2.2 Modelo de Elevación del Terreno	201
6.2.3 Coeficientes de rugosidad.....	204
6.2.4 Descriptor morfométrico HAND: Escenarios 1 y 2	207
6.2.5 Modelación hidráulica Bidimensional: Escenarios 3 y 4	209
7. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS	211
7.1 Determinación de la amenaza por movimientos en masa	211
7.1.1 Insumos y análisis geológico – geotécnico Análisis de los insumos	211
7.1.2 Modelación de la amenaza por movimiento en masa	217
7.2 Análisis de la amenaza por movimiento en masa	219
7.2.1 Zona Urbana y Zonas de expansión Urbana	220
7.2.2 Zona rural.....	226
7.3 Análisis de amenaza por inundación	230

7.3.1



Suelo Urbano y de Expansión	231
7.3.2 Suelo Rural.....	233
7.4 Análisis de amenaza por avenida torrencial	234
7.4.1 Desarrollo Zonificación Amenaza por avenida torrencial	234
7.4.2 Suelo Urbano y de Expansión.....	236
7.4.3 Suelo Rural.....	238
7.5 Análisis comparativo de amenazas	239
7.5.1 Amenaza por movimientos en masa	240
7.5.2 Amenaza por inundación	243
7.5.3 Amenaza por avenida torrencial.....	246
7.6 Caracterización de los centros poblados	249
7.6.1 Centro Poblado El Canelón	249

7.6.2 Poblado La Aguacatala	255
7.6.3 Centro poblado La Chuscala.....	264
7.6.4 Centro poblado La Clara	272
7.6.5 Centro poblado La Corrala.....	284
7.6.6 Centro poblado La Miel.....	292
7.6.7 Centro poblado La Quiebra	304
7.6.8 Centro poblado La Raya	313
7.6.9 Centro poblado La Salada Parte Baja	326
7.6.10 Centro poblado La Valeria	337
7.6.11 Centro poblado El Raizal Quiebrapatas.....	348
7.6.12 Análisis comparativo de amenazas en centros poblados	356
7.6.13 Áreas de población limítrofes al perímetro urbano con tratamiento de escala urbana	358
8. DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO Y AMENAZA.....	360
8.1 DELIMITACIÓN DE ÁREAS EN CONDICIÓN DE RIESGO (ACR)	361
8.1.1 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa.....	362
8.1.2 Áreas con condición de riesgo por inundación	374
8.1.3 Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial.....	382
8.2 DELIMITACIÓN DE ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA (ACA)	391
8.2.1 Áreas con condición de amenazas por movimientos en masa	392
8.2.2 Áreas con condición de amenaza por inundación.....	399
8.2.3 Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial	404
9. LINEAMIENTOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS	408
9.1 ANÁLISIS DETALLADO DE AMENAZA	409
9.1.1 Análisis detallado de amenaza por movimientos en masa	409
9.1.2 Análisis detallado de amenaza por inundación	409
9.1.3 Análisis detallado de amenaza por avenida torrencial	410
9.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.....	410

9.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO	411
9.4 OTRAS DISPOSICIONES.....	411
10. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN	412
10.1.1 Medidas de intervención estructurales	412
10.1.2 Medidas de intervención no estructurales.....	413
10.1.3 Estudios de Detalle.....	413
11. REFERENCIAS	414

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación suelo propuesta.	29
Tabla 2. Centros poblados	30
Tabla 3. Clasificación de amenaza según el valor de FS.	42
Tabla 4. Escenarios simulados con Scoops3D.	43
Tabla 5. Valores para probabilidad de falla para TRIGRS + FOSM.....	44
Tabla 6. Valores de Factor de Seguridad arrojados por Scoops 3D.	44
Tabla 7. Escenarios para la modelación en Scoops 3D.	44
Tabla 8. Combinaciones resultantes para unión de mapas TRIGRS + FOSM y Scoops 3D.	45
Tabla 9. Metodologías para la estimación del tiempo de concentración (Tc).	50
Tabla 10. Número de curva para escorrentía con humedad antecedente AMC II.	56
Tabla 11. Conversión de humedad antecedente.....	57
Tabla 12. Clasificación de la amenaza según la frecuencia del evento y su intensidad. revisar título	69
Tabla 13. Clasificación de la amenaza según el período de retorno.....	69
Tabla 14. Nivel de amenaza por inundación de acuerdo con la profundidad y velocidad de la lámina de agua.	69
Tabla 15. Matriz de categorización para la definición de la amenaza por avenida torrencial.....	72

Tabla 16. Informes y documentos de la revisión bibliográfica.....	73
Tabla 17. Listado de revisión de estudios de suelos.	76
Tabla 18. Reporte histórico de eventos.	79
Tabla 19. Reporte de eventos el municipio de CALDAS para el año 2021.	82
Tabla 20. Reporte de eventos del municipio de Caldas para el año 2021.	89
Tabla 21. Áreas de las unidades geológicas en el suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.	101
Tabla 22. Representación de cada formación superficial en porcentaje del suelo urbano	105
Tabla 23. Áreas de las unidades geológicas en el suelo rural del municipio de Caldas.	112
Tabla 24. Representación de cada formación superficial en porcentaje del suelo rural	116
Tabla 25. Cauce aluvial.....	123
Tabla 26. Planos y campos de llenos antrópicos	123
Tabla 27. Llanura aluvial	124
Tabla 28. Llanura aluvial	125
Tabla 29. Conos aluviotorrenciales coalescentes	125
Tabla 30. Cono aluviotorrencial.....	125
Tabla 31. Terraza aluvial.....	126
Tabla 32. Escarpe de erosión menor.....	126
Tabla 33. Ladera corta escarpada.....	126
Tabla 34. Ladera media empinada.....	127
Tabla 35. Ladera facetada media empinada.....	127
Tabla 36. Ladera larga moderada	127
Tabla 37. Ladera cóncava corta moderada	128
Tabla 38. Ladera cóncava corta empinada.....	128
Tabla 39. Ladera coluvial corta moderada en suelo residual.....	129
Tabla 40. Ladera coluvial corta empinada en suelo residual	129
Tabla 41. Ladera coluvial corta moderada.....	129
Tabla 42. Ladera coluvial cóncava empinada	130
Tabla 43. Ladera coluvial media moderada	130

Tabla 44. Ladera coluvial media empinada	131
Tabla 45. Ladera coluvial larga moderada.....	131
Tabla 46. Superficie corta suave con baja incisión	131
Tabla 47. Superficie ondulada suave.....	131
Tabla 48. Superficie media suave	132
Tabla 49. Superficie corta suave	132
Tabla 50. Topes estrechos suaves.....	132
Tabla 51. Topes estrechos moderados	133
Tabla 52. Lóbulo coluvial medio	133
Tabla 53. Lóbulo coluvial largo.....	134
Tabla 54. Ladera coluvial corta empinada	134
Tabla 55. Ladera coluvial corta moderada.....	134
Tabla 56. Ladera coluvial larga suave	135
Tabla 57. Ladera coluvial media suave	135
Tabla 58. Ladera denudacional corta empinada	136
Tabla 59. Ladera denudacional corta	136
Tabla 60. Áreas de las unidades geomorfológicas en suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.	136
Tabla 61. Cauce aluvial.....	140
Tabla 62. Colina residual	140
Tabla 63. Conos de flujos de lodo y escombros.....	140
Tabla 64. Cono o lóbulo de deslizamiento	141
Tabla 65. Escarpe de erosión menor.....	141
Tabla 66. Espolón bajo de longitud media	142
Tabla 67. Espolón moderado de longitud media	142
Tabla 68. Espolones estructurales	143
Tabla 69. Planos y campos de llenos antrópicos	143
Tabla 70. Llanura aluvial	144

Tabla 71. Llanuras y/o terrazas aluviotorrenciales	144
Tabla 72. Lomeríos poco disectados	144
Tabla 73. Lomo de falla.....	145
Tabla 74. Lomos denudados bajos de longitud corta	146
Tabla 75. Lomos denudados bajos de longitud media	146
Tabla 76. Lomos denudados bajos de longitud media a corta.....	146
Tabla 77. Lomos denudados moderados de longitud larga.	147
Tabla 78. Lomos denudados moderados de longitud media	148
Tabla 79. Lomo residual.....	148
Tabla 80. Lomos denudados	149
Tabla 81. Lomos disectados	149
Tabla 82. Sierra Residual.....	150
Tabla 83. Vertiente sobre depósitos poco incisados	150
Tabla 84. Rasgos Morfotectónicos, escarpes	151
Tabla 85. Rasgos Morfotectónicos, escarpes	151
Tabla 86. Superficies suaves en suelo residual	151
Tabla 87. Vertientes sobre depósitos poco incisados	151
Tabla 88. Vertientes empinadas.....	152
Tabla 89. Áreas de las unidades geomorfológicas en suelo rural del municipio de Caldas.	152
Tabla 90. Tipo de procesos morfodinámicos en suelo urbano y de expansión.	157
Tabla 91. Actividad de los procesos morfodinámicos identificados en suelo urbano y de expansión.	157
Tabla 92. Tipo de procesos morfodinámicos en suelo rural.	160
Tabla 93. Actividad de los procesos morfodinámicos identificados en suelo rural.	160
Tabla 94. Parámetros morfométricos de las cuencas principales.	169
Tabla 95. Parámetros morfométricos de cuencas principales – continuación.	171
Tabla 96. Parámetros morfométricos de cuencas principales – continuación.	173
Tabla 97. Parámetros morfométricos de cuencas principales – continuación.	174
Tabla 98. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales.	177

Tabla 99. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales – continuación.....	177
Tabla 100. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales – continuación.....	178
Tabla 101. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales – continuación.....	179
Tabla 102. Porcentaje de superposición entre cuencas y polígonos de Thiessen de las estaciones IDF.	181
Tabla 103. Intensidad de la lluvia asociada a cada período de retorno para las cuencas principales.....	181
Tabla 104. Factor de reducción de la lluvia en función del área y el tiempo de concentración.....	182
Tabla 105. Coeficiente de escorrentía (CN) asociado a cada cobertura identificada en el POT y su relación con las coberturas definidas por el NRCS	184
Tabla 106. Grupo hidrológico asociado a cada tipo de suelo.	186
Tabla 107. Número de Curva NRCS para las principales cuencas.....	188
Tabla 108. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m^3/s) – W & H.	190
Tabla 109. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m^3/s) – Snyder.....	192
Tabla 110. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m^3/s) – NRCS.....	193
Tabla 111. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m^3/s)– Racional.....	194
Tabla 112. Selección de metodologías utilizadas para estimar los caudales de diseño.....	194
Tabla 113. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m^3/s)– Valores seleccionados.....	195
Tabla 114. Escenarios de modelación hidráulica utilizados.....	197
Tabla 115. Coeficiente de rugosidad de Manning.....	205
Tabla 116. Coeficiente de rugosidad de Manning para avenidas torrenciales.....	206
Tabla 117. Características principales de la malla computacional y los parámetros temporales de modelación del río Aburrá.....	210
Tabla 118. Caudales de diseño para el tramo estudiado del río Aburrá	210
Tabla 119. Condición de borde de las quebradas.....	211
Tabla 120. Estudios de suelo por formación superficial, municipio de Caldas.....	212

Tabla 121. Valores medios de los parámetros geotécnicos para las formaciones superficiales del municipio de Caldas.	213
Tabla 122. Propiedades hidráulicas y profundidad máxima del estrato superficial (deslizable) para las formaciones superficiales del municipio de Caldas.	215
Tabla 123. Parámetros de curvas IDF de estación Caldas (AMVA-UNAL, 2018) e intensidad calculada para Tr = 100 años y d = 4 h.	216
Tabla 124. Valores para probabilidad de falla para TRIGRS + FOSM.	217
Tabla 125. Valores de Factor de Seguridad arrojados por Scoops 3D.	218
Tabla 126. Escenarios para la modelación en Scoops 3D.	218
Tabla 127. Combinaciones resultantes para unión de mapas TRIGRS + FOSM y Scoops 3D.	219
Tabla 128. Área en Ha de amenaza por movimiento en masa para suelo urbano y de expansión en el municipio de Caldas.	223
Tabla 129. Área en Ha de amenaza por movimiento en masa para suelo rural para el municipio de Caldas.	229
Tabla 130. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro El Canelón.	249
Tabla 131. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro El Canelón.	251
Tabla 132. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado El Canelón.	253
Tabla 133. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Aguacatala.	256
Tabla 134. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Aguacatala.	258
Tabla 135. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Aguacatala.	261
Tabla 136. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Chuscala.	265
Tabla 137. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Chuscala.	267
Tabla 138. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Chuscala.	269
Tabla 139. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Clara.	275
Tabla 140. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Clara.	277
Tabla 141. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Clara.	280
Tabla 142. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Corrala.	285
Tabla 143. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Corrala.	287
Tabla 144. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Corrala.	289

Tabla 145. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Miel.	293
Tabla 146. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Miel	295
Tabla 147. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Miel.	299
Tabla 148. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Quiebra.	305
Tabla 149. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Quiebra	307
Tabla 150. Representación de cada elemento geomorfológico en porcentaje del centro poblado La Quiebra.	310
Tabla 151. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Raya.	316
Tabla 152. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Raya	317
Tabla 153. Representación de cada elemento geomorfológico en porcentaje del centro poblado La Raya...	322
Tabla 154. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Salada parte baja.	329
Tabla 155. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Salda Parte Baja	332
Tabla 156. Representación de cada elemento geomorfológico en porcentaje del centro poblado La Salada parte baja.	335
Tabla 157. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Valeria.....	339
Tabla 158. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Valeria.....	341
Tabla 159. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Valeria....	344
Tabla 160. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado El raizal Quiebrapatas.	349
Tabla 161. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Valeria.....	351
Tabla 162. Representación de cada elemento geomorfológico en porcentaje del centro poblado El Raizal Quiebrapatas.	353
Tabla 163. Áreas de población limítrofes al perímetro urbano con tratamiento a escala urbana por amenaza por movimiento en masa.	360
Tabla 164. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo urbano y expansión.	363
Tabla 165. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo suburbano.	366
Tabla 166. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo de parcelación.	366
Tabla 167. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en Centros Poblados.	369

Tabla 168. Áreas con condición de riesgo por movimiento en masa en suelo rural.	372
Tabla 169. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo urbano y expansión.	375
Tabla 170. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelos Suburbanos.	377
Tabla 171. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelos de parcelación.	377
Tabla 172. Áreas con condición de riesgo por inundación en Centros Poblados.	379
Tabla 173. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo rural.	380
Tabla 174. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo urbano y expansión.	383
Tabla 175. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelos suburbanos.	386
Tabla 176. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en centros poblados.	388
Tabla 177. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo rural.	389

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica del Municipio de Caldas.	28
Figura 2. Clasificación y restricciones del municipio de Caldas.	31
Figura 3. Talud esquemático con procesos de deslizamiento Scoops3D.	43
Figura 4. Esquema metodológico para la zonificación por movimientos en masa.	46
Figura 5. Esquemización del proceso de estimación de caudales máximos.	49
Figura 6. Estaciones con información de IDF de la lluvia.	51
Figura 7. Curvas de IDF en la estación Caldas en condiciones actuales.	52
Figura 8. Curvas de IDF en la estación Caldas en condiciones futuras (cambio climático).	53
Figura 9. Curvas de factor de reducción de la lluvia por área.	53
Figura 10. Hietograma de precipitación con base en la metodología de bloques alternantes.	54
Figura 11. Hidrograma unitario sintético de Snyder.	59
Figura 12. Hidrógrafa unitaria del SCS y su hidrógrafa triangular equivalente.	61
Figura 13. Hidrógrafa unitaria de Williams y Hann.	62
Figura 14. Relación entre B y n para $1,27 < n \leq 12$ y relación entre B y n para $n < 1,27$	64

Figura 15. Deconvolución matricial de la hidrógrafa de respuesta.....	64
Figura 16. Esquemización del mapa de inundaciones asociado al DEM y niveles máximos.	67
Figura 17. Definición de manchas de inundación a partir del HAND.	68
Figura 18. Curva de calibración nivel-caudal en el tramo de descarga de la quebrada La Miel.....	68
Figura 19. Modelo de elevación digital (DEM) para el municipio de Caldas.....	84
Figura 20. Modelo de sombras del municipio de Caldas.	85
Figura 21. Mapa de pendientes del municipio de Caldas.	86
Figura 22. Mapa de curvatura del municipio de Caldas.....	87
Figura 23. Mapa de la rugosidad del terreno del municipio de Caldas.....	89
Figura 24. Mapa de sitios visitados en el proceso de caracterización geoambiental.	91
Figura 25. Mapa de geología regional del municipio de Caldas.	93
Figura 26. Mapa de las unidades geológicas presentes en el suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.	97
Figura 27. Depósitos aluviales ubicados en las zonas bajas de la quebrada la Miel.	98
Figura 28. Lleno antrópico ubicado en la zona urbana, en la margen izquierda de la variante de Caldas.	99
Figura 29. Secuencia de depósito de vertiente con fragmentos de esquistos frescos, observada en la cuenca de la quebrada La Miel.....	100
Figura 30. Fragmento de esquistos localizados en la cuenca de la quebrada La Miel.	101
Figura 31. Unidades geológicas presentes en el suelo rural del municipio de Caldas.	107
Figura 32. Afloramientos de perfil de meteorización de anfibolita Granatífera, Sector La Clara.	108
Figura 33. Esquistos de Cajamarca, Sector de La Miel.....	109
Figura 34. Perfil de meteorización del Stock de Amagá, vereda Salinas.	109
Figura 35. Perfil de meteorización del Miembro Volcánico, vía a Angelópolis.....	110
Figura 36. Afloramiento de Lutitas en la quebrada La Valeria.	111
Figura 37. Depósito de deslizamiento, localizado en La Miel.	112
Figura 38. Formaciones superficiales presentes en el suelo rural del municipio de Caldas.	114
Figura 39. Mapa geomorfológico regional del municipio de Caldas.....	121
Figura 40. Mapa de unidades geomorfológicas para el suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.	123

Figura 41. Geoforma antrópica, lleno de la escombrera Los Lagos.....	124
Figura 42. Llanura aluvial en la quebrada La Miel y el río Aburrá.....	124
Figura 43. Mapa de unidades geomorfológicas en suelo rural del municipio de Caldas.....	139
Figura 44. Botadero de material, localizado en la vereda La Quiebra.....	143
Figura 45. Lomo de falla, localizado por la vereda Sinifaná.	145
Figura 46. Lomos denudados moderados de longitud larga, cuenca alta de la vereda La Miel.	147
Figura 47. Lomos en suelo residual, Cuenca de la quebrada La Corrala.....	148
Figura 48. Vertiente sobre depósitos poco incisados, localizados en la parte alta de la Clara.	150
Figura 49. Mapa de procesos morfodinámicos en suelo urbano y de expansión.	155
Figura 50. Deslizamiento activo de tipo traslacional, localizado en la margen derecha del río Aburrá a la altura del barrio La Inmaculada.....	156
Figura 51. Deslizamiento ocurrido en la zona de expansión 303 con afectación a una vivienda.	156
Figura 52. Evento estabilizado en Villas de la Valeria.....	157
Figura 53. Mapa de procesos morfodinámicos en suelo rural.	159
Figura 54. Fenómeno de deslizamiento lento localizado en la vía que va hacia el barrio Andalucía.	161
Figura 55. Movimiento en masa, La Chuscala, izq. imagen satélite, vista desde la quebrada.....	162
Figura 56. Movimiento en masa, La Corralita	162
Figura 57. Taponamiento río Aburrá por movimiento en masa.	163
Figura 58. Taponamiento de quebrada por movimiento en masa.....	163
Figura 59. Deslizamiento superficial Vereda Sinifaná.	164
Figura 60. Socavación Lateral quebrada La Miel.	164
Figura 61. Socavación Lateral quebrada La Raya.	165
Figura 62. Corrientes analizadas del municipio de Caldas.....	166
Figura 63. Mapa de cuencas hidrográficas analizadas del municipio de Caldas.....	168
Figura 64. Distribución temporal de la precipitación con un período de retorno de 100 años en la Q. La Valeria.	183
Figura 65 Clasificación agrológica de los suelos en el municipio de Caldas.....	186
Figura 66. Cobertura vegetal en el municipio de Caldas.	187
Figura 67 Número de Curva NRCS en el municipio de Caldas.	188

Figura 68. Deconvolución matricial de la hidrógrafa de respuesta.	190
Figura 69. Hidrógrafa de respuesta estimada por las diferentes metodologías en la quebrada La Miel ante la ocurrencia del evento de precipitación asociado a un período de retorno de 200 años.	190
Figura 70. Zonas con modelación hidráulica bidimensional.	197
Figura 71. Modelo digital de elevación utilizado para la modelación hidráulica.	201
Figura 72. Levantamiento de dimensiones en La Quebrada La Corralita.	202
Figura 73. Levantamiento de dimensiones en La Quebrada La Chuscala.	203
Figura 74. Implantación de estructura hidráulica en el modelo digital del terreno de la quebrada La Miel.	203
Figura 75. Implantación de la estructura en la malla de modelado 2D.	203
Figura 76. Ajuste del modelo digital de elevación para la implantación de una estructura hidráulica en la quebrada La Miel.	204
Figura 77. Coeficiente de rugosidad de Maning.	205
Figura 78. Curva de calibración nivel-caudal en el tramo de descarga de la quebrada La Corralita.	208
Figura 79. Profundidad de la inundación con un TR de 100 años, metodología HAND – Zona Rural y Urbana	208
Figura 80. Formaciones superficiales y estudios de suelo revisados del municipio de Caldas.	213
Figura 81. Amenaza de movimientos en masa con falla planar en suelos urbanos y de expansión.	221
Figura 82. Amenaza de movimientos en masa de tipo rotacional en suelo urbano y de expansión en escenarios: (a) Escenario 1; (b) Escenario 2.	222
Figura 83. Amenaza de movimientos en masa de tipo rotacional en suelo urbano y de expansión en escenarios: (c) Escenario 3; (d) Escenario 4.	222
Figura 84. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el municipio de Caldas: para suelo urbano y de expansión.	223
Figura 85. Amenaza de movimientos en masa con falla planar en suelo rural.	227
Figura 86. Amenaza de movimientos en masa de tipo rotacional en suelo rural en escenarios: (a) Escenario 1; (b) Escenario 2.	227
Figura 87. Amenaza de movimientos en masa de tipo rotacional en suelo rural en escenarios: (c) Escenario 3; (d) Escenario 4.	228
Figura 88. Mapa de amenaza de movimiento en masa en suelo rural.	228
Figura 89. Mapa de amenaza por inundación para suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas. ...	232

Figura 90. Distribución amenaza por inundación suelo urbano	233
Figura 91. Mapa de amenaza por inundación para suelo rural del municipio de Caldas.	234
Figura 92. Clasificación amenaza por avenida torrencial acorde a modelación hidráulica	235
Figura 93. Mapa de Geoformas de origen aluvial y aluviotorrencial.	236
Figura 94. Mapa de amenaza por avenida torrencial para suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.	237
Figura 95. Distribución amenaza por avenida torrencial suelo urbano.....	237
Figura 96. Mapa de amenaza por avenida torrencial para suelo rural del municipio de Caldas.	239
Figura 97. Mapa de amenaza por movimiento en masa, PBOT (2010).	241
Figura 98. Mapa de amenaza por movimiento en masa, (UNAL & AMVA, 2018)	242
Figura 99. Mapa de amenaza por movimiento en masa, POMCA (2018).	242
Figura 100. Mapa de amenaza por movimientos en masa del presente estudio.....	243
Figura 101. Mapa de amenaza por inundación, PBOT (2010).....	244
Figura 102. Mapa de amenaza por inundación, (UNAL & AMVA, 2018).....	245
Figura 103. Mapa de amenaza por inundación, POMCA (2018).	245
Figura 104. Mapa de amenaza por inundación del presente estudio (2021).....	246
Figura 105. Mapa de amenaza por avenida torrencial, (UNAL & AMVA, 2018)	247
Figura 106. Mapa de amenaza por avenida torrencial, POMCA (2018).....	248
Figura 107. Mapa de amenaza por avenida torrencial del presente estudio.	248
Figura 108. Mapa de unidades geológicas del centro poblado El Canelón.....	249
Figura 109. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado El Canelón	251
Figura 110. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado El Canelón.	252
Figura 111. Mapa de amenaza por movimientos en masa para el centro poblado El Canelón.....	254
Centro p Figura 112. Mapa de amenaza por avenida torrencial del centro poblado El Canelón.....	255
Figura 113. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Aguacatala.....	256
Figura 114. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Aguacatala	258
Figura 115. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Aguacatala.	259
Figura 116. Mapa de amenaza por movimientos en masa para el centro poblado La Aguacatala.	263

Figura 117. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Chuscala.	264
Figura 118. Depósitos de flujo de lodo y escombros, localizados en la vereda La Chuscala.	265
Figura 119. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Chuscala.....	267
Figura 120. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Chuscala.....	268
Figura 121. Ladera coluvial corta moderada.....	269
Figura 122. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Chuscala.	271
Figura 123. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Clara.....	272
Figura 124. Esquistos de Caldas, ubicados en la margen izquierda del río Aburrá a la altura del centro poblado La Clara.....	273
Figura 125. Depósitos aluviotorrenciales suprayaciendo los esquistos de Caldas, localizados en la margen derecha del río Aburrá a la altura del centro poblado La Clara.....	274
Figura 126. Depósitos aluviales formados por la sedimentación de material fino por parte del río Aburrá y sus quebradas adyacentes. Localizada a la altura del centro poblado La Clara.	274
Figura 127. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Clara.....	277
Figura 128. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Clara.....	278
Figura 129. Llanura aluvial formada por la dinámica del río Aburrá.....	279
Figura 130. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Clara.	281
Figura 131. Mapa de amenaza por inundación para el centro poblado La Clara.	282
Figura 132. Mapa de amenaza por avenida torrencial para el centro poblado La Clara.....	283
Figura 133. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Corrala.....	285
Figura 134. Suelo residual de los esquistos de Caldas.....	285
Figura 135. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Corrala.....	287
Figura 136. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Corrala.....	288
Figura 137. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Corrala.	291
Figura 138. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Miel.....	292
Figura 139. Lleno antrópico, localizado en el centro poblado La Miel.....	293
Figura 140. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Miel.....	295
Figura 141. Mapa de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Miel.....	297
Figura 142. Llanura aluvial de la quebrada La Miel.....	297

Figura 143. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Miel.	300
Figura 144. Mapa de amenaza por inundación para el centro poblado La Miel.	302
Figura 145. Mapa de amenaza por avenida torrencial para el centro poblado La Miel.....	303
Figura 146. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Quiebra.....	304
Figura 147. Depósitos de flujos de escombros y/o lodos, localizadas sobre la parte media de la vertiente a la altura de la vereda La Quiebra.	305
Figura 148. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Quiebra	307
Figura 149. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Quiebra.....	308
Figura 150. Llanura aluvial ubicada en las partes bajas de la vereda La Quiebra.....	309
Figura 151. Ladera coluvial media.....	310
Figura 152. Proceso de remoción en masa localizado en el centro poblado La Quiebra.	311
Figura 153. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Quiebra.	312
Figura 154. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Raya.....	314
Figura 155. Depósitos aluviotorrenciales, localizados a la altura del centro poblado La Raya.	315
Figura 156. Depósitos de flujo de lodos y escombros, localizados en el centro poblado La Raya.	315
Figura 157. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La raya.....	317
Figura 158. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Raya.	319
Figura 159. Lóbulo coluvial medio.	320
Figura 160. Ladera corta empinada. En suelo residual	321
Figura 161. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro La Raya.....	323
Figura 162. Mapa de amenaza por inundación para el centro La Raya.....	324
Figura 163. Mapa de amenaza por avenida torrencial para el centro La Raya.	325
Figura 164. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Salada parte baja.....	327
Figura 165. Anfibolitas del alto de Minas de textura esquistosa con micas, localizado al pie de ladera de la vereda La Salada parte baja.	328
Figura 166. Suelo residual del miembro Volcánico a la altura de La Salada parte baja.	329
Figura 167. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Salda Parte Baja	332
Figura 168. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Salada parte baja.....	333
Figura 169. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Salada parte baja.	336

Figura 170. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Valeria.	337
Figura 171. Depósitos torrenciales asociados a la dinámica fluvial de la quebrada La Valeria.....	338
Figura 172. Viviendas del centro poblado La Valeria ubicadas sobre depósitos de deslizamiento.	339
Figura 173. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Valeria.....	341
Figura 174. Mapa de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Valeria.	342
Figura 175. Vertiente izquierda del elemento geomorfológico denominado Ladera corta empinada en suelo residual.....	344
Figura 176. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Valeria.....	346
Figura 177. Mapa de amenaza por inundación para el centro poblado La Valeria.	347
Figura 178. Mapa de amenaza por avenida torrencial para el centro poblado La Valeria.	348
Figura 179. Mapa de unidades geológicas del centro poblado Quiebrapatas.	349
Figura 180. Mapa de formaciones superficiales del centro El Raizal Quiebrapatas	351
Figura 181. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado Quiebrapatas.	352
Figura 182. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado El raizal Quiebrapatas.	355
Figura 183. Mapa de áreas de población limítrofes al perímetro urbano con tratamiento a escala urbana por amenaza por movimiento en masa.....	359
Figura 184. Mapa de áreas de población limítrofes al perímetro urbano con tratamiento a escala urbana por amenaza por inundación.....	359
Figura 185. Mapa de áreas de población limítrofes al perímetro urbano con tratamiento a escala urbana por amenaza por avenida torrencial.	360
Figura 186. Proporción de áreas con condición de riesgo respecto al municipio de Caldas.....	361
Figura 187. Áreas con condición de riesgo por movimiento en masa para el municipio de Caldas.	362
Figura 188. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo urbano y expansión.	365
Figura 189. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo suburbano y parcelación	368
Figura 190. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en centros poblados.	371
Figura 191. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo rural.	373
Figura 192. Áreas con condición de riesgo por inundación para el municipio de Caldas.	374
Figura 193. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo urbano y expansión.....	376
Figura 194. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelos suburbanos y de parcelación	378

Figura 195. Áreas con condición de riesgo por inundación para centros poblados.	380
Figura 196. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo rural.	381
Figura 197. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial para el municipio de Caldas.	382
Figura 198. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo urbano y de expansión.	385
Figura 199. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo suburbano y de parcelación.	388
Figura 200. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en centros poblados.	389
Figura 201. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo rural.	390
Figura 202. Proporción de áreas con condición de amenaza respecto al municipio.	391
Figura 203. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa para el municipio de Caldas.	392
Figura 204. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en suelo urbano y expansión.	394
Figura 205. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en suelo suburbano y de parcelación	396
Figura 206. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en centros poblados.	398
Figura 207. Áreas con condición de amenaza por inundación para el municipio de Caldas.	399
Figura 208. Áreas con condición de amenaza por inundación en suelo urbano y de expansión.	400
Figura 209. Áreas con condición de amenaza por inundación en suelo suburbano y de parcelación.	402
Figura 210. Áreas con condición de amenaza por inundación en centros poblados.	403
Figura 211. Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial para el municipio de Caldas.	404
Figura 212. Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en suelo urbano y expansión.	405
Figura 213. Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en suelo suburbano y parcelación.	407
Figura 214. Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en centros poblados.	408

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Perfil del territorio municipal, occidente a oriente, a la altura de primavera, La línea marca la divisoria de aguas, Aburrá Cauca.	29
Gráfico 2. Perfil del territorio municipal, occidente a oriente, a la altura de la cabecera municipal, La línea marca La Cabecera municipal.	29
Gráfico 3. Reporte total de eventos en el municipio de Caldas por tipo de evento y fuente, según la base de datos DesInventar, SIMMA. y medios de comunicación.	77

Gráfico 4. Reporte de ubicación y tipo de eventos en el municipio de Caldas según la base de datos SIMMA.	78
Gráfico 5. Reporte de ubicación y tipo de eventos en el municipio de Caldas de Caldas según la base de datos DesInventar.	78
Gráfico 6. Reporte de ubicación y tipo de eventos en el municipio de Caldas según reunión de grupo de trabajo con el CMGRD.....	82
Gráfico 7. Histograma de elevación del municipio de Caldas.....	84
Gráfico 8. Distribución porcentual de la pendiente en el municipio de Caldas.	86
Gráfico 9. Distribución porcentual de la rugosidad del terreno.	88
Gráfico 10. Distribución de las unidades geológicas en suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.	102
Gráfico 11. Distribución de formaciones superficiales en el suelo urbano	106
Gráfico 12. Distribución de unidades geológicas en suelo rural del municipio de Caldas.....	113
Gráfico 13. Distribución de formaciones superficiales en el suelo rural	117
Gráfico 14. Distribución de unidades geomorfológicas en suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.	138
Gráfico 15. Distribución de unidades geomorfológicas en suelo rural del municipio de Caldas.....	153
Gráfico 16. Estado de los procesos morfodinámicos identificados en suelo urbano y de expansión.	158
Gráfico 17. Estado actividad de los procesos morfodinámicos identificados en suelo rural.....	160
Gráfico 18. Histograma para la distribución porcentual de amenaza por movimiento en masa para suelo urbano y suelo urbano de expansión. Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).....	224
Gráfico 19. Histograma para la distribución de amenaza por movimiento en masa para suelo rural. Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).....	229
Gráfico 20. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado El Canelón	250
Gráfico 21. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado El Canelón.....	251
Gráfico 22. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado El Canelón	253
Gráfico 23. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado El Canelón	254
Gráfico 24. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Aguacatala	257
Gráfico 25. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Aguacatala	259
Gráfico 26. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Aguacatala	262

Gráfico 27. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Aguacatala.	263
Gráfico 28. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Chuscala.	266
Gráfico 29. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Chuscala	268
Gráfico 30. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Chuscala.	270
Gráfico 31. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Chuscala.	271
Gráfico 32. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Clara.	275
Gráfico 33. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Clara	277
Gráfico 34. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Clara.	280
Gráfico 35. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Clara. ...	281
Gráfico 36. Distribución de amenaza por inundación en el centro poblado La Clara.	283
Gráfico 37. Distribución de amenaza por avenida torrencial en el centro poblado La Clara.	284
Gráfico 38. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Corrala.	286
Gráfico 39. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Corrala	288
Gráfico 40. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Corrala.	290
Gráfico 41. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Corrala.	291
Gráfico 42. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Miel.	294
Gráfico 43. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Miel	296
Gráfico 44. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Miel.	299
Gráfico 45. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Miel.	301
Gráfico 46. Distribución de amenaza por inundación en el centro poblado La Miel.	302
Gráfico 47. Distribución de amenaza por avenida torrencial en el centro poblado La Miel.	303
Gráfico 48. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Quiebra.	306
Gráfico 49. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La quiebra	308
Gráfico 50. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Quiebra.	311
Gráfico 51. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Quiebra.	313
Gráfico 52. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Raya.	316
Gráfico 53. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Raya.	318

Gráfico 54. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Raya.	322
Gráfico 55. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Raya. ...	324
Gráfico 56. Distribución porcentual de amenaza por inundación en el centro poblado La Raya.....	325
Gráfico 57. Distribución porcentual de amenaza por avenida torrencial en el centro poblado La Raya.	326
Gráfico 58. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Salada parte baja.	330
Gráfico 59. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Salada Parte Baja.....	333
Gráfico 60. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Salada parte baja.	335
Gráfico 61. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Salada parte baja.	336
Gráfico 62. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Valeria.	339
Gráfico 63. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Valeria.....	342
Gráfico 64. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Valeria.....	345
Gráfico 65. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Valeria..	346
Gráfico 66. Distribución de amenaza por inundación en el centro poblado La Valeria.¡Error! Marcador no definido.	
Gráfico 67. Distribución de amenaza por avenida torrencial en el centro poblado La Valeria.¡Error! Marcador no definido.	
Gráfico 68. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado Quiebrapatas.	350
Gráfico 69. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado El racial Quiebrapatas	352
Gráfico 70. Representación de cada unidad geomorfológica en % del centro poblado Quiebrapatas.	354
Gráfico 71. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado El Raizal Quiebrapatas.	355

1. INTRODUCCIÓN

La planificación adecuada de la ocupación de un territorio, requiere de numerosas variables a tener en cuenta, considerando esto, el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 establece la necesidad de incluir el análisis de riesgo en los planes de ordenamiento territorial, como elemento condicionante dentro de la determinación del uso y ocupación del territorio, la planificación ambiental, recursos naturales y atención de desastres.

Este informe, constituye el documento técnico del estudio básico de amenazas para el municipio de Caldas, el cual se desarrolla acuerdo con una metodología utilizada para la zonificación de amenazas y la delimitación de las áreas en condición de amenaza y en condición de riesgo ante movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales, en el marco del Decreto Nacional 1077 de 2015 que se reglamenta el artículo de ley citado previamente.

La determinación de las amenazas, se realiza a partir de la recopilación de información secundaria de fuentes documentales y señores remotos y de información primaria a partir de recorridos de campo, dicha información es analizada con el fin de determinar las variables que influyen en la generación de los eventos en estudios y por ende definir su nivel de amenaza dentro del municipio de Caldas, y así generar los mapas respectivos. Estos mapas serán indispensables para delimitar las zonas con condición de riesgo y amenaza, de acuerdo con la ubicación de los elementos expuestos y la proyección de áreas desarrollables. Estas zonas deberán estar sujetas a la realización de estudios detallados que permitan establecer la categorización del riesgo, de tal manera que se pueda decidir qué medidas de mitigación se deben implementar para así evitar que se lleguen a presentar los desastres, ocasionados por los fenómenos naturales con mayor ocurrencia en el municipio de Caldas.

1.1 OBJETIVOS

Se presentan a continuación los objetivos del presente proyecto.

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios básicos de amenazas teniendo en cuenta el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012 y dentro del marco de las condiciones técnicas determinadas en el Decreto Nacional 1077 de 2015 (Congreso de la República de Colombia, 2012).

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los estudios básicos son elaborados para los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa y debe cumplir los siguientes objetivos:

- Realizar una evaluación geoambiental a través de variables que permitan la caracterización del territorio.
- Delimitar y zonificar las áreas de amenaza de acuerdo con las escalas de trabajo establecidas por la norma para cada tipo de suelo.
- Delimitar y zonificar las áreas con condición de amenaza en las que se requerirá adelantar estudios detallados.
- Delimitar y zonificar las áreas con condición de riesgo en las que se requerirá adelantar estudios detallados.
- Determinar las medidas de intervención.

2. CONTEXTO TERRITORIAL

Se presenta a continuación una caracterización general de elementos del municipio, como es su ubicación, extensión, y división territorial.

2.1 UBICACIÓN

El municipio de Caldas, tiene una extensión de 133,04 km², se ubica en el extremo sur del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La superficie del municipio comprende dos cuencas mayores de los ríos Aburrá y Cauca, siendo esta última de menor extensión, lo que da al municipio un relieve con vertientes amplias de alta pendiente, cauces encañonados y desarrollo de algunas zonas de relieve bajo. Las formas del relieve como las divisorias y cauces marcan sus límites con los municipios vecinos así, La Estrella, Sabaneta y Envigado por el norte, El Retiro y Montebello al este, Santa Bárbara y Fredonia al sur y Amagá y Angelópolis al occidente.

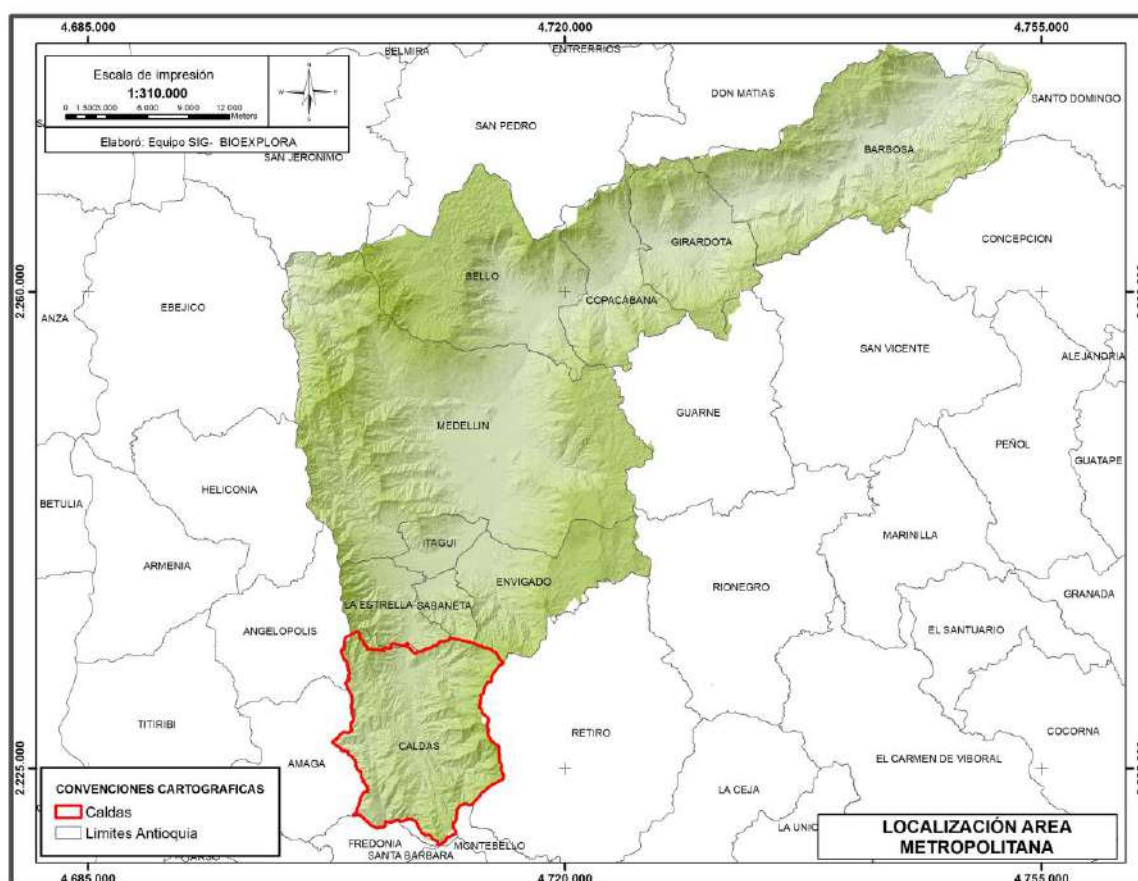
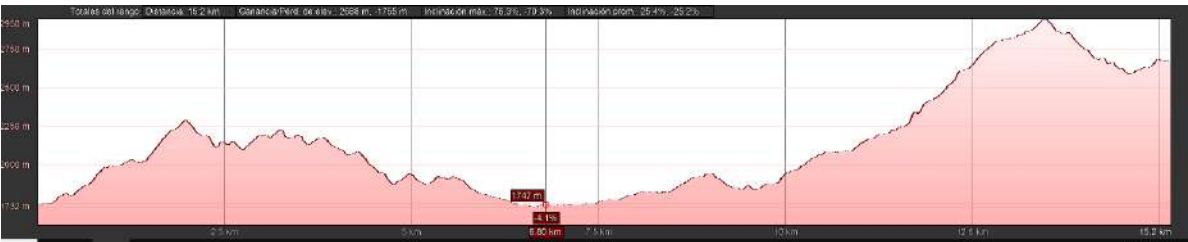


Figura 1. Ubicación Geográfica del Municipio de Caldas.
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)



Amagá	Vertiente Occidental, río Cauca	Sector Primavera	Vertiente oriental	El Retiro

Gráfico 1. Perfil del territorio municipal, occidente a oriente, a la altura de primavera, La línea marca la divisoria de aguas, Aburrá Cauca.



Angelópolis	Vertiente Occidental,	Valle	Vertiente oriental	El Retiro

Gráfico 2. Perfil del territorio municipal, occidente a oriente, a la altura de la cabecera municipal, La línea marca La Cabecera municipal.

El río Aburrá atraviesa el territorio municipal de Sur a Norte y fragmenta el valle, consolidando las dos laderas oriental y occidental, a su vez la divisoria de agua entre las dos cuencas se dispone en dirección sureste noroeste, donde los terrenos pertenecientes a la cuenca del río Cauca, tiene una disposición general de una vertiente con vergencia hacia le occidente.

Así como el resto de municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Caldas se caracteriza por el desarrollo de su área urbana al lado del río, lo que hace de esta corriente un eje articulador del proceso de urbanización de su territorio.

Así mismo, la variante de Caldas se ha consolidado como el escenario ideal para la localización de actividades industriales, renglón secundario de la economía y que tiene gran preponderancia en la dinámica económica del Municipio y a su vez ha generado modificaciones del entorno físico del territorio.

2.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO PROPUESTA

La sectorización del municipio, acorde a la propuesta del PBOT, muestra como a mayor parte del territorio está en suelo rural con más de 122,77 km², mientras el suelo urbano es de 3,81 km², las zonas de expansión cercanas a los 5,06 km2, y los centros poblados no alcanzan 1,06 km².

Tabla 1. Clasificación suelo propuesta.

TIPO	SUPERFICIE (km2)	PORCENTAJE (%)
Suelo urbano	3,86	2,91%
Suelo Rural	122,79	92,48%
Zonas de expansión	5,06	3,81%
Centros poblados	1,06	0,80%
Total	132,77	100,00%

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

A su vez, acorde a dicho documento el municipio de Caldas, tiene un total de 11 zonas de expansión, 11 centros poblados y 7 zonas de parcelación,

Tabla 2. Centros poblados

Categoría	Superficie (ha)
El Canelón	4,00
El Cano y La Raya	15,86
La Corrala	5,02
La Miel	11,66
La Aguacatala	14,81
La Valeria	3,30
El Raizal -Quiebrapatas	8,69
La Chuscala	9,39
La Quiebra	3,31
Salada Parte Baja	23,62
La Clara	6,30

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

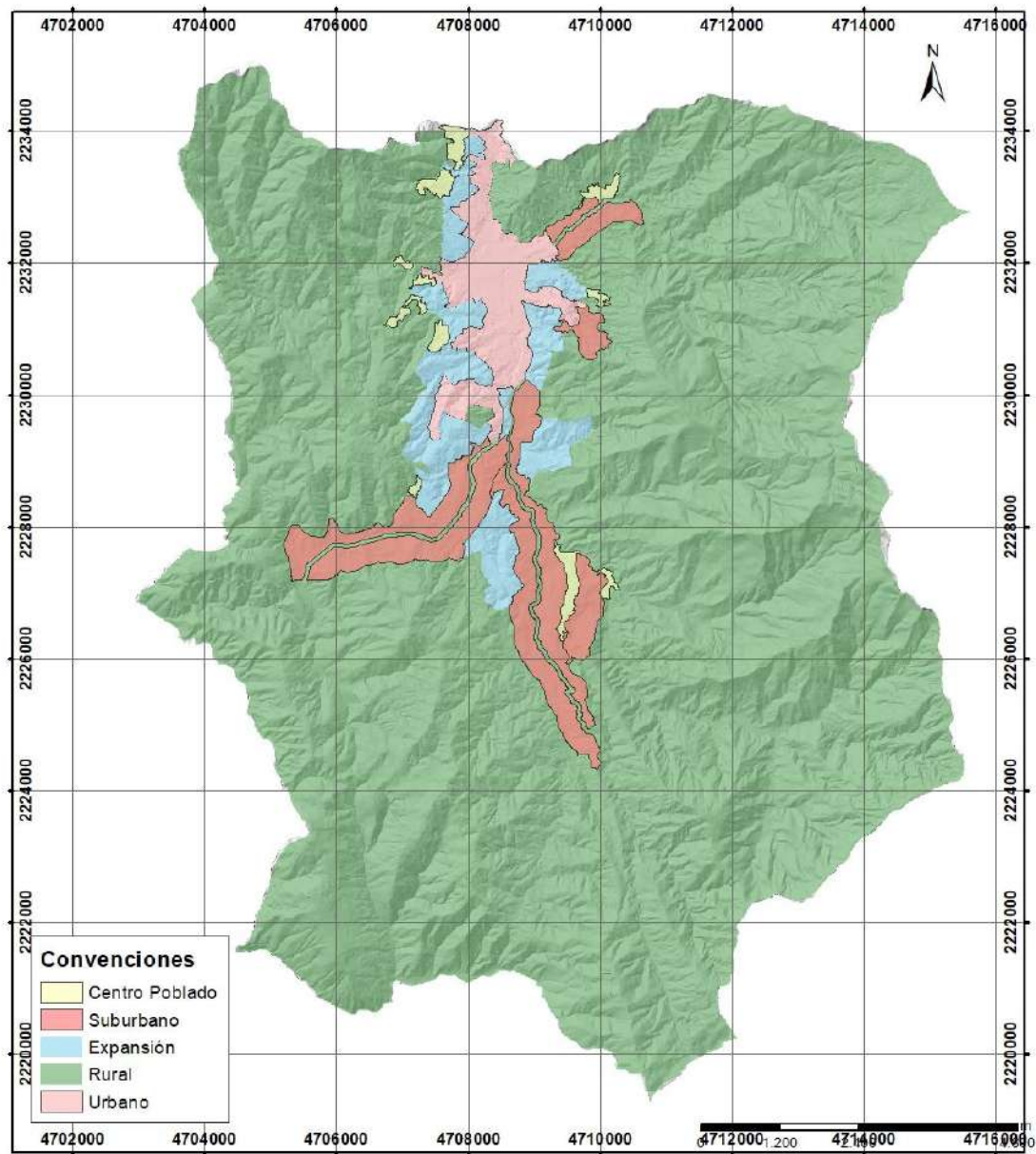


Figura 2. Clasificación y restricciones del municipio de Caldas.

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

3. METODOLOGÍA ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZAS

La metodología aplicada para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial se encuentra dentro del marco del Decreto 1077 de 2015. El presente documento desarrolla el estudio básico, donde se determina la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, así como las áreas con condición de amenaza y con condición de riesgo, además de algunas medidas de intervención no estructurales.

La zonificación de amenaza es aplicada para los fenómenos de movimiento en masa, inundación y avenidas torrenciales, para el municipio de Caldas de acuerdo con las escalas de trabajo dentro del marco normativo, siendo 1:2000 para el suelo urbano y de expansión urbano y 1:10.000 para el suelo rural.

La selección del método de zonificación más adecuada para la determinación de la amenaza en el área de estudio, depende de varios factores como: disponibilidad, calidad y exactitud de los datos, la resolución de zonificación, los resultados requeridos, la escala de la zonificación, etc.

El desarrollo del proyecto implica la realización de una serie de actividades tendientes a conseguir los resultados planteados en el objetivo general, las cuales se listan a continuación:

- Recopilación de información secundaria como cartografía existente y estudios anteriores, que aporten como insumo para la valoración de la amenaza en el municipio.
- Elaboración de los mapas temáticos preliminares de geología, geomorfología, procesos morfodinámicos e intervenciones antrópicas. Estos mapas se realizan por medio de información secundaria, análisis geológico y geomorfológico, así como bases de datos para procesar en Sistemas de Información Geográfica (SIG), además de información en sensores remotos y fotografías aéreas.
- Visitas a campo con el fin de verificar y complementar los datos preexistentes, complementar los mapas temáticos y ajustarlos a la escala deseada.
- Preparación y estructuración de la información temática (geología, geomorfología, procesos morfodinámicos, usos del suelo y coberturas vegetales).
- Consolidación del trabajo de oficina donde se integran los datos anteriormente recolectados y aplicar la metodología de análisis para la zonificación de las amenazas por movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales con la ayuda de herramientas SIG.
- De acuerdo con los resultados de la zonificación de las diferentes amenazas, realizar la zonificación de las zonas en condición de riesgo y con condición de amenaza según lo establecido por el Decreto Nacional 1077 de 2015.
- Definición de las zonas que, por sus condiciones de riesgo, de acuerdo con lo analizado a lo largo del estudio básico y de acuerdo también con las condiciones geológicas y geotécnicas, se consideren zonas o puntos críticos que requieran recomendaciones de estudios detallados.
- Análisis de resultados, redacción de conclusiones y recomendaciones en el informe final, anexando los documentos y archivos que soporten los resultados obtenidos.

3.1 AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos de ladera o de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. En la literatura, se encuentran muchas clasificaciones de

movimientos en masa; la mayoría de ellas se basan en el tipo de materiales, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación (PMA: GCA, 2007).

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

Los métodos seleccionados para la evaluación de la amenaza consisten en el método determinístico para suelo urbano y para suelo rural, los cuales se describen a continuación.

3.1.1 SUELO URBANO, DE EXPANSIÓN URBANA Y CENTROS POBLADOS

El término movimiento en masa se refiere a una amplia variedad de procesos que resultan de movimientos vertiente abajo de materiales que incluyen roca, suelo, llenos o la combinación de estos, los cuales adoptan formas de tipo caída, volcamiento, desprendimiento, flujo y/o deslizamiento. La probabilidad de que se presente un proceso de este tipo en determinado lugar, en un lapso temporal dado y con la intensidad suficiente, determina la amenaza. Por tanto, estos procesos constituyen el insumo principal para definir las zonas de amenaza por movimiento en masa en el municipio.

Los estudios básicos en el área urbana se realizan a escala 1:2000 donde se incluye tanto el suelo urbano, como el suelo de expansión urbana. Para modelar la amenaza por movimiento en masa en ambos tipos de suelo, se desarrollará la metodología a partir de los softwares Scoops 3D y TRIGRS, sin embargo, para modelar la amenaza se debe tener en cuenta el inventario de procesos morfodinámicos, en donde se describen e identifican los fenómenos amenazantes y procesos erosivos. Adicionalmente, se debe hacer una caracterización de los factores detonantes del fenómeno (sismo y lluvia).

Debido a las características topográficas de bajo relieve y la poca evidencia de deslizamientos en el suelo urbano del municipio, se emplea el método determinístico, también denominado con base física, el cual consiste en el análisis de la estabilidad de las laderas por medio del análisis de talud infinito a través de los softwares:

- TRIGRS, utilizado para capas superficiales del suelo y deslizamientos de tipo planar.
- Scoops3D para capas más profundas y fallas de tipo rotacional.

Estos dos programas permiten estimar factores de seguridad (relación entre las fuerzas resistentes del terreno y las fuerzas desestabilizadoras) que permiten zonificar la amenaza mediante el método determinístico que permite la simulación de eventos utilizando modelos matemáticos geotécnicos asistidos por computador, basados en el conocimiento de los fenómenos físicos involucrados en la generación del evento. Para llevarlo a cabo se requiere de la siguiente información y cartografía base:

- Modelo de elevación digital del terreno (DEM), con una resolución de 2 m.
- Mapa geológico con detalle de 1:2000 para suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados

- Mapa de formaciones superficiales con detalle de 1:2000 para suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados
- Mapa geomorfológico donde se describan las geoformas a nivel de escala 1:2.000
- Caracterización de los materiales y estratigrafía para los análisis de estabilidad, se deben definir parámetros de resistencia al corte como cohesión y ángulo de fricción interna, así como el peso específico de los materiales la profundidad de los estratos, nivel freático para cada zona homogénea definida y la aceleración sísmica de la zona. Estos datos se obtienen de la información proporcionada por los estudios de suelo realizados para proyectos urbanísticos en el municipio de Caldas.

Como se mencionó anteriormente, la zonificación se realiza por medio de los softwares TRIGRS y Scoops 3D, los cuales evalúan la estabilidad de las laderas a través de una representación digital del terreno y su proceso es descrito de forma sucinta a continuación:

3.1.1.1 TRIGRS

TRIGRS, por sus siglas Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope Stability es un modelo de estabilidad desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Baum, Savage, & Godt, 2008). Este modelo es utilizado para deslizamientos de tipo planar y para modelar la amenaza en capas superficiales del suelo.

Es un programa en lenguaje de programación Fortran que modela la distribución temporal y espacial de los deslizamientos superficiales detonados por lluvia mediante el cálculo del factor de seguridad (FS) en cuadrículas (celdas) del terreno. TRIGRS emplea la solución matemática planteada por Iverson (2000) de la ecuación de Richards (1931) para evaluar el efecto de la infiltración de la lluvia en la estabilidad para condiciones saturadas y no saturadas del suelo.

Para hacer el cálculo de la amenaza a partir de TRIGRS, se calcula el producto de la probabilidad espacial (mediante el complemento FOSM explicado posteriormente y la probabilidad de ocurrencia temporal del factor detonante de movimientos en masa de tipo planar (lluvia).

En caso de hacer el modelo de la amenaza teniendo en cuenta la lluvia como factor detonante, es necesario hacer una tormenta de diseño obteniendo las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia de las lluvias) para el municipio de Caldas, construidas con información histórica de la estación disponible para la zona. Para el caso del municipio, se selecciona un evento de lluvia de 4h de duración y un periodo de retorno de 100 años, lo que indica probabilidad de ocurrencia anual de 0,01 para el cálculo de la intensidad del evento de diseño. La ecuación para la curva IDF está dada por:

Ecuación 3-1. Intensidad del evento de lluvia

$$I = \frac{K \cdot T_r^m}{(c + d)^n}$$

Donde,

- **I : intensidad en mm/h**
- **d : duración de la precipitación en horas**
- **T_r : periodo de retorno**
- **K, c, m y n : parámetros de la estación**

Debido a que la ocurrencia de lluvias permite el proceso de infiltración mediante el cual se satura el terreno, la siguiente ecuación propuesta por Richards (1931) describe el proceso de infiltración del agua sobre una superficie inclinada.

Ecuación 3-2. Proceso de infiltración de agua en superficie inclinada

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left[K(\psi) \left(\frac{1}{\cos^2 \delta} \frac{\partial \psi}{\partial Z} - 1 \right) \right]$$

Donde,

- **Z : profundidad del terreno (dirección vertical positiva hacia abajo)**
- **δ : ángulo del talud**
- **ψ : cabeza de presión**
- **$K(\psi)$: función de la conductividad hidráulica.**

Para el análisis de la infiltración en la capa no saturada del suelo (parcialmente saturada) TRIGRS utiliza la solución analítica dada por Srivastava & Yeh (1991) a la ecuación de Richards (1931):

Ecuación 3-3. Infiltración en capas no saturadas del suelo

$$K(\psi) = K_s \exp(\alpha_G \psi^*),$$

$$\theta = \theta_{res} + (\theta_{sat} - \theta_{res}) \exp(\alpha_G \psi^*),$$

Donde,

- **$K(\psi)$: función de la conductividad hidráulica**
- **K_s : conductividad hidráulica saturada**
- **ψ : cabeza de presión**
- **$\psi^* = \psi - \psi_0$, con ψ_0 como una constante ($\psi_0 = 0$ o $\psi_0 = -1/\alpha_G$)**

- θ : contenido volumétrico de agua
- θ_r : contenido de agua residual
- θ_s : contenido de agua en saturación
- α : la inversa de la cabeza de entrada de aire o inversa de la altura del ascenso capilar en el nivel freático.

La curva de retención de agua en el suelo (SWRC) se aproxima con los parámetros hidráulicos (θ_r , θ_s , α) del modelo exponencial de Garner (1958). En el análisis del flujo superficial del agua, el modelo proporciona varios modelos de escorrentía para distribuir el exceso de agua sobre las celdas de cuadrícula que requiera el modelo escogido. Además, utiliza la teoría de talud infinito unidimensional para el cálculo del FS haciendo uso de la ecuación de Taylor (1948):

Ecuación 3-4. Factor de Seguridad

$$FS(Z, t) = \frac{\tan \phi'}{\tan \delta} + \frac{c' - \psi(Z, t)\gamma_w \tan \phi'}{\gamma_s Z \sin \delta \cos \delta}$$

Donde,

- ϕ' : ángulo de fricción efectivo
- c' : cohesión efectiva del suelo
- γ_w : peso unitario del agua
- γ_s : peso unitario del suelo
- δ : ángulo del talud
- (Z, t) : cabeza de presión.

Para llevar a cabo el modelamiento en TRIGRS, se consideraron las siguientes etapas:

➤ **Parametrización.**

Inicialmente se genera una recopilación de los estudios de suelo del municipio suministrados por la Secretaría municipal de planeación, así como los planes parciales realizados en el municipio (ver capítulo) y el reporte de eventos naturales (deslizamientos e inundaciones) entre los años 2015 y 2021 facilitados por la Oficina de Gestión del Riesgo.

A partir de este inventario se identifican los valores y características de los parámetros del suelo con el objetivo de extraer el espesor máximo del suelo, la cohesión, peso unitario, ángulo de fricción y tipo de suelo para las diferentes unidades geológicas presentes en el área de estudio. La información recopilada presenta rangos,

valores e información representativa para diferentes tipos de suelo y es obtenida a partir de ensayos de caracterización (granulometría, límites de Atterberg y pesos unitarios), ensayos de corte directo, ensayos de penetración estándar (SPT), ensayos de compresión simple, ensayos geofísicos y fotografías de los sitios de estudio.

Finalmente, para obtener los espesores máximos de los estudios se emplean los perfiles geológicos y las descripciones de profundidad de los registros de perforación. Por otra parte, en cuanto al tipo de suelo, se obtiene el promedio de los datos recopilados a partir de las descripciones, resultados de los ensayos de clasificación y parámetros mecánicos del suelo (cohesión, ángulo de fricción y peso unitario) para ser asignados a la unidad geológica que les corresponda.

A continuación, se describe la calibración de los parámetros que deben ser empleados en la simulación.

- **Parámetros mecánicos de suelo**

A partir del inventario de deslizamientos para el Valle de Aburrá (AMVA, 2018), se calculan los escarpes por unidad de área para cada unidad geológica, con el fin de conocer cuáles unidades presentan las mayor y menor densidad de escarpes. Adicionalmente, se obtiene el valor de la pendiente correspondiente a cada celda que contenga escarpes (para cada una de las unidades geológicas) y se determina en qué rango de pendientes se desencadenan los deslizamientos.

Posteriormente, se utiliza la ecuación de profundidad del suelo propuesta por Saulnier et al. (1997) para extraer información del cambio en el factor de seguridad (Ecuación 3-4) a medida que cambia la profundidad y el ángulo de la pendiente ($0,1 - 77,9^\circ$), teniendo en cuenta que el ángulo máximo de pendiente del terreno es de $77,9^\circ$.

Junto con la información descrita, el tipo de suelo asociado a cada unidad geológica y los parámetros obtenidos de la base de datos, se procede a calibrar los parámetros mecánicos del suelo para buscar la mejor concordancia entre todas las propiedades analizadas. Para las unidades geológicas donde no es posible obtener información, se emplea la información suministrada por el AMVA (AMVA, 2018) en los Estudios Básicos de Amenaza para realizar la calibración apropiada.

Finalmente, otro criterio que debe ser tenido en cuenta para determinar los valores finales de la simulación, es que el conjunto de variables de entrada asignadas a las unidades geológicas debe dar resultados de estabilidad $FS \geq 1$ antes de un evento de lluvia en la mayor parte del área de estudio, garantizando así que no se presenten áreas inestables en condiciones secas y que las fallas sean consecuencia del evento de lluvia simulado.

- **Propiedades hidráulicas del suelo**

Para describir parte del comportamiento hidráulico del suelo se emplea los parámetros de la curva de retención de agua del suelo (SWRC) del modelo de Garner (1958) mediante funciones de pedotransferencia (PTF). La

SWRC muestra la relación que existe entre el contenido de agua del suelo y la matriz de succión, lo cual es una característica de los suelos parcialmente saturados (Marin & Velásquez, 2020).

Comúnmente se emplea el tipo de suelo (textura: arcilla, limo, arena grava, o combinaciones) para definir los parámetros de la SWRC (Yang & You, 2013) y para este estudio, los parámetros de la curva de retención de agua del suelo se definen por medio de PTF de clase empleando la clasificación de suelo por textura. Estos parámetros son θ_s , que corresponde al contenido volumétrico de agua en saturación, θ_r que corresponde al contenido volumétrico de agua residual y α , que es el parámetro que representa la inversa de la altura vertical de la franja capilar sobre el nivel freático.

Se utiliza, además, la textura de suelo de cada unidad geológica para el estrato superficial del suelo encontrado en la base de datos y en los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales en los municipios que conforman al Valle de Aburrá realizado por el AMVA (2018). Esta misma información se emplea para obtener la conductividad hidráulica saturada (K_s) por medio de correlaciones establecidas en la literatura.

Finalmente, la difusividad hidráulica saturada (D_0) se estima como 100 veces K_s , la cual ha sido utilizada por diferentes autores alrededor del mundo implementado TRIGRS (Marin & Mattos, 2020; Marin & Velásquez, 2020; Tran, Alvioli, Lee, & An, 2018).

- **Profundidad del suelo**

Los valores de espesor del suelo son definidos a partir de las descripciones de profundidad de los registros de perforación, los cuales se revisan en comparación con los valores para los tipos de suelo de las unidades geológicas encontrados en el estudio de Microzonificación sísmica del Valle de Aburrá (AMVA, 2006), además de algunas observaciones puntuales realizadas en campo.

El modelo de profundidad del suelo efectivo determinado por Saulnier et al. (1997), representa el límite basal impermeable (profundidad vertical del límite inferior, d_{lz}) de modo que una capa superficial permeable se superpone a un sustrato menos permeable como el regolito sobre el lecho rocoso (Baum et al., 2008). Basado en este modelo, se calcula el mapa de profundidad del suelo en función de la pendiente y utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 3-5. Profundidad del suelo en función de la pendiente

$$d_{lz} = z_{max} \left[1 - \frac{\tan \delta - \tan \delta_{min}}{\tan \delta_{max} - \tan \delta_{min}} \left(1 - \frac{z_{min}}{z_{max}} \right) \right]$$

Donde,

- Δ : ángulo de pendiente,
- Z_{min} y Z_{max} : mínimo y máximo de la profundidad del suelo

- δ_{min} y δ_{max} : valores mínimo y máximo del ángulo de pendiente.

Para las zonas geológicas se asume un valor de $Z_{min} = 0.2$ m, mientras que Z_{max} es variable en todas las unidades geológicas de acuerdo con la información obtenida de los estudios sobre las unidades geológicas del municipio y las descripciones de estas unidades en estudios de amenaza anteriores.

- **Nivel freático inicial y tasa de infiltración**

El nivel freático inicial se establece en el límite basal inferior (d_b) al implementar el modelo físico TRIGRS (Baum, Savage, & Godt, 2008; Montrasio, Valentino, & Losi, 2011; Park, Nikhil, & Lee, 2013; Vieira, Fernandes, & Filho, 2010). En cuanto a la tasa de infiltración inicial (I_{ZLT}), que corresponde a un valor constante de $7,97 \cdot 10^{-8}$ m/s, representa la precipitación promedio multianual del mes más lluvioso del año (octubre). El registro pluviométrico corresponde a la estación El Convento de EPM tomando datos desde 1995 al 2016.

Ecuación 3-6. Tasa de infiltración inicial

$$I_{ZLT} = \frac{213.54 \text{ mm}}{31 \text{ días}} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h} * 3600 \text{ seg}} = 7.97 * 10^{-8} \text{ m/s}$$

En síntesis, por el medio del software TRIGRS se hace una modelación de la amenaza por movimiento en masa a partir del cálculo de la probabilidad de falla del terreno, teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia de un evento detonante que pueda desestabilizarlo (en este caso lluvia) y que además altere su factor de seguridad (FS). El resultado arrojado por el programa, es un mapa de probabilidad de falla temporal a partir del evento de lluvias de 4 h de duración y con un periodo de retorno de 100 años (probabilidad de ocurrencia anual de 0,01).

Este resultado se suma al mapa arrojado por el complemento FOSM (explicado a continuación) y permite identificar la probabilidad espacial y temporal de ocurrencia de un evento de movimiento en masa en las capas superficiales del suelo y de tipo planar.

FOSM

Para complementar el modelo arrojado por el software TRIGRS, se procede a utilizar la metodología FOSM (First Order Second Moment), que es un método basado en el truncamiento de la serie Taylor. Este complemento incluye un análisis probabilístico espacial cuantificando la incertidumbre de tres variables aleatorias (cohesión, ángulo de fricción y peso unitario).

Se utilizan N variables aleatorias no correlacionadas de naturaleza probabilística y una función objetivo (FS) siguiendo una distribución normal estándar (Baecher & Christian, 2005). Los datos de entrada y de salida del modelo se expresan en términos de media y desviación estándar de las variables aleatorias involucradas acorde a la función de distribución normal estándar. La formulación matemática es más simple y requiere menores esfuerzos computacionales que otros métodos probabilísticos (e.g., Montecarlo). Para este proyecto se evalúa

el método FOSM asumiendo como variables aleatorias los parámetros mecánicos del suelo (cohesión, ángulo de fricción y peso unitario).

Inicialmente se calcula el factor de seguridad medio y la desviación estándar del factor de seguridad (Ecuación 3-7 y Ecuación 3-8).

Ecuación 3-7. Factor de seguridad medio

$$E[FS] = F(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N)$$

Ecuación 3-8. Varianza del factor de seguridad

$$V[FS] = \sum_{i=1}^N \left(\frac{dFS}{dx_i} \right)^2 V(x_i)$$

El factor de seguridad medio ($E[FS]$) se obtiene utilizando los valores medios de las variables aleatorias y las derivadas de la varianza del factor de seguridad $V[FS]$ se obtienen de pequeñas variaciones +10% o -10% en las variables aleatorias.

La aproximación numérica propuesta por Christian et al. (1994) se utiliza en el cálculo de las derivadas (Ecuación 3-9).

Ecuación 3-9. Aproximación numérica para el Factor de Seguridad

$$\frac{dFS}{dx_i} = \frac{F(x_i + \Delta x_i) - F(x_i)}{\Delta x_i}$$

Donde,

- x_i y $V(x_i)$: media y varianza de las variables aleatorias
- Δx_i : incremento de los valores medios en +10% o -10%.

Finalmente, al utilizar este modelo, se obtiene el índice de confiabilidad de FS (βI). Este índice expresa la confiabilidad de FS en relación con la probabilidad de falla o ruptura, es decir, la distancia entre el valor medio de FS y el FS crítico, calculado con la siguiente ecuación:

Ecuación 3-10. Índice de confiabilidad

$$\beta I = \frac{E[FS] - 1}{\sigma [FS]}$$

Donde,

- $E[FS]$: valor esperado del factor de seguridad (*FS medio*)

- $\sigma[FS]$: desviación estándar del factor de seguridad, determinando la condición límite (*FS crítico*) igual a 1.

Considerando $N(x)$ como la distribución acumulada de la variable normal estándar, la probabilidad de falla se determina con la siguiente ecuación (Bensoussan, 2005).

Ecuación 3-11. Probabilidad de falla

$$Pf = N(-\beta) = 1 - N(\beta)$$

En términos generales, el complemento FOSM se aplica al calcular las derivadas del FS con respecto a cada una de las variables aleatorias (c' , ϕ' , γ_s) mediante ejecuciones de TRIGRS con decrementos del 10% en su valor medio. Posteriormente, se calcula la varianza de cada variable, incluidas en la Ecuación 3-8.

El resultado que arroja este complemento, es una probabilidad espacial de que falle el terreno y se produzca un evento de movimiento en masa. A este mapa, se le multiplica el arrojado por TRIGRS (capítulo 3.1.1.1), que corresponde a la tormenta de diseño para probabilidad anual de ocurrencia del evento de lluvias (periodo de retorno de 100 años = 0,01) y se genera el mapa total de amenaza por movimiento en masa de tipo planar con probabilidad de ocurrencia espacial y temporal.

3.1.1.2 SCOOPS 3D

Scoops3D es un software de uso libre propuesto por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para analizar la estabilidad de taludes implementando un modelo de elevación digital (DEM) para representar la superficie del terreno (Reid, Christian, Brien, & Henderson, 2015). Este modelo es utilizado para deslizamientos de tipo rotacional y para modelar amenazas por movimiento en masa en las capas profundas del suelo (hasta 10 m).

El programa calcula la estabilidad del material analizando múltiples (miles o millones) superficies esféricas de prueba (superficies de deslizamiento potenciales) y evalúa la estabilidad por medio de una extensión tridimensional del método convencional de equilibrio límite de dovelas para el cálculo del factor de seguridad (FS) (Zhang y Wang, 2019). Mediante un momento de equilibrio de fuerzas sobre un eje principal de rotación, la extensión 3D del método de Bishop simplificado (Hung, 1987) permite analizar múltiples superficies de falla como superficies deslizantes rotacionales esféricas.

El factor de seguridad (FS) se calcula de acuerdo con la Ecuación 3-12, para condiciones saturadas por debajo de un nivel freático establecido. En ella se calculan las fuerzas actuantes en la base de las columnas sobre la superficie de prueba (método simplificado de Bishop en condiciones estáticas):

Ecuación 3-12. Factor de Seguridad para condiciones saturadas

$$FS = \frac{\sum R_{i,j} [c_{i,j} A_{h_{i,j}} + (W_{i,j} - z_{pz_{i,j}} \gamma_w A_{h_{i,j}}) \tan \varphi_{i,j}] / m_{\alpha_{i,j}}}{\sum W_{i,j} [R_{i,j} \sin \alpha_{i,j}]}$$

Donde,

- $R_{i,j}$: distancia del eje de rotación al centro geométrico de la superficie de prueba en la columna (i,j)
- $W_{i,j}$: peso de la columna
- $A_{h_{i,j}} = (A_{i,j} \cos \varepsilon_{i,j})$: área proyectada de la superficie de prueba en la horizontal (columna)
- $\varphi_{i,j}$: ángulo de fricción
- $c_{i,j}$: es la cohesión
- $\alpha_{i,j}$: buzamiento aparente de la base de la columna
- $m_{\alpha} = \cos \varepsilon_{i,j} + \frac{\sin \alpha_{i,j} \tan \varphi_{i,j}}{F}$, donde $\varepsilon_{i,j}$ es el ángulo de buzamiento de la superficie de prueba
- $z_{pz_{i,j}} = u / \gamma_w$, donde $z_{pz_{i,j}}$ es la profundidad vertical debajo de la superficie piezométrica (puede variar en cada columna)
- γ_w : peso unitario del agua
- u : presión de poros.

Para generar los resultados de las zonas con amenaza a partir del software Scoops 3D, se siguen etapas descritas a continuación:

1. Se ingresa el modelo de elevación digital y se determina la pixelación (2x2m).
2. Se definen los polígonos de zonas homogéneas, con características geotécnicas para cada estrato a analizar.
3. Se especifican las condiciones del suelo y se introducen los parámetros de cohesión, ángulo de fricción, peso específico, nivel freático y aceleración sísmica para cada uno de los polígonos.
4. Se define la metodología de equilibrio límite a utilizar, en este caso se usa la de Bishop (Bishop, 1955), para su aplicación se debe definir información del DEM, rango del volumen o la superficie de falla, la longitud (cota máxima y mínima) y radio de la superficie.

Para cada deslizamiento o superficie de falla el programa realiza una valoración de la estabilidad de la superficie la cual abarca las celdas del DEM de los polígonos con características homogéneas que se hayan definido previamente (Reid, Christian, Brien, & Henderson, 2015). El resultado que arroja este proceso establece un factor de seguridad (FS) para cada polígono; con base en este valor, se clasifican los tres niveles de amenaza ante deslizamientos (UNAL & AMVA, 2018)) (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de amenaza según el valor de FS.

Categoría de amenaza	Factor De Seguridad

ALTA	<1,0
MEDIA	1,0 – 1,5
BAJA	>1,5

Fuente: (UNAL & AMVA, 2018))

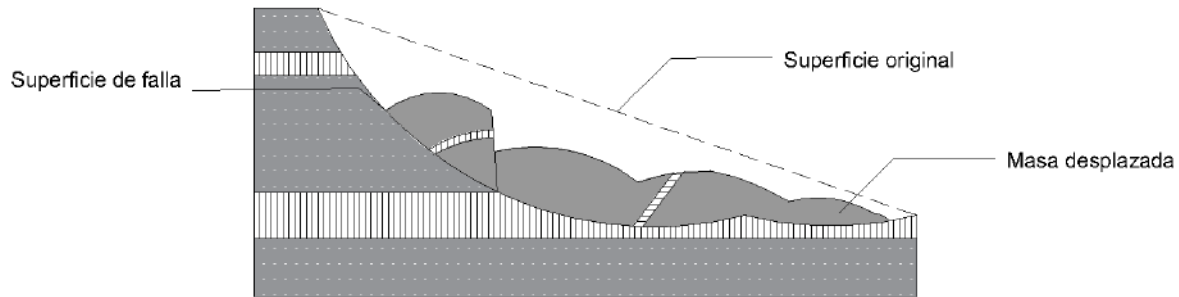


Figura 3. Talud esquemático con procesos de deslizamiento Scoops3D.

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

El modelo en el software Scoops 3D calcula el FS para diferentes escenarios evaluados (nivel freático y sismo). El perfil de suelo se simplifica en tres horizontes y se asignan los parámetros mecánicos (cohesión, ángulo de fricción, peso unitario en seco y peso unitario saturado) de cada unidad geológica.

La Tabla 4 muestra los escenarios simulados con Scoops3D. Se asume la profundidad del nivel freático como factor detonante derivado de las lluvias antecedentes, así como un escenario de evento sísmico, y se analizan diversos escenarios debido a la imposibilidad de asignar una probabilidad temporal a las condiciones de nivel freático simuladas (ya que la medición del nivel freático no es tan constante como la medición de las lluvias). Por otra parte, el coeficiente de pseudo-aceleración horizontal (k_{eq}) representa las cargas sísmicas y se obtuvo como el valor estadístico percentil 90 (para un periodo de retorno de 475 años).

Tabla 4. Escenarios simulados con Scoops3D.

Escenario	Nivel freático	Condición sísmica
1	10 m	No
2	5 m	No
3	0 m	No
4	5 m	Sí ($k_{eq} = 0.231$)

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

3.1.1.3 Zonificación de la amenaza por movimiento en masa

Este proceso se realiza mediante la integración de los resultados de los métodos definidos para falla planar y falla rotacional como se explica a continuación y se ilustra en la Figura 4.

Para obtener el mapa de amenaza por movimiento en masa de tipo planar, se suman los resultados arrojados por TRIGRS (valor de FS para cada celda) y FOSM (valor de probabilidad espacial de falla para cada celda), y

adicionalmente, al resultado de la sumatoria para cada celda le multiplica por 0.01 (valor de la probabilidad de ocurrencia de lluvias para un periodo de retorno de cada 100 años), y los resultados se expresan así:

Tabla 5. Valores para probabilidad de falla para TRIGRS + FOSM. (UNAL, AMVA, 2018)

Categoría de Amenaza	Probabilidad de falla
Alta	> 0.01
Media	0.0001 – 0.01
Baja	< 0.0001

Fuente: AMVA UNAL 2018

Respecto al resultado arrojado por el software Scoops3D, se tiene un mapa de amenaza por movimiento en masa de tipo rotacional donde al igual que en TRIGRS, se tienen en cuenta los FS analizados desde los escenarios de sismo y saturación del terreno. Los valores de FS que se toman para la zonificación de la amenaza están dados por:

Tabla 6. Valores de Factor de Seguridad arrojados por Scoops 3D.

Categoría de Amenaza	Factor de Seguridad
Alta	< 1,0
Media	1,0 – 1,5
Baja	> 1,5

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Las modelaciones tuvieron en cuenta las condiciones saturadas del suelo cuando se presentan eventos de lluvia, para lo que se hizo uso de estudios de suelo previos donde se reportó el nivel freático del suelo, para determinar las profundidades de este en la modelación. No obstante, se hicieron análisis considerando posiciones más superficiales y otras más profundas, combinadas con eventos de sismo (valores tomados de AMVA - UNAL., 2018), para evaluar las condiciones más críticas posibles (Tabla 126).

Tabla 7. Escenarios para la modelación en Scoops 3D.

Escenario	Nivel freático	Condición sísmica
1	0	No
2	5 m	No
3	10 m	No
4	5 m	Sí ($k_{eq} = 0.231$)

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Una vez se obtienen las modelaciones de Scoops3D para los cuatro escenarios, se procede a comparar el resultado de cada uno de estos con el mapa arrojado por TRIGRS + FOSM, con el fin de determinar cuál escenario genera un producto más similar al mapa de probabilidad de falla de tipo planar. A partir de la comparación se determina que el escenario 1 (nivel freático a 10 m de la superficie del suelo y sin sismo), presenta una mayor consistencia.

Finalmente, escogido el mapa tanto de TRIGRS + FOSM como el de Scoops3D, se procede a combinarlos. A partir de la combinación de los mapas, es importante aclarar que siempre va a primar el escenario más crítico, por lo que, si se agrega una celda de un mapa que tiene clasificación alta de amenaza con una celda que tiene clasificación media de amenaza en el otro mapa, el resultado final será una amenaza alta. Las combinaciones resultantes para la unión de los mapas están dadas de la siguiente forma (Tabla 8).

Tabla 8. Combinaciones resultantes para unión de mapas TRIGRS + FOSM y Scoops 3D.

		Mapa 1		
		Baja	Media	Alta
Mapa 2	Baja	Baja	Media	Alta
	Media	Media	Media	Alta
	Alta	Alta	Alta	Alta

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

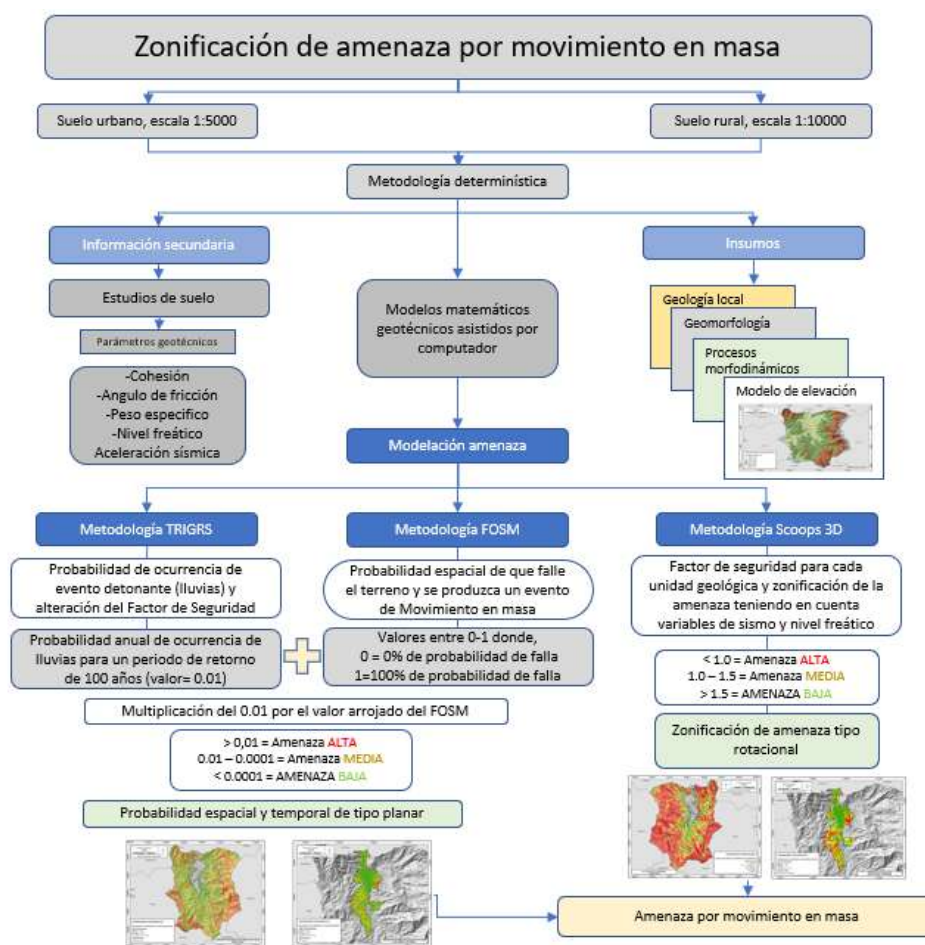


Figura 4. Esquema metodológico para la zonificación por movimientos en masa.

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

Considerando que para la cuenca de la quebrada La Raya, límite entre Caldas y La Estrella, existe un estudio de riesgo de detalle para los tres eventos, movimiento en masa, inundación y avenida torrencial (AMVA, 2019), los resultados de esta amenaza, para la porción de suelo urbano en esta cuenca, se tomarán del mencionado estudio de detalle.

3.1.2 SUELO RURAL

Para modelar la amenaza por movimiento en masa se desarrollará la metodología a partir de los softwares Scoops 3D y TRIGRS, similar al procedimiento adelantado para la zona urbana, expansión urbana y centros poblados, pero diferenciándose respecto a la escala del producto, ya que se obtiene el resultado a escala 1:10.000.

. Para llevarlo a cabo se requiere de la siguiente información y cartografía base:

- Modelo de elevación digital del terreno (DEM), definido con una resolución de 10 m

- Mapa geológico con detalle de 1:10.000 para suelo rural
- Mapa de formaciones superficiales a escala 1:10.000
- Caracterización de los materiales y estratigrafía para los análisis de estabilidad, se deben definir parámetros de resistencia al corte como cohesión y ángulo de fricción interna, así como el peso específico de los materiales la profundidad de los estratos, nivel freático para cada zona homogénea definida y la aceleración sísmica de la zona. Estos datos se obtienen de la información proporcionada por los estudios de suelo realizados para proyectos urbanísticos en el municipio de Caldas.

Como se mencionó anteriormente, la zonificación se realiza por medio de los softwares TRIGRS y Scoops 3D, los cuales evalúan la estabilidad de las laderas a través de una representación digital del terreno y su proceso fue descrito en el numeral previo.

Considerando que para la cuenca de la quebrada La Raya, límite entre Caldas y La Estrella, existe un estudio de riesgo de detalle, para los tres eventos, movimiento en masa, inundación y avenida torrencial (AMVA, 2019), los resultados de esta amenaza, para la porción de suelo rural en esta cuenca, se tomarán del mencionado estudio de detalle.

3.2 AMENAZA POR INUNDACIÓN

Según (OMM - UNESCO, 2012), un evento de inundación se define como el “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”; en este caso, “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar daños y pérdidas.

Para la caracterización de la variabilidad espaciotemporal de las inundaciones se utilizaron diversas fuentes de información, tales como registros de campo, levantamiento de estructuras hidráulicas, testimonios de eventos históricos, cartografía a escala 1:2.000 y 1:5.000, tipo de suelo, cobertura vegetal, entre otras. El análisis se realizó para toda la extensión del municipio (urbano y rural) y las respectivas cuencas hidrográficas asociadas. Inicialmente se definen las áreas susceptibles a inundarse que, de acuerdo con la propuesta metodológica del (IDEAM, 2013), se puede realizar mediante: a) la elaboración de mapas de geomorfología fluvial, y b) inventario y registro actual de áreas inundables, que permita la zonificación de los cauces de acuerdo a su dinámica fluvial, y la delimitación y caracterización de las áreas susceptibles a inundarse de acuerdo al tipo de dinámica fluvial actual de los tramos zonificados.

Posterior a esto, se realiza la modelación física (hidrológica e hidráulica) de las crecientes, lo cual permite delimitar las manchas de inundación y sus respectivas características hidráulicas (profundidad y velocidad de flujo). Para alcanzar este objetivo se aplicó el siguiente proceso metodológico:

- Delimitación de las cuencas hidrográficas para diferentes puntos de la red hidrográfica (sitios de confluencia entre tramos de corriente).
- Estimación de parámetros morfométricos de cada una de las cuencas y subcuencas.
- Estimación de tiempos de concentración de cada una de las cuencas y subcuencas.
- Caracterización espaciotemporal de los eventos de precipitación extrema (IDF).
- Cálculo de la tormenta de diseño (magnitud, duración, frecuencia y variación espaciotemporal).
- Estimación de pérdidas hidrológicas mediante el método del “Natural Resources Conservation Service (NRCS, por sus siglas en inglés)”.
- Implementación de modelos lluvia-escorrentía (hidrógrafas unitarias) para cada uno de los puntos de la red de drenaje seleccionados.
- Estimación de los caudales máximos asociados a los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 de período de retorno (caudales pico de las hidrógrafas de respuesta de cada una de las cuencas y subcuencas).
- Implementación de modelos hidráulicos, que permiten estimar las variables de flujo, tales como profundidad y velocidad, que delimitan las áreas de inundación.
- Clasificación de las condiciones de amenaza con base en metodologías validadas en la literatura científica.

A continuación, se presenta el marco metodológico utilizado para el desarrollo del estudio de amenaza por inundación. Asimismo, se describe la información utilizada con el objetivo de garantizar que está se encuentre en el estado del arte.

3.2.1 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS

La evaluación de la amenaza hidrológica (inundación y avenidas torrenciales) constituye un asunto esencial en la planeación del territorio. Esta se realiza con base en los eventos de caudales extremos (máximos) que pueden generar afectaciones sobre cualquiera de los elementos del territorio.

Debido la escasez de información hidrológica local, no es posible calcular los caudales máximos mediante el análisis estadístico de series históricas de datos hidrológicos. De esta manera, es necesario utilizar modelos Lluvia-Escorrentía, los cuales permiten estimar la hidrógrafa unitaria de respuesta de la cuenca estudiada mediante la correlación empírica de sus características biogeofísicas con las condiciones climáticas de la zona.

En el desarrollo de dichas metodologías se asumen ciertas condiciones propias para cada uno de los modelos; por ejemplo, se simplifican los patrones de tiempo-intensidad y de distribución espacial de la lluvia, así como las condiciones antecedentes en la microcuenca, se supone que la probabilidad de la avenida de diseño es igual a la probabilidad de la tormenta de diseño, entre otros.

En el presente estudio se estiman los caudales máximos generados por diferentes tormentas de diseño, asociadas a diferentes períodos de retorno (Tr); para ello se plantea la estimación de los caudales máximos mediante la implementación de cuatro modelos lluvia-escorrentía, a saber:

- Hidrógrafa unitaria del SCS ("Soil Conservation Service")
- Hidrógrafa unitaria de Snyder
- Hidrógrafa unitaria de Williams y Hann
- Método racional

El proceso de estimación de los caudales máximos se puede esquematizar, de forma simplificada, como se muestra en la Figura 5:

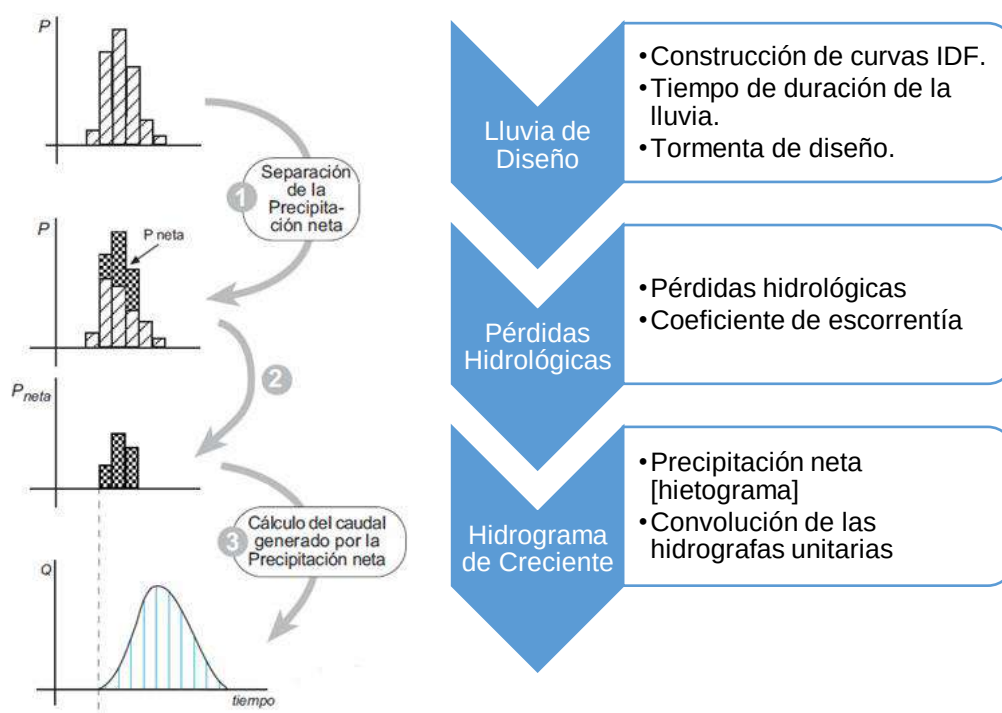


Figura 5. Esquemización del proceso de estimación de caudales máximos.

Fuente: (Sánchez San Román, 2017)

3.2.1.1 Tormenta de Diseño

Con el objetivo de definir la tormenta (o lluvia) de diseño es necesario determinar la magnitud (intensidad), duración y distribución temporal del evento. Para ello se debe estimar la intensidad de la lluvia con una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, el cual representa el tiempo que se requiere para que toda la cuenca esté aportando al proceso de escorrentía.

3.2.1.1.1 Duración de la Lluvia

Para determinar la duración de la lluvia a partir de los parámetros morfométricos, se utiliza una serie de fórmulas empíricas, las cuales utilizan distintos criterios para su cálculo. En este caso, se estimó el tiempo de concentración con las ecuaciones propuestas por Kirpich, Temez, Giandioti, Bransby-Williams y Johnstone, y Cross, entre otros, cuyos fundamentos teóricos fueron revisados por (Campo & Múnera, 1997), con el fin de tener varios estimativos para determinar un valor aproximado de la duración de la lluvia. Las expresiones utilizadas para estimar este parámetro son las siguientes:

Tabla 9. Metodologías para la estimación del tiempo de concentración (T_c).

S.C.S - Ranser	California Culverts Practice
$T_c = 0,947k^{0,385}$ $k = \sqrt{\frac{L_c^3}{H}}$ T_c : Tiempo de concentración, en horas. L_c : Distancia desde el sitio de interés al punto en el cual la corriente principal corta la divisoria, en km. H : Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente, en pies.	$T_c = \left[\frac{0,87L^3}{C_{MC} - C_{mc}} \right]^{0,385}$ T_c : Tiempo de concentración, en horas. L : Longitud del cauce principal hasta el punto de aforo, en km. C_{MC} : Cota mayor de la cuenca, en metros. C_{mc} : Cota menor de la cuenca, en metros.
Kirpich (1990)	Témez (1978)
$T_c = 0,066 \left[\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right]^{0,77}$ T_c : Tiempo de concentración, en horas. L : Longitud desde la estación de aforo hasta la divisoria, siguiendo el cauce principal, en km. S_0 : diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L en m/m.	$T_c = 0,3 \left[\frac{L}{S_0^{0,25}} \right]^{0,75}$ T_c : Tiempo de concentración, en horas. L : Longitud del cauce principal en km. S_0 : Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L en %.
Johnstone y Cross (1949)	Zuluaga, Valencia y Saldarriaga
$T_c = 5 \left[\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right]^{0,5}$ T_c : Tiempo de concentración, en horas. L : Longitud del cauce principal, en millas. S_0 : Pendiente del canal en pies/milla.	$T_c = 0,658 \left[\frac{L}{S_0^{0,25}} \right]^{0,671}$ T_c : Tiempo de concentración, en horas. L : Longitud del cauce principal, en km. A : Área de la cuenca, en km².
Pérez Monteagudo (1985)	Ven Te Chow
$T_c = \frac{L}{V_r}$ L : Longitud de la corriente principal. V_r : Velocidad de onda de la creciente por el cauce principal en km/h. V_r se expresa como: $V_r = 72 \left[\frac{AE}{L} \right]^{0,6}$ AE : Diferencia de cotas en km en el cauce principal desde el punto más bajo.	$T_c = 0,8773 \left[\frac{L}{\sqrt{\left(\frac{C_{Mr} - C_{mr}}{L} \right)}} \right]^{0,64}$ T_c : Tiempo de concentración, en horas. L : Longitud del cauce principal hasta el punto de aforo, en km. C_{Mr} : Cota mayor del río, en metros. C_{mr} : Cota menor del río, en metros.
Giandotti (1990)	Bransby - Williams

$T_c = \frac{4 A^{0,5} + 1,5 L}{25,3 (L S_0)^{0,5}}$ T_c : Tiempo de concentración, en horas. A : Área de la cuenca en km2. L : Longitud del cauce principal, en Km. S_0 : diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L, en m/m.	$T_c = \frac{F L}{(A)^{0,1} (S_0)^{0,3}}$ T_c : Tiempo de concentración, en horas. A : Área de la cuenca en km2. L : Longitud del cauce principal en km. F : 58,5 si el área está dada en km2. S_0 : diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L, en m/m.

3.2.1.1.2 Magnitud de la Lluvia

Para la duración de la lluvia de diseño y un período de retorno del evento dado, es posible asociar un valor para la intensidad de precipitación para la zona de estudio, esto se hace mediante las curvas de intensidad, frecuencia y duración (IDF). En el presente estudio se utilizó la información de IDF de las estaciones meteorológicas presentes en el área de estudio.

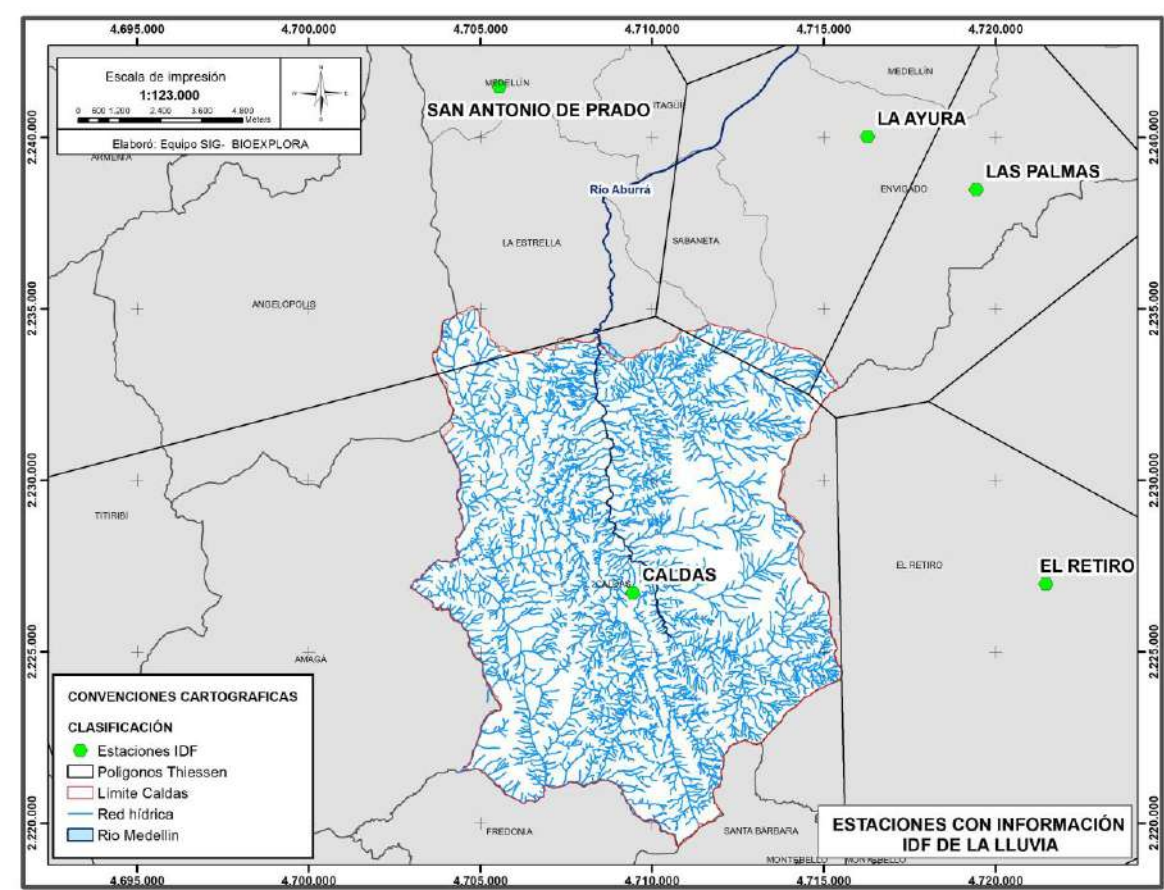


Figura 6. Estaciones con información de IDF de la lluvia
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

Vale la pena aclarar que se tuvieron en cuenta las estaciones con curvas IDF del IDEAM y EPM, ya que las estaciones del SIATA solo cuentan con una longitud de registro de 15 años, la cual no se considera suficiente para la construcción de series climatológicas estadísticamente confiables.

Por otra parte, se determinó que, según la metodología de polígonos de Thiessen, el comportamiento de las microcuencas estudiadas se puede definir con base en las estaciones Caldas, San Antonio de Prado y La Ayurá. Sin embargo, dadas las condiciones orográficas se la precipitación de diseño caracterizará con base en los registros de la estación Caldas.

El uso de las curvas IDF permite vincular el tiempo de concentración de la microcuenca, la probabilidad de ocurrencia de dicha tormenta y la intensidad del evento involucrado. La intensidad de la precipitación para una duración de lluvia al igual al tiempo de concentración medio se estima mediante la siguiente expresión:

$$I = \frac{k \cdot T_R^m}{(d + c)^n}$$

donde:

- **I** es la intensidad de la lluvia en mm/h
- **T_R** es el período de retorno en años
- **d** es la duración de la lluvia en minutos
- **k , m , n y c** son parámetros de calibración asociados a diferentes períodos de retorno **T_R**

Los valores de intensidad de la lluvia utilizados corresponden a los desarrollados por AMVA (2018) considerando los efectos del cambio climático sobre el Valle de Aburrá y sus efectos sobre la intensidad de las lluvias.

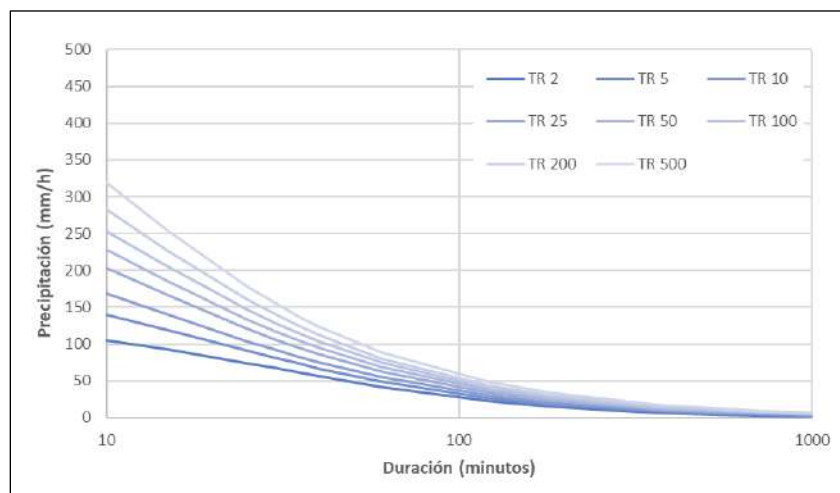


Figura 7. Curvas de IDF en la estación Caldas en condiciones actuales.
Fuente: (AMVA, 2018)

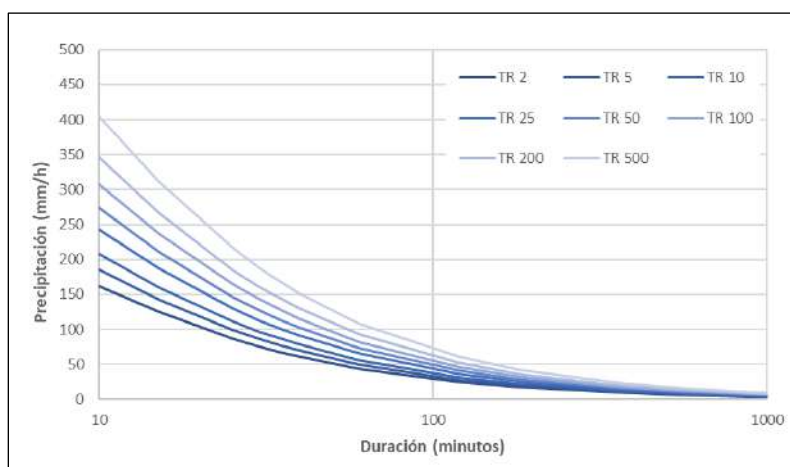


Figura 8. Curvas de IDF en la estación Caldas en condiciones futuras (cambio climático).

Fuente: (AMVA, 2018)

3.2.1.1.3 Factor de Reducción de la Lluvia

Dado que los registros de precipitación que se tienen son puntuales, se debe tener en cuenta que la distribución espacial de las intensidades de la lluvia no es homogénea; considerando esta relación, varios autores plantean el uso de un factor de reducción de la precipitación por Área (Figura 9).

En el presente trabajo se utilizó el factor de reducción por área (ARF por sus siglas en inglés), propuesto por la organización mundial de meteorología (WMO) y presentado en Chow *et al.* (1994).

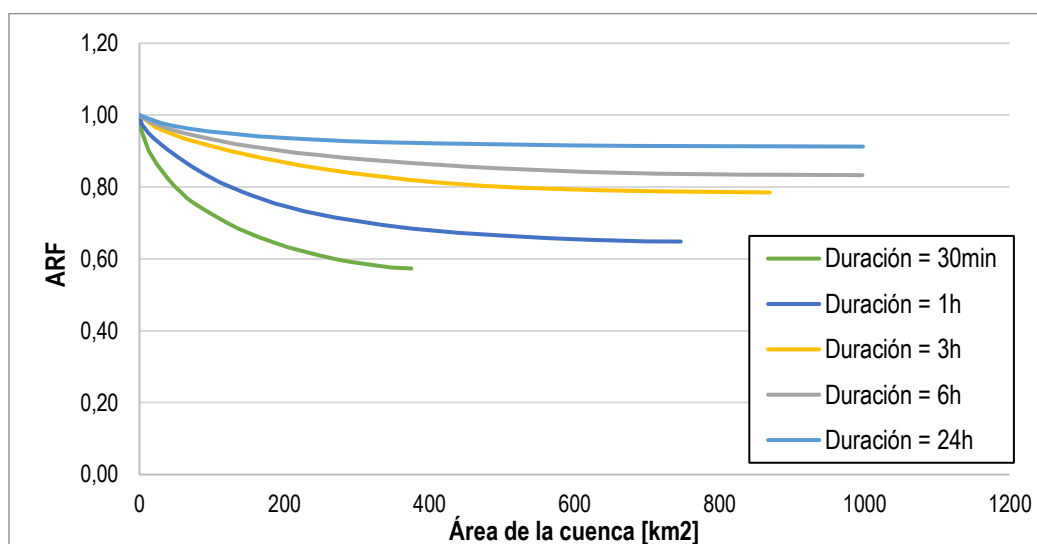


Figura 9. Curvas de factor de reducción de la lluvia por área

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

3.2.1.1.4 Distribución temporal de la Lluvia

Para la distribución temporal de la lluvia se utilizó la metodología de bloques alternantes, la cual consiste en estimar las profundidades de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt para una duración de la tormenta $Td = n \cdot \Delta t$; posteriormente, se calculan los bloques o intervalos de precipitación, tomando las diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, finalmente, estos bloques se reordenan de modo que la intensidad máxima ocurra en la mitad de duración de la tormenta (Td) y que los demás bloques queden en orden descendiente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central, obteniéndose así el hietograma de diseño (Chow, Maidment, & Mays, 1994), como se muestra en la Figura 10.

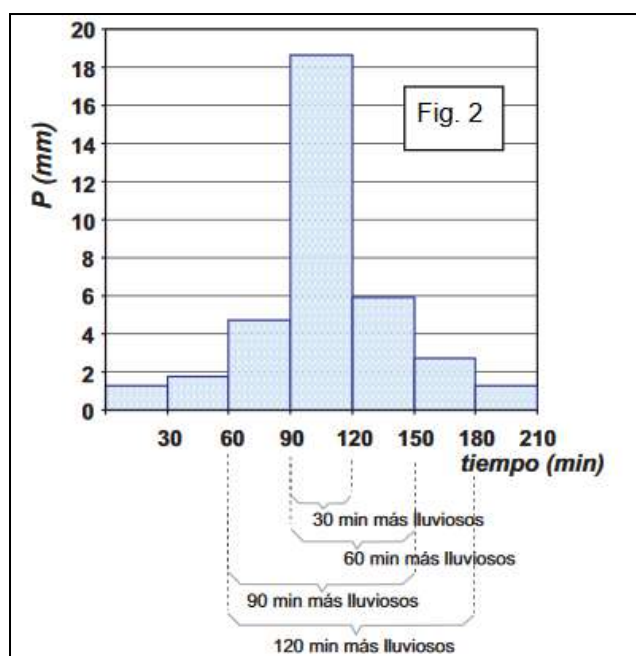


Figura 10. Hietograma de precipitación con base en la metodología de bloques alternantes.
Fuente: (Sánchez San Román, 2017)

3.2.1.1.5 Pérdidas Hidrológicas

Para la aplicación de la metodología empleada se debe estimar que parte de la precipitación total va generar escorrentía directa. Al resto de la precipitación se le denomina *pérdidas*; esta parte, puede haber quedado retenida sobre la vegetación (*intercepción*), retenida en depresiones superficiales, o bien se ha infiltrado en el suelo (Sánchez San Román, 2017).

El cálculo de la P neta puede abordarse a partir del estudio de la infiltración: medidas, ecuaciones y modelos que reflejan la capacidad de infiltración y evolución con el tiempo.

Uno de los métodos más simples y aceptados es el método del SCS, que, mediante tablas y ecuaciones sencillas, permite evaluar el porcentaje de precipitaciones que produce escorrentía directa, en función del tipo de suelo, cobertura, pendiente del terreno y humedad en el suelo.

La precipitación efectiva (P_e), puede estimarse mediante el método del SCS de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{(P_{tacum} - I_a)^2}{P_{tacum} - I_a + S} \quad \text{Ecuación 3.13}$$

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad \text{Ecuación 3.14}$$

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad \text{Ecuación 3.15}$$

donde:

- P_e : es la precipitación efectiva, en mm.
- P_{tacum} : es la precipitación bruta acumulada, en mm.
- I_a : es la retención inicial que determina la lámina de agua que debe ser excedida para que haya escorrentía, en mm.
- S : es el factor de pérdidas en la cuenca.
- CN : es el número de curva del SCS, el cual depende del tipo de suelo, cobertura vegetal, pendiente del terreno y humedad en el suelo.

Para el presente estudio, considerando que es un estudio básico, teniendo un criterio conservador se selecciona un valor de α de 0,05, el cual conduce a tener un menor valor de retención inicial, menor almacenamiento de agua en el suelo y por ende una mayor cantidad de escorrentía superficial.

El número de curva depende del tipo de suelo, cobertura, pendiente del terreno y de la humedad antecedente. La metodología del NRCS agrupa el tipo de suelo en los siguientes cuatro grupos:

Grupo de Suelo A. Alta infiltración (baja escorrentía): suelos derivados de rocas metamórficas cubiertos con vegetales (bosques o rastrojo alto) con grado de meteorización 30/50 según Brand (1988) y con discontinuidades en la matriz de suelo, producto del proceso de descomposición de la roca. Las estructuras heredadas funcionan como canales de flujo principales. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 7 %. También se incluyen los suelos que presentan un efecto geológico marcado por diaclasas y buzamientos y cuyo buzamiento se da en ángulos mayores a 60°.

Grupo de Suelo B. Infiltración moderada (escorrentía moderada): suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas o sedimentarias poco denudados con grado de meteorización 0/30 y con discontinuidades difícilmente cartografiables en campo. Las estructuras heredadas ya no son tan

importantes en la permeabilidad del conjunto, por lo cual la permeabilidad primaria es la que controla el flujo de agua en el suelo. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 10 %.

Grupo de Suelo C. Infiltración baja (escorrentía de moderada a alta): suelos residuales derivados de cualquier tipo de roca, y cuyo grado de meteorización se clasifique como residuales maduros en los cuales las propiedades y minerales del material parental no son fácilmente identificables. Esta formación tiene como característica principal que está cubierta por pastos manejados y sus pendientes varían entre 5 y 15 %.

Grupo de Suelo D. Muy poca infiltración (alta escorrentía): suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyo grado de meteorización varía entre 0/90 y en donde la pendiente media excede el 15 %. El tipo de vegetación en este grupo no es de mayor importancia ya que el fuerte gradiente topográfico impide la recarga de los acuíferos en la zona, generando por el contrario un flujo hipodérmico hasta aflorar nuevamente en superficie y hacer parte del agua que se aporta al canal principal de la cuenca. En este grupo se encuentran las áreas urbanizadas con poca vegetación (10 %).

En la Tabla 10 se muestran algunos números de curva que han sido resumidos del SCS (Chow, Maidment, & Mays, 1988) de una exhaustiva lista para diferentes condiciones hidrológicas.

Tabla 10. Número de curva para escorrentía con humedad antecedente AMC II.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1988)

Descripción de usos del suelo	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Zona de parqueo pavimentada, techada	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentos con bordillos y alcantarillas	98	98	98	98
Afirmado	76	85	89	91
Suelo compactado	72	82	87	89
Cultivos (cosecha agrícola) del suelo:				
Sin tratamientos de conservación (sin terrazas)	72	81	88	91
Con tratamientos de conservación (terrazas, contornos)	62	71	78	81
Pastos o gama de suelos:				
Pobre (< 50 % cobertura del suelo por pastos muy continuos)	68	79	86	89
Buena (50 – 75 % cobertura del suelo por pastos poco continuos)	39	61	74	80
Prado (pasto, sin pastar y corto para follaje)	30	58	71	78
Rastrojo (bueno, > 75 % cobertura de suelo)	30	48	65	73
Bosques y selvas:				
Pobre (árboles pequeños – rastrojo destruido después de quema o rozada)	45	66	77	83
Regular (rozado, pero sin quema, algunos rastrojos)	36	60	73	79
Bueno (sin rozado, cobertura de suelo rastrojo)	30	55	70	77

Descripción de usos del suelo	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Espacios abiertos (pastos, parques, canchas de golf, cementerios, etc.):				
Regular (cobertura de pastos 50 -75 % del área)	49	69	79	84
Bueno (cobertura de pastos > 75 % del área)	39	61	74	80
Zonas comerciales y de negocios (85 % impermeable)	89	92	94	95
Zonas industriales (72 % impermeables)	81	88	91	93
Áreas residenciales:				
Lotes de 505 m ² , cerca del 65 % impermeable	77	85	90	92
Lotes de 1.011 m ² , cerca del 38 % impermeable	61	75	83	87
Lotes de 2.023 m ² , cerca del 25 % impermeable	54	70	80	85
Lotes de 4.046 m ² , cerca del 20 % impermeable	51	68	79	84

Por último, la humedad antecedente del suelo está definida en tres grupos:

- AMC-I: para suelos secos.
- AMC-II: para suelos intermedios.
- AMC-III: para suelos húmedos.

Para este estudio se seleccionó una humedad antecedente del suelo AMC-III. Por lo tanto, dado que el número de curva CN está dado para una condición AMC-II, se utilizó la Tabla 11 para la conversión a la condición AMC-III.

Tabla 11. Conversión de humedad antecedente.

AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III
100	100	100	74	55	88	48	29	68
99	97	100	73	54	87	47	28	67
98	94	99	72	53	86	46	27	66
97	91	99	71	52	86	45	26	65
96	89	99	70	51	85	44	25	64
95	87	98	69	50	84	43	25	63
94	85	98	68	48	84	42	24	62
93	83	98	67	47	83	41	23	61
92	81	97	66	46	82	40	22	60
91	80	97	65	45	82	39	21	59
90	78	96	64	44	81	38	21	58
89	76	96	63	43	80	37	20	57
88	75	95	62	42	79	36	19	56
87	73	95	61	41	78	35	18	55
86	72	94	60	40	78	34	18	54
85	70	94	59	39	77	33	17	53

AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III
84	68	93	58	38	76	32	16	52
83	67	93	57	37	75	31	16	51
82	66	92	56	36	75	30	15	50
81	64	92	55	35	74	25	12	43
80	63	91	54	34	73	20	9	37
79	62	91	53	33	72	15	6	30
78	60	90	52	32	71	10	4	22
77	59	89	51	31	70	5	2	13
76	58	89	50	31	70			
75	57	88	49	30	69			

Fuente: (NRCS, 1986).

3.2.1.1.6 Hietograma

Finalmente, con base en la información de intensidad, duración, frecuencia, distribución temporal de la lluvia y las pérdidas hidrológicas, se estiman los hietogramas (tormenta de diseño) de precipitación total y efectiva utilizados para la estimación de los caudales máximos en el proyecto.

3.2.1.2 Hidrógrafas Unitarias

Para estimar los caudales máximos en la zona de interés han sido aplicados diferentes modelos de lluvia-escorrentía. Los modelos empleados para determinar el caudal máximo asociado a diferentes periodos de retorno fueron: el método de las Hidrógrafas Unitarias Sintéticas SCS, Snyder y Williams & Hann.

En función de las características físicas de la cuenca y de los parámetros propios de cada metodología se construyeron los hidrogramas unitarios, para luego realizar una convolución matemática de cada uno de los histogramas de precipitación efectivos (hietogramas), asociados a los diferentes periodos de retorno. De esta manera se generan los hidrogramas de escorrentía directa que se asumirán como las crecientes de diseño.

3.2.1.2.1 Hidrógrafa Unitaria de Snyder

El modelo Snyder deriva un hidrograma unitario a partir de algunas características físicas de la cuenca, para ser aplicado en las cuencas donde no se tienen registros históricos de caudal. Este modelo considera los siguientes componentes del hidrograma (Figura 11) (Ramírez, 2000).

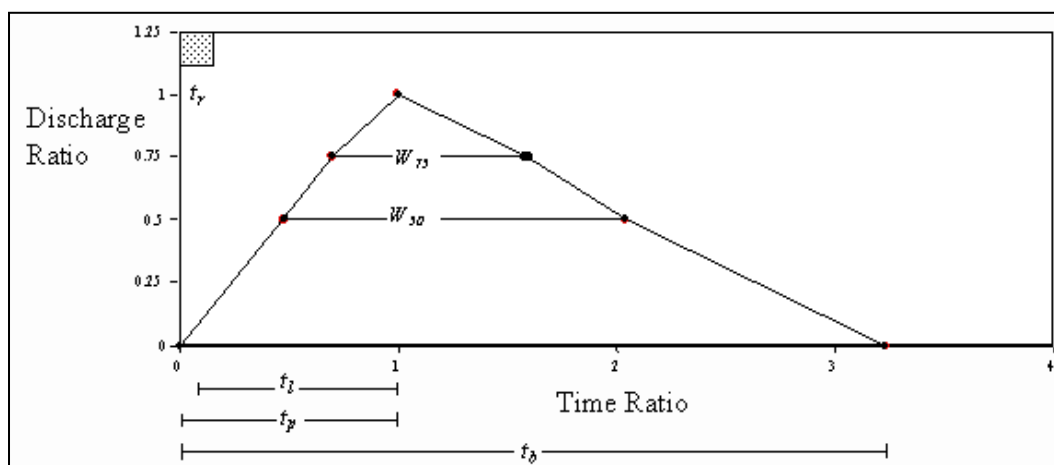


Figura 11. Hidrograma unitario sintético de Snyder
Fuente: (Ramírez, 2000).

El modelo propone calcular el caudal pico por km^2 , Q_p , mediante la siguiente expresión:

$$Q_p = C_p \cdot \frac{2,75 \cdot A}{t_l} \quad \text{Ecuación 3.16}$$

$$t_l = 0,75 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_C)^{0,3} \quad \text{Ecuación 3.17}$$

donde:

- Q_p : caudal pico del hidrograma unitario, en m^3/s .
- C_p : coeficiente al pico, varía entre 0,4 y 0,8, siendo más cercano a 0,8 en zonas montañosas.
- A : es el área de la cuenca, en km^2 .
- t_l : tiempo de rezago, en horas.
- C_t : coeficiente basado en cuencas instrumentadas de la misma región.
- L : longitud del cauce principal, en km.
- L_C : longitud, por el cauce, desde el sitio de salida de la cuenca su centroide, en km.

Dado que la hidrógrafa unitaria está asociada un tiempo de duración de lluvia tal que:

$$t_l = 5,5 \cdot t_r \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Por lo tanto, para una duración de la lluvia que no cumpla con esta relación, el caudal pico puede calcularse como:

$$Q_p = C_p \cdot \frac{2,75 \cdot A}{t_l'} \quad \text{Ecuación 3.19}$$

$$t_l' = t_l + \frac{t_R - t_r}{4} \quad \text{Ecuación 3.20}$$

donde:

- t_l : tiempo de rezago, en horas.
- t_l' : tiempo de rezago corregida, en horas.
- t_R : tiempo de duración de la lluvia de diseño, en horas.
- t_r : tiempo de duración de la lluvia para el cual $t_l = 5,5 \cdot t_r$.

Asumiendo una forma triangular para el hidrograma unitario, dado que este representa el volumen de una escorrentía directa de 1 cm, el tiempo base requerido para la ocurrencia de la hidrógrafa unitaria puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$t_b = 5,56 \cdot \frac{A}{Q_p} \quad \text{Ecuación 3.21}$$

Como una mejora a la hidrógrafa unitaria, el “U.S Army Corps of Engineers” desarrolló una relación para estimar el ancho de la hidrógrafa para los valores del 50% (W_{50}) y 75% (W_{75}), como se muestra a continuación:

$$W_{\%} = C_w \left(\frac{Q_p}{A} \right)^{-1,08} \quad \text{Ecuación 3.22}$$

donde:

- C_w : es una constante que equivale a 1,22 para el 75% del ancho y 2,14 para el 50% del ancho.

3.2.1.2.2 Hidrógrafa unitaria (triangular) del SCS

El “Soil Conservation Service” (SCS) desarrolló un hidrograma unitario adimensional a partir de una serie de hidrógrafas observadas, correspondientes a cuencas de muy diversos tamaños y ubicadas en distintos sitios de Estados Unidos.

El hidrograma unitario adimensional Curvilíneo del SCS, puede ser representado por un hidrograma unitario triangular como se observa en la Figura 12.

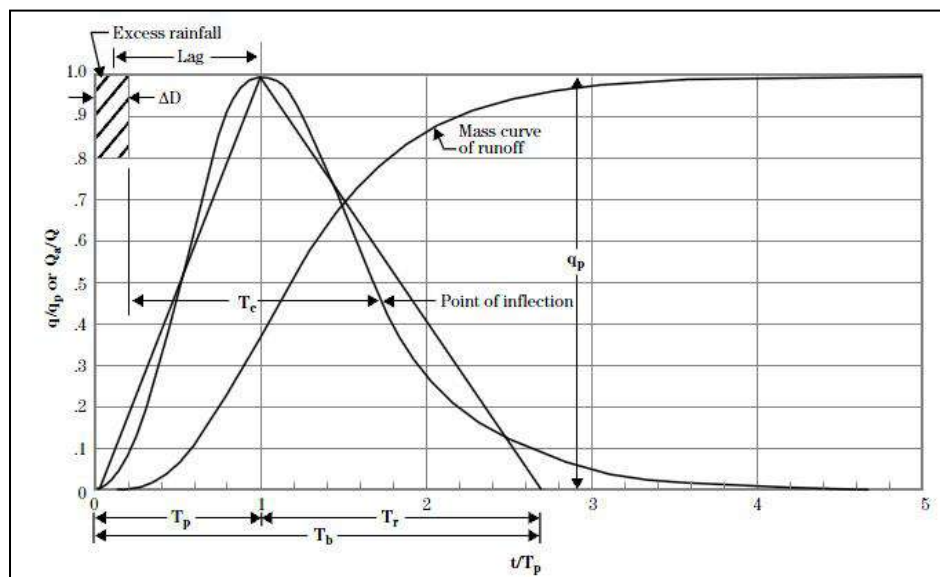


Figura 12. Hidrógrafa unitaria del SCS y su hidrógrafa triangular equivalente.

Fuente: (Patel & Thorvat, 2016)

A continuación, se describen las ecuaciones matemáticas definidas para el hidrograma unitario del SCS.

$$Q_p = \frac{0,028 \cdot A}{t_p} \quad \text{Ecuación 3.23}$$

$$t_p = \frac{t_r}{2} + t_l \quad \text{Ecuación 3.24}$$

$$t_l = 0,6 \cdot t_c \quad \text{Ecuación 3.25}$$

donde:

- Q_p : caudal pico del Hidrograma Unitario, en m³/s.
- t_p : tiempo al pico, en horas.
- t_r : duración de la lluvia, en horas.
- t_l : tiempo de rezago de la cuenca, en horas.
- t_c : tiempo de concentración de la cuenca, en horas.

3.2.1.2.3 Hidrógrafa Unitaria de Williams y Hann

A principios de la década de los 70, Jimmy R. Williams y Roy W. Hann propusieron un modelo para calcular el hidrograma sintético producido por una lluvia instantánea en una cuenca, a partir de sus principales características geomorfológicas, como el área, la pendiente del canal principal y la relación largo-ancho.

Las características geomorfológicas de la cuenca están representadas dentro de la hidrógrafa unitaria por dos parámetros, que son la constante de recesión K y el tiempo al pico T_p :

$$K = 27A_c^{0,231} S_{cp}^{-0,777} \left(\frac{L_c}{W_c} \right)^{0,124} \quad \text{Ecuación 3.26}$$

$$T_p = 4,63A_c^{0,422} S_{cp}^{-0,48} \left(\frac{L_c}{W_c} \right)^{0,133} \quad \text{Ecuación 3.27}$$

donde:

- A_c : área de la cuenca en m^2 .
- S_{cp} : pendiente media del canal principal, en pies.
- $\frac{L_c}{W_c}$: relación largo ancho de la cuenca.

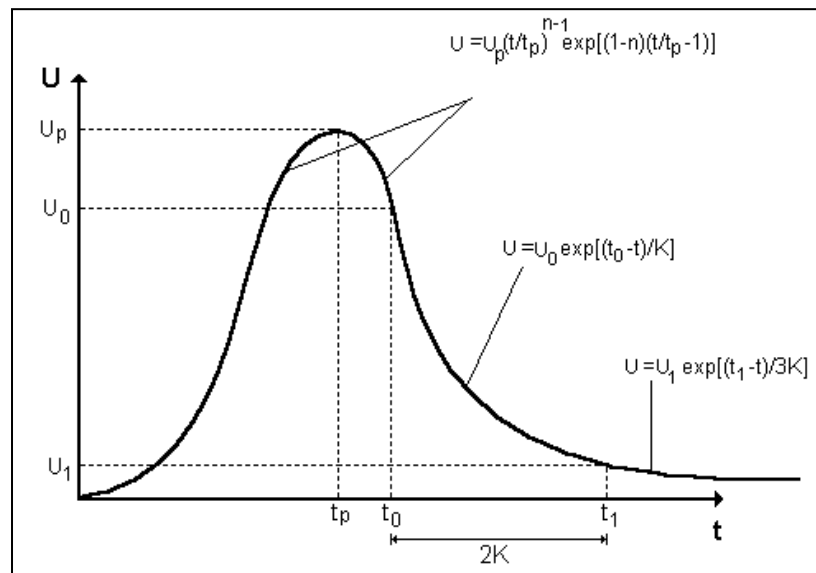


Figura 13. Hidrógrafa unitaria de Williams y Hann.

Fuente: (Rojo, Algunas metodologías para cuantificar la evapotranspiración media multianual en Colombia, 2000)

En la Figura 13 se muestra el esquema del hidrograma unitario sintético de (Williams & Hann, 1973). Mientras que en las ecuaciones siguientes se muestra su formulación matemática:

$$U_p = \frac{B \cdot A_c}{T_p} \quad \text{Ecuación 3.28}$$

$$U = U_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{n-1} \exp \left[(1-n) \left(\frac{1}{T_p} - 1 \right) \right] \rightarrow t \leq t_0 \quad \text{Ecuación 3.29}$$

$$U = U_0 \exp \left(\frac{t_0 - t}{K} \right) \rightarrow t_0 \leq t \leq t_1 \quad \text{Ecuación 3.30}$$

$$U = U_1 \exp \left(\frac{t_1 - t}{3K} \right) \quad \text{Ecuación 3.31}$$

donde U_p es el caudal pico, mientras que los tiempos característicos del modelo están dados por:

$$t_0 = T_p [1 + (n-1)^{1/2}] \quad \text{Ecuación 3.32}$$

$$t_1 = t_0 + 2K \quad \text{Ecuación 3.33}$$

Dentro de la literatura n es conocido como el parámetro de forma del hidrograma sintético unitario de Williams y Hann y está dado por la siguiente relación:

$$n = 1 + \left\{ \frac{1}{2 \left(K/T_p \right)} + \left[\frac{1}{4 \left(K/T_p \right)^2} + \frac{1}{\left(K/T_p \right)} \right]^{1/2} \right\}^2 \quad \text{Ecuación 3.34}$$

El coeficiente B actúa más como un parámetro de conversión de unidades que como un parámetro de significado físico. El valor de B se halla resolviendo la ecuación integral derivada por Williams y Hann, pero para efectos prácticos el valor de B se estima gráficamente en función de n según se muestra en la Figura 14.

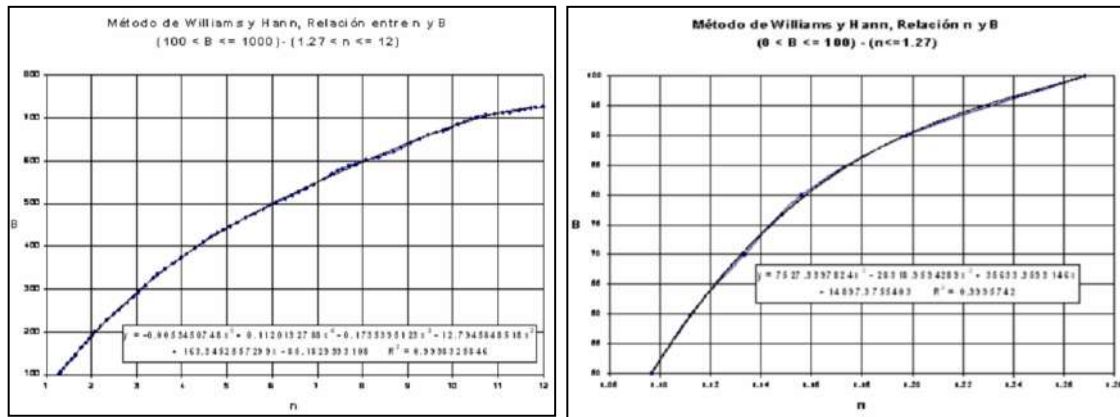


Figura 14. Relación entre B y n para $1,27 < n \leq 12$ y relación entre B y n para $n < 1,27$.

Fuente: (Rojo, 2016)

3.2.1.2.4 Hidrógrafa de Respuesta

La hidrógrafa de respuesta de la cuenca ante la ocurrencia de los diferentes eventos de precipitación puede calcularse de la siguiente manera (Chow *et al.*, 1994).

$$[P][U] = [Q] \quad \text{Ecuación 3.35}$$

donde:

- $[P]$: es la matriz de precipitaciones, que corresponde al hietograma (no acumulado)
- $[U]$: es la hidrógrafa unitaria en forma vectorial
- $[Q]$: es la hidrógrafa de respuesta

Esta ecuación puede representarse gráficamente de la siguiente manera.

$$\begin{bmatrix} P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ P_2 & P_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ P_3 & P_2 & P_1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ P_M & P_{M-1} & P_{M-2} & \dots & P_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & P_M & P_{M-1} & \dots & P_2 & P_1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & P_M & P_{M-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & P_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_{N-M+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ \vdots \\ Q_M \\ Q_{M+1} \\ \vdots \\ Q_{N-1} \\ Q_N \end{bmatrix}$$

Figura 15. Deconvolución matricial de la hidrógrafa de respuesta.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

De esta forma, utilizando los hietogramas de precipitación estimados y las hidrógrafas unitarias de (Snyder, 1972), (SCS, 1972) y (Williams & Hann, 1973), se obtienen las hidrógrafas de respuesta de la cuenca ante la ocurrencia de las tormentas de diseño.

3.2.1.3 Método Racional

El método Racional fue desarrollado a finales de la década de 1890 para ser utilizada en sistemas de drenaje de aeropuertos y en pequeñas cuencas urbanas. En estos sistemas las suposiciones básicas del método se cumplen con cierto grado de aproximación.

El método se fundamenta en que la máxima tasa de escurrimiento superficial, en una cuenca pequeña, ocurre cuando toda la cuenca está contribuyendo y la descarga máxima se obtiene cuando la duración de la lluvia iguala en magnitud al tiempo de concentración de la cuenca.

La fórmula racional supone que la intensidad de la precipitación permanece constante durante un tiempo igual o mayor que el tiempo de concentración y es uniforme sobre toda la cuenca, condición que se cumple en pequeñas cuencas urbanas como las que se estudian en trabajo.

La fórmula racional tiene la siguiente expresión:

$$Q_{Tr} = C \cdot I_{TR} \cdot A \cdot \frac{100}{36}$$

Ecuación 3.36

donde:

- Q_{Tr} : caudal en L/s
- C : coeficiente de escorrentía
- I_{TR} : intensidad en mm/h
- A : área de la cuenca en hectáreas

Esta metodología se empleó para cuencas con áreas menores que 2 km².

3.2.1.3.1 Coeficiente de Escorrentía

En el método racional, la escorrentía superficial provocada por un aguacero (R) puede compararse con la precipitación caída (P). El coeficiente de escorrentía (C) corresponde al cociente entre ambos. Por otra parte, el coeficiente de escorrentía puede ser estimado con base en el número de curva, resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones.

$$Q = C \cdot P \quad \text{Ecuación 3.37}$$

$$Q = \frac{(P - I_{\alpha})^2}{(P - I_{\alpha}) + S} \quad \text{Ecuación 3.38}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{Ecuación 3.39}$$

3.2.2 MODELACIÓN HIDRÁULICA

Dado que el objetivo principal del estudio de amenazas consiste en evaluar las condiciones de profundidad y velocidad de la lámina de agua ante el evento de inundación, se hace necesario implementar un modelo un modelo hidráulico de las corrientes estudiadas.

Como se describe más adelante en el presente documento, para el área del municipio asociada a unidades geomorfológicas susceptibles a eventos de inundación, se implementaron modelos bidireccionales (2D) para el río Aburrá y 15 quebradas afluentes directas del mismo. A continuación, se resumen las actividades requeridas para la implementación de un modelo hidráulico bidimensional en condición de flujo permanente en HEC-RAS 6.1.0:

- Construcción de la geometría del cauce (planta perfil y secciones) con base en información topográfica.
- Implantación de estructuras hidráulicas transversales y paralelas al cauce.
- Construcción de la malla computacional
- Definición del paso temporal de resolución
- Definición de los coeficientes de rugosidad asociada a la malla computacional.
- Definición de los caudales de simulación (corresponden a los máximos asociados a diferentes períodos de retorno).
- Definición de las condiciones de borde en las secciones de control hidráulico
- Ejecución del modelo y análisis de resultados.

Por otra parte, para el resto de las corrientes, se utilizó el descriptor morfométrico HAND tal como se describe a continuación.

3.2.2.1 Descriptor morfométrico de Hand

Para las quebradas estudiadas, por fuera del área de modelación hidráulica, las estimaciones de profundidad y velocidad de flujo se realizaron con base en el descriptor morfométrico HAND, el cual corresponde a la normalización del DEM de acuerdo con la distancia vertical relativa al drenaje más cercano siguiendo las direcciones de drenaje (AMVA, 2018).

Es posible estudiar las inundaciones con descriptores morfométricos ya que el relieve es el resultado parcial de los diferentes procesos ambientales (climáticos, geológicos, etc.), por lo tanto, la modelización matemática de la superficie terrestre a través de descriptores geomorfométricos nos puede develar las huellas de estos; como lo son las inundaciones (AMVA, 2018).

La obtención del HAND parte de la red de drenaje, el mapa de direcciones de flujo y el DEM, estos dos primeros mapas permiten identificar la celda destino sobre la red de drenaje de cualquier celda, lo que permite calcular la elevación relativa como la diferencia entre la elevación de una celda X y la elevación de su celda destino sobre el canal. A continuación, se ilustra la obtención del HAND.

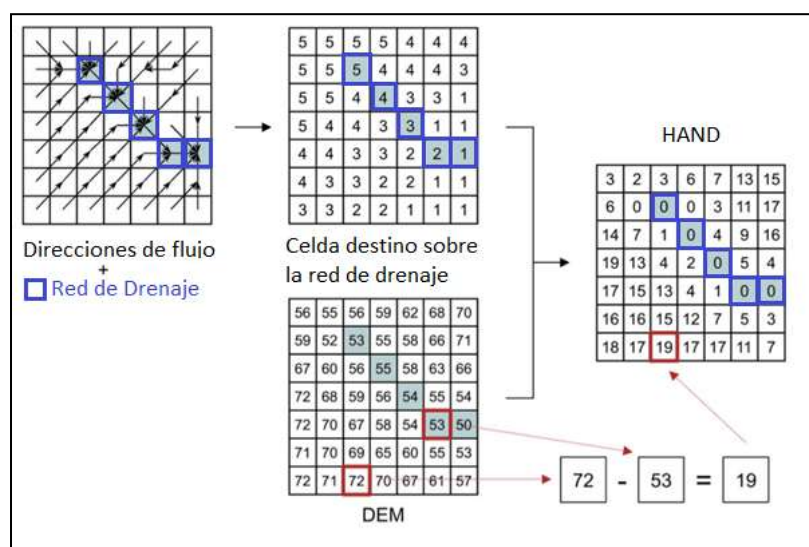


Figura 16. Esquematización del mapa de inundaciones asociado al DEM y niveles máximos.

Fuente: (AMVA, 2018)

Según UNAL (2018) el HAND es muy útil para la estimación de manchas de inundación, ya que, al ser un mapa de elevaciones relativas a la red de drenaje con los niveles de inundación en los drenajes se puede estimar que celdas están por debajo de la lámina de agua, lográndose definir las zonas inundadas, como se muestra en la Figura 17.



Figura 17. Definición de manchas de inundación a partir del HAND.

Fuente: (AMVA, 2018)

Para calcular el nivel de inundación del flujo a utilizarse sobre el HAND en las diferentes quebradas se estimaron las curvas de calibración para la corriente principal de cada subcuenca haciendo uso del mapa HAND de acuerdo a lo propuesto por (Xing, G. Tarboton, R. Maidment, Y. Liu, & Passalacqua, 2018), quienes plantearon una metodología que permite estimar las diferentes propiedades del flujo (volumen de inundación, área promedio de sección transversal, perímetro mojado promedio, etc.) a partir de las manchas de inundación obtenidas con un nivel de flujo supuesto, para finalmente, aplicando la ecuación de Manning calcular el caudal asociado a este nivel de inundación. Repitiendo este procedimiento para diferentes niveles de flujo se obtienen los caudales asociados a cada uno de estos, permitiéndose obtener la curva de calibración del drenaje estudiado, la ecuación de estas curvas de calibración permite obtener los niveles asociados para cada uno de los caudales estimados.

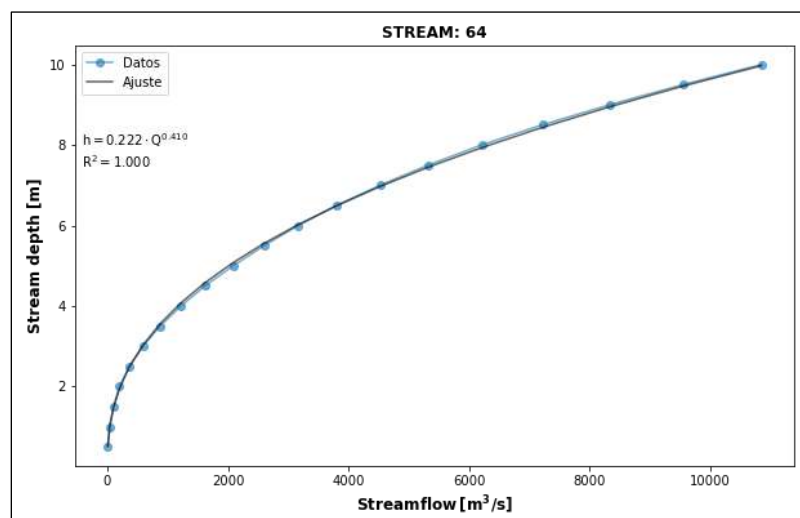


Figura 18. Curva de calibración nivel-caudal en el tramo de descarga de la quebrada La Miel.

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

Conocidas las curvas de calibración para cada corriente se estiman los niveles de inundación da cada Subtramo a partir de los caudales máximos de las mismas.

3.2.3 CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA

Para la clasificación del mapa de amenaza por inundación se establecen tres categorías de amenaza: baja, media y alta, según lo dispuesto en el Decreto Nacional 1077 de 2015. Esta categorización se desarrolla teniendo en cuenta las Tabla 12 y Tabla 13, de acuerdo con el enfoque matricial de amenaza y riesgo propuesto por (Banco Mundial, 2017) así como los criterios propuestos por el FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) (FEMA, 2018).

Tabla 12. Clasificación de la amenaza según la frecuencia del evento y su intensidad. revisar título

Frecuencia Del Evento	Magnitud del evento		
	Baja	Media	Alta
Alta	Media	Alta	Alta
Media	Baja	Media	Alta
Baja	Baja	Baja	Media

Fuente: Tomado y modificado de (Banco Mundial, 2017).

Tabla 13. Clasificación de la amenaza según el período de retorno.

Frecuencia De La Amenaza	Descripción Del Evento Amenazante
Alta	Probabilidad de ocurrencia alta. Inundaciones generadas por los niveles máximos asociados a un período de retorno menor que 50 años. Corresponden a los eventos más probables, con respecto a los cuales se deben tomar medidas de mitigación de forma inmediata.
Media	Probabilidad de ocurrencia media. Inundaciones generadas por los niveles máximos asociados a un período de retorno de 100 años. Corresponden a los eventos baja probabilidad de ocurrencia, con respecto a los cuales se deben tomar medidas de mitigación a corto plazo.
Baja	Probabilidad de ocurrencia media. Inundaciones generadas por los niveles máximos asociados a un período de retorno de 200 años. Corresponden a los eventos baja probabilidad de ocurrencia, con respecto a los cuales se deben tomar medidas de mitigación a largo plazo.

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

Finalmente, la clasificación de la intensidad del evento se realizó con base en la propuesta de (FEMA, 2018), quienes proponen que la intensidad de los eventos de crecientes se puede clasificar según Tabla 14.

Tabla 14. Nivel de amenaza por inundación de acuerdo con la profundidad y velocidad de la lámina de agua.

Categoría de Amenaza	Profundidad X Velocidad (M ² /S)
Bajo	<0.2

Medio	0.2 -1.5
Alto	>1.5

Fuente: Tomado y modificado de (FEMA, 2018).

Considerando que para la cuenca de la quebrada La Raya, límite entre Caldas y La Estrella, existe un estudio de riesgo de detalle, para los tres eventos, movimiento en masa, inundación y avenida torrencial (AMVA, 2019), del cual se incorporan los resultados de la zonificación de las amenazas obtenidas, dentro del presente estudio. Y se tiene el Estudio detallado de amenaza por inundación del río Medellín en el tramo comprendido entre La Clara y la quebrada La Jabalcona, realizado en el año 2022, del cual se incorpora el resultado de la zonificación de la amenaza por inundación del río Medellín y así mismo se toman los datos para la condición de borde del río hacia las quebradas afluentes del mismo.

3.3 AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL

Las avenidas torrenciales muchas veces denominadas inundaciones súbitas, avalanchas, entre otras, son una amenaza muy común en cuencas de alta montaña y, debido a sus características, pueden causar grandes daños en infraestructura y pérdida de vidas humanas. Estos fenómenos se originan comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan fuertes vertientes por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos, cuando en un evento de lluvias se superan valores de precipitación pico en pocas horas.

Esto genera la saturación de los materiales de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, numerosos desgarres superficiales y deslizamientos cuyo material cae al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo o queda inicialmente represado y luego, una vez que se rompe el represamiento, es transportado violentamente de forma repentina.

Una cuenca susceptible ante una avenida torrencial tiene varias características relacionadas con los parámetros morfométricos propios de una cuenca y con los factores geológicos y geomorfológicos regionales, cabe anotar también que los factores climáticos, como lluvias intensas en un tiempo corto, juegan un papel como agentes desencadenantes de estos fenómenos.

- Cuencas jóvenes y pequeñas menores a 100 km²
- Cuencas en regiones montañosas y escarpadas.
- Alta pendiente del drenaje principal.
- Gran capacidad de socavación e incisión del cauce.
- Abundante material detrítico para arrastrar.

- Capacidad de transporte de material heterométrico.
- Cuencas con valles o cañones estrechos en “V”.
- Gran variabilidad del caudal máximo y mínimo de la cuenca.
- Geoforma alargada de la cuenca.
- Variaciones extremas en los valores pico de precipitación.
- Alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa.

Para determinar la susceptibilidad a este tipo de eventos el IDEAM desarrollo una metodología IVET (IDEAM, 2013) pero dada la naturaleza de las cuencas presentes en el municipio no se desarrollará dicha metodología, y se considera que todas las corrientes son susceptibles a este tipo de eventos por lo que el análisis se realizará a todas las corrientes del municipio.

Para estimar las manchas de torrencialidad, se realizó una modelación hidráulica, reconociendo inicialmente que este tipo de modelación tiene sus limitaciones para simular fenómenos como las avenidas torrenciales, por lo cual se introdujeron algunas hipótesis al modelo hidráulico generado a escala 1:2000, permitiendo evaluar las condiciones de profundidad y velocidad de la lámina de agua. Para obtener estas condiciones de lámina y profundidad, se hizo necesario implementar un modelo bidireccional (2D). A continuación, se resumen las actividades requeridas para la implementación de un modelo hidráulico bidimensional en condición de flujo permanente en el programa HEC-RAS 6.4.0:

- Construcción de la geometría del cauce (planta perfil y secciones) con base en información topográfica.
- Implantación de estructuras hidráulicas transversales y paralelas al cauce.
- Construcción de la malla computacional
- Definición del paso temporal de resolución
- Definición de los coeficientes de rugosidad asociado al tipo de flujo torrencial para la malla computacional.
- Definición de los caudales de simulación (corresponden a los máximos asociados a diferentes períodos de retorno).
- Definición de las condiciones de borde en las secciones de control hidráulico
- Ejecución del modelo y análisis de resultados.

El escenario considerado para estimar la avenida torrencial, considera la obstrucción de obras hidráulicas y la mayoración del coeficiente de rugosidad de Manning con base en el tipo de flujo que podría darse según la profundidad y velocidad en la modelación. Esto es coherente con las consideraciones que tiene el estudio realizado por el (UNAL & AMVA, 2018) para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial. Ambos estudios consideran modelos hidráulicos convencionales ajustando parámetros para la modelación de flujos torrenciales.

La amenaza por avenidas torrenciales se relaciona con la probabilidad de recurrencia de aquellos fenómenos que involucran flujos hiperconcentrados encausados a lo largo de la quebrada, con proporciones variables entre agua, escombros, restos vegetales, lodo, entre otros, entre un 30% y un 70%.

Son áreas afectadas por corrientes de agua, lodo, fragmentos de roca y escombros en diferentes proporciones y tamaños (Bloom, 1991 en Hincapié *et al*, 2018) los cuales se encausan a lo largo de quebradas y los ríos de montaña, agrupando gran cantidad de flujos, como los flujos de lodos y/o escombros, lahares, flujos hiperconcentrados y superconcentrados, entre otros (Costa, 1988; Medina, 1991; Coussot & Meunier, 1996; Lavigne & Suba, 2004; Díaz-Onofre, 2008 en Hincapié *et al*, 2018) caracterizados por su corta duración, además de sus largos periodos de recurrencia y una distribución espacial y temporal errática (Durán *et al.*, 1985; Parra, 1998; Parra *et al.*, 1995; Piedrahita, 1996; Castro, 2007). Estos eventos presentan velocidades altas por lo tanto un alto potencial destructivo.

Para la definición de la amenaza por avenidas torrenciales, se toma la metodología propuesta por el (SGC, 2021) en la Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales del año 2021, en donde se plantea la valoración del mismo a partir de la combinación de dos criterios, el primero de ellos correspondiente al valor de **IDF** y el segundo el **valor de probabilidad o TR**, todos ellos obtenidos de las curvas de amenaza, tal y como se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15. Matriz de categorización para la definición de la amenaza por avenida torrencial.

IDF	Nivel de amenaza		
$50 \geq \text{IDF}$	Alta	Alta	Alta
$1 \geq \text{IDF} > 50$	Alta	Media	Media
$0 \geq \text{IDF} > 1$	Alta	Media	Baja
TR	<25 años	25 años $\leq T < 100$ años	100 años $\leq T < 500$ años

Fuente: (SGC, 2021)

Una vez con estos resultados se procede a su mediante el análisis de la mayor envolvente de los análisis hidrológico y geomorfológico, donde para este último se consideran aquellos elementos asociados la dinámica aluviotorrencial, así, en los puntos donde la mancha definida por geomorfología es mayor que la mancha hidráulica, prevalecerá la geomorfológica definiendo dicha zona como de amenaza baja, en caso contrario prevalece la hidráulica.

Considerando que para la cuenca de la quebrada La Raya, límite entre Caldas y La Estrella, existe un estudio de riesgo de detalle, para los tres eventos, movimiento en masa, inundación y avenida torrencial (AMVA, 2019), los resultados de esta amenaza, para esta cuenca, se tomarán del mencionado estudio de detalle, y a su vez, en caso de que la extensión de los polígonos amenaza resultantes fuese menor a la extensión de la amenaza

generada por el estudio de inundación del río Medellín, adelantado por el AMVA (AMVA 2022), se equiparará la amenaza por eventos torrenciales con la de inundación-

3.4 DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA Y CON CONDICIÓN DE RIESGO

De acuerdo con el artículo 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto 1077 de 2015, la identificación de las áreas con condición de riesgo, se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica disponible que permita identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas. De igual forma se considera las áreas zonificadas como de amenaza media ocupadas, en caso de que se presente lo que define el artículo 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto Nacional 1077 de 2015:

“Las zonas de amenaza media para las cuales en la revisión o expedición de un nuevo POT se proponga el cambio de densidad o un cambio en los usos del suelo que pueda generar o incrementar el riesgo en la zona, se consideran como áreas con condición de riesgo”.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se priorizan las zonas que requieran los estudios detallados que permitan categorizar el riesgo (Decreto 1077 de 2015).

Para las áreas con condición de amenaza, el artículo 2.2.2.1.3.2.1.4 del Decreto Nacional 1077 de 2015 dice que se delimitan las áreas sin ocupar de los suelos clasificados como urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que se tengan proyectados planes de desarrollo. La identificación de estas áreas se realizará a partir de la identificación de las zonas con amenaza alta y media.

4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA RECOPIADA

Se presenta a continuación el resumen de la caracterización de la información secundaria recopilada para el desarrollo del proyecto.

4.1 ESTUDIOS ANTERIORES

En la construcción de la línea base del proyecto se ha indagado por información que sirva de herramienta para un mejor análisis y zonificación de las amenazas que se presentan en el municipio de Caldas. En ese proceso de recolección de información secundaria se han analizado hasta la fecha 14 documentos relacionados de alguna u otra forma con el tema de amenazas y riesgo. En la Tabla 16 se resume los documentos encontrados y analizados.

Tabla 16. Informes y documentos de la revisión bibliográfica.

Documento	Fecha	Formato	Observación
PBOT Acuerdo 014 de 2010	Diciembre de 2015	Digital	Contiene la información cartográfica referente al territorio municipal y su red hídrica
Actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) del Río Aburrá (AMVA et al., 2018)	2018	Digital	A pesar de que este documento no aborda los sectores precisos del municipio que se encuentran en condición de amenaza por movimientos en masa, inundaciones o avenidas torrenciales, se explica de manera breve cuáles son los tipos de movimientos en masa que se presentan. Los tipos de movimientos en masa que se presentan son: caída de bloques, erosión, deslizamientos, desgarres, reptación, carcavamiento severo y socavamiento de cauces asociados a litologías de rocas metamórficas, ígneas y depósitos no consolidados, en geoformas escarpadas, de vertientes fuertes, cuchillas, cerros, colinas y terrazas. El riesgo por movimientos en masa se ha establecido como bajo para sectores correspondientes a la llanura aluvial de la cuenca y de grado medio a alto para las áreas de vertiente y de algunas quebradas.
POMCA del río Amagá	2016	Digital	A pesar de que este documento no aborda los sectores precisos del municipio que se encuentran en condición de amenaza por movimientos en masa, inundaciones o avenidas torrenciales, se explica de manera breve cuáles son los tipos de movimientos en masa que se presentan. Los tipos de movimientos en masa que se presentan son: caída de bloques, erosión, deslizamientos, desgarres, reptación, carcavamiento severo y socavamiento de cauces asociados a litologías de rocas metamórficas, ígneas y depósitos no consolidados, en geoformas escarpadas, de vertientes fuertes, cuchillas, cerros, colinas y terrazas. El riesgo por movimientos en masa se ha establecido como bajo para sectores correspondientes a la llanura aluvial de la cuenca y de grado medio a alto para las áreas de vertiente y de algunas quebradas.
Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado	2006	Digital	Este estudio no aborda temas de amenazas por movimientos en masa, inundaciones o avenidas torrenciales, sin embargo, clasifica la amenaza sísmica de los municipios del valle del Área Metropolitana teniendo en cuenta las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de los suelos y presenta características de los suelos.
Armonización de la microzonificación sísmica de los municipios del Valle de Aburrá e inclusión de los corregimientos de Medellín	2019	Digital	
Evaluación De La Susceptibilidad, Vulnerabilidad Y Riesgo Ante Avenidas Torrenciales En El Departamento De Antioquia Y Definir Umbrales Críticos De Lluvia Para Un Sistema De Alerta Temprana	2018	Digital	Este estudio evaluó la amenaza, vulnerabilidad y riesgo ante avenidas torrenciales, de cuencas de más de 100 km ² , para todo el departamento de Antioquia, diseñado como herramienta que permita priorizar estudios más detallados a nivel de municipio.
Estudios Básicos De Amenaza Por Movimientos En Masa, Inundaciones Y Avenidas Torrenciales En Los	2017	Digital	Este estudio se le entregó al municipio de Caldas incluyendo las zonas de amenaza por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones, de tal manera que fuera incorporado en la revisión que adelanta de su Plan de Ordenamiento Territorial, así mismo, cuenta con el primer mapa de procesos morfodinámicos

Documento	Fecha	Formato	Observación
Municipios De Caldas, La Estrella, Envigado, Itagüí, Bello, Copacabana Y Barbosa, Para La Incorporación De La Gestión Del Riesgo En La Planificación Territorial			realizado para el municipio, encontrándose en este coronas, cárcavas, surcos y propagación.
Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el valle de Aburrá. Formulación de propuestas de gestión	2009		Este estudio plantea el enfoque y gestión del riesgo que los municipios del Área Metropolitana deben incluir como parte de sus políticas en el ordenamiento territorial. El documento no aborda cuáles son las amenazas o zonas de riesgo que se presentan en el municipio de Caldas, no obstante, propone lineamientos de política para la gestión del riesgo, explicando cuáles son las problemáticas del municipio relacionados a esta temática. Entre las problemáticas se encuentran: Falta de capacitación ciudadana para la gestión del riesgo, Ausencia de política de reasentamiento a niveles metropolitano y local, Falta de acceso al crédito para la población, Calidad mala de la vivienda, Ausencia o déficit de recursos para la mitigación del riesgo y Falta de directrices metropolitanas para la gestión del riesgo.
Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres (DAPARD, 2018)	2018		Se realiza este plan para identificar los fenómenos de origen natural como: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, temporales, sismos e incendios de cobertura vegetal, y fenómenos de origen antrópico no intencional como: incendios estructurales, accidentes de tránsito, accidentes aéreos, explosiones, derrames, entre otros en el departamento de Antioquia. En la sección 3.1.1. se resumen los antecedentes históricos de desastres ocurridos en el departamento de Antioquia
Elaboración de los estudios de riesgo por inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, diseños geotécnicos de estabilización y diseños hidráulicos de la cuenca de la quebrada La Raya del municipio de La Estrella	2018	Digital	Zonificación del riesgo por avenida torrencial inundación y movimiento en masa, definición de obras de intervención.
Planes parciales, Los cerezos, Castillejos, rancho Santana, Santa lucia y Sur	Varios	Digital	Caracterización detallada del medio físico y las corrientes de las zonas estudiadas en cada uno de los planes parciales analizados.
Estudios geotécnicos para norma NSR 10	2012 a 2021	Físico	Se recopiló información de la caracterización de los materiales del subsuelo de más de 30 estudios desarrollados acorde a la norma NSR 10, para permisos de construcción.
Estudio detallado de amenaza por inundación del río Medellín en el tramo comprendido entre La Clara y la quebrada La Jabalcona; estudio de susceptibilidad a la ocurrencia de avenidas torrenciales en el sector aguas arriba de La Clara y,	2022	Digital	Zonificación, a nivel de detalle, de la amenaza por inundación el río Aburrá.

Documento	Fecha	Formato	Observación
monitoreo del tramo canalizado del río Medellín hasta el hatillo en el valle de Aburrá ⁹			

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

También se revisó la cartografía existente proporcionada por la Administración Municipal, así como la recolectada en otras entidades como CORANTIOQUIA y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA).

Con respecto a la revisión cartográfica, se encontró que dicha cartografía no era suficiente para desarrollar un diagnóstico en cuanto al tema de gestión del riesgo en todo el Municipio; algunos mapas temáticos de estudios realizados por entidades como el AMVA, son mapas que debieron ser actualizados para poder ser parte de los insumos en la generación de mapas de zonificación de amenazas por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales. Sin embargo, estos mapas se utilizaron como materia prima para el levantamiento de la información en campo.

Se trabajará también con ortofotos del municipio de Caldas, insumo necesario en la generación de nuevos mapas temáticos como el de geomorfología y el de inventario de procesos morfodinámicos, importantes en el momento de definir la zonificación de las amenazas.

Por parte del componente SIG del proyecto se actualizó la base cartográfica de todo el Municipio con curvas de nivel que cumplieran con las condiciones para generar nuevos mapas temáticos que sirvan como insumo para la zonificación de las amenazas, dando cumplimiento con lo estipulado en el Decreto Nacional 1077 de 2015.

4.2 REVISIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LOS SUELOS

Con el fin de definir las características geomecánicas de los suelos del municipio de Caldas, se realiza la revisión detallada de los estudios de suelos realizados para las construcciones y presentados al municipio para su aprobación y en los que se pueden definir la estratigrafía de los sitios, unidad u origen de los suelos estudiados, resistencia al corte, cohesión y ángulo de fricción.

El periodo que abarcan estos estudios va desde el año 2012 hasta el año 2021, analizándose un total de 263 estudios, siendo el año 2012 el primero del que se encontraron estudios, esto debido a que la normatividad aplicable para los mismos data del año 2010 (NSR-10) (Tabla 17).

Tabla 17. Listado de revisión de estudios de suelos.

Año	Estudios
2012	18
2013	31
2014	15
2015	26

2016	18
2017	32
2018	46
2019	39
2020	7
2021	31
Total	263

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

4.3 REPORTE HISTÓRICO DE EVENTOS

Con el fin de conocer la recurrencia de procesos morfodinámicos a nivel histórico, se consultaron las distintas bases de datos disponibles a nivel departamental y nacional, lo mismo que reportes de medios de comunicación, lo que permite crear un contexto del comportamiento de algunos fenómenos y su recurrencia en los últimos años.

En las bases de datos del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (SIMMA, 2023) y DesInventar (Desinventar.org, 2023) se encontraron en total 134 reportes de los eventos en estudio, de los cuales el 54% corresponden a la base de datos de Desinventar, el 39% a SIMMA y el restante 7% a medios de comunicación. Es importante resaltar que debido a la naturaleza de los datos es posible que algunos de estos eventos estén reportados en ambas bases de datos, generando una duplicidad de los mismos, las cuales fueron comparadas y analizadas para eliminar los reportes de eventos duplicados, igualmente algunos de estos pueden estar mal clasificados.

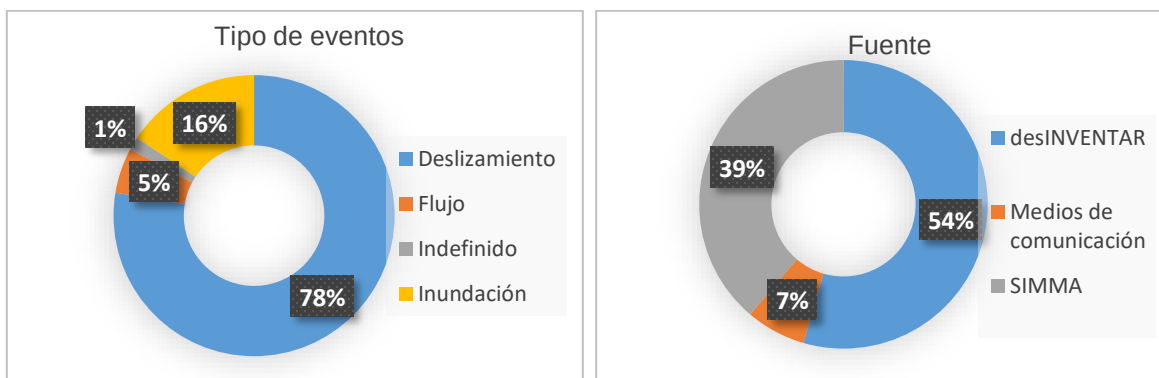


Gráfico 3. Reporte total de eventos en el municipio de Caldas por tipo de evento y fuente, según la base de datos DesInventar, SIMMA, y medios de comunicación.

De acuerdo con el SIMMA, se reportan en total 104 movimientos en masa en el municipio de Caldas entre los años 1965 y 2019, de los cuales, una vez realizada la depuración por cruce de información entre bases de datos, se obtuvieron 52 eventos. De estos movimientos en masa 45 corresponden a deslizamientos, mientras que 7 son flujos. Los reportes cuentan con coordenadas que permiten su georreferenciación, pero no incluyen información relacionada con afectaciones, damnificados ni categorización a detalle del tipo de movimiento, sin

embargo, debido a su ubicación con coordenadas se pudo ubicar la totalidad de los eventos así, 13% en zona urbana y 87% en zona rural, de los cuales 45 corresponden a deslizamientos y 7 a flujos.

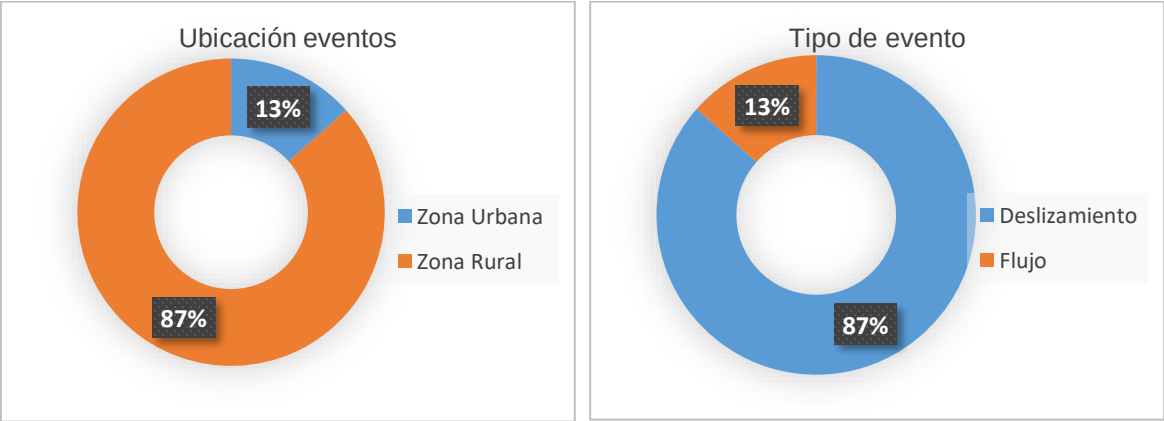


Gráfico 4. Reporte de ubicación y tipo de eventos en el municipio de Caldas según la base de datos SIMMA.
Fuente: SIMMA 2023.

Los datos del DesInventar presentan en total 73 reportes, de los cuales 57, es decir el 78% corresponde a deslizamientos; y los 16 restantes (22%) son inundaciones y no hay reportes para avenida torrencial. Estos reportes presentan información relacionada con las afectaciones y damnificados, pero no cuentan con coordenadas para su ubicación, para esta utilizan referencias de direcciones, sectores o veredas; lo que permitió definir que 27% de los eventos son en la zona urbana, 37% en zona rural y del restante 36%, no se tiene una ubicación precisa.

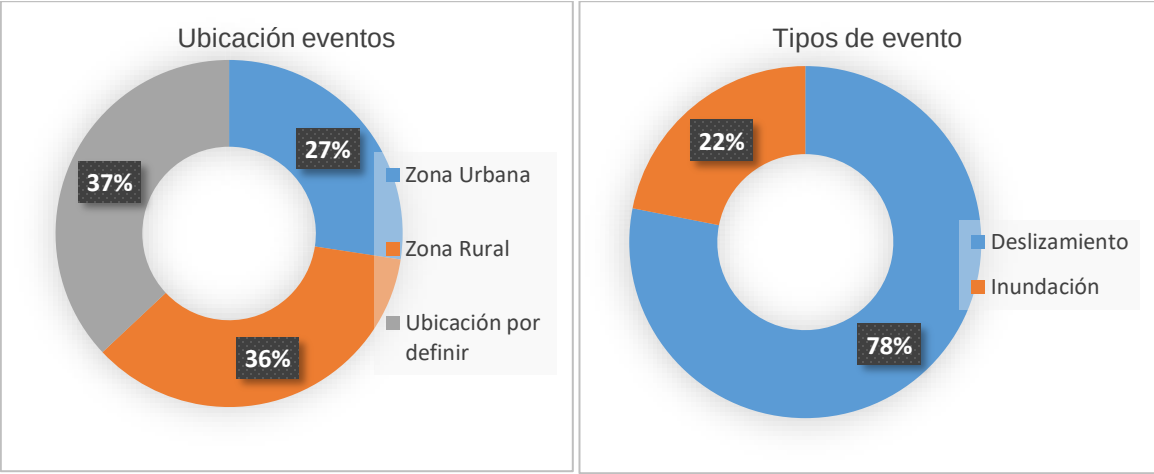


Gráfico 5. Reporte de ubicación y tipo de eventos en el municipio de Caldas de Caldas según la base de datos DesInventar.
Fuente: (Desinventar.org, 2023)

En la información recolectada a partir de medios de comunicación, se han encontrado un total de 9 eventos, con ocurrencia desde el 2019 a la fecha, de estos eventos 5 se reportan como inundaciones, 2 como deslizamientos y 2 no es clara su naturaleza.

A continuación, se presenta el listado de eventos recopilados a la fecha, en el caso de movimiento en masa, inundación y avenida torrencial, tanto en la zona urbana como rural. El año 2000 presenta la mayor recurrencia de eventos; el principal detonante de estos eventos ha sido las altas precipitaciones en el municipio (Tabla 18).

Tabla 18. Reporte histórico de eventos.

Evento	Fecha	Fuente	Coordenada Este	Coordenada Norte
Deslizamiento	1929-04-07	DesINVENTAR		
Inundación	1952-01-04	DesINVENTAR		
Flujo	1965-03-07	SIMMA	-75,640373	6,09366
Deslizamiento	1965-03-07	SIMMA	-75,628891	6,05806
Deslizamiento	1967-10-25	SIMMA	-75,599373	6,09378
Deslizamiento	1968-07-07	SIMMA	-75,628891	6,05750
Flujo	1968-07-07	SIMMA	-75,635918	6,08702
Inundación	1971-05-05	desINVENTAR		
Inundación	1971-05-09	desINVENTAR		
Flujo	1971-09-16	SIMMA	-75,637093	6,10809
Flujo	1975-08-16	SIMMA	-75,637054	6,09700
Deslizamiento	1987-08-04	SIMMA	-75,604935	6,10042
Flujo	1987-08-04	SIMMA	-75,608284	6,10928
Deslizamiento	1988-06-19	SIMMA	-75,634850	6,10033
Flujo	1988-06-19	SIMMA	-75,617081	6,08596
Deslizamiento	1988-07-01	SIMMA	-75,606064	6,10707
Deslizamiento	1990-10-24	desINVENTAR		
Flujo	1995-01-09	SIMMA	-75,635948	6,09589
Deslizamiento	1995-10-08	desINVENTAR		
Deslizamiento	1995-10-08	SIMMA	-75,631493	6,08814
Deslizamiento	1995-10-10	desINVENTAR		
Deslizamiento	1995-10-10	SIMMA	-75,616035	6,10704
Deslizamiento	1996-04-30	SIMMA	-75,611557	6,09041
Deslizamiento	1996-06-04	desINVENTAR	-75,627098	6,10035
Deslizamiento	1996-07-07	SIMMA	-75,590546	6,10600
Deslizamiento	1996-07-09	desINVENTAR		
Inundación	1997-01-22	desINVENTAR		
Deslizamiento	1998-04-03	SIMMA	-75,619347	6,10370
Deslizamiento	1998-05-02	SIMMA	-75,633781	6,11253
Deslizamiento	1998-05-05	SIMMA	-75,618179	6,08263
Deslizamiento	1998-05-12	SIMMA	-75,639191	6,06926
Deslizamiento	1998-05-17	desINVENTAR		
Deslizamiento	1998-05-28	SIMMA	-75,640381	6,09588
Deslizamiento	1998-05-28	SIMMA	-75,603783	6,08378
Deslizamiento	1998-05-30	SIMMA	-75,628212	6,10478
Deslizamiento	1998-06-09	SIMMA	-75,604950	6,10596
Deslizamiento	1998-06-09	SIMMA	-75,618256	6,10925
Deslizamiento	1998-10-25	desINVENTAR	-75,628891	6,05750

Evento	Fecha	Fuente	Coordenada Este	Coordenada Norte
Deslizamiento	1999-02-25	SIMMA	-75,628891	6,05750
Deslizamiento	1999-02-26	desINVENTAR		
Deslizamiento	1999-05-03	SIMMA	-75,594978	6,10488
Deslizamiento	1999-05-28	SIMMA	-75,606056	6,10596
Deslizamiento	1999-06-08	SIMMA	-75,627083	6,09592
Deslizamiento	1999-06-08	SIMMA	-75,631554	6,10921
Deslizamiento	1999-10-08	SIMMA	-75,614891	6,09373
Deslizamiento	1999-10-22	SIMMA	-75,623787	6,10591
Deslizamiento	1999-10-25	SIMMA	-75,621567	6,10591
Deslizamiento	1999-10-25	SIMMA	-75,625999	6,10590
Deslizamiento	1999-11-21	SIMMA	-75,618141	6,06932
Deslizamiento	2000-01-09	desINVENTAR		
Deslizamiento	2000-01-09	SIMMA	-75,628891	6,05806
Deslizamiento	2000-03-04	desINVENTAR	-75,628891	6,05806
Deslizamiento	2000-06-10	SIMMA	-75,604942	6,10263
Deslizamiento	2000-06-26	SIMMA	-75,628891	6,05750
Deslizamiento	2000-09-03	desINVENTAR	-75,598320	6,11153
Deslizamiento	2000-09-26	SIMMA	-75,624878	6,10036
Deslizamiento	2000-09-30	desINVENTAR	-75,629280	6,09036
Deslizamiento	2001-11-03	desINVENTAR	-75,668610	6,08
Deslizamiento	2001-11-03	desINVENTAR	-75,638054	6,09444
Deslizamiento	2001-11-03	desINVENTAR	-75,654442	6,05444
Deslizamiento	2001-11-05	desINVENTAR	-75,640556	6,09167
Deslizamiento	2001-11-05	desINVENTAR	-75,641113	6,09167
Deslizamiento	2001-11-05	desINVENTAR	-75,641670	6,09528
Deslizamiento	2001-11-05	desINVENTAR	-75,635559	6,06972
Deslizamiento	2001-11-05	desINVENTAR	-75,640274	6,09194
Deslizamiento	2001-11-05	desINVENTAR	-75,639999	6,08861
Deslizamiento	2001-11-08	desINVENTAR	-75,638885	6,09139
Deslizamiento	2001-11-08	desINVENTAR	-75,641113	6,09194
Deslizamiento	2002-10-09	desINVENTAR	-75,627502	6,04945
Deslizamiento	2003-02-04	desINVENTAR	-75,649170	6,11167
Deslizamiento	2003-02-10	desINVENTAR	-75,640556	6,09639
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,641113	6,09167
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,640274	6,09222
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,638611	6,10194
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,638054	6,09778
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,637779	6,09
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,640274	6,09
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,637222	6,09167
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,638611	6,10167
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,640556	6,08528
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,640831	6,08917
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,666946	6,11667
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,639442	6,09889
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,649445	6,05917
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,649445	6,05917
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,638611	6,09389
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,639725	6,09222

Evento	Fecha	Fuente	Coordenada Este	Coordenada Norte
Deslizamiento	2003-06-20	desINVENTAR	-75,639725	6,09222
Inundación	2003-09-27	desINVENTAR		
Deslizamiento	2004-10-11	desINVENTAR		
Inundación	2005-05-13	desINVENTAR		
Inundación	2005-10-18	desINVENTAR		
Deslizamiento	2006-01-11	desINVENTAR	-75,628891	6,05750
Deslizamiento	2006-03-24	desINVENTAR	-75,613792	6,09817
Deslizamiento	2006-03-26	desINVENTAR	-75,581657	6,09715
Deslizamiento	2006-05-20	desINVENTAR	-75,610512	6,11371
Deslizamiento	2008-06-10	SIMMA	-75,629303	6,09813
Deslizamiento	2008-06-10	SIMMA	-75,628891	6,05750
Deslizamiento	2008-08-15	SIMMA	-75,620461	6,10592
Deslizamiento	2008-08-15	SIMMA	-75,628891	6,05750
Deslizamiento	2008-08-22	SIMMA	-75,623787	6,10480
Deslizamiento	2009-02-04	desINVENTAR	-75,661392	6,00028
Inundación	2009-03-25	desINVENTAR		
Inundación	2009-05-06	desINVENTAR		
Inundación	2009-11-18	desINVENTAR		
Deslizamiento	2010-10-28	SIMMA	-75,637497	6,08972
Deslizamiento	2011-03-24	SIMMA	-75,637497	6,08972
Inundación	2011-04-12	desINVENTAR		
Inundación	2011-06-01	desINVENTAR		
Deslizamiento	2011-07-15	desINVENTAR		
Deslizamiento	2011-11-16	desINVENTAR	-75,645554	6,05750
Deslizamiento	2011-11-16	desINVENTAR	-75,628891	6,05750
Deslizamiento	2011-11-16	desINVENTAR	-75,646362	6,08320
Deslizamiento	2012-01-23	desINVENTAR	-75,635834	6,06945
Deslizamiento	2012-01-23	desINVENTAR	-75,636108	6,07
Inundación	2012-02-05	desINVENTAR		
Inundación	2012-04-23	desINVENTAR		
Deslizamiento	2012-05-07	SIMMA	-75,647224	6,06194
Deslizamiento	2012-05-09	SIMMA	-75,642242	6,08320
Deslizamiento	2012-05-09	SIMMA	-75,648888	6,059722
Deslizamiento	2015-11-11	desINVENTAR		
Inundación	2016-05-09	desINVENTAR		
Inundación	2016-12-29	desINVENTAR		
Deslizamiento	2017-04-07	SIMMA	-75,626930	6,055523
Inundación	2017-08-27	EITiempo		
Inundación	2018-06-15	Hora13_noticias		
Deslizamiento	2018-06-15	Hora13_noticias		
Inundación	2019-04-15	Elcolombiano		
Deslizamiento	2019-06-12	SIMMA	-75,663353	6,049125
Inundación	2020-05-14	Noticiascaracol		
Indefinido	2021-03-28	Noticiascaracol		
Deslizamiento	2021-05-03	Alertapaiza		
Inundación	2021-07-30	Hora13_noticias		
Indefinido	2021-10-26	Caracolradio		

Fuente: Desinventar.org, Sistema de inventario de Movimientos en Masa, medios de comunicación.

De manera complementaria a las bases de datos mencionadas anteriormente, se han realizado ejercicios con entidades de atención primaria del como Bomberos y Defensa civil, además de aquellos generados por el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD), en los cuales se ha logrado ubicar numerosos eventos, de los cuales se han definido posibles causas y afectaciones.

En este análisis se pudo ubicar de forma precisa un total de 87 eventos.

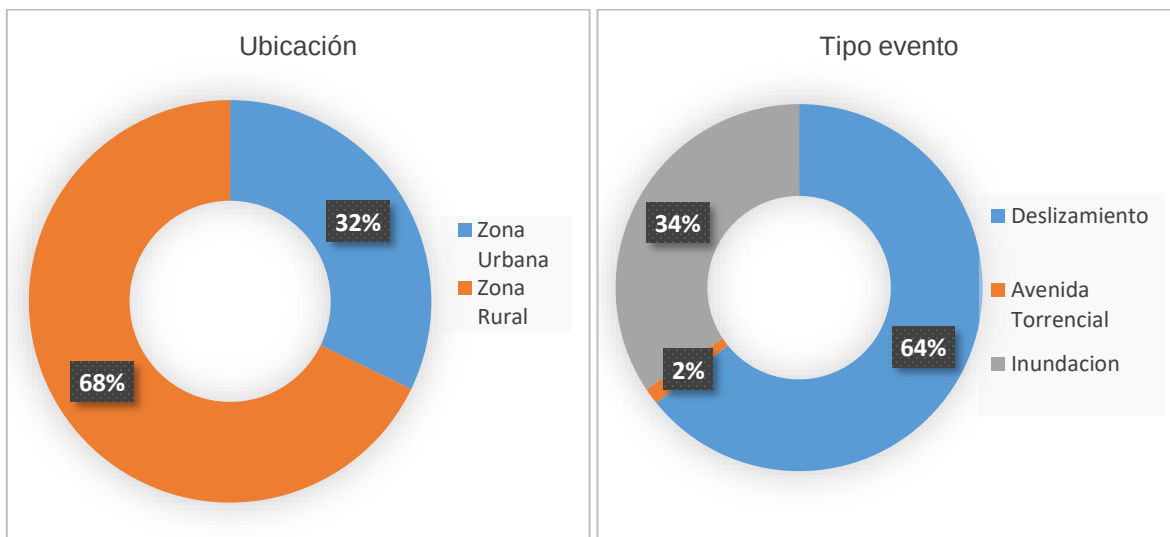


Gráfico 6. Reporte de ubicación y tipo de eventos en el municipio de Caldas según reunión de grupo de trabajo con el CMGRD.

Adicional a dicho ejercicio, el CMGRD facilitó el listado de eventos del año 2021 en la cual se cuenta con una valoración del evento, acorde con criterios AMVA; y se destaca que hay varios eventos conjuntos, es decir, inundación y deslizamiento en el mismo reporte, como se observa en la Tabla 19.

Tabla 19. Reporte de eventos el municipio de CALDAS para el año 2021.

	Ubicación	Evento	Nivel de Riesgo
1	Vereda Primavera, sector Los Ruices	Movimiento en masa, inundación	Medio-alto
2	Vereda Primavera, Escombrera Los Lagos	Movimiento en masa	Medio-alto
3	Lleno estructural La Granja, Vereda Primavera, Sector San German	Movimiento en masa	Medio-alto
4	Vereda Sinifaná, Vía Piedra Verda	Movimiento en masa	Medio-alto
5	Vereda La Clara, sector Villacandela	Movimiento en masa, inundación	Medio-bajo
6	Vereda La Salada parte alta, Escombrera San Cayetano	Movimiento en masa, inundación	Medio-alto
7	Vereda Salinas, sector La Montoya	Movimiento en masa	Alto
8	Vereda Salinas, sector La Antigua Estación	Movimiento en masa	Alto
9	Barrio La Inmaculada, La 50	Movimiento en masa	Alto
10	Vereda La Aguacatala, sector La Gallera	Movimiento en masa	Medio-bajo
11	Vereda La Raya, quebrada La Raya	Movimiento en masa, inundación	Medio-alto
12	Vereda La Corrala, sector El Bambú	Movimiento en masa, inundación	Medio-alto
13	Vereda La Corrala, quebrada La Corrala	Movimiento en masa, inundación	Alto
14	Vereda La Corrala, sector Murrupal	Movimiento en masa, inundación	Alto
15	Vereda La Miel, sector Los Monjes	Movimiento en masa	Medio-alto

	Ubicación	Evento	Nivel de Riesgo
16	Vereda La Chuscala, quebrada La Piedrahita	Movimiento en masa, inundación	Medio-alto
17	Barrio Mandalay - Quebrada El Limo	Movimiento en masa, inundación	Medio-alto
18	Vereda El Raizal - sector El Mango	Movimiento en masa	Medio-bajo
19	Barrio Villacapri, Morro de los Posada	Movimiento en masa, inundación	Alto
20	Vereda La Valeria, frente a la cantera	Movimiento en masa, inundación	Medio-alto
21	Vereda La Valeria, quebrada La Curva del diablo	Movimiento en masa, inundación	Medio-alto
22	Vereda La Valeria, sector San Fernando	Movimiento en masa, inundación	Medio-alto
23	Vereda La Valeria, Villas de la Valeria	Movimiento en masa	Medio-bajo

Fuente: CMGRD Municipio de Caldas, 2021.

4.4 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA BÁSICA

La zonificación de las amenazas por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, viene sujeta al uso de información básica e insumos generales, dichos insumos permiten reconocer y limitar correctamente el área de estudio y así lograr cumplir con los objetivos del proyecto.

4.4.1 MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL

A partir de un modelo de elevación digital de terreno se puede calcular variables importantes para la zonificación de las amenazas, como la pendiente, curvatura, delimitaciones y dimensiones de las cuencas, la orientación de las laderas y hasta la forma como el sol ilumina la superficie (Londoño, 2007).

Para el municipio de Caldas se ha tiene un modelo de elevación, que consiste en una malla continua de celdas o píxeles (Raster) a la cual se le da el nombre de Modelo Digital de Elevación DEM. El tamaño de celdas usadas para este estudio es de 2m x2m debido a la escala de trabajo y gracias al refinamiento de las curvas.

El procesamiento del DEM permite a caracterización morfométrica del municipio, que es descripción de un territorio a partir de índices numéricos que se obtienen del procesamiento por medio de Sistemas de Información geográfica, del modelo de elevación digital.

El Municipio de Caldas presenta una amplia variación altitudinal, es el municipio del valle de Aburrá con mayor diferencia de altura, ya que esta alcanza un rango de más de 1800 m, ya que va desde los 1300 m en el sector occidental en las cuencas de la Sinifaná y el río Amagá hasta más de los 3000 m hacia el sector oriental, en los límites con el Retiro, pero como lo muestra el mapa a continuación y la gráfica respectiva, más del 60% del territorio, incluyendo su zona urbana, están en el rango altitudinal de 1700 a 2150 m, en el Gráfico 7 y la Figura 19 se muestra la distribución de esta variable.

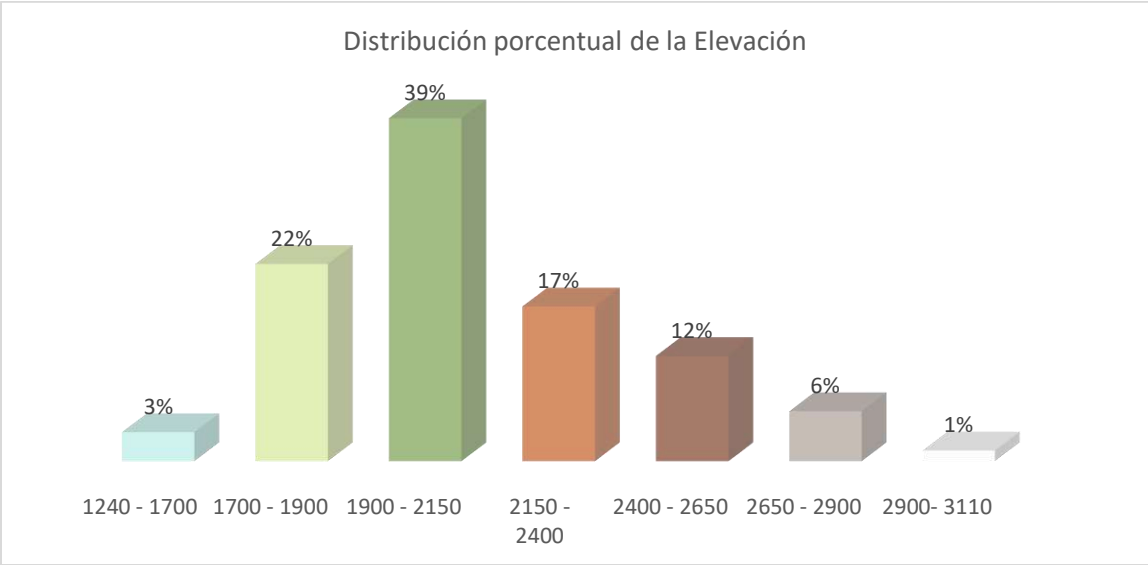


Gráfico 7. Histograma de elevación del municipio de Caldas.
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

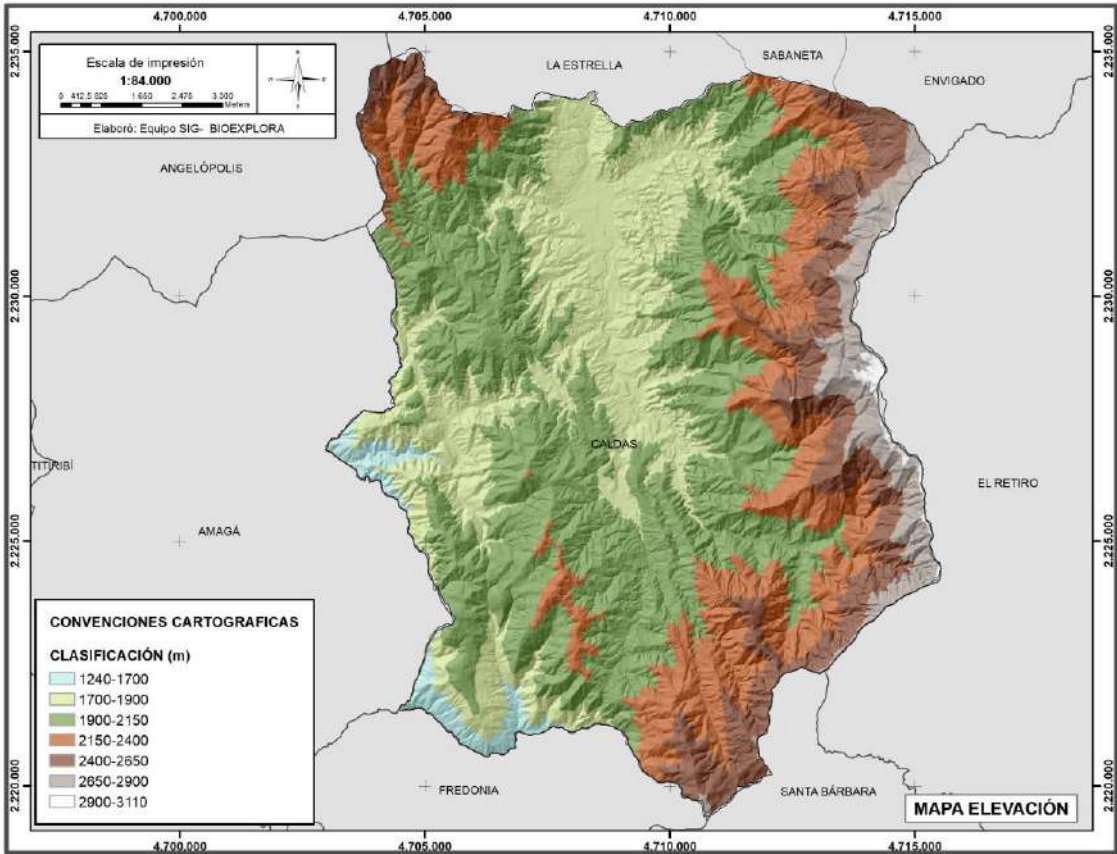


Figura 19. Modelo de elevación digital (DEM) para el municipio de Caldas.
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

4.4.1.1 Modelo de sombras

El modelo de sombras, elaborado a partir del DEM, en conjunto con la base cartográfica se utiliza para definir las unidades geomorfológicas, los procesos morfodinámicos y algunas unidades cuaternarias presentes en el área de estudio. En el siguiente mapa se muestra el modelo respectivo del municipio de Caldas (Figura 20).

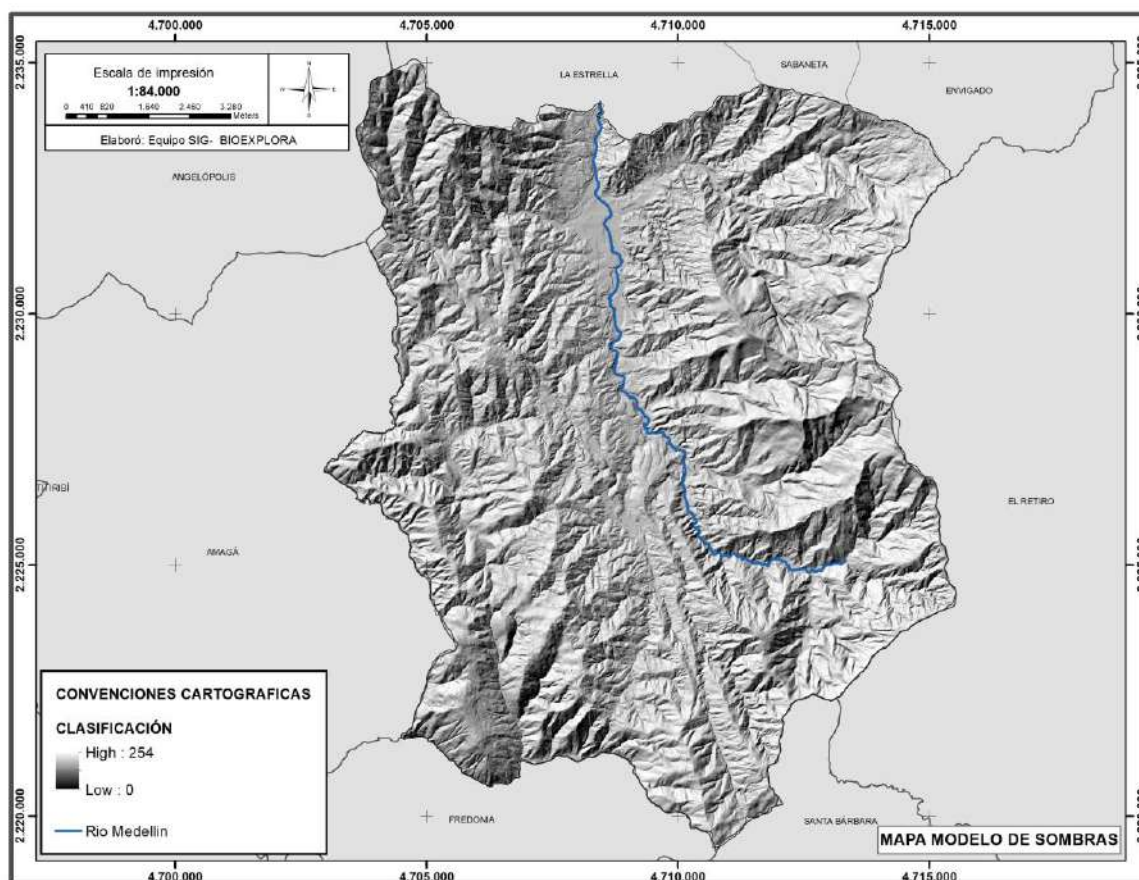


Figura 20. Modelo de sombras del municipio de Caldas.
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

4.4.1.2 Pendientes

La pendiente del terreno corresponde a la representación de las inclinaciones en grados. El territorio de Caldas presenta predominio de relieve moderado a alto, solo el 15% de su suelo, tiene relieve bajo a moderado, asociado con depósitos de origen aluvial y aluviotorrencial de las quebradas La Valeria, La Mel y el río Aburrá, principalmente y dado su fácil ocupación sobre éste se encuentran las zonas, urbana y de expansión. El restante 85% del territorio presenta relieve de alta a escarpado, este último en un porcentaje representativo al ser una característica de tipo restrictivo. En el Gráfico 8 y la Figura 21, se muestran las características descritas y su rango de grados utilizado para la clasificación de pendientes.

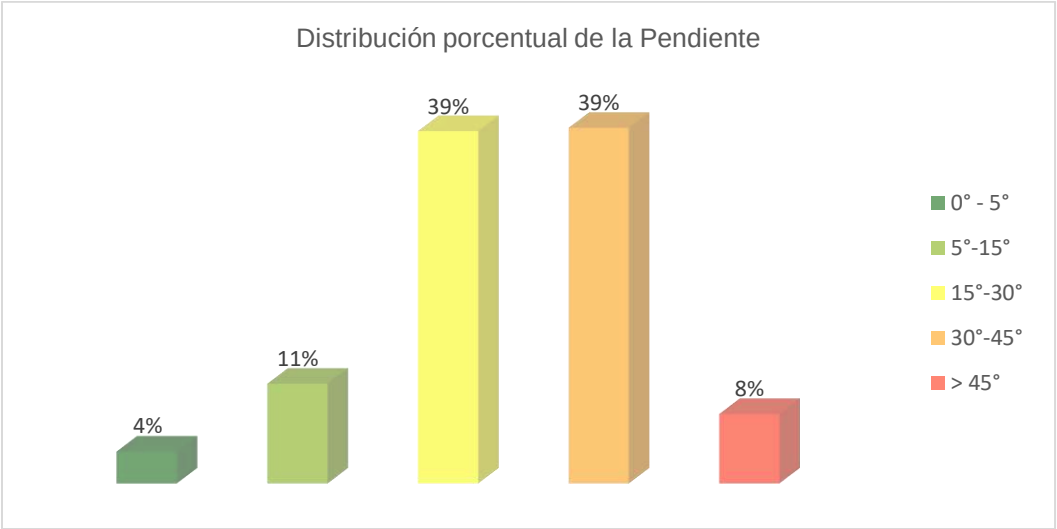


Gráfico 8. Distribución porcentual de la pendiente en el municipio de Caldas.
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

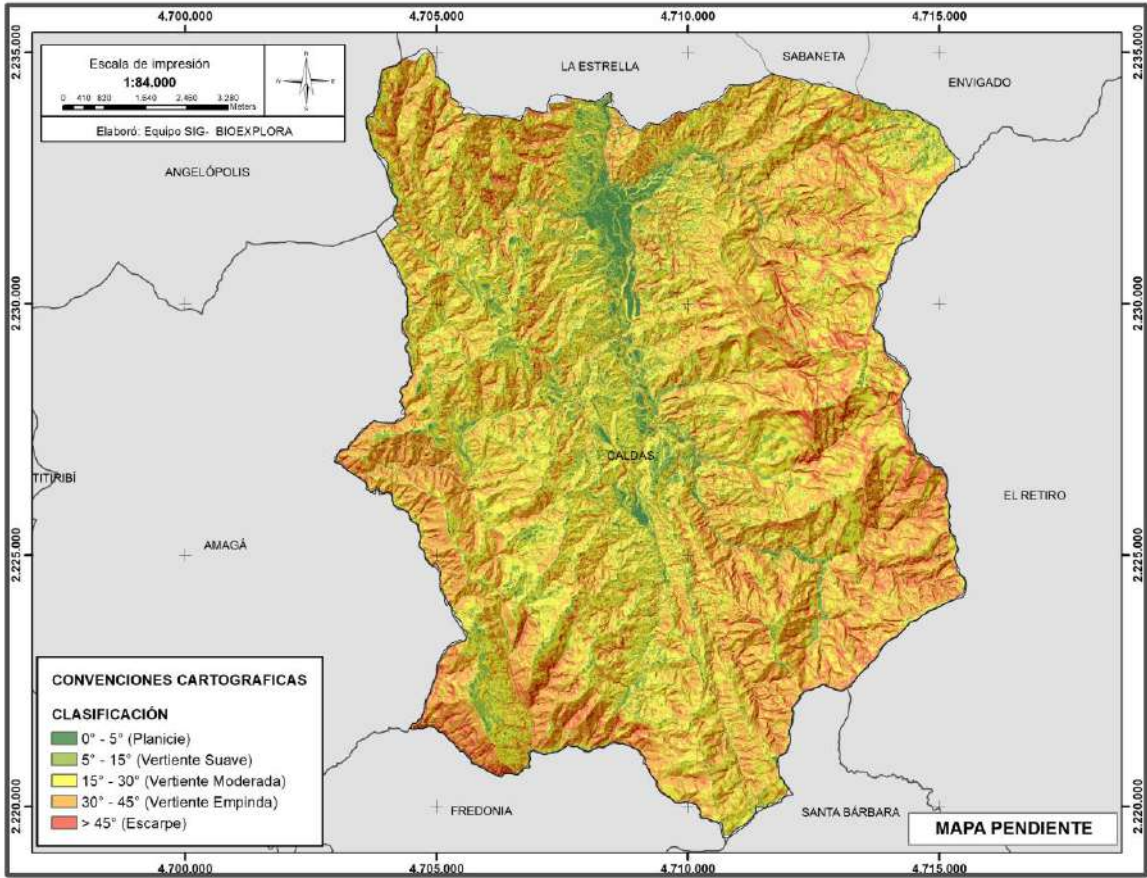


Figura 21. Mapa de pendientes del municipio de Caldas.
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

4.4.1.3 Índice de Curvatura

La curvatura determina el grado de convexidad o concavidad de la superficie en la dirección de la pendiente (longitudinal). Es considerada sólo en dos dimensiones: la vertical y la dirección de la pendiente; el valor 0 indica que la superficie es plana, valores positivos indican que la superficie es cóncava y valores negativos indican convexidad (Figura 22). Esta variable muestra la efectividad de la topografía para concentrar o dispersar la escorrentía en la ladera. Esta variable afecta fenómenos como la infiltración, la escorrentía, y la velocidad del flujo, influyendo si en la erosión y depósito de material.

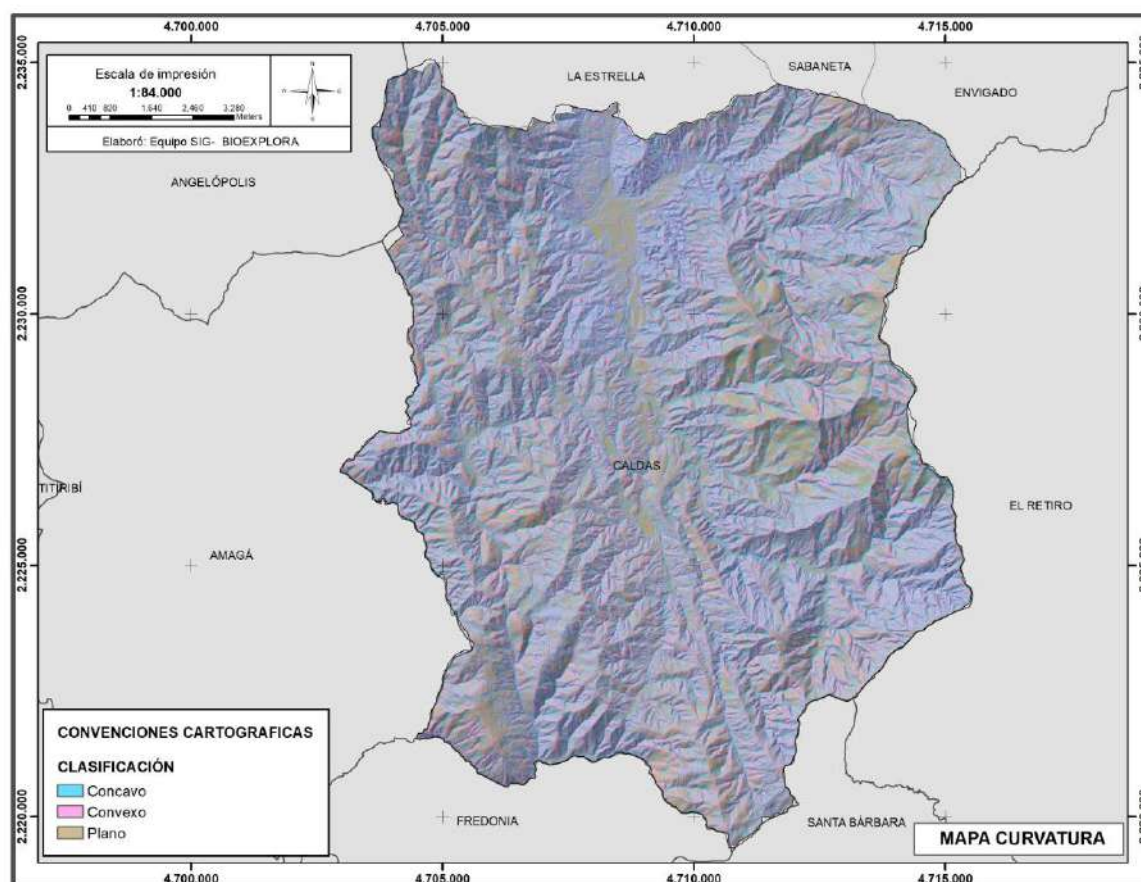


Figura 22. Mapa de curvatura del municipio de Caldas.
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

4.4.1.4 Índice de Rugosidad

Este índice, denominado TRI por sus siglas en inglés, es una medida de la rugosidad del terreno y un índice de la elevación local, la posición topográfica de cada píxel es comparada con el píxel adyacente para así medir cambios en la elevación a partir de un punto central. Esta variable está basada en las pendientes, la elevación, convexidad y otras texturas topográficas del terreno.

Su distribución indica que el territorio es heterogéneo, solo el 7% corresponde a zonas uniformes, que están asociadas principalmente a terrenos de baja pendiente, concentrados en suelo urbano asociado a los márgenes del río y depósitos de las quebradas y otras que han sido explanadas. La categoría que más se presenta en el municipio es de terreno muy irregular, cubriendo el 49% del municipio, mostrando esto un territorio de alta pendiente y alta disección de las corrientes. Las otras tres categorías, de relieve casi uniforme, moderadamente rugoso y rugoso representan el 12%, 17% y 19% respectivamente (Gráfico 9 y Figura 23).

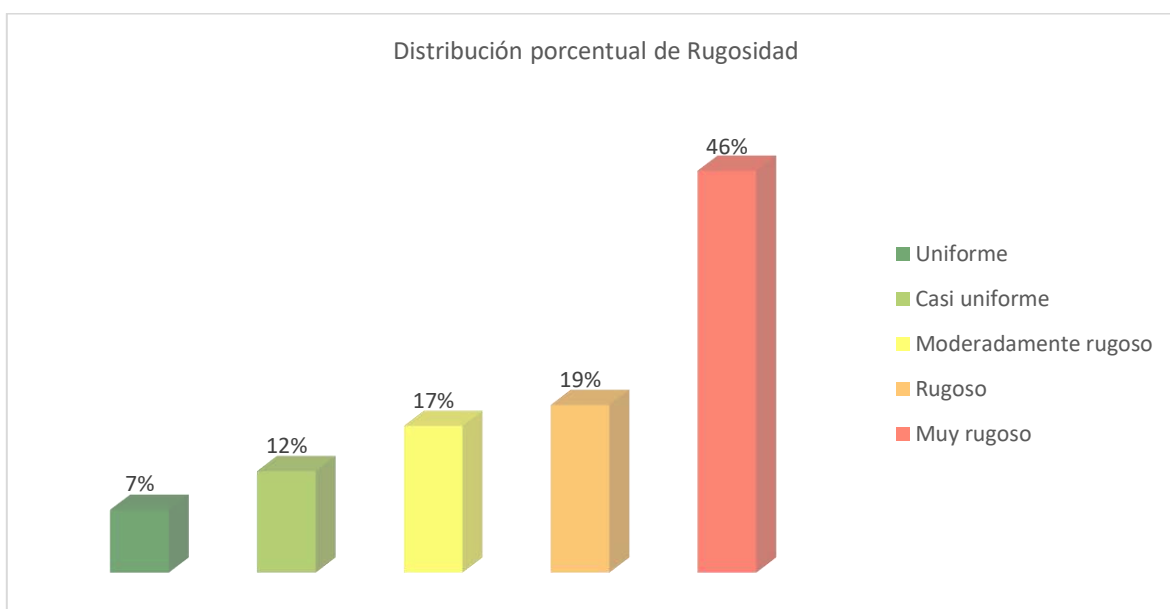


Gráfico 9. Distribución porcentual de la rugosidad del terreno.
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

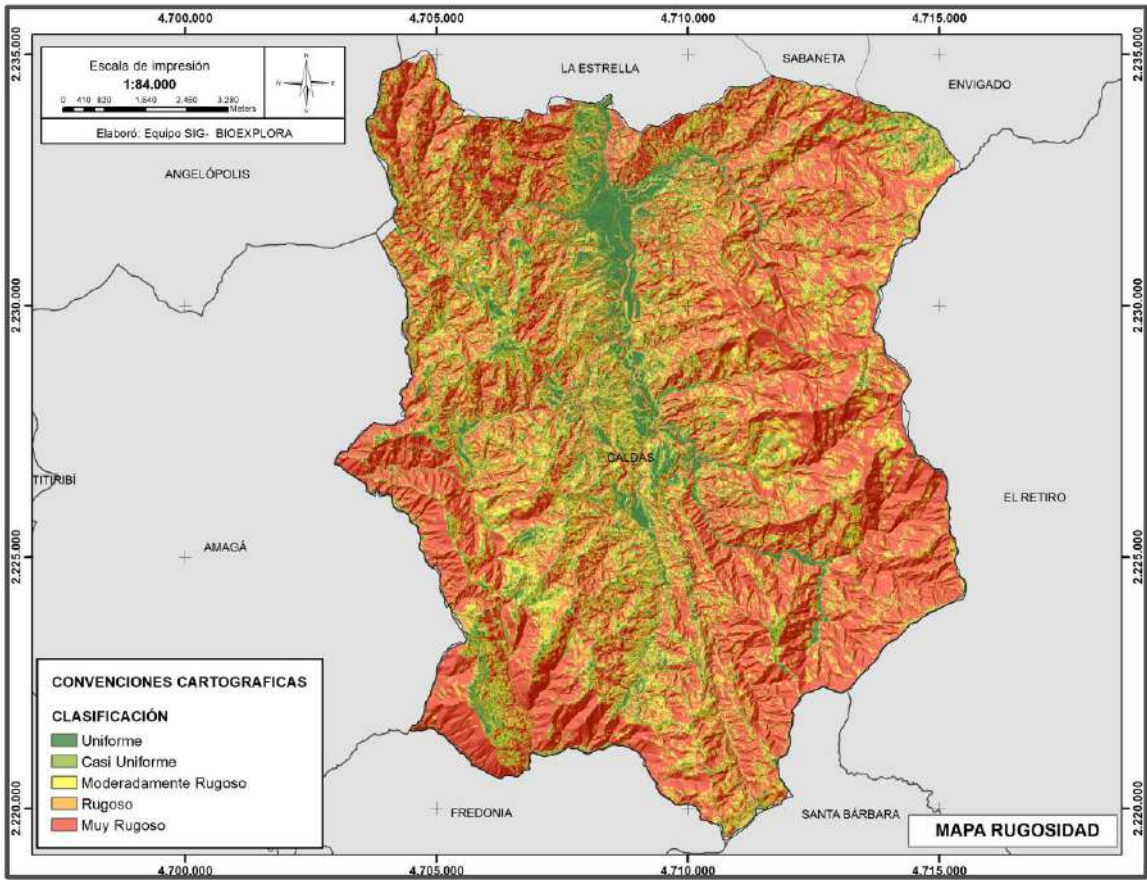


Figura 23. Mapa de la rugosidad del terreno del municipio de Caldas.
Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

4.4.2 SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos utilizados en este proyecto permiten la delimitación de las unidades geomorfológicas, geológicas y de procesos morfodinámicos. Entre los sensores remotos que se han colectado se tienen, fotografías aéreas, imágenes ultra cam, e imágenes de satélite, con diferentes niveles de cubrimiento temporal y espacial y niveles de escala, que cubren la totalidad del territorio del municipio de Caldas, dentro de estas imágenes se tienen también las imágenes de Google Earth como apoyo a la delimitación de los procesos morfodinámicos recientes, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Reporte de eventos del municipio de Caldas para el año 2021.

Tipo	Vuelo serie	Resolución – escala	Año	Fuente
Imagen de satélite	NA	2 10 m	2007 a 2021	Google Earth
Imagen de satélite	NA	2 4 m	2020	Bing Maps
Fotografía aérea pancromática	C-2722	1:12500	2004	IGAC
Fotografía aérea pancromática	C-2723	1:12500	2004	IGAC
Fotografía aérea pancromática	C-2725	1:12500	2004	IGAC
Fotografía aérea pancromática	C 2635	1:34000	1998	IGAC
Fotografía aérea Multiespectral		0,30 m	2010 a 2014	IGAC

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023).

5. CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL

En este capítulo se presenta la descripción de los elementos geoambientales que comprenden el territorio de Caldas, donde se incluye la geología, la geomorfología, los procesos morfodinámicos, la morfometría, las coberturas terrestres y usos del suelo. La caracterización regional se realizó con base a la revisión de información secundaria y a la caracterización local, en la cual se hizo un refinamiento de la información secundaria, interpretación de sensores remotos y recorridos de campo, como se observa en la Figura 24.

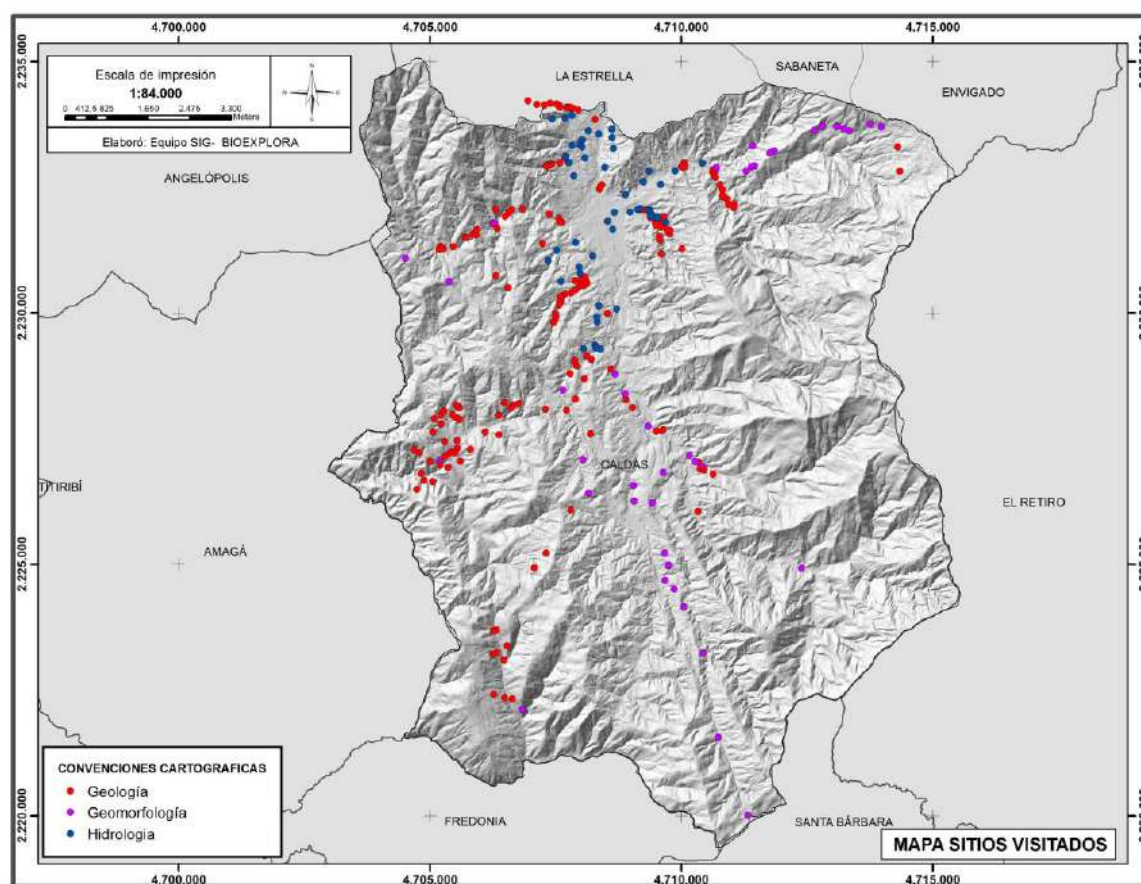


Figura 24. Mapa de sitios visitados en el proceso de caracterización geoambiental.

Fuente: Estudios básicos de amenaza Caldas (2023)

5.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El Municipio de Caldas está ubicado al sur del Valle de Aburrá y en la parte occidental de la cuenca del río Amagá. Este presenta un marco geológico y estructural complejo, ya que su territorio tiene varios sistemas de fallas regionales, los cuales ponen en contacto unidades de ambiente y edad variables.

Donde de manera general, al occidente del valle de Aburrá se presentan rocas volcánicas del complejo Quebradagrande, al oriente, rocas metamórficas del complejo Cajamarca y rocas del Grupo Caldas, al centro

del valle se presentan secuencias de depósitos de vertiente y aluviales que reposan sobre las rocas de basamento, y al occidente, en la cuenca del río Amagá, cuerpos intrusivos (Figura 25).

Las unidades descritas tanto en el marco geológico regional como en la geología local del municipio de Caldas, hacen parte del “Estudio de microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado” (AMVA, 2006), cuya información fue modificada acorde con las evidencias encontradas durante trabajos adelantados durante el proyecto.

5.1.1 GRUPO CALDAS

Este grupo está compuesto por las unidades litológicas más antiguas que en el Valle de Aburrá (AMVA, 2006), como lo son las anfibolitas del alto de Minas, la anfibolita Granatífera de Caldas y los esquistos de Caldas.

5.1.1.1 Anfibolita Granatífera del Caldas (PZagC)

Esta unidad fue definida por Patiño y Noreña (1984), aflora en un cuerpo alargado en sentido norte sur, sobre la vertiente oriental del Valle de Aburrá, la roca se caracteriza por un color verde oscuro, la presencia de porfidoblastos de granates y un aspecto masivo a nivel macroscópico.

5.1.1.1 Anfibolita del Alto de Minas (PZaAM)

Esta unidad fue definida por González (2002), quien determina que la unidad antes descrita como el Gneis de La Miel debe considerarse sinónimo de las Anfibolitas del Alto de Minas. Este cuerpo metamórfico tiene estructura gnéisica, su composición varía entre granito y cuarzomonzonita, pobre en máficos; como minerales principales presenta cuarzo, plagioclasa y microclina, y moscovita, biotita y granate como caracterizantes. Su contacto con las rocas el complejo Cajamarca Quebradagrande se caracteriza por la presencia de milonita y salbanda en el nacimiento de la quebrada Santa Bárbara (González, 2002).

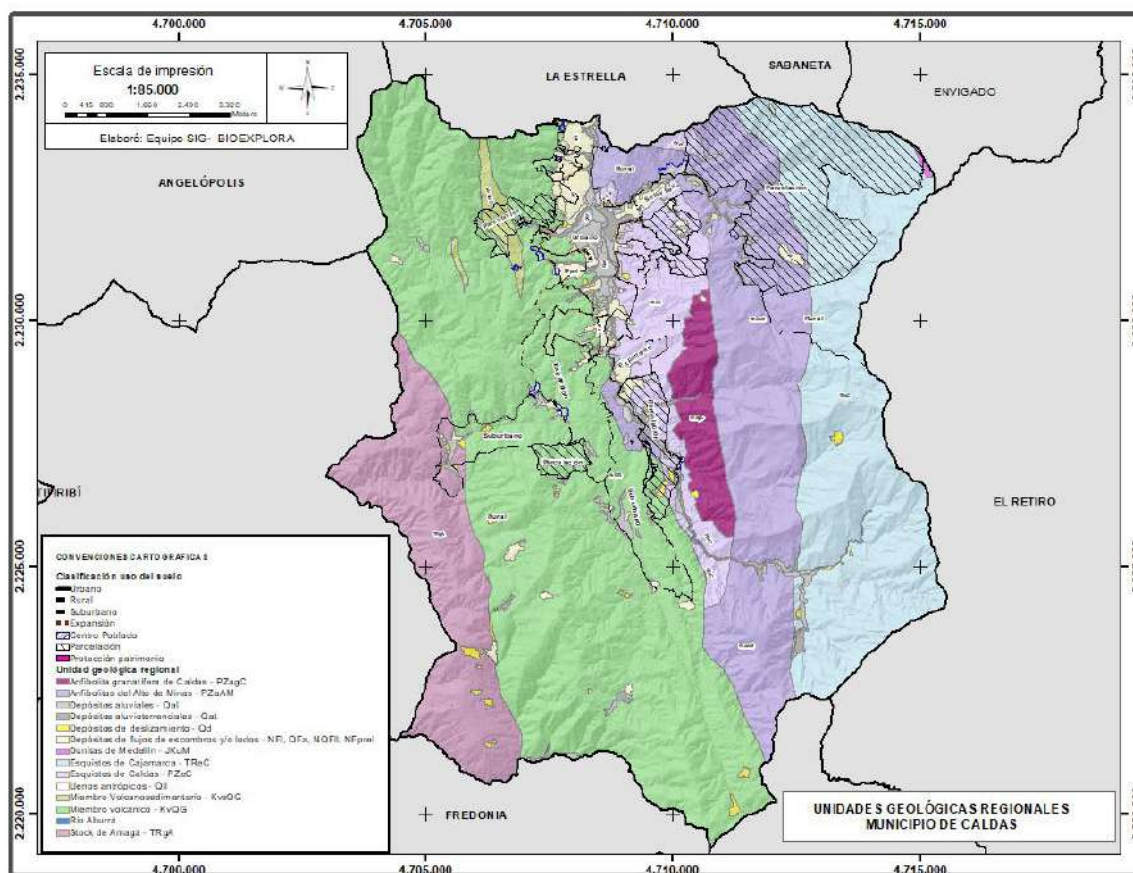


Figura 25. Mapa de geología regional del municipio de Caldas.
Fuente: Microzonificación sísmica del valle de Aburrá AMVA (2006)

5.1.1.2 Esquistos de Caldas (PZcC)

Esta unidad fue definida por Maya y Escobar (1985), aflora, en cuerpos, a lo largo del municipio principalmente sobre la vertiente oriental del valle. Está conformada por esquistos moscovíticos, cuarzosericíticos, biotíticos y cloríticos intercalados con cuarcitas y gneises. Son rocas de grano fino en coloraciones plateadas por la presencia de moscovita, y con contenidos menores de grafito.

5.1.2 ESQUISTOS DE CAJAMARCA (TRC)

Corresponden a esquistos de bajo grado, su composición principal es cuarzosericítica, clorítica y grafitica. Están relacionados con cuerpos de anfibolitas sin granates y en general conforman topografías escarpadas. Los esquistos cuarzosericíticos presentan variaciones transicionales a esquistos sericíticos y cuarcitas, pasando estas últimas a esquistos cuarzomoscovíticos y cuarzobiotíticos (Patiño y Noreña, 1984). La roca más abundante corresponde a esquistos cuarzosericíticos (AMVA, 2006).

5.1.3 STOCK DE AMAGÁ (TRGA)

Esta unidad aflora en la cuenca del río Amagá, es un cuerpo ígneo Intrusivo de edad Triásico) relacionado con la actividad ígnea de la cordillera Central. Definido inicialmente por Grosse (1926) quien lo describió con el nombre de granito tipo Amagá a una serie de pequeños cuerpos en la vertiente occidental de la cordillera Central. donde cuerpo principal tiene unos 45 km². A nivel litológico este cuerpo presenta variación entre cuarzomonzonita y granodiorita y mineralógicamente está compuesto por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, donde la roca es predominantemente maciza, granular a porfídica, grano medio a grueso, color moteado rosado a gris claro. El contacto de este plutón con el complejo Quebradagrande es fallado (Ingeominas 2001).

5.1.4 GABROS DE ROMERAL (JGR)

Esta denominación describe pequeños de gabro cuerpos relacionados con el sistema tectónico de Romeral (Ingeominas, 2001). Algunos de estos cuerpos han sido reportados con nombres específicos en la literatura geológica: Gabro de Palmitas (Grosse, 1926) La Estrella y San Sebastián (Mejía, 1984). Esta unidad corresponde a gabros de grano medio a fino, foliados, con efectos dinámicos superpuestos a los protoclásticos. Particularmente los gabros forman cuerpos alargados de dirección norte - sur limitados por contactos fallados con las unidades adyacentes. Esta unidad junto con la Peridotita de romeral Corresponde a cuerpos de rocas ultramáficas asociadas al sistema de fallas de Romeral, formando un cinturón bien definido denominado por Álvarez (1983) como Cinturón Ofiolítico de Romeral (COR) (AMVA, 2006).

5.1.5 DUNITA DE MEDELLÍN (JKUM)

Conforman una faja en forma de cuña dispuesta norte noroeste, ubicada al oriente del Valle de Aburrá, la cual se extiende desde el sector de Las Palmas hasta el municipio de San Pedro (Giraldo y Sánchez, 2004). Se trata de una roca compuesta esencialmente por olivino, con contenidos menores de cromita y magnetita; con alteraciones parciales a minerales del grupo de la serpentinita y está asociada en su origen con los metagabros mencionados. La roca presenta un color negro, verde oscuro o café cuando está meteorizada, se observa un intenso fracturamiento, que se hace más fuerte en las cercanías de las zonas de contacto. Esta litología conforma las zonas de topografía más abrupta que se observan al oriente del Valle de Aburrá (comuna nororiental), entre las que se incluyen las vertientes escarpadas.

5.1.6 COMPLEJO QUEBRADAGRANDE

El Complejo Quebradagrande fue descrito y nombrado inicialmente por Botero (1963) como formación Quebradagrande, quien describe los metasedimentos de la sección tipo como esquistos silíceos negros, filitas grafitosas, liditas, cuarcitas de grano fino y diques de andesita y dacita. En contraste, las rocas volcánicas las incluye dentro de un grupo denominado rocas verdes, basado en la coloración verde producto de la cloritización

de rocas basálticas. Este último tipo de rocas se caracteriza por texturas félsicas y porfídicas, y por tener una mineralogía compuesta por plagioclasas muy alteradas y augita como mineral máfico predominante (Botero, 1963). Debido a las variaciones litoestratigráficas del miembro sedimentario y del miembro volcánico de esta unidad, diversos autores (Álvarez, 1995, (Maya y Gonzalez , 1995), proponen el nombre de Complejo Quebradagrande en reemplazo de Formación Quebradagrande.

5.1.6.1 Miembro Volcanosedimentario (KvsQG)

Este miembro consiste de un cuerpo alargado en dirección N-S, donde se observan intercalaciones de esquistos silíceos negros (compuestos de pequeños cristales de cuarzo angular, en una masa silíceo arcillosa rica en material orgánico que le da su coloración), a veces de aspecto lenticular, filitas grafitosas, liditas, algunas cuarcitas de grano fino y color oscuro, delgados conglomerados y calizas clásticas negras con escasos fósiles marinos. Los sedimentos de la formación Quebradagrande son de origen marino, neríticos, euxínicos como lo atestiguan la abundante materia orgánica, los conglomerados (AMVA, 2006).

5.1.6.2 Miembro Volcánico (KvQG)

Esta unidad aflora a lo largo de la vertiente oriental del municipio, en dirección sureste-noroeste, que está en contacto al occidente con el stock de Amagá y al oriente es suprayacido por las secuencias de depósitos aluviotorrenciales y de vertiente recientes. Buenas secuencias de este cuerpo se pueden observar a lo largo de las diferentes carreteras, el corte de la carrilera y las quebradas La Valeria y La Piedrahita.

Es de composición toleítica y está conformado por espilitas, diabasas y basaltos, y en menor proporción andesitas, brechas y tobas. En general son rocas máficas con coloraciones verde oscura producida por la intensa alteración de los minerales máficos que las constituyen. En cercanías a las zonas de fallas se encuentran estructuras esquistosas por efectos dinámicos y donde se dificulta la separación con la unidad de esquistos verdes (AMVA, 2006)

5.1.7 DEPÓSITOS DE VERTIENTE (QD-NFI-NQFII-NFPREL)

Bajo esta denominación de depósitos no litificados se incluyen los depósitos de deslizamiento y los flujos de escombros y/o lodos que por su extensión permitan ser cartografiados. Por sus espesores y grado de madurez es conveniente cartografiarlos como unidades geológicas independientes y no como formaciones superficiales. La edad de estos depósitos es variable, no obstante, las características de altura, consolidación, madurez, pendiente y grado de incisión permiten hacer relaciones cronoestratigráficas entre ellos, y, en el caso de los flujos, agruparlos en series de eventos.

En esta unidad se han identificado cinco series de eventos, donde los cuerpos de los depósitos tienen un arreglo escalonado o telescópico, en el que los cuerpos más antiguos están localizados hacia la parte media y alta de la ladera y los más jóvenes se localizan hacia la base de la vertiente (Rendón et al. 2006). La caracterización de los cuerpos se basó en parámetros como rango de alturas de afloramiento, pendiente promedio de la superficie de depositación, profundidad y grado de incisión de dicha superficie y la coincidencia entre el actual patrón de drenaje y las geoformas de los depósitos (Rendón et al. 2006). Las relaciones cronoestratigráficas tuvieron en cuenta, adicional a los parámetros ya mencionados, marcadores estratigráficos como paleosuelos y tefras, donde se determinaron edades máximas de depositación con base en las dataciones de circones volcánicos con edades que alcanzan hasta el Plioceno Tardío (Rendón et al. 2006).

5.1.8 DEPÓSITOS ALUVIOTORRENCIALES (QAT)

Estos cuerpos corresponden a depósitos que generan algunas corrientes durante eventos de alta energía y corta duración, en los cuales las corrientes transportan materiales de granulometría heterogénea, que incluyen desde bloques rocosos de tamaño variable hasta arenas finas, limos y arcillas. Estos materiales descienden por los cauces encañonados presentando una dinámica turbulenta, hasta alcanzar zonas donde el cauce se amplía y la pendiente desciende, para depositarse, dado lugar a cuerpos que se pueden presentar como conos o abanicos, o en los pequeños escalones de pendiente suave que se presentan en las laderas, o en las márgenes de las corrientes (AMVA, 2006).

5.1.9 DEPÓSITOS ALUVIALES (QAL)

Se presentan sobre el fondo del valle del río Aburrá y sus afluentes principales, en las llanuras de inundación, como materiales de desborde; y en terrazas aluviales de diferentes niveles. Los depósitos asociados a estas zonas aluviales se caracterizan por presentar una ligera imbricación, selección moderada y alto grado de redondez de los bloques, que la diferencia de los depósitos aluviotorrenciales. Desarrollan geoformas de superficies suaves, prácticamente planas (AMVA, 2006).

5.1.10 DEPÓSITOS ANTRÓPICOS (QLL)

Son acumulaciones de materiales heterogéneos generadas por la acción humana, cuya amplia extensión da lugar a modificación de la morfología y la dinámica en el lugar donde se presentan. Estos cuerpos pueden ser de tipo técnico realizados para desarrollos industriales y con obras de estabilidad en Zonas de depósitos reguladas o de carácter irregular donde se vierten escombros y materiales de forma no controlada.

5.2 GEOLOGÍA LOCAL

Las unidades geológicas del municipio están representadas por rocas metamórficas de bajo grado, rocas vulcano-sedimentarias y depósitos cuaternarios que cubren la mayoría del área. Estas unidades abarcan un

rango temporal desde el Paleozoico representado por la anfibolita de Caldas hasta las unidades más recientes asociados a los depósitos cuaternarios. A continuación, se presenta la caracterización de cada unidad geológica para cada tipo de suelo del municipio de Caldas.

5.2.1 UNIDADES GEOLÓGICAS DEL SUELO URBANO

En la zona urbana se presentan principalmente depósitos cuaternarios (aluviotorrenciales, aluviales, de deslizamiento y flujos de lodos y/o escombros), los cuales se asocian a la dinámica del río Aburrá y sus afluentes, y las rocas volcánicas de Quebradagrande (Figura 26).

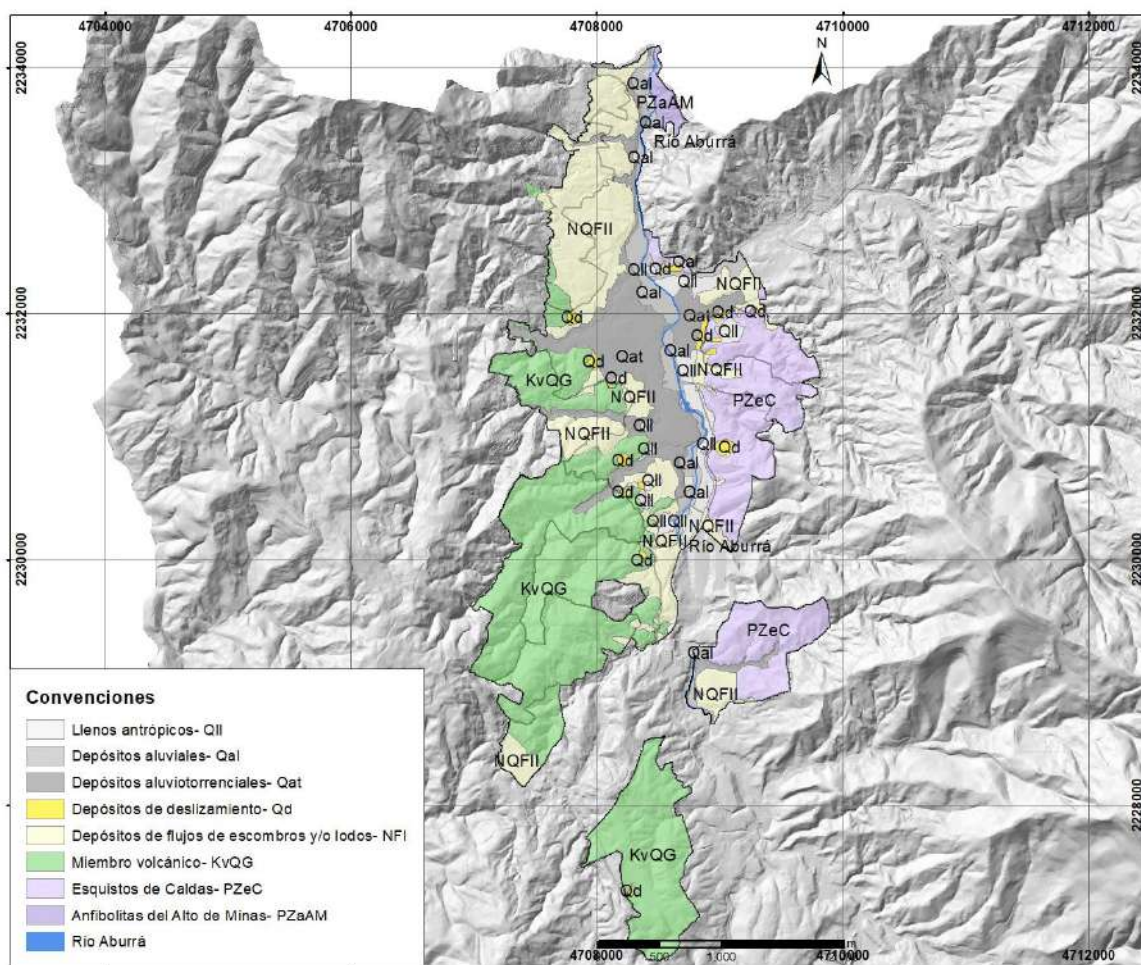


Figura 26. Mapa de las unidades geológicas presentes en el suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.1.1 Depósitos aluviales (Qal)

Unidad asociada al depósito de materiales por parte del río Aburrá, en sus eventos de desborde, esta unidad es estrecha y se encuentra restringida en las zonas medias y bajas de las cuencas (Figura 27), corresponde al 4,7% del área del suelo urbano; están conformados por arenas y limos y su espesor es variable.



Figura 27. Depósitos aluviales ubicados en las zonas bajas de la quebrada la Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.1.2 Depósitos aluviotorrenciales (Qat)

Cuerpos formados por la actividad torrencial de alta energía del río Aburrá y sus afluentes, que, en eventos de alta intensidad, transportan altos volúmenes de materiales de granulometría variable, desde limos hasta bloques, que son depositados en las partes bajas de las corrientes.

Estos cuerpos cubren el 12,3% de la zona urbana y están asociados a numerosas corrientes como; La Miel, La Valeria, La Chuscala, La Raya y el propio río Aburrá principalmente. Debido al bajo relieve de estos cuerpos, se encuentran altamente intervenidas y se observan en gran parte del desarrollo de la cabecera municipal.

Estos depósitos están compuestos por mezclas de materiales con granulometría variable, desde limos hasta bloques de roca, donde cada cuerpo presenta una granulometría acorde a la unidad que la generó. El espesor de estos cuerpos es muy variable, desde algunos centímetros en sus ápices, hasta decenas de metros, sin tener datos precisos al respecto.

5.2.1.3 Depósitos antrópicos-Llenos (QII)

Corresponde al 3,6% del área de la zona urbana del municipio. Son unidades formadas por la acumulación de materiales producto de actividades humanas (Figura 28). En la parte urbana del municipio de Caldas, se presentan numerosos cuerpos de este tipo, producto de la amplia presencia de escombreras y de adecuaciones de terrenos para patios de contenedores. Se encuentran a lo largo del eje del río Aburrá, y en la carretera que comunica al Alto de Minas, su tamaño es variable, algunos alcanzan más de 6 hectáreas de extensión.



Figura 28. Lleno antrópico ubicado en la zona urbana, en la margen izquierda de la variante de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.1.4 Depósitos de deslizamiento (Qd)

Esta unidad está representada por depósitos de deslizamiento, que son cuerpos no litificados originados por procesos de inestabilidad y remoción en masa de las vertientes y los cuales varían en edad y extensión.

Esta unidad cubre el 1,1% de la zona urbana y se presenta en numerosos cuerpos dispersos, son de extensión variable y debido a su bajo relieve tienen amplio desarrollo urbanístico.

El espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. De este modo, se pueden tener depósitos con poco grado de meteorización, en donde se pueden observar materiales prevalecientes (fragmentos de roca) del miembro volcánico-sedimentario de Quebradagrande al oeste del río Aburrá, y depósitos con fragmentos pertenecientes a las rocas metamórficas representadas por los esquistos de Caldas (Figura 29), ubicados en la margen derecha de la quebrada La Miel. Sin embargo, también se presentan depósitos donde toda la secuencia ha sido meteorizada, formando así un suelo residual de depósito.



Figura 29. Secuencia de depósito de vertiente con fragmentos de esquistos frescos, observada en la cuenca de la quebrada La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.1.5 Depósitos de flujo de lodo y de escombros (NQFII – NFI - NFpreI)

Litológicamente son cuerpos no litificados originados por proceso de inestabilidad y remoción en masa de las vertientes, varían en edad y extensión y se presentan en numerosos cuerpos dispersos a lo largo de toda la zona urbana, con una extensión variable, representando el 21,7% del área.

El espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, siendo así los cuerpos con predominio de facción gruesa, grava y bloques, se clasifican como depósitos de flujo de escombros, mientras que cuerpos con predominio de material fino (arcilla o limo) denominados se clasifican como depósitos de flujo de lodo.

5.2.1.6 Miembro Volcánico (KvQG)

Esta unidad es la de mayor extensión en el suelo urbano, representando el 38,8% del área, localizándose en la margen izquierda del municipio. Litológicamente, basados en la clasificación de Dearman (1974), se caracteriza por presentar un perfil de meteorización amplio, donde los perfiles expuestos muestran niveles iniciales de suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), la cual está presente en algunas zonas. El suelo residual es de color café amarillento, conformado por limos arcilloso, el saprolito presenta la misma coloración, conformado por limos arenosos a arcillosos y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados.

5.2.1.7 Esquistos de Caldas (PZeC) –

Esta unidad se localiza en el flanco oriental del municipio, en los barrios La Corrala, El Hoyo y Viticua, cubriendo aproximadamente 147,3 Ha. Litológicamente está conformada por esquistos moscovíticos alterados. Se observan fragmentos de esta unidad en los depósitos de vertiente ubicados en la margen derecha de la quebrada La Miel (Figura 30).



Figura 30. Fragmento de esquistos localizados en la cuenca de la quebrada La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.1.8 Anfibolita del Alto de Minas (PZaAM)

Este cuerpo metamórfico se localiza en la parte sur del suelo urbano sobre la margen izquierda del río Aburrá, en la zona de expansión 308, cubriendo aproximadamente el 1,0% del área del suelo urbano. Se caracteriza por presentar una estructura gnéisica, su composición varía entre granito y cuarzomonzonita; como minerales principales presenta cuarzo y plagioclasa y en menor proporción minerales micáceos, tipo moscovita y biotita.

5.2.1.9 Río Aburrá

Unidad que cruza el municipio de Sur a Norte, representado por el cauce del río Aburrá; se caracteriza por ser de tipo meándrico con una longitud aproximada de 7.5 km en la zona urbana, cubriendo aproximadamente 4,27 Ha del área urbana.

A continuación, se presentan en la Tabla 21 y en el Gráfico 10, la distribución de las unidades geológicas presentes en el suelo urbano y de expansión.

Tabla 21. Áreas de las unidades geológicas en el suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.

Zona Urbana y de expansión		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Anfibolitas del Alto de Minas	8,50	1,0%
Depósitos aluviales	41,81	4,7%
Depósitos aluviotorrenciales	109,56	12,3%
Depósitos de deslizamiento	9,73	1,1%
Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	193,89	21,7%
Esquistos de Caldas	147,33	16,5%
Llenos antrópicos	32,14	3,6%
Miembro volcánico	346,22	38,8%
Río Aburrá	4,27	0,5%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

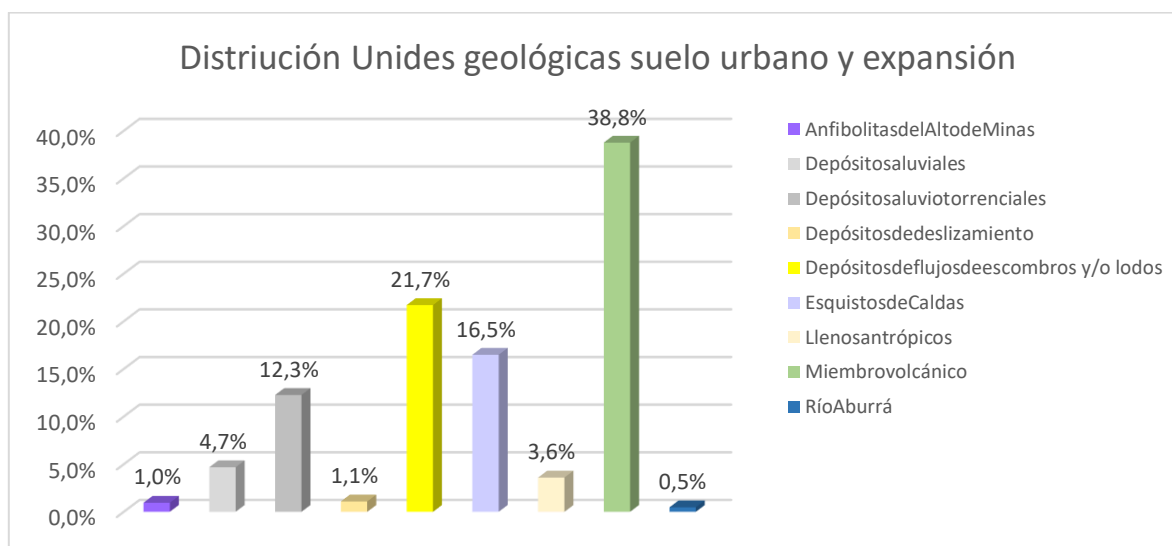


Gráfico 10. Distribución de las unidades geológicas en suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.2 FORMACIONES SUPERFICIALES EN SUELO URBANO

En la zona urbana se presentan suelos transportados asociados a proceso de tipo aluvial y aluviotorrencial, los cuales se asocian a la dinámica del río Aburrá y sus afluentes, depósitos antrópicos, y la unidad de mayor extensión coronan a suelos derivados del volcánico de Quebradagrande.

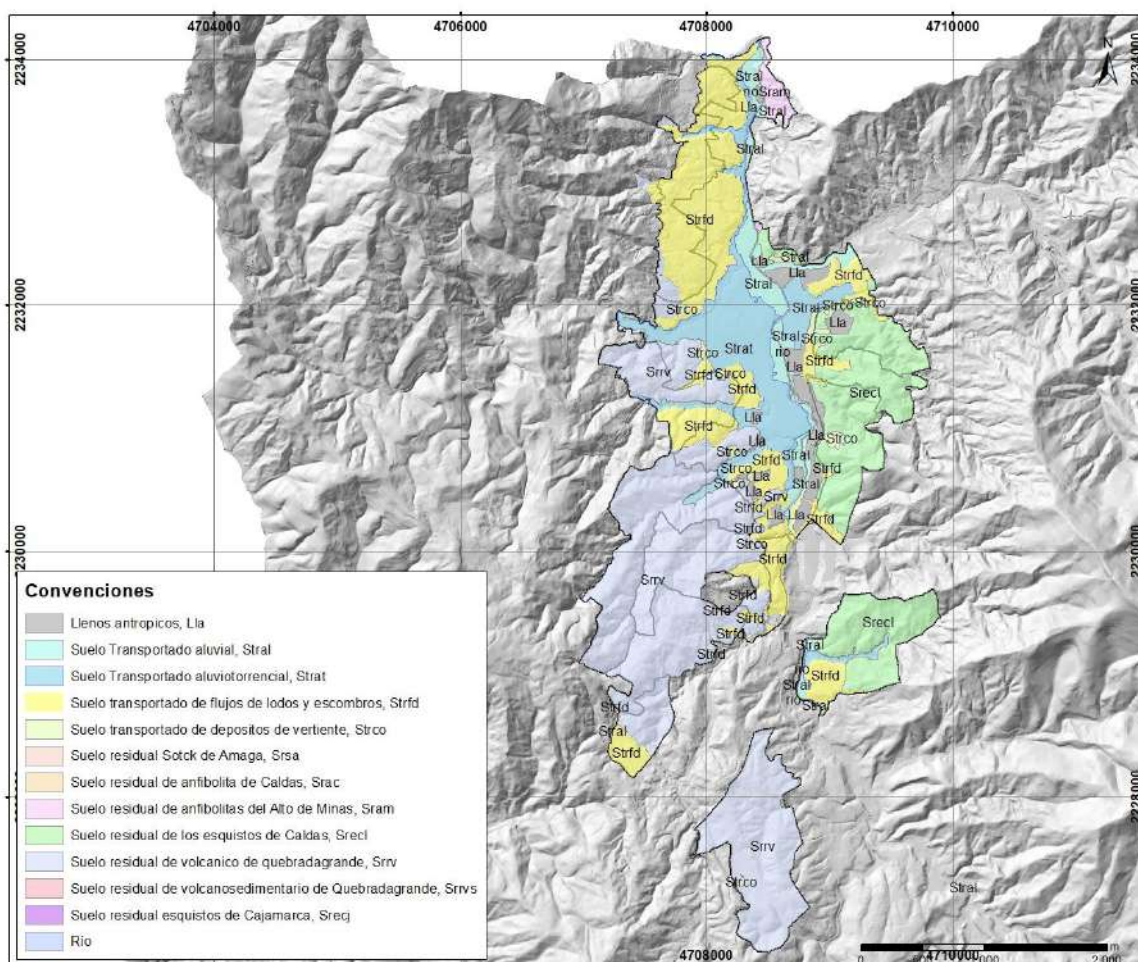


Figura 40. Mapa de las formaciones superficiales presentes en el suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Río**

Corresponde al cauce del río Aburrá

➤ **Llenos Antrópicos**

Esta formación cubre el 3,6% de este suelo, como cuerpos localizados principalmente en cercanías al río Aburrá. Corresponde a acumulaciones de materiales generados por acción del ser humano, son heterogéneos y de espesor variables, presentan mezclas de suelos, con escombros y basuras.

➤ **Suelo Transportado aluvial**

Esa formación cubre el 4,3% de este suelo, como un cuerpo que se extiende a lo largo del río Aburrá, y corresponde a acumulaciones de materiales generados por la dinámica de inundación del río Aburrá, y sus afluentes que en general tiene granulometría media a fina, arenas y limos, ocasionalmente con gravas y su espesor es amplio.

➤ **Suelo Transportado aluviotorrencial**

Esta unidad cubre el 12,3% de este suelo. Corresponde a acumulaciones de materiales generados por la dinámica de eventos torrenciales de alta energía de las corrientes de la zona, como son las quebradas La Miel, La Valeria, La Corrala, La Raya y el río Aburrá. Están formados por materiales en los que predomina su granulometría es gruesa, confirmada por arenas y gravas, angulares de tamaño variable, sin estratificación y de espesor variable.

➤ **Suelo transportado de depósitos de vertiente**

Esta unidad cubre el 1,1% de este suelo. Corresponde a materiales originados por procesos de inestabilidad y remoción en masa de las vertientes y los cuales varían en edad y extensión. El espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos, pero en general se caracterizan por ser una mezcla de materiales finos, (limos= con fragmentos de roca, de frescos a levemente meteorizados, de la roca donde se originó la inestabilidad.

➤ **Suelo transportado de flujos de lodos y escombros**

Esta formación cubre el 21,6% de este suelo, siendo la segunda de mayor extensión, se presenta como cuerpos sobre las vertientes medias hacia el sector occidental. Estos suelos son originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, donde espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predominio de fracción fina limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ **Suelo residual de volcánico de Quebradagrande**

Esta formación cubre el 38,5% de este suelo, siendo la de mayor extensión, se presenta en la parte alta de las vertientes sobre el sector occidental. Estos suelos corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento, y el saprolito limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

➤ **Suelo residual de Esquistos de Caldas**

Esta formación superficial cubre el 16,5% de este suelo, siendo la tercera de mayor extensión. Corresponde a suelos, limos arenosos, que conservan estructuras heredadas de la roca parental, evidentes en su alta afectación estructural.

➤ **Suelo residual de Anfibolita del Alto de Minas**

Esta formación cubre el 1.0% de este suelo. Los suelos corresponden al saprolito (Nivel V de meteorización), que presenta un material areno limoso, de color pardo claro con poca presencia de máficos, y algunas zonas con tonalidades ocre por efecto de oxidación, no presenta estructuras heredadas de la roca parental.

A continuación, se describen el porcentaje que representa cada formación superficial en suelo urbano

Tabla 22. Representación de cada formación superficial en porcentaje del suelo urbano

Suelo Urbano		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Llenos antrópicos	32,14	3,6%
Rio	4,41	0,5%
Suelo residual de anfibolitas del Alto de Minas	8,68	1,0%
Suelo residual de los esquistos de Caldas	147,34	16,5%
Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	347,44	38,8%
Suelo Transportado aluvial	41,89	4,7%
Suelo Transportado aluviotorrencial	109,61	12,3%
Suelo transportado de depósitos de vertiente	9,73	1,1%
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	193,38	21,6%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

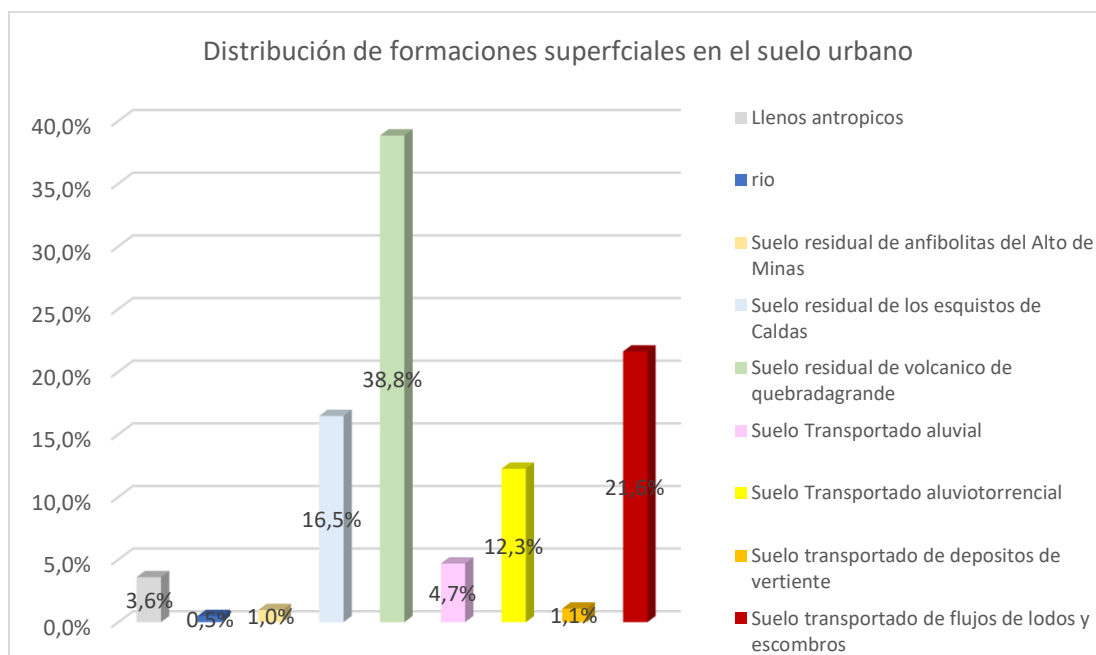


Gráfico 11. Distribución de formaciones superficiales en el suelo urbano
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.3 UNIDADES GEOLÓGICAS EN SUELO RURAL

En el suelo rural del municipio de Caldas afloran rocas metamórficas, volcánicas, vulcano-sedimentarias y algunos depósitos localizados puntualmente (Figura 31), los cuales serán mencionados a continuación. Estas unidades se describieron con base al trabajo de campo realizado, trabajos anteriores como la microzonificación sísmica del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y otros estudios de detalle realizados en la zona.

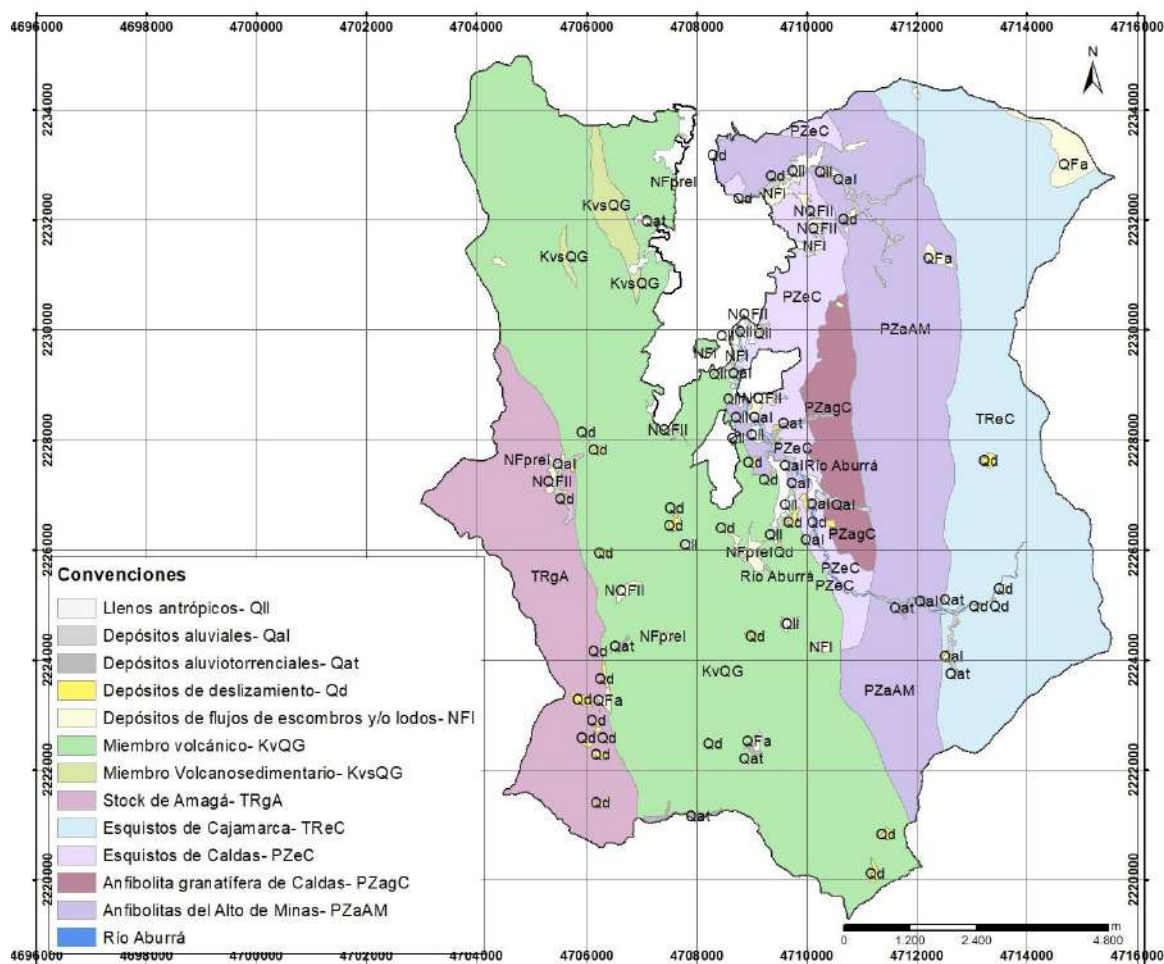


Figura 31. Unidades geológicas presentes en el suelo rural del municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.3.1 Anfibolita Granatífera del Caldas (PZagC)

Aflorara como un cuerpo alargado en sentido Norte Sur, sobre la margen derecha del río Aburrá en las veredas La Clara, La Corrala y Primavera, cubriendo 335 Ha y representando el 2,7% de la zona rural. Litológicamente la roca se caracteriza por un color verde oscuro, asociado a la alteración de los anfíboles a minerales como la clorita, además se observa la presencia de porfiroblastos de granates.

5.2.3.2 Anfibolita del Alto de Minas (PZaAM)

Esta unidad aflora como diversos cuerpos en ambas márgenes del río Aburrá, cubriendo el 17,6% de la zona rural. El cuerpo principal está dispuesto en forma alargada Norte sur, presentándose desde el alto de Minas en el sur hasta la quebrada La Miel en el norte, en donde aflora a las orillas del río Aburrá. Igualmente, tiene pequeños cuerpos dispersos, en el sector de La Clara, donde se observa el perfil de meteorización de la roca, con un material areno limoso, de color pardo claro con poca presencia de máficos, como se muestra en el afloramiento que se presenta en la Figura 32.



Figura 32. Afloramientos de perfil de meteorización de anfibolita Granatífera, Sector La Clara.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.3.3 Esquistos de Caldas (PZeC)

Esta unidad aflora en la zona rural sobre la margen derecha del río Aburrá, en la parte baja de las lomas, en cercanías del fondo del Valle, en las veredas La Clara, La Corrala, La Miel, Primavera y El 60, representando el 5,1% del área rural. Se encuentran dispuestos en varios cuerpos de tamaño y forma variable, donde el principal tiene una disposición preferencial norte sur. A lo largo de los cortes de la carretera, la unidad se observa altamente meteorizada y con afectación estructural.

5.2.3.4 Esquistos de Cajamarca (TReC)

Esta unidad cubre aproximadamente 2377 Ha, siendo así el 19,4% de la zona rural; se presenta en la parte alta de la vertiente oriental del municipio, en transición hacia el altiplano de oriente, como una franja alargada de sur a norte en contacto, con las Anfibolitas granatíferas del alto de minas, pertenecientes al Grupo Caldas y descritas previamente.

El perfil de meteorización de esta unidad es muy variable en su textura, ya que en algunas zonas se presenta de carácter principalmente limoso y en otras el material es arenoso. En general las secuencias observadas en la zona son poco espesas, menos de 5 m, y rápidamente se observa la roca meteorizada aflorando, también es frecuente observar zonas de roca cizallada, y esquistos grafitosos. Dada su disposición dentro del municipio, sus afloramientos se dan a lo largo de las corrientes, como el río Aburrá, en la zona del alto San Miguel, y las cabeceras de la quebrada La Miel y en algunas carreteras como la que conduce de las cabeceras de La Miel al casco urbano, como se muestra en la Figura 33.



Figura 33. Esquistos de Cajamarca, Sector de La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.3.5 Stock de Amagá (TRgA)

Este cuerpo aflora en el extremo occidental del municipio, en la cuenca del río Amagá y la quebrada Sinifaná, cubriendo el 10,1% de la zona rural. Está unidad se encuentra en contacto con el miembro volcánico a lo largo de las quebradas y divisorias de agua con claro control estructural. Este cuerpo aflora en taludes altos a lo largo del corte de la carrilera y de la vía Pacífico 2, como una secuencia amplia de meteorización, más de 80 m de espesor, en los que se presenta un material arenoso tipo Gruss, con muy poco contenido de finos (Figura 34).



Figura 34. Perfil de meteorización del Stock de Amagá, vereda Salinas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.3.6 Miembro Volcánico (KvQG)

Esta unidad aflora a lo largo de la vertiente occidental del municipio, en una franja amplia en dirección sureste-noroeste, cubriendo un área aproximada de 4937 Ha, representando el 40,2% del suelo rural, siendo así la unidad

de mayor extensión. Este cuerpo se encuentra en contacto al occidente con el stock de Amagá y al oriente es suprayacido por las secuencias de depósitos aluviotorrenciales y de vertiente recientes. Buenas secuencias de este cuerpo se pueden observar a lo largo de las diferentes carreteras, el corte de la carrilera y las quebradas La Valeria y La Piedrahita.

En general esta unidad tiene un perfil de meteorización amplio, donde los perfiles expuestos muestran niveles iniciales de suelos residuales y saprolito (Niveles de meteorización IB y IC de Deere y Patton), de hasta 10 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca de 8 a 10 m de espesor, como se observa en la Figura 35. El suelo residual es de color ocre, conformado por limos arcillosos, el saprolito presenta la misma coloración, conformado por limos arenosos y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, con pátina de color negro debido a la oxidación del manganeso, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados.



Figura 35. Perfil de meteorización del Miembro Volcánico, vía a Angelópolis.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.3.7 Miembro volcano-sedimentario (KvsQG)

Esta unidad aflora sobre la vertiente oriental del municipio, cubriendo un área de 116,1 Ha, representando el 0,9% del suelo rural; son cuerpos pequeños con orientación norte-sur, cuya amplitud máxima no supera los 700 m, que están en contacto fallado dentro del miembro volcánico. Las pequeñas secuencias se observan principalmente en la cuenca media y alta de la quebrada La Valeria, donde se observan afloramientos de roca fresca principalmente lutitas y chert y donde la secuencia de meteorización es explotada en canteras para material de construcción (Figura 36).



Figura 36. Afloramiento de Lutitas en la quebrada La Valeria.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.3.8 Depósitos aluviales (Qal)

Estos depósitos aluviales afloran a lo largo de ambas márgenes del río Aburrá, cubren un área aproximada de 113,6 Ha, representando el 0,9% de la zona rural, y son de menor extensión en comparación con los que se presentan en el suelo urbano.

Estos depósitos se caracterizan por desarrollar espesores variables, con matriz de tamaño limo y arcilla de colores pardo claro; estas unidades se encuentran estrechas, limitadas por esquistos y anfibolitas meteorizados que han desarrollado perfiles de suelo.

5.2.3.9 Depósitos aluviotorrenciales (Qat)

Esta unidad aflora a lo largo de los márgenes del río Aburrá y en algunas quebradas como La Chuscala, Santa Isabel, La Valeria, La Chaparrala entre otras. Estos cuerpos son de poca área, cubriendo aproximadamente 34,1 Ha, representando el 0,3% del suelo rural. Su origen es debido a el transporte y depositación de bloques de tamaño variable, asociado a la energía que presentan los afluentes del río Aburrá.

5.2.3.10 Depósitos de deslizamiento (Qd)

Estos depósitos se presentan dispersos a lo largo del municipio, en las partes medias y bajas de las vertientes, cubriendo aproximadamente 66 Ha, conformando el 0.5% del área del suelo rural. Se caracterizan por presentar matrices limo-arenosas de colores café amarillentos, siendo algunos cuerpos de colores más oscuros, envolviendo fragmentos de diferente tamaño y composición dependiendo de su ubicación, cuerpos de mayor extensión en el suelo rural se ubican en las veredas La Clara, La Salada parte alta, Sinifaná, entre otras.



Figura 37. Depósito de deslizamiento, localizado en La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.2.3.11 Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (QFa-NQfII-NFI-NFpreI)

Los depósitos de flujos de lodos y/o escombros se localizan dispersamente a lo largo del suelo rural del municipio, cubriendo aproximadamente 206 Ha, representando el 1,7% del suelo rural. Las geoformas asociadas son en general lóbulos cuya parte proximal se ubica en la zona media-alta de las vertientes y su parte distal en el pie de las vertientes, en donde convergen con los depósitos de origen aluvial, aunque se destaca un cuerpo aislado ubicado en la parte alta de la cuenca de la quebrada La Miel, en límites con el municipio de Envigado.

5.2.3.12 Llenos antrópicos (QII)

Se ubican en la base de las vertientes de la margen izquierda del río Aburrá, en donde las intervenciones, antrópicas en proceso de acumulación de escombros, basura rocas y suelos, ha dado lugar a cuerpos de hasta 5,2 hectáreas y que en algunos casos pueden superar los 10 m de espesor, en la zona se presentan cuerpos conformados tanto de forma técnica como forma no técnica, y en general son ocupados por la construcción de industrias o bodegas. Se pueden observar en las veredas La Miel, La Valeria, La Quiebra, Primavera, Maní del Cardal, Salinas, Salada parte baja y alta, cubriendo el 0,4% del suelo rural.

5.2.3.13 Río Aburrá

Unidad localizada en el suroeste, representada por el cauce del río Aburrá, cubriendo el 0,1% del área rural. Se caracteriza por ser cauce de tipo meándrico, con una longitud aproximada de 8,7 km. Este río nace en la parte alta de la vereda La Clara, pasando en su recorrido aguas abajo por las veredas El 60 y por la Salada parte baja.

En la Tabla 23 y en el Gráfico 12 se muestra la distribución de las unidades geológicas en el suelo rural del municipio de Caldas.

Tabla 23. Áreas de las unidades geológicas en el suelo rural del municipio de Caldas.

Zona Rural		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Anfibolita granatífera de Caldas	334,80	2,7%
Anfibolitas del Alto de Minas	2.164,21	17,6%
Depósitos aluviales	113,60	0,9%
Depósitos aluviotorrenciales	34,10	0,3%
Depósitos de deslizamiento	65,83	0,5%
Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	206,12	1,7%
Esquistos de Cajamarca	2.377,14	19,4%
Esquistos de Caldas	629,17	5,1%
Llenos antrópicos	51,14	0,4%
Miembro volcánico	4.936,89	40,2%
Miembro Volcanosedimentario	116,11	0,9%
Río Aburrá	11,00	0,1%
Stock de Amagá	1.236,47	10,1%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

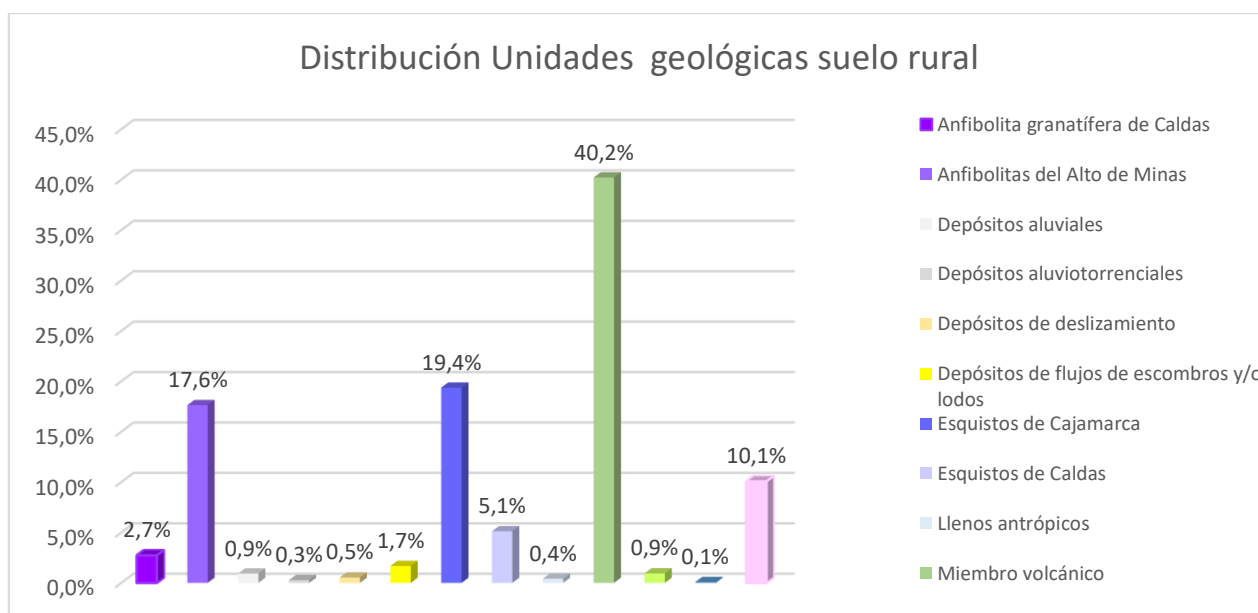


Gráfico 12. Distribución de unidades geológicas en suelo rural del municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

De acuerdo con la Tabla 23 y el Gráfico 12, se puede concluir que la unidad geológica más predominante es el Miembro volcánico, unidad que se caracteriza por presentar geoformas de pendientes empinadas a moderadas con cimas subredondeadas, amplias a estrechas, con desarrollo de suelos residuales y saprolito hasta de 10m.

5.2.4 FORMACIONES SUPERFICIALES EN SUELO RURAL

Rio

Corresponde al cauce del río Aburrá

➤ **Llenos Antrópicos**

Esta formación cubre el 0,4% de este suelo, como cuerpos aislados. Corresponde a acumulaciones de materiales generados por acción del ser humano, son heterogéneos y de espesor variables, presentan mezclas de suelos, con escombros y basuras.

➤ **Suelo Transportado aluvial**

Esta formación cubre el 0,9% de este suelo, se extiende a lo largo del río Aburrá y sus afluentes principales y corresponde a acumulaciones de materiales generados por la dinámica de inundación de las corrientes, en general tiene granulometría media a fina, arenas y limos, ocasionalmente con gravas y su espesor es amplio.

➤ **Suelo Transportado aluviotorrencial**

Esta unidad cubre el 0,28 % de este suelo. Corresponde a acumulaciones de materiales generados por la dinámica de eventos torrenciales de alta energía de las corrientes. Están formados por materiales en los que predomina su granulometría es gruesa, confirmada por arenas y gravas, angulares de tamaño variable, sin estratificación y de espesor variable.

➤ **Suelo transportado de depósitos de vertiente**

Esta unidad cubre el 0,01% de este suelo, siendo la formación de menor extensión en suelo rural. Corresponde a materiales originados por procesos de inestabilidad y remoción en masa de las vertientes y los cuales varían en edad y extensión. El espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos, pero en general se caracterizan por ser una mezcla de materiales finos, (limos) con fragmentos de roca, de frescos a levemente meteorizados, de la roca donde se originó la inestabilidad.

➤ **Suelo transportado de flujos de lodos y escombros**

Esta formación cubre el 2,3% de este suelo, siendo la formación en suelo transportado de mayor extensión en suelo rural. Estos suelos son originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, donde espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predominio de fracción fina limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ **Suelo residual de volcánico de Quebradagrande**

Esta formación cubre el 40,1% de este suelo, siendo la de mayor extensión, se presenta a lo largo de las vertientes sobre el sector occidental. Estos suelos corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas

volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento, y el saprolito limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

➤ **Suelo residual de Volcanosedimentario de Quebradagrande**

Esta unidad cubre el 0,95% del suelo rural, se presenta como un cuerpo hacia la parte oeste. Estos suelos corresponden a suelos residuales se caracterizan por ser limosos a limo arenosos, sin estructura de roca parental

➤ **Suelo residual de Esquistos de Caldas**

Esta formación superficial cubre el 5,1% de este suelo, en un cuerpo alargado en sentido norte en la zona occidental del municipio. Corresponde a suelos limos arenosos, que conservan estructuras heredadas de la roca parental, evidentes en su alta afectación estructural.

➤ **Suelo residual de Anfibolita del Alto de Minas**

Esta formación cubre el 2.7% de este suelo. Los suelos corresponden al saprolito (Nivel V de meteorización), que presenta un material areno limoso, de color pardo claro con poca presencia de máficos, y algunas zonas con tonalidades ocre por efecto de oxidación, no presenta estructuras heredadas de la roca parental.

➤ **Suelo residual Stock de Amaga**

Esta formación cubre el 10,3% del suelo rural, se presenta en un cuerpo sobre el sector suroccidental del municipio. Corresponde a la secuencia de motorización de este cuerpo ígneo, que tiene un espesor muy amplio, mayor a 40 m en algunos casos, como se observa en la Vía a Amagá, en el cual se presenta un saprolito confirmado principalmente por cuarzo, de textura arenosa, de color pardo claro, sin ferromagnesianos.

➤ **Suelo residual esquistos de Cajamarca**

Esta formación es muy variable en su textura, ya varía de limoso a es arenoso. En general las secuencias observadas en la zona son poco espesas, menos de 5 m, y rápidamente se observa la roca meteorizada aflorando.

➤ **Suelo residual anfibolita de Caldas**

Esta unidad cubre el 2,7% del suelo rural. Está conformada por suelos limo arenosos, de color claro, con estructura heredada de la roca parental y espesor no definido.

A continuación, se describen el porcentaje que representa cada formación superficial en suelo rural

Tabla 24. Representación de cada formación superficial en porcentaje del suelo rural

Suelo Rural		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Llenos antrópicos	51,1	0,42%
Rio	11,1	0,09%
Suelo residual de anfibolita de Caldas	334,8	2,73%
Suelo residual de anfibolitas del Alto de Minas	2164,2	17,63%
Suelo residual de los esquistos de Caldas	629,2	5,13%
Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	4929,0	40,15%
Suelo residual de Volcanosedimentario de Quebradagrande	116,1	0,95%
Suelo residual esquistos de Cajamarca	2377,1	19,36%
Suelo residual Stock de Amaga	1236,5	10,07%
Suelo Transportado aluvial	113,4	0,92%
Suelo Transportado aluviotorrencial	34,5	0,28%
Suelo transportado de depósitos de vertiente	0,1	0,00%
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	279,3	2,27%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

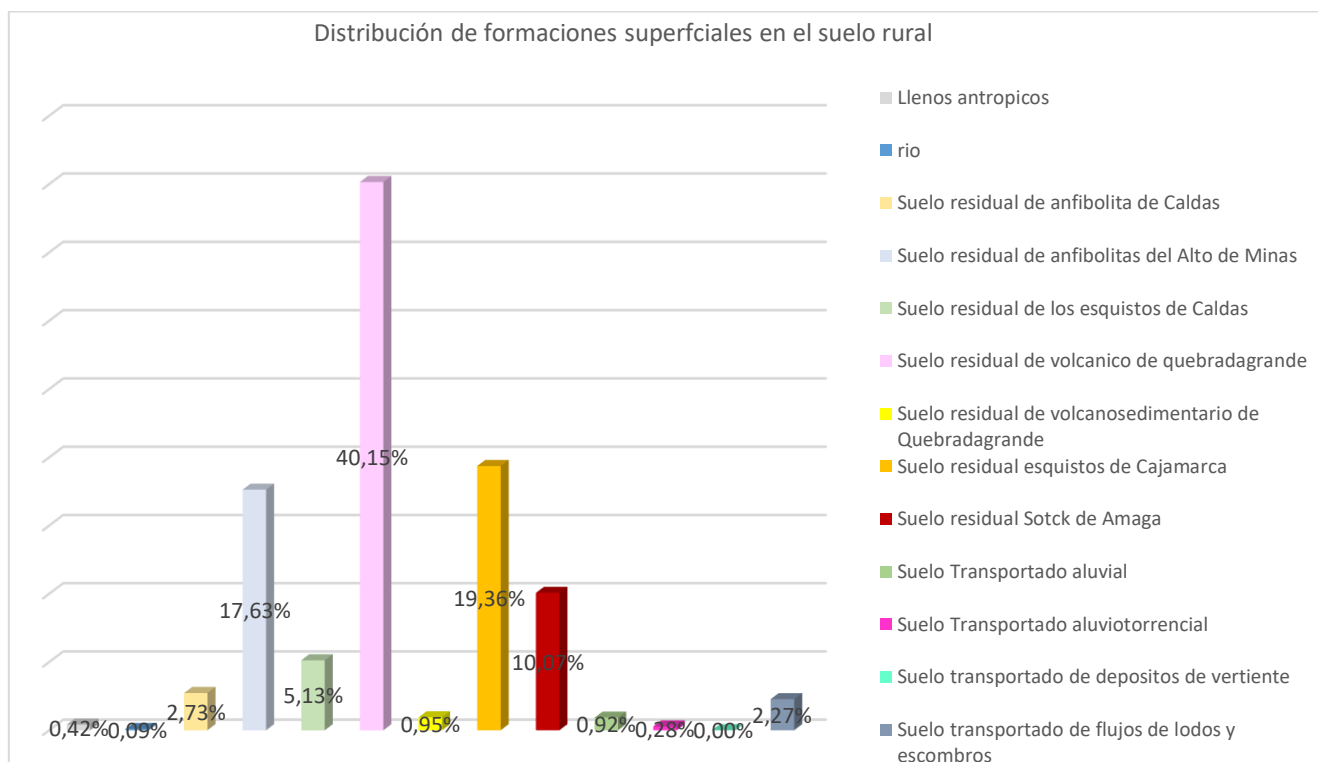


Gráfico 13. Distribución de formaciones superficiales en el suelo rural
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

El Valle de Aburrá es una depresión sur-norte de fondo plano formado por acción aluvial limitado por terrazas, llanuras aluviales a lo largo del Río Aburrá y depósitos aluviotorrenciales que forman abanicos a lo largo de los principales tributarios (Arias, A, 2003). Tres grandes sectores pueden identificarse en el Valle de Aburrá (Aristizábal & Yokota, 2008). La parte central que consiste en un valle amplio, mientras que los sectores norte y sur consisten en un estrecho valle asimétrico limitado por vertientes con fuertes pendientes.

Según el informe de la microzonificación sísmica (AMVA, 2006), la zona de estudio se enmarca en la siguiente jerarquía geomorfológica:

Unidad fisiográfica: Cordillera Central

Unidad de relieve: Norte de la Cordillera Central (Valle de Aburrá).

Unidades del paisaje: Valle de Aburrá Superior (VS): Se extiende desde el alto de Minas hasta la divisoria izquierda de la cuenca de la quebrada Doña María, incluyendo el cerro de Padre Amaya, por el margen izquierdo del río Aburrá y hasta cauce de la quebrada Ayurá por margen derecho del río Aburrá, en esta zona el valle es estrecho con una forma de V, es asimétrico, entre el nacimiento y el Ancón Sur en La Estrella, punto donde empieza a ampliarse en los municipios de LA Estrella y Sabaneta. El fondo de este segmento de Valle presenta dos pequeños ensanchamientos que coinciden en su localización con los cascos urbanos de Caldas y el corregimiento de La Tablaza de La Estrella.

Bloques o Macrounidades:

- VS-BAM Valle superior bloque Alto de Minas: Corresponde al extremo sur del valle de Aburrá se caracteriza por lomos regionales tendencia N-S, paralelos y en gran medida controlados por las fallas y lineamientos del Sistema Romeral, especialmente la falla San Jerónimo, en medio de las cuales se han desarrollado valles en V. con flancos moderados a empinados, de fondo estrecho y de tope agudo, pero de pendiente longitudinal baja.
- VS-BCRA Valle superior bloque cabeceras Río Amagá: Se localiza en el extremo sur occidental del Valle de Aburrá, con una tendencia N-S, define una especie de lomo regional con un efecto morfológico de la Falla Romeral, donde, hacia el occidente, una vertiente empinada a escarpada mientras al oriente es moderada a empinada con desarrollo sobre ambos flancos de pequeñas vaguadas secundarias.
- VS-BK Valle superior bloque Kachotis: Se caracteriza por la presencia de lomos regionales sistemáticos de tendencia N45°E, en coincidencia con la orientación de varios lineamientos tectónicos conjugados a las trazas de las fallas Romeral y San Jerónimo.

- VS-BLC Valle superior bloque La Corrala. Se caracteriza por un relieve relativamente bajo, que se desprende de los lomos altos de la vertiente superior, con un desarrollo de colinas altas sobre espesos suelos derivados de la meteorización de esquistos y gneises.
- VS-BLCU Valle superior bloque La Culebra: Está conformado por lomos cortos de tendencia W-E, de tope agudo y escalonado, con vaguadas de flancos empinados y fondo estrecho que rematan hacia las cabeceras en escarpes semicirculares.
- VS-BMR Valle superior bloque Monteredondo: Se caracteriza desarrollo de lomos irregulares y bajos con topes estrechos, pero de muy baja inclinación longitudinal. donde se observa una topografía suave, ondulada e incluso colinada.
- VS-BO Valle superior bloque Oriental: Esta macrounidad es la de mayor extensión en el Valle Superior se extiende desde los 3 050 a los 1 650 msnm y está constituido predominantemente por lomos de diversa jerarquía cuyos topes en general son estrechos y agudos, con pendientes longitudinales suaves a moderadas. En la divisoria de aguas de las quebradas La Ayurá, La Doctora y La Miel presenta zonas de topografía suave, sobre esta misma divisoria de aguas, se observa un picacho que corresponde a un cerro aislado ubicado a media ladera, con pendiente y contra pendiente muy pronunciadas. y las partes inferiores de las laderas presenta superficies suaves.
- VS-BR Valle superior bloque Romeral: Como característica principal se tiene el desarrollo de lomos regionales de tendencia general W-E, de tope estrecho, agudo y frecuentemente escalonado; los flancos son laderas empinadas a escarpadas, largas y rectas con la deflexión sistemática de algunos de estos lomos en sentido lateral izquierdo.
- VS-BTPV Valle superior bloque Tablaza-Pueblo Viejo: Confirmado por superficies suaves de depositación con un grado moderado de incisión, donde aún se observan formas de abanico, cuyos ápices coinciden con las vaguadas del actual sistema de drenaje y en la parte alta de la ladera se presentan depósitos colgados con desarrollo de vertientes empinadas y cuyas superficies de depositación originales se presentan poco conservadas, dado el alto grado de incisión.
- VS-BVA Valle superior bloque Valeria Alta: Se caracteriza por lomos regionales de tendencia N-S, con un sistema de drenaje subparalelo, fuertemente incisado y con desarrollo de vertientes empinadas a escarpadas que rematan en las típicas formas semicirculares que marcan el frente de avance de un agresivo escarpe erosivo del río Aburrá.
- VS-FV Valle superior fondo de valle

Unidades Geomorfológicas: estas son las unidades geomorfológicas descritas para el municipio de Caldas (Figura 39), en el estudio de microzonificación sísmica (AMVA, 2006).

- Lomos (L): Cubren la mayor parte del área de estudio. Son filos alargados y estrechos con orientación hacia el eje fluvial principal (AMVA, 2006).
- Rasgos morfotectónicos (RMT): Son pequeños cuerpos que coinciden con zonas de rasgos tectónicos como lineamientos, fallas y contactos geológicos. Forman vertientes empinadas con laderas convexas moderadamente rugosas (AMVA, 2006).
- SBI - Superficies con Baja Incisión. Esta unidad corresponde a lomos alargados que se localizan cerca de zonas escarpadas.
- Colinas en suelo residual (CSR): Esta unidad se localiza cerca de los lomos, presenta formas redondeadas con topes planos a ligeramente convexos y de pendientes moderadas con grado medio de incisión (AMVA, 2006).
- Superficies Suaves en Depósitos Altamente Incisados (SSDAI). Son geoformas continuas de inclinación suave a moderada y modeladas sobre depósitos de vertiente del tipo flujos de lodos y/o escombros. Presentan un grado de incisión alto. Esta unidad se localiza en los municipios de Caldas, La Estrella, Envigado y Medellín.
- Picacho (P): Son cerros que se destacan en el paisaje, ubicados a diferentes alturas y con formas diferentes, sus pendientes son de moderadas a fuertes y localmente escarpadas (AMVA, 2006).
- Superficies suaves en depósitos moderadamente incisados (SSDMI): Son geoformas continuas de inclinación suave a moderada y modeladas sobre depósitos de vertiente del tipo flujos de lodos y/o escombros (AMVA, 2006).
- Llanura Aluvial (LLA): Esta unidad involucra el cauce y las riberas del río Aburrá y algunas de sus quebradas o tributarios principales. Es una forma continua, de pendientes suaves y topografía plana; contiene materiales producto de la sedimentación aportada por estas corrientes e incluye además algunos niveles de terrazas bajas (AMVA, 2006).
- Terraza Aluvial (TA): Son las zonas abandonadas por la migración del río Aburrá y sus corrientes principales; se presentan a modo de depósitos laterales alejados del cauce actual y en diferentes alturas, aunque son de topes planos.

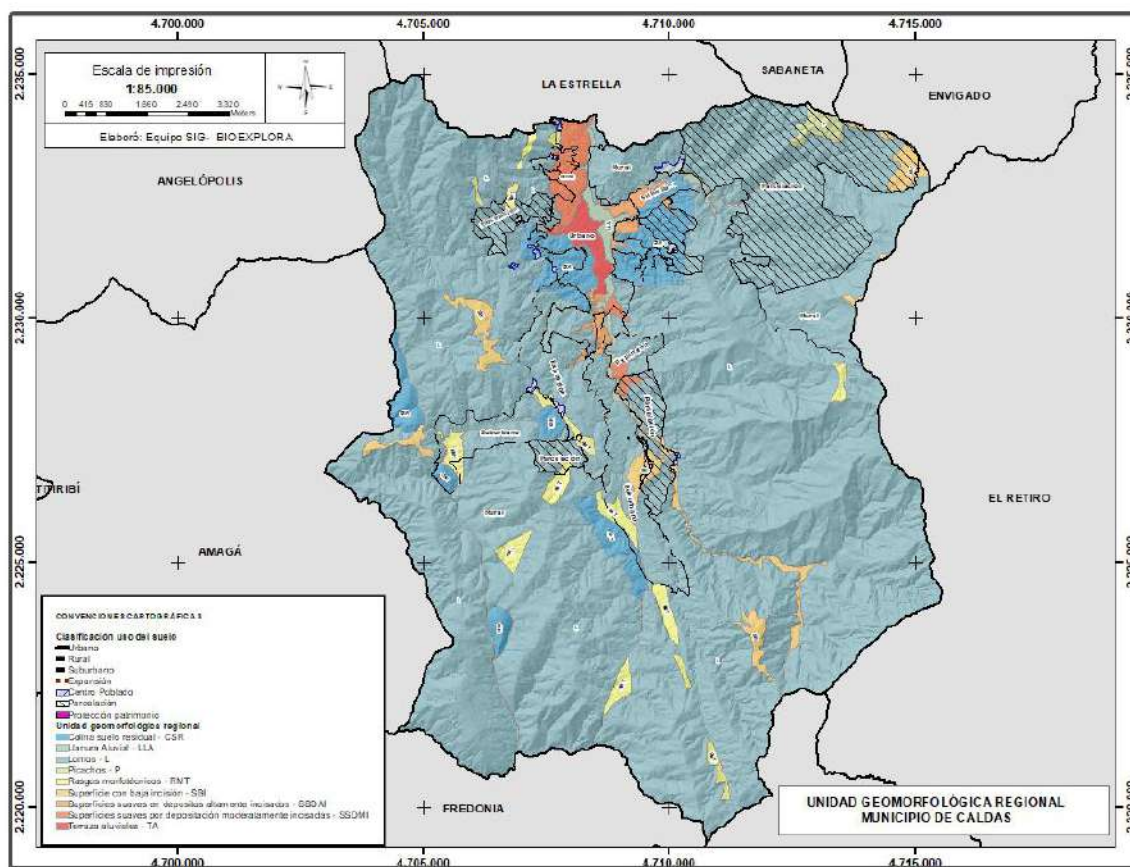


Figura 39. Mapa geomorfológico regional del municipio de Caldas.
Fuente: Microzonificación sísmica del valle de Aburrá AMVA (2006)

5.4 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La caracterización geomorfológica detallada se adelantó con base a los recorridos de campo, la interpretación de imágenes de satélite y el DEM, el cual tiene una resolución de 2m x 2m en una franja amplia a lo largo del río Aburrá, donde se incluye la zona urbana, y una resolución de 5m x 5m en el resto del área del municipio, permitiendo que la interpretación se adelantara a los niveles de escala requeridos para cada zona.

Como se mencionó anteriormente, el municipio de Caldas se encuentra en el segmento Valle Superior, este segmento se divide en macrounidades o bloques. Las unidades geomorfológicas descritas en este capítulo se basan en las unidades presentadas en el estudio de Microzonificación Sísmica (AMVA, 2006) ajustadas con los procedimientos mencionados previamente y a la guía metodológica para unidades y subunidades geomorfológicas del SGC.

5.4.1 GEOMORFOLOGÍA EN SUELO URBANO

En la Figura 40, se muestra la geomorfología de la zona urbana del municipio de Caldas, como se mencionó anteriormente esta se clasificó con la terminología de la Microzonificación Sísmica del Valle de Aburrá (AMVA, 2006). En esta zona predominan las geoformas de ambientes denudacional y fluvial, representados principalmente por lomos denudados y las geoformas de origen aluvial producto de la dinámica fluvial del Río Aburrá respectivamente, localmente, se presentan geoformas antrópicas como resultado de la intervención humana.

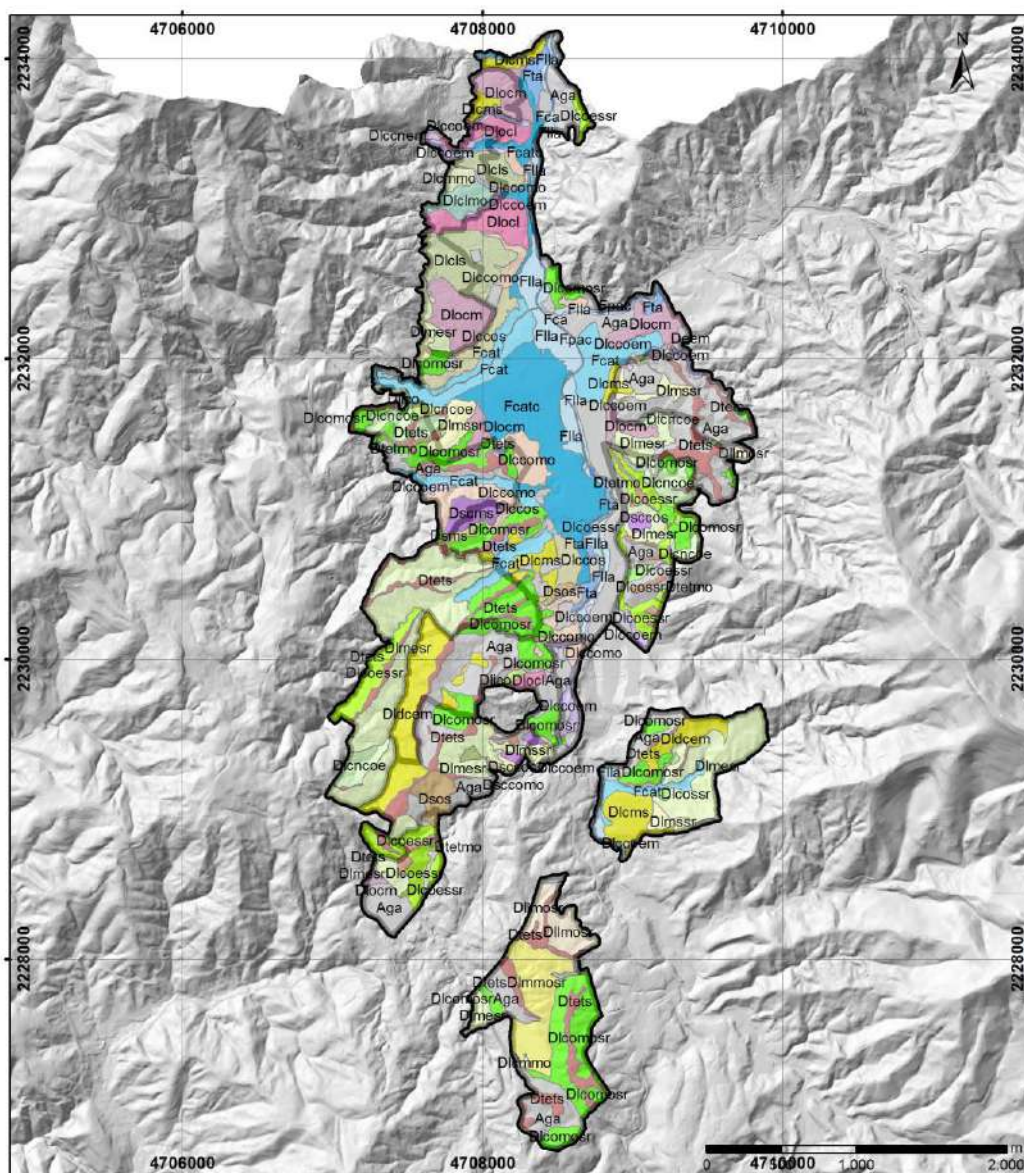




Figura 40. Mapa de unidades geomorfológicas para el suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.1 Cauce activo (Fca)

Superficie de agua, uniforme, con pendientes suaves, la cual se encuentra presente en el suelo urbano, cubriendo aproximadamente 0,56% del área. Se caracteriza por ser un canal irregular excavado por la erosión del Río Aburrá, el cauce es de tipo meándrico, debido a cambios en la dirección de flujo, en algunos sectores está intervenido por la actividad antrópica de la zona.

Tabla 25. Cauce aluvial

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Cauce Aluvial	Cauce de tipo meándrico	A lo largo del cauce del Río Aburrá cruzando el municipio de Sur a Norte	No se evidencian procesos morfodinámicos en esta geoforma

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.2 Geoforma Antrópica (Aga)

Superficies artificiales construidas con material de relleno para acondicionar terrenos para desarrollos industriales, generando zonas planas amplias y taludes en sus partes superiores por cortes y bajas por llenos. Los depósitos desarrollados de forma técnica están conformados por gravas, bloques y arena bien compactados y con obras para manejo de aguas y estabilidad, sin embargo, se presentan llenos no técnicos con depósitos de todo tipo de materiales como de escombros y desechos de construcción, sin tratamientos (Figura 41).

Tabla 26. Planos y campos de llenos antrópicos

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Planos y campos de llenos antrópicos	Montículos de material antrópico acondicionado principalmente para su ocupación con bodegas, o depósito de escombros para la generación de zonas planas amplias	Se localiza a lo largo de la rivera del Río Aburrá, y los principales ejes viales del municipio. Algunos alcanzan hasta 6 hectáreas de extensión	Deslizamientos internos de diverso tamaño, uno taponó el río Aburrá en el primer semestre del 2021

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)



Figura 41. Geoforma antrópica, lleno de la escombrera Los Lagos.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.3 Llanura aluvial (Flla)

Esta unidad involucra las riberas del río Aburrá y de algunos tributarios como las quebradas La Rápida y La Miel. Es una geoforma discontinua, de pendientes suaves y topografía plana; contiene materiales de tamaño fino producto de la sedimentación aportada por estas corrientes.

Tabla 27. Llanura aluvial

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Llanura aluvial	Llanura aluvial larga, recta plana, con una fuerte intervención antrópica	Se localiza en las zonas bajas del municipio, en confluencias con el río Aburrá, se asocia principalmente a depósitos del río y de algunas de sus quebradas tributarias como La Miel y La Rápida	Se evidencian algunos procesos de socavación lateral por la corriente del río principalmente

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)



Figura 42. Llanura aluvial en la quebrada La Miel y el río Aburrá.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.4 Planicie aluvial confinada (Fpac)

Es una geoforma discontinua, de pendientes suaves y topografía plana; contiene materiales de tamaño fino producto de la sedimentación aportada por estas corrientes, es alargada y estrecha se desarrolla entre un cauce que la origina y una geoforma de mayor altura.

Tabla 28. Llanura aluvial

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Llanura aluvial	Llanura aluvial larga, recta plana, estrecha fuerte intervención antrópica	Se localiza en las zonas bajas del municipio, a lo largo el margen derecho de la quebrada La Miel.	Se evidencian algunos procesos de socavación lateral por la quebrada

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.5 Conos aluviotorrenciales coalescentes (Fcatc)

Superficies alargadas de morfología suave, y ondulada, con pendientes suaves hacia el cauce del río Aburrá, modelada a partir de sedimentos de origen aluviotorrencial, que se presentan a la desembocadura de las corrientes al valle, donde los cuerpos de diferentes quebradas se han unido dando lugar a una superficie continua de forma irregular.

Tabla 29. Conos aluviotorrenciales coalescentes

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Conos aluviotorrenciales coalescentes	Superficies de pendiente suave con inclinación hacia el cauce del río, poca incisión	Se localizan a lo a lo largo de las desembocaduras de las quebradas principales al río Aburrá, sobre su margen izquierdo como son, La Valeria, La Raya y La Chuscala, entre otras	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.6 Cono aluviotorrencial (Fcat)

Superficies alargadas de morfología suave, y ondulada, con pendientes suaves hacia el cauce del río Aburrá, modelada a partir de sedimentos de origen aluviotorrencial, que se presentan a la desembocadura de las corrientes al valle, que se presenta aislado respecto a otros cuerpos de origen similar.

Tabla 30. Cono aluviotorrencial

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Cono aluviotorrencial	Superficies de pendiente suave con inclinación hacia el cauce del río, poca incisión	Se localizan a lo a lo largo de las desembocaduras de las quebradas principales al río Aburrá, sobre su margen izquierdo como son, La Valeria, La Raya y La Chuscala, entre otras	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.7 Terraza Aluvial (Fta)

Superficies alargadas de morfología suave con pendientes baja hacia el cauce del río Aburrá, modelada a partir de sedimentos de origen aluvial, que formaron acumulaciones de materiales que están elevadas de los cauces que las originaron.

Tabla 31. Terraza aluvial

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Terraza aluvial	Superficies de pendiente baja con inclinación hacia el cauce del río, poca incisión	Se encuentran como cuerpos alargados sobre ambos márgenes del río Aburrá en sectores del Pombal y La inmaculada	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.8 Escarpe de erosión menor (Deem)

Son laderas muy cortas que representan cambios abruptos locales en el nivel del terreno con pendiente muy empinada a escarpada, generalmente originados por la acción fluvial de socavación lateral o en algunos casos, por procesos remontantes sobre las laderas.

Tabla 32. Escarpe de erosión menor

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Escarpe de erosión menor	Cambios abruptos en la pendiente, con pendientes empinadas a escarpadas	En la zona de expansión 303	No presenta procesos morfodinámicos.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.9 Ladera corta escarpada en suelo residual (Dlcoessr)

Superficies de morfología muy inclinada exhibiendo pendientes escarpadas, es decir mayores a los 45° de inclinación, con longitudes menores a los 200 metros. Generalmente de aspecto convexo y rugoso, con inclinaciones entre 30°-45°. Esta geoforma es producto de procesos denudativos la incisión generada por la escorrentía superficial y por las quebradas adyacentes.

Tabla 33. Ladera corta escarpada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera corta escarpada	vertientes empinadas, convexas, rugosas, con inclinaciones entre >45°	En zonas de expansión y en la Corrala. .	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.10 Ladera media empinada en suelo residual (Dlmesr)

Superficies inclinadas, las cuales varían entre los 200 y 400 metros de longitud, con pendientes moderadas a empinadas, convexas, rugosas a moderadamente rugosas, con inclinaciones en promedio entre los 30° y 45°. El grado de evolución de estas geoformas está asociado a la fuerte incisión por parte de las quebradas adyacentes, lavando los suelos residuales.

Tabla 34. Ladera media empinada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera media empinada	Superficie de morfología empinada, convexas, rugosas a moderadamente rugosas, con inclinaciones entre los 30° y 45°.	Se localizan en La Corrala y zonas de expansión	Se observaron procesos de remoción en masa de tipo rotacional activos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.11 Ladera media moderada en suelo residual (Dlmmosr)

Superficies inclinadas, las cuales varían entre los 200 y 400 metros de longitud, con pendientes moderadas a empinadas, convexas varían entre los 15° y 30°. Están asociados a las rocas del miembro Volcánico (KvQG).

Tabla 35. Ladera facetada media empinada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera facetada media empinada	Laderas facetadas con longitud entre 200 y 400 m, pendientes entre 30° y 45°, índice de rugosidad alto	Zona expansión	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

5.4.1.12 Ladera larga moderada en suelo residual (DlImosr)

Se trata de vertientes con longitudes mayores a los 400 metros e inclinaciones que predominan en el rango de los 15° a 30° de inclinación. Se les encuentra en la parte alta de la cuenca de la quebrada La Miel, desarrolladas en rocas de los Esquistos de Caldas. Los procesos denudativos se dan principalmente por la acción de aguas de escorrentía sobre suelos residuales de la roca y la incisión de quebradas adyacentes.

Tabla 36. Ladera larga moderada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera larga moderada	Superficie de morfología moderada, cóncavas, rugosas a moderadamente	Se localizan en suelo de expansión	No presenta procesos morfodinámicos

	rugosas, con inclinaciones entre los 15° a 30°.		

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.13 Ladera cóncava corta moderada (Dlcncomo)

Ladera de aspecto cóncavo, la cual presenta pendientes entre los 15° y 30° de inclinación, con rugosidad casi uniforme a moderadamente rugosa e índice de curvatura cóncavo. Se asocia a la unidad geológica Miembro Volcánico (KvQG). Se le encuentra en la vereda El Raizal.

Tabla 37. Ladera cóncava corta moderada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera cóncava corta moderada	Laderas menores a 200 m de longitud, moderadamente rugosa, y pendientes entre 15° y 30°	La Chuscala	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.14 Ladera cóncava corta empinada (Dlcncoe)

Ladera de aspecto cóncavo, la cual presenta pendientes entre los 30° y 45° de inclinación, con índice de curvatura cóncavo y muy rugosas. Asociadas a la unidad geológica del Miembro Volcánico (KvQG), y los Esquistos de Caldas (PZeC) y las Anfibolitas del Alto de minas (PZaAM). Ubicadas en la vereda La Chuscala y Zonas de expansión.

Tabla 38. Ladera cóncava corta empinada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera cóncava corta empinada	Laderas menores a 200 m de longitud, uniforme a moderadamente rugosa, y pendientes entre 30° y 45°	vereda La Chuscala y Zonas de expansión.	Se encuentran procesos de tipo traslacional y rotacional activos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.15 Ladera corta suave en suelo residual (Dlcossr)

Son superficies con longitud menor a 200 metros, con pendientes principalmente entre el rango de 5° a 15°, casi uniformes a moderadamente rugosas, convexas a planas generalmente ubicadas en zonas de piedemonte o zonas intermedias de las vertientes, desarrolladas en suelo residual.

Tabla Ladera coluvial corta suave en suelo residual

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS

Ladera corta suave en suelo residual	Ladera coluvial de aspecto casi uniforme a moderadamente rugosas, convexas y pendientes suaves	Zonas de expansión	No se presentan procesos activos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.16 Ladera corta moderada en suelo residual (Dlcomosr)

Laderas coluviales de longitud menor a 200 metros, pendientes entre los 15° y 30°, de aspecto moderadamente rugoso. Se presentan algunos movimientos de remoción en masa de tipo traslacional y rotacional. Se les encuentra principalmente en el suroccidente de la zona urbana.

Tabla 39. Ladera coluvial corta moderada en suelo residual

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera corta moderada en suelo residual	Laderas coluviales moderadamente rugosas y pendientes moderadas	suroccidente de la zona urbana	Se presentan procesos activos de remoción en masa

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.17 Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcoemsr)

Laderas coluviales de longitud menor a 200 metros, pendientes entre los 30° y 45°, de aspecto rugoso. Asociadas las rocas del Miembro Volcánico (KvQG). Se les encuentra principalmente en las zonas suroccidentales del suelo urbano. En el nororiente sur de la zona urbana del suelo urbano.

Tabla 40. Ladera coluvial corta empinada en suelo residual

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera corta empinada en suelo residual	Laderas moderadamente rugosas y pendientes empinadas (30° - 45°)	Vertientes occidentales y suroccidentales del río Aburrá	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.18 Ladera coluvial corta moderada (Dlccomo)

Ladera de longitud menor a 200 metros con pendientes predominantemente moderadas, es decir, entre los 15° y 30° de inclinación, Estos elementos geomorfológicos se encuentran predominantemente en las vertientes occidentales del río Aburrá.

Tabla 41. Ladera coluvial corta moderada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS

Ladera corta moderada	Laderas con pendientes moderadas, de extensión longitudinal corta	Se presenta principalmente en las vertientes occidentales del río Aburrá, En zona de reexpansión y en LA Chuscala, Barrios Unidos, la Locería, el Socorro	Se identificaron algunos procesos morfodinámicos asociados, activos principalmente de tipo traslacional.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.19 Ladera coluvial cóncava empinada (Dlccnem)

Este tipo de laderas se distinguen por su curvatura cóncava por presentar longitudes cortas, menores de 200 metros y pendientes que son principalmente empinadas, es decir, en el rango que va de los 30° a 45° de inclinación y se encuentran limitados por drenajes subparalelos. En general, se encuentran dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general N-S de la región.

Tabla 42. Ladera coluvial cóncava empinada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera corta empinada	Longitud corta, pendientes entre 30° y 45°.	Se ubican en preferencialmente en las vertientes orientales del Río Aburrá, en zonas de expansión y en el Porvenir y El Cano.	Se identifican procesos de remoción en masa activos traslacionales, y menor medida de tipo rotacional.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.20 Ladera coluvial media moderada (Dlcmmo)

Laderas coluviales de longitud entre los 200 y 400 metros, pendientes entre los 15° y 30°, de aspecto moderadamente rugoso a rugoso, con índice de curvatura de aspecto convexo, predominantemente. Asociadas principalmente a la

Tabla 43. Ladera coluvial media moderada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera coluvial media moderada	Laderas coluviales moderadamente rugoso a rugoso y pendientes entre 15° y 30°.	Zonas expansión al sur de la cabecera	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.21 Ladera coluvial media suave (Dlcms)

Laderas coluviales de longitud entre los 200 y 400 metros, pendientes entre los 15° y 30°, de aspecto rugoso y convexo. Presentan drenaje paralelo a subparalelo. Se le encuentra en la vereda La Salada Parte Alta y la Chuscala.

Tabla 44. Ladera coluvial media empinada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera coluvial media empinada	Laderas coluviales de aspecto rugoso, convexas, y pendientes entre 30° y 45°	Zonas de expansión Mandalay, La Mansión, El Cano, La Raya Norte	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.22 Ladera coluvial larga moderada (Dlclmo)

Laderas coluviales de longitud mayor a los 400 metros, pendientes entre los 15° y 30°, con índices de curvatura variable y moderadamente rugosas.

Tabla 45. Ladera coluvial larga moderada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera coluvial larga moderada	Laderas coluviales de longitud larga, curvatura variable y moderadamente rugosas y pendientes entre 15° y 30°	Zonas de expansión	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.23 Superficie corta suave con baja incisión (Dscosbi)

Superficies que se caracterizan por tener inclinaciones que varían entre los 5° y 15°, de extensión longitudinal menor a los 200 metros, tienen rugosidad uniforme a casi uniforme y presentan índice de curvatura plano. Se les pueden encontrar en la zona sur del casco urbano.

Tabla 46. Superficie corta suave con baja incisión

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Superficie corta suave con baja incisión	Superficie de longitud menor a 200 m, pendientes de 5° a 15°, índice de curvatura plano, rugosidad uniforme.	Zona de expansión	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.24 Superficie ondulada suave (Dsos)

Superficie de morfología continua con presencia de ondulaciones, presenta pendientes suaves, del orden de 5° a 15° y una rugosidad uniforme a casi uniforme, con índice de curvatura plano a convexo. Esta unidad no ha sido afectada por grandes procesos denudativos, siendo los principales agentes de erosión las aguas de escorrentía y la incisión por parte de las quebradas circundantes.). Se les puede hallar al suroccidente del municipio, en las veredas La Quebra y La Salada Parte Alta.

Tabla 47. Superficie ondulada suave

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Superficie ondulada suave	Superficie de morfología ondulada, pendientes de 5° a 15°. Rugosidad uniforme a casi uniforme, con índice de curvatura plano a convexo	Zona de expansión	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.25 Superficie media suave (Dsms)

Superficies que se caracterizan por tener inclinaciones que varían entre los 5° y 15°, de extensión longitudinal entre los 200 y 400 metros, tienen rugosidad uniforme a casi uniforme y presentan índice de curvatura plano. Se les pueden encontrar en las veredas El Raizal y La Primavera.

Tabla 48. Superficie media suave

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Superficie media suave	Superficie de longitud entre 200 y 400 m, pendientes de 5° a 15°, índice de curvatura plano, rugosidad uniforme.	Zona Expansión,	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.26 Superficie coluvial corta suave (Dscos)

Superficies que se caracterizan por tener inclinaciones que varían entre los 5° y 15°, longitud menor a los 200 metros, tienen rugosidad uniforme a casi uniforme y presentan índice de curvatura plano, se desarrollan sobre depósitos de flujos de lodo y escombros.

Tabla 49. Superficie corta suave

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Superficie corta suave	Superficie de longitud menor a 200 m, pendientes de 5° a 15°, índice de curvatura plano, rugosidad uniforme.	La Primavera	No se observaron procesos de remoción en masa activos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.27 Topes estrechos suaves (Dtets)

Topes de aspecto suavemente ondulado, con pendientes que van de los 5° a 15°, presentan índice de curvatura plano, predominantemente y rugosidad uniforme a casi uniforme. Se desarrollan principalmente sobre los suelos residuales de las rocas pertenecientes al Miembro volcánico (KvQG) y en menor medida sobre las Anfibolitas del Alto de Minas (PZaAM).

Tabla 50. Topes estrechos suaves

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Topes estrechos suaves	Superficie de morfología suave, rugosidad uniforme a casi uniforme e índice de curvatura plano. Con inclinaciones que van entre 5-15°.	Principalmente en la parte suroccidental en zonas de expansión y Mandalay.	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.28 Topes estrechos moderados (Dtetmo)

Topes de aspecto ondulado, de amplitud menor a los 50 metros, principalmente con pendientes que van de los 15° a 30°, presentan índice de curvatura plano a convexo, predominantemente y rugosidad uniforme a casi uniforme. Se desarrollan principalmente sobre los suelos residuales de las rocas pertenecientes al Miembro volcánico (KvQG), las Anfibolitas del Alto de Minas (PZaAM) y los Esquistos de Cajamarca (TReC)..

Tabla 51. Topes estrechos moderados

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Topes estrechos moderados	Superficie de morfología suave, rugosidad uniforme a casi uniforme e índice de curvatura plano, con inclinaciones que van entre 5-15°.	Principalmente en la parte suroccidental en zonas de expansión	No presenta procesos morfodinámicos en

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.29 Lóbulo coluvial medio (Dlocm)

Lóbulo coluvial que presenta una extensión longitudinal que varía entre los 200 y 400 metros, con valores de pendientes suaves a moderadas. Estos lóbulos presentan como tendencia general un índice de curvatura plano a convexo, así como valores de rugosidad que corresponden a la categoría uniforme a casi uniforme, con variaciones locales de rugosidad alta.

Tabla 52. Lóbulo coluvial medio

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lóbulo coluvial medio	Forma lobular, extensión longitudinal que varía entre los 200 y 400 metros, pendientes suaves a moderadas, índice de curvatura plano a convexo y rugosidad uniforme a casi uniforme	Sobre toda la zona de estudio, en suelos de expansión, en Andalucía, La Planta, Villa Capri, Locería, San Judas	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.30 Lóbulo coluvial largo (Dlocl)

Elemento geomorfológico con morfología lobular, extensión longitudinal mayor a los 400 metros, valores de pendientes suaves a moderadas. Estos lóbulos presentan como tendencia general un índice de curvatura plano, así como valores de rugosidad que corresponden a la categoría uniforme a casi uniforme. Se les encuentra en la zona donde se asientan los barrios La Aguacatala, El Cano, El Pombal, Bellavista y Buena Esperanza y la vereda La Miel.

Tabla 53. Lóbulo coluvial largo

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lóbulo coluvial largo	Forma lobular, extensión longitudinal mayor a 400 metros, pendientes suaves a moderadas, índice de curvatura plano a convexo y rugosidad uniforme a casi uniforme	Se distribuyen en los barrios La Aguacatala, El Cano, El Pombal, Bellavista y Buena Esperanza y la vereda La Miel	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.31 Ladera coluvial corta empinada (Dlccoem)

Laderas coluviales de longitud menor a 200 metros, pendientes entre los 30° y 45°, de aspecto rugoso. Asociadas a depósitos de flujos de lodos y escombros. Se les encuentra principalmente en las zonas suroccidentales del suelo urbano. En el nororiente sur de la zona urbana del suelo urbano.

Tabla 54. Ladera coluvial corta empinada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera coluvial corta empinada	Laderas moderadamente rugosas y pendientes empinadas (30° - 45°)	Vertientes occidentales y suroccidentales en zonas d expansión.	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.32 Ladera coluvial corta moderada (Dlccomo)

Laderas coluviales de longitud menor a 200 metros, pendientes entre los 15° y 30°, de aspecto moderadamente rugoso, desarrolladas sobre depósitos de flujos de lodo y escombros y depósitos de vertiente. Se encuentran principalmente en el suroccidente de la zona urbana,

Tabla 55. Ladera coluvial corta moderada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera coluvial corta moderada	Laderas coluviales moderadamente rugosas y pendientes moderadas	suroccidente de la zona urbana, zonas expansión, suelo industrial sur.	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.33 Ladera coluvial corta suave (Dlccos)

Laderas coluviales de longitudes menores a 200 metros, con pendientes principalmente entre el rango de 5° a 15°, casi uniformes a moderadamente rugosas, convexas a planas generalmente ubicadas en zonas de piedemonte o zonas intermedias de las vertientes, desarrollada sobre depósitos de vertiente y de flujos.

Tabla Ladera coluvial corta suave

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera coluvial corta suave	Ladera coluvial de aspecto casi uniforme a moderadamente rugosas, convexas y pendientes suaves	Zonas de expansión, Zona Industrial, los Cerezos, Centenario, Las Margaritas	No se presentan procesos activos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.34 Ladera coluvial larga suave (Dlcls)

Laderas coluviales de longitud mayor a los 400 metros, pendientes entre los 5° y 15°, con índices de curvatura plano y rugosidad uniforme a casi uniforme. Asociadas principalmente a la unidad geomorfológica denominada Superficies suaves en depósitos moderadamente incisados (SSDMI) y a la unidad geológica denominada Depósitos de flujos de escombros y/o lodos. Se les encuentra ubicados en las márgenes occidentales del Río Aburrá, en los barrios La Aguacatala, El Cano y el Pombal y La Salle y la zona de expansión contigua a estos.

Tabla 56. Ladera coluvial larga suave

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera coluvial larga suave	Laderas coluviales de longitud larga, rugosidad uniforme, curvatura plana y pendientes entre 5° y 15°	en los barrios La Aguacatala, El Cano y el Pombal y La Salle y la zona de expansión contigua a estos.	Presenta procesos de remoción en masa, rotaciones y traslacionales activos e inactivos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.35 Ladera coluvial media suave (Dlcms)

Laderas de longitud entre los 200 y 400 metros, pendientes entre los 5° y 15°, de aspecto uniforme a casi uniforme e índice de curvatura de aspecto plana, predominantemente. Desarrolladas sobre depósitos de vertiente y distribuidas en múltiples zonas del suelo urbano.

Tabla 57. Ladera coluvial media suave

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera coluvial media suave	Laderas coluviales uniformes a casi uniformes y pendientes entre 5° y 15°	Mandalay, Zonas de expansión	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.36 Ladera denudacional corta empinada (Dldcem)

Ladera denudacional con vertientes cortas, del orden de 200 metros de longitud o menores. Estas vertientes presentan pendientes de tipo empinado, es decir, en el rango de 30° a 45° de inclinación. Presenta un índice de curvatura predominantemente convexo con presencia de altos índices de rugosidad en el terreno. El patrón de drenaje es de espina de pescado. Este elemento geomorfológico se asocia con las rocas del Miembro Volcánico (KvQG) y los Esquistos de Caldas PZeC y con la unidad geomorfológica de Lomos (L). Se les encuentra en las veredas de La Primavera y La Chuscala.

Tabla 58. Ladera denudacional corta empinada

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera denudacional corta empinada	Laderas con longitud menor a 200 m y pendientes de 30° a 45°. Índice de curvatura convexo y muy rugosas	Zonas de expansión	Se encuentran asociadas a estos procesos de remoción en masa activos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.1.37 Ladera irregular corta (Dlnce)

Laderas cortas, del orden de 200 metros de longitud o menores, pendientes entre rango de 30° a 45° de inclinación. Presenta un índice de curvatura predominantemente variable de cóncavo y convexo, con presencia de altos índices de rugosidad en el terreno. Este elemento geomorfológico se asocia con las rocas del Miembro Volcánico (KvQG)

Tabla 59. Ladera denudacional corta

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Ladera denudacional corta empinada	Laderas con longitud menor a 200 m y pendientes de 30° a 45°. Índice de curvatura convexo y muy rugosas	La Planta, Villa Capri, LA Chuscala	No presenta procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 60. Áreas de las unidades geomorfológicas en suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.

Zona Urbana y de Expansión		
Elemento Geomorfológico	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Cauce activo	5,06	0,57%
Cono aluviotorrencial	47,38	5,31%
Conos aluviotorrenciales coalescentes	60,63	6,80%
Escarpe de erosión menor	0,39	0,04%
Geoforma antrópica	59,33	6,65%
Ladera coluvial cóncava empinada	0,73	0,08%
Ladera coluvial corta empinada	15,70	1,76%
Ladera coluvial corta moderada	28,12	3,15%
Ladera coluvial corta suave	13,60	1,53%
Ladera coluvial larga moderada	6,26	0,70%

Zona Urbana y de Expansión		
Elemento Geomorfológico	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Ladera coluvial larga suave	25,48	2,86%
Ladera coluvial media moderada	2,71	0,30%
Ladera coluvial media suave	22,11	2,48%
Ladera cóncava corta empinada	20,17	2,26%
Ladera cóncava corta moderada	1,90	0,21%
Ladera corta empinada en suelo residual	100,80	11,30%
Ladera corta escarpada en suelo residual	32,48	3,64%
Ladera corta moderada en suelo residual	83,40	9,35%
Ladera corta suave en suelo residual	2,71	0,30%
Ladera denudacional corta empinada	31,72	3,56%
Ladera irregular corta	2,67	0,30%
Ladera larga moderada en suelo residual	11,19	1,25%
Ladera media empinada en suelo residual	103,59	11,62%
Ladera media moderada en suelo residual	21,03	2,36%
Ladera media suave en suelo residual	18,39	2,06%
Llanura aluvial	31,33	3,51%
Lóbulo coluvial largo	19,17	2,15%
Lóbulo coluvial medio	38,23	4,29%
Planicie aluvial confinada	1,89	0,21%
Superficie coluvial corta moderada	0,07	0,01%
Superficie coluvial corta suave	3,13	0,35%
Superficie coluvial media suave	6,32	0,71%
Superficie corta suave con baja incisión	0,89	0,10%
Superficie media suave	1,51	0,17%
Superficie ondulada suave	7,56	0,85%
Terraza aluvial	7,73	0,87%
Topes estrechos moderados	7,90	0,89%
Topes estrechos suaves	48,49	5,44%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

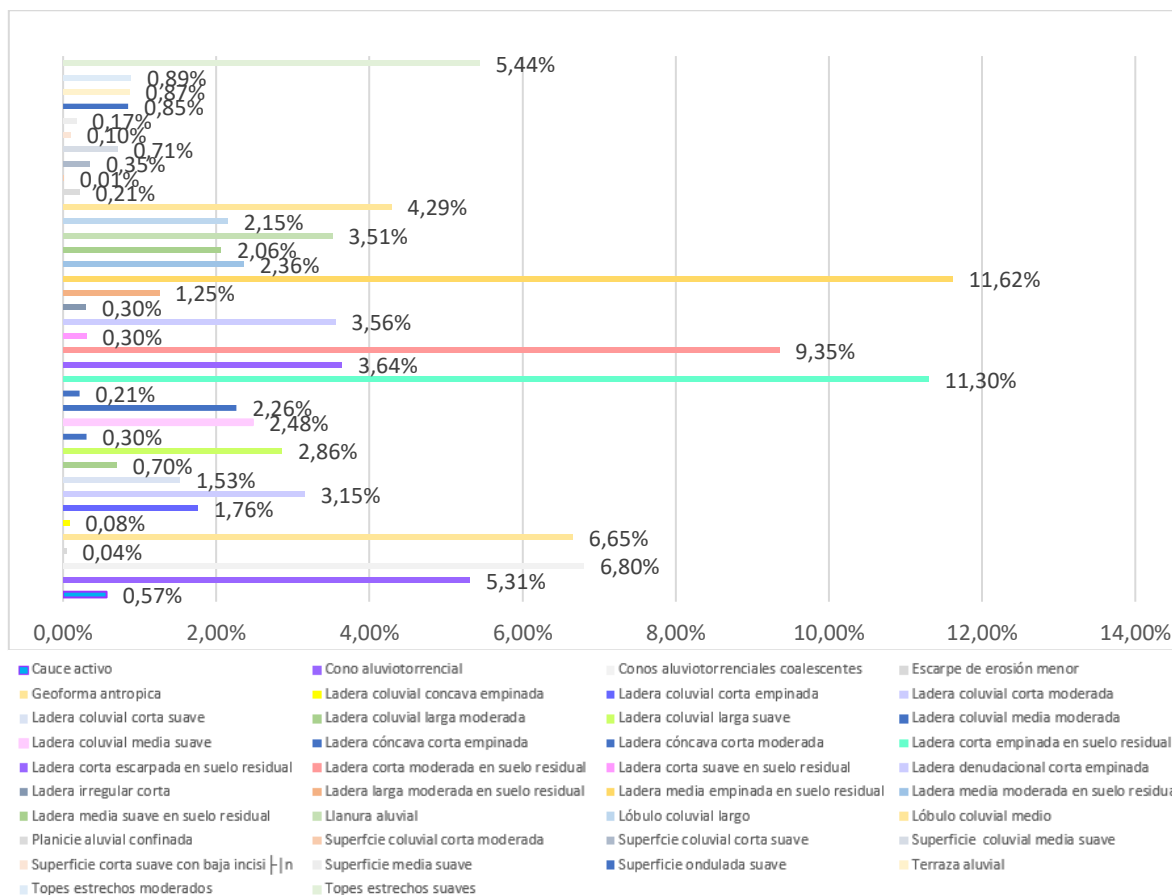
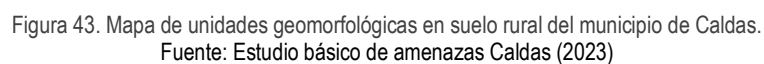


Gráfico 14. Distribución de unidades geomorfológicas en suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2 GEOMORFOLOGÍA EN SUELO RURAL

En la Figura 43, se muestra las unidades geomorfológicas del municipio de Caldas en suelo rural; para la delimitación de estas unidades se utilizó el estudio de Microzonificación Sísmica (AMVA, 2006), las definiciones del SGC (2012), el Modelo de Elevación Digital y el reconocimiento de las geofomas en los recorridos de campo.



5.4.2.1 Cauce aluvial (Fca)

Canal irregular excavado por la erosión del Río Aburrá, el cauce es rectilíneo en la parte alta y pasa a ser tipo meándrico, cruzando el suelo rural de sur a norte. Esta limitado en su parte alta por el alto de San Miguel, por rocas metamórficas de diferente grado de metamorfismo y en las partes bajas por materiales asociados a su dinámica aluvial.

Tabla 61. Cauce aluvial

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Cauce Aluvial	Cauce de tipo meándrico	A lo largo del cauce del Río Aburrá cruzando el municipio de Sur a Norte	No se evidencian procesos morfodinámicos en esta geoforma

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.2 Colina residual (Dcr)

Prominencia topográfica de unos 25m de altura con respecto al nivel base local, sobresaliendo con respecto a las unidades aluviales aledañas. Su origen está relacionado con procesos tectónicos y la acción conjunta de periodos de denudación y meteorización, se distinguen por el desarrollo de una red de drenaje con alto grado de disección en forma de V.

Tabla 62. Colina residual

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Colina residual	Geoforma alomada de unos 25m de altura con respecto al nivel base, sobresaliendo de las unidades adyacentes	Se localiza en la vereda La Clara	No se evidencian procesos morfodinámicos activos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.3 Cono de flujo de lodos y escombros (Dfles)

Estructuras en forma de cono o lóbulo, localmente aterrizados de longitud variable de corta a muy larga, muy disectadas, que se presentan siguiendo localmente los drenajes fluviales, y su origen se asocia a transporte de materiales producto de la saturación del suelo. Estas unidades presentan una rugosidad uniforme y pendiente que varía entre 5-30°. Se encuentran a lo largo de toda la zona rural, en especial en las veredas Sinifaná y La Miel y en las desembocaduras de las quebradas a lo largo del río Aburrá. Los depósitos están conformados por una mezcla de materiales de tamaño fino (matriz) y grueso (bloques).

Tabla 63. Conos de flujos de lodo y escombros

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Conos de flujo de lodos y escombros	Conos de flujos de lodo y escombros, largos a muy largos, convexos, de pendientes suaves a ligeramente inclinadas. Moderadamente incisados	En la transición de las vertientes en sus partes altas hasta el fondo del valle	Se identifican procesos de socavación lateral de cauces

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.4 Cono o lóbulo de deslizamiento (Dclod)

Superficies en forma de lóbulos de morfología alomada baja, de longitud muy corta a corta, localmente escalonados y abiertos en su parte distal. Presentan una rugosidad irregular con vertientes suaves a moderadas. Se ubican principalmente en la parte media y baja de las vertientes en la zona sur del suelo rural y su origen es relacionado a la acumulación de tierra y bloques, producto del desprendimiento del material en la parte alta como resultado de la saturación del suelo.

Tabla 64. Cono o lóbulo de deslizamiento

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Cono o lóbulo de deslizamiento	Conos de deslizamiento con longitudes muy cortas a cortas, con morfología plana a levemente inclinada. Moderadamente incisados	En la parte sur del suelo rural, principalmente en las veredas Sinifaná, Mani Del Cardal, La Clara, El 60 y Salda parte baja y alta. Esta unidad predomina en la parte media y baja de las vertientes	No se distinguen procesos de remoción en masa

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.5 Escarpe de erosión menor (Deeme)

Ladera abrupta de longitud media a larga, con forma convexa y eventualmente recta, con vertientes escarpadas a muy escarpadas, originado por fuertes procesos de erosión fluvial y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje.

Tabla 65. Escarpe de erosión menor

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Escarpe de erosión menor	Escarpe de longitud media a larga, convexa, con pendientes escarpadas. Laderas fuertemente incisadas	Se localiza en las veredas La Miel en su parte alta, La Valeria y el Cano	Se identifican procesos de remoción en masa

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.6 Espolón bajo de longitud media (Sesbm)

Estructura de morfología alomada, con una longitud del eje principal variable y una altura con respecto al drenaje de menos de 200m. Se encuentra dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general N-S de la región, desarrollados sobre rocas ígneas volcánicas y metamórficas que han sufrido procesos fuertes de meteorización. Están limitados por drenajes paralelos a subparalelos. Presentan laderas de longitudes variables, con pendientes que van desde suaves a empinadas dependiendo del grado de incisión.

Tabla 66. Espolón bajo de longitud media

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Espolón bajo de longitud media	Morfología alomada, irregular, cóncava a convexa, de pendientes empinadas a suaves. Fuertemente incisados	Se ubican en las veredas Primavera, La Corrala, Salinas, la Chuscala, Mani del Cardal y la Salada	Se identifican procesos de remoción en masa.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.7 Espolón moderado de longitud media (Sesmm)

Estructura de morfología alomada, con una longitud del eje principal de aproximadamente 700m, presenta una disposición perpendicular a la tendencia estructural general N-S de la región, desarrollado sobre rocas metamórficas altamente meteorizadas y limitados por drenajes paralelos a subparalelos. Tienen laderas de longitudes variables, con pendientes muy inclinadas a muy abruptas, producto de intensos procesos denudativos.

Tabla 67. Espolón moderado de longitud media

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Espolón moderado de longitud media	Morfología alomada, irregular, cóncava a convexa, de pendientes muy inclinadas a abruptas. Fuertemente incisados	Localizados en la parte sureste del municipio, en la vereda El 60	Se identifican procesos de remoción en masa

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.8 Espolones estructurales (Spe)

Esta unidad presenta una morfología alomada, con topes estrechos, de laderas longitudinales cortas. Tiene vertientes moderadas y empinadas, de forma cóncava y recta, pendiente con rangos entre 15-45°. Es una zona levemente incisada, se presentan depósitos de deslizamientos sobre esta geoforma y algunas cicatrices de procesos inactivos.

Tabla 68. Espolones estructurales

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Espolones estructurales	Espolón de morfología alomada, de laderas cortas, cóncavas, con vertientes moderadas y empinadas, y levemente incisadas	Margen derecha del río Aburrá, zona alta de la vereda La Clara	Se identifican procesos de movimientos en masa activos e inactivos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.9 Geoforma Antrópica (GAn)

Superficies artificiales construidas con material de relleno para acondicionar terrenos para desarrollos industriales, generando zonas planas amplias y taludes en sus partes superiores por cortes y bajas por llenos. Los depósitos desarrollados de forma técnica están conformados por gravas, bloques y arena bien compactados y con obras para manejo de aguas y estabilidad, sin embargo, se presentan llenos no técnicos con depósitos de todo tipo de materiales como de escombros y desechos de construcción, sin tratamientos.

Tabla 69. Planos y campos de llenos antrópicos

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Planos y campos de llenos antrópicos	Montículos de material antrópico acondicionado principalmente para su ocupación con bodegas, o depósitos de escombros y desechos de construcción	Se localizan a lo largo de la rivera del Río Aburrá, y los principales ejes viales del municipio	Deslizamientos internos de diverso tamaño

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)



Figura 44. Botadero de material, localizado en la vereda La Queiebra.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

5.4.2.10 Llanura aluvial (Fpal)

Esta unidad involucra las riberas del río Aburrá y de algunos tributarios como las quebradas Santa Isabel y la Salada. Es una forma discontinua, de pendientes suaves y topografía plana; contiene materiales de tamaño fino producto de la sedimentación aportada por estas corrientes.

Tabla 70. Llanura aluvial

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Llanura aluvial	Llanura aluvial larga, recta plana, con una fuerte intervención antrópica	Se localiza en las zonas bajas y de pendientes suaves del municipio, y en confluencias con el río Aburrá; se asocia principalmente a depósitos del río y de algunas de sus quebradas tributarias como las quebradas Santa Isabel y la Salada localizadas hacia el sur	Se evidencian algunos procesos de socavación lateral por la corriente del río principalmente

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.11 Llanuras y/o terrazas aluviotorrenciales (Fptalv)

Superficies alargadas de morfología suave, y ondulada, con pendientes suaves hacia el cauce del río Aburrá, modelada a partir de sedimentos de origen aluviotorrencial, que se presentan a la desembocadura de las corrientes al valle, donde los cuerpos de diferentes quebradas se han unido dando lugar a una superficie continua de forma irregular.

Tabla 71. Llanuras y/o terrazas aluviotorrenciales

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Llanuras y/o terrazas aluviotorrenciales	Superficies de pendiente suave con inclinación hacia el cauce del río, poca incisión	Se localizan a lo a lo largo de las desembocaduras de las quebradas principales al río Aburrá, como son La Valeria, Salinas y La Chuscala, entre otras	Se observan procesos de socavación fluvial

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.12 Lomeríos poco disectados (Dldi)

Prominencias topográficas de morfología alomada, con topos amplios y redondeados, con vertientes moderadas, muy cortas a cortas, de formas cóncavas y rectas y de pendientes de rangos entre 15-30°, y un índice de relieve muy bajo a bajo. Estos lomeríos están levemente incisados y se presentan pocos procesos erosivos.

Tabla 72. Lomeríos poco disectados

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomeríos poco disectados	Lomos de topes amplios, moderadamente largos, convexos, de pendientes moderadas y levemente incisados	En la transición de las vertientes de la margen izquierda sector el Raizal	Se identifican movimientos en masa de tipo traslacional

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.13 Lomo de falla (Sif)

Prominencia topográfica de morfología alomada, pertenece al Miembro volcánico, su tope es de forma convexa y plana, y a su alrededor presenta vertientes casi uniformes cortas a muy cortas, empinadas con pendientes entre 30-45°. Esta geoforma está localizada a lo largo de la falla Silvia-Pijao, tiene poca incisión y son formadas por el efecto combinado del desplazamiento lateral.



Figura 45. Lomo de falla, localizado por la vereda Sinifaná.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 73. Lomo de falla

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomo de falla	Lomos de vertientes cortas, de tope convexo, vertientes uniformes y empinadas; poco incisados	En la parte sur del municipio, limitando con la Cantera de Piedra en vía Sinifaná	Se identifican procesos erosivos, en la parte superior se encuentran dos cicatrices de procesos inactivos y en la parte inferior se tienen depósitos de deslizamiento

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.14 Lomos denudados bajos de longitud corta (Dldecc)

Corresponde a lomos de poca longitud y poca altura con respecto al drenaje principal, presentan una tendencia SW-NE. Sus topes son agudos y tienen vertientes cortas a moderadas, con pendientes moderadas a altas y fondo estrecho, sus cabeceras se presentan en forma de escarpes semicirculares.

Tabla 74. Lomos denudados bajos de longitud corta

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomos denudados bajos de longitud corta	Lomos cortos, de pendiente media a alta, moderada a fuertemente incisada, con fondos estrechos	Se localizan principalmente en la vereda la Chuscala	Se encuentran asociadas a estas formas procesos de erosión fluvial y algunos movimientos en masa a lo largo de las corrientes

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.15 Lomos denudados bajos de longitud media (Dldebm)

Son lomos bajos de longitud moderada no tienen una tendencia de orientación preferencial y sus topes son estrechos a moderados, con incisión fuerte a moderada y pendiente longitudinal moderada.

Tabla 75. Lomos denudados bajos de longitud media

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomos denudados bajos de longitud media	Lomos bajos, medios, con forma cóncava a irregular, de pendientes moderada a fuertemente inclinadas	En la vertiente occidental del municipio, en las veredas La Aguacatala y La Valeria, además de presentarse en algunas zonas de expansión	Se identifican pocos procesos, principalmente deslizamientos de escala variable

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.16 Lomos denudados bajos de longitud media a corta (Dldebmc)

Son lomos de longitud media a corta, con un índice de relieve bajo y variaciones en el grado de incisión. La parte superior tiene formas agudas levemente onduladas, con vertientes moderadamente uniformes. En su mayoría son empinadas con pendientes entre 30-45°, sin embargo, se presentan al sur, vertientes suaves las cuales, están asociadas a explanaciones para construcción. Presenta varios procesos denudacionales, entre ellos depósitos de vertientes derivados del Stock de Amagá.

Tabla 76. Lomos denudados bajos de longitud media a corta

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomos denudados bajos de longitud media a corta	Lomos medianos a cortos de topes agudos de relieve bajo, levemente empinados, incisión moderada a alta	En la vertiente occidental al sur del municipio	Se distinguen procesos de remoción en masa principalmente y varias cicatrices de procesos inactivos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

5.4.2.17 Lomos denudados moderados de longitud larga (Dldeml)

Son fillos alargados de longitud de más de un kilómetro de largo, con vertientes moderadas de pendientes con rangos entre 15-30°, los topes presentan diferentes formas dependiendo del grado de incisión que se presentan a partir los drenajes, tales como las quebradas La Miel, La Salada, la Lamina, entre otras.

Tabla 77. Lomos denudados moderados de longitud larga.

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomos denudados moderados de longitud larga	Lomos alargados de topes agudos largos de relieve complejo, fuertemente inclinados a escarpados, incisión moderada a alta	En ambas vertientes del municipio, es la unidad de mayor extensión, dominado la parte media y alta de las vertientes	Se distinguen procesos de remoción en masa principalmente (depósitos de deslizamiento)

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)



Figura 46. Lomos denudados moderados de longitud larga, cuenca alta de la vereda La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.18 Lomos denudados moderados de longitud media (Dldemm)

Son fillos alargados de longitud media alrededor de 600 metros, presenta variaciones en el grado de incisión de la geoforma, además tiene vertientes con pendientes moderadas a empinadas.

Tabla 78. Lomos denudados moderados de longitud media

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomos denudados moderados de longitud media	Lomos alargados de topes agudos medianamente largos, y levemente incisados	La Corrala hace parte de esta geoforma, ubicada en la margen derecha del municipio	No se presentan procesos activos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.19 Lomo residual (Dlres)

Superficies de terreno con cimas redondeadas y alargadas, de laderas cortas a moderadamente largas, de forma convexa a recta y pendiente moderada a abrupta, con índice de relieve bajo a moderado. Estas geoformas son originadas por procesos tectónicos o por periodos de denudación cuya configuración se halla estrechamente ligada a los factores litológicos locales. Estas se encuentran principalmente a lo largo de la margen izquierda del Municipio, asociadas a el Miembro volcánico y al Stock de Amagá, en los cuales se observan suelos residuales de espesor superior a 5 m.

Tabla 79. Lomo residual

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomo residual	Lomo en suelo residual moderadamente amplio y alargado, con pendiente fuertemente inclinada	Se localizan principalmente en la vereda Salinas y en la vertiente occidental de la quebrada Piedrahita	Se encuentran asociadas a estas formas procesos de erosión laminar y algunos movimientos en masa

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)



Figura 47. Lomos en suelo residual, Cuenca de la quebrada La Corrala.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

5.4.2.20 Lomos denudados (Dld)

Presenta una morfología alomada y elongada, con unas laderas cortas a muy cortas, convexas, con pendientes moderadas, con topes irregulares, incisión moderada y relieve irregular. En la parte media y baja presenta depósitos, los cuales están constituidos por suelos residuales del Miembro volcánico.

Tabla 80. Lomos denudados

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomos denudados	Vertiente en suelo residual muy larga, de relieve irregular, moderadamente incisada, de pendiente ligeramente inclinada	Se localiza sobre la vertiente oeste del municipio, conformando un área amplia que va de oeste a este	Se presentan deslizamientos recientes y antiguos en menor proporción

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

5.4.2.21 Lomos disectados (Dldi)

Son geoformas de morfología alomada con cimas levemente redondas de formas convexas y amplias, con un índice de relieve bajo. Presenta laderas uniformes, moderadas y empinadas, con un rango de pendientes entre 15-45°, además de dimensiones de hasta 300 metros de largo. Esta zona está levemente disectada, y sobre esta subyacen algunos depósitos de flujos de escombros y/o lodos.

Tabla 81. Lomos disectados

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Lomos disectados	Zona de vertiente moderadamente larga, uniforme y convexa, levemente disectada, de pendiente moderada e inclinada	En la margen izquierda de la quebrada La Miel, en límites entre La Miel y la Corrala	Se observaron procesos de remoción en masa

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.22 Sierra residual (Dsr)

Presenta una morfología montañosa y elongada de laderas largas, muy disectadas, convexa y tiene una rugosidad moderadamente uniforme. Presenta unas vertientes empinadas con pendientes entre 30-45°, su origen está relacionado con los procesos de meteorización intensa en el Miembro volcánico.

Tabla 82. Sierra Residual

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Sierra residual	Sierra residual de hasta 4 kilómetros de largo, con vertientes convexas, de pendientes empinadas, muy disectadas	Conforma la parte superior de la Vereda la Valeria	Se identifican varios procesos de movimientos en masa inactivos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.23 Vertiente sobre depósitos poco incisados (Dvdpi)

Ladera de longitud moderada a larga, de forma cóncava, poco disectada, tienen una rugosidad casi uniforme y vertientes con pendientes suaves a muy suaves, originadas por la acumulación de material transportado. Se localizan en la parte alta de la vereda La Miel (Figura 48).

Tabla 83. Vertiente sobre depósitos poco incisados

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Vertiente sobre depósitos poco incisados	Vertientes moderadas a largas, cóncavas, de pendientes suaves a muy suaves, poco incisados	En la parte alta de la vereda La Miel, por la vía que comunica envigado con el alto de Minas	No se identifican procesos de remoción en masa

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)



Figura 48. Vertiente sobre depósitos poco incisados, localizados en la parte alta de la Clara.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.24 Rasgos Morfotectónicos, Escarpes (Srme)

Corresponde a superficies de pendiente alta a escarpada, de disposición planar y forma triangular, que se desarrollan sobre la secuencia de meteorización del volcánico de Quebradagrande, y se encuentran en cercanías al Alto de minas.

Tabla 84. Rasgos Morfotectónicos, escarpes

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Rasgos Morfotectónicos, escarpes	Vertientes altas a escarpadas poco incisados, rectas	En cercanías al Alto de Minas	No se identifican procesos de remoción en masa

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.25 Superficies moderadas en suelo residual

Corresponde a superficies desarrolladas sobre suelo residual de esquisto y anfibolitas, de disposición irregular, incisión moderada por drenajes lineales, están en la parte media y alta de la Miel, estas últimas sujetas a desarrollo urbanístico.

Tabla 85. Rasgos Morfotectónicos, escarpes

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Superficies moderadas en suelo residual	Vertientes suaves, a moderadas, irregulares incisión moderada	Sector de la Miel, parte media y parte alta	Algunos deslizamientos traslacionales pequeños

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.26 Superficies suaves en suelo residual

Corresponde a superficies de pendiente baja, cortas, desarrollada sobre suelos derivados de Anfibolita, no disectados y de disposición convexa, ubicados en el sector de La Miel.

Tabla 86. Superficies suaves en suelo residual

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Superficies moderadas en suelo residual	Superficie suave, pendiente baja, forma convexa, no incisada	La Miel, en cercanías al centro poblado	Sin procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.27 Vertientes sobre depósitos poco incisados

Corresponde a superficies alargadas, de pendiente superficies desarrolladas sobre depósitos de pendiente moderada a baja, con incisión baja, de forma irregular, ubicados en la parte alta de La Miel (La Catedral)

Tabla 87. Vertientes sobre depósitos poco incisados

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Vertientes sobre depósitos poco incisados	Alargadas de Pendiente suave, irregulares, poco incisadas,	parte alta de La Miel (La Catedral)	Sin procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.4.2.28 Vertientes empinadas

Corresponde a superficies de pendiente muy alta, cortas, no incisadas desarrollada sobre suelos derivados de Anfíbolita}, y de disposición convexa, ubicados en el sector de La Miel.

Tabla 88. Vertientes empinadas

UNIDAD	FORMAS DEL TERRENO	LOCALIZACIÓN	PROCESOS
Vertientes empinadas	Superficie suave, pendiente alta, forma convexa, no incisada	La Miel, en cercanías al centro poblado	Sin procesos morfodinámicos

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 89. Áreas de las unidades geomorfológicas en suelo rural del municipio de Caldas.

Zona Rural		
Unidad Geomorfológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Cauce Aluvial	10,9	0,1%
Colina residual	4,1	0,0%
Cono de flujo de lodos y escombros	130,9	1,1%
Cono o lóbulo de deslizamiento	65,8	0,5%
Escarpe de erosión menor	174,9	1,4%
Espolón bajo de longitud media	2.076,1	16,9%
Espolón moderado de longitud media	881,4	7,2%
Espolones estructurales	1.367,2	11,1%
Geoforma Antrópica	56,7	0,5%
Llanura aluvial	111,7	0,9%
Llanuras y/o terrazas aluviotorrenciales	33,7	0,3%
Lomeríos poco disectados	201,3	1,6%
Lomo de falla	32,2	0,3%
Lomo denudado bajo de longitud corta	179,7	1,5%
Lomo denudado bajo de longitud media	713,3	5,8%
Lomo denudado bajo de longitud media a corta	1.040,8	8,5%
Lomo denudado moderado de longitud larga	2.922,3	23,8%
Lomo denudado moderado de longitud media	825,0	6,7%
Lomo residual	101,6	0,8%
Lomos denudados	494,8	4,0%
Lomos disectados	114,8	0,9%
Rasgos morfotectónicos, escarpes	52,6	0,4%
Sierra residual	498,3	4,1%

Zona Rural		
Unidad Geomorfológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Superficies moderadas en suelo residual	111,5	0,9%
Superficies suaves en suelo residual	0,0	0,0%
Vertiente poco incisada	5,2	0,0%
Vertiente sobre depósitos poco incisados	69,9	0,6%
Vertientes empinadas	0,0	0,0%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

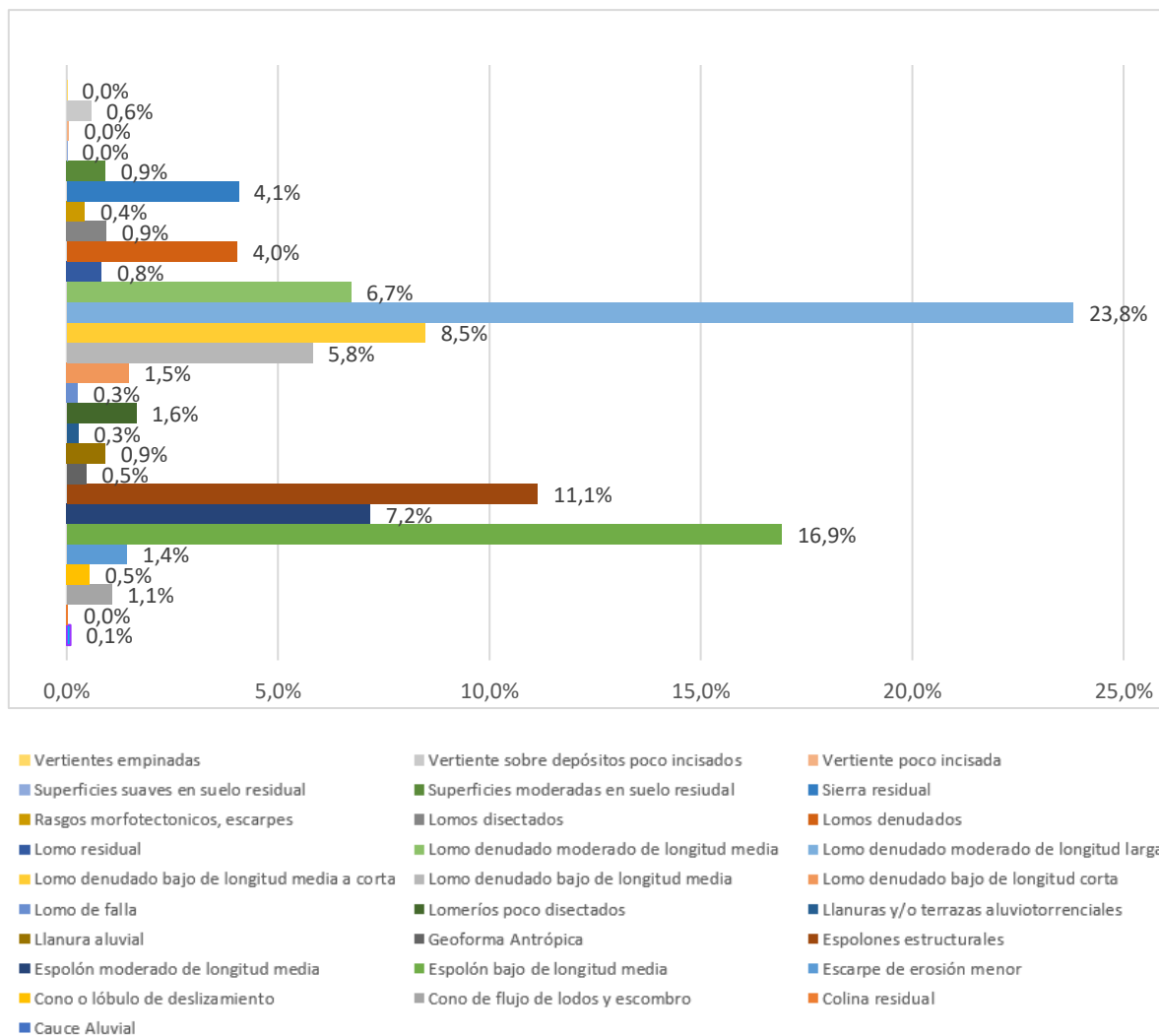


Gráfico 15. Distribución de unidades geomorfológicas en suelo rural del municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.5 PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para la identificación, delimitación y zonificación de los procesos morfodinámicos se utilizó la ayuda de los sensores remotos como ortofotos, imágenes satelitales de Google Earth® con resolución en el espectro visible

por el ojo humano, fotografías aéreas del IGAC, información recolectada en campo, información secundaria de estudios anteriores (UNAL & AMVA, 2018), indagación con los habitantes del municipio y las autoridades de gestión el riesgo y las variables geométricas derivadas del procesamiento del DEM. Todas estas herramientas ayudaron a definir el comportamiento del relieve asociado a las características del material.

Los diferentes procesos morfodinámicos observados en campo están asociados principalmente a factores naturales como antrópicos. Entre las causas naturales se encuentra principalmente la inestabilidad de los terrenos como respuesta a los diferentes tipos de suelo de meteorización y a las altas pendientes. En épocas de fuertes lluvias los suelos se saturan y, esto combinado con la pendiente y forma de las laderas se configura en una amenaza latente por movimientos en masa.

EL territorio del municipio de Caldas presenta una actividad morfodinámica Alta, en esta se identificaron más de 300 procesos, entre remoción en masa y eventos asociados a corrientes de aguas, como socavación.

En los procesos de remoción en masa se agrupan todos aquellos eventos que conllevan el desplazamiento de masas de suelo y/o roca a lo largo de las vertientes, donde se incluyen deslizamientos rotacionales, traslacionales o planares y flujos, clasificados de acuerdo con los criterios de (Cruden & Varnes, 1996) y cuya actividad fue definida según criterios establecidos por (Suárez, 2009).

5.5.1 PROCESOS MORFODINÁMICOS EN SUELO URBANO

En el suelo urbano se identificaron algunos procesos asociados a deslizamientos y socavación lateral por parte del río Aburrá y sus afluentes, debido a las condiciones de relieve del suelo no se evidencian un número significativo de procesos morfodinámicos (Figura 49).

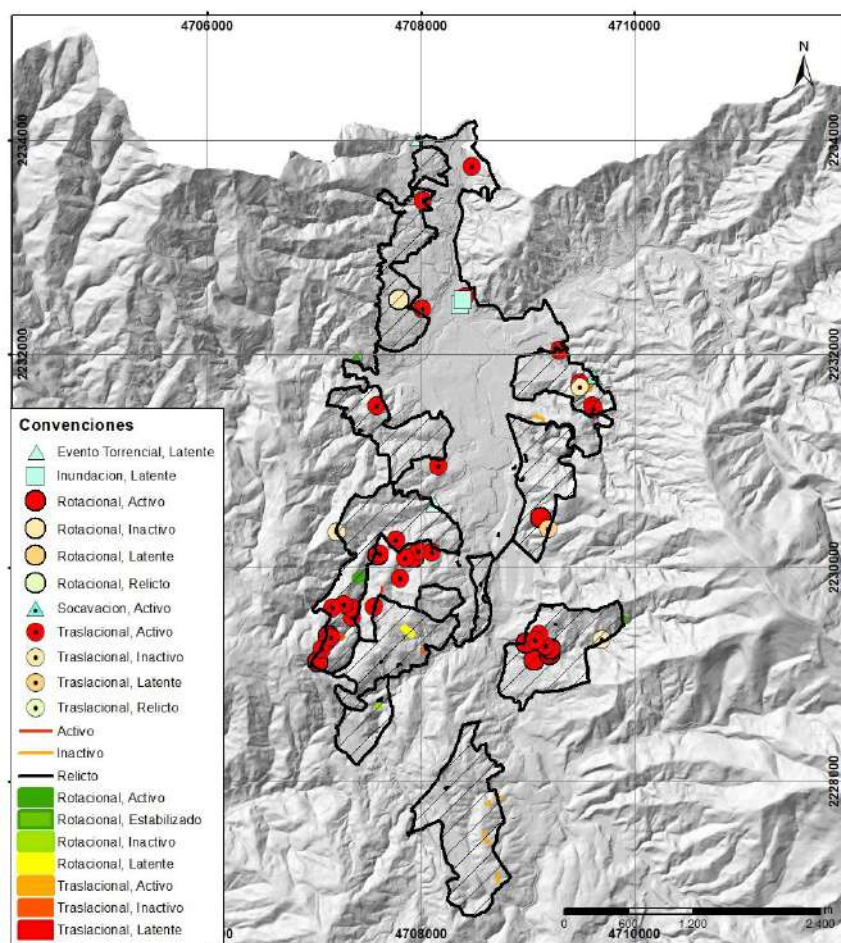


Figura 49. Mapa de procesos morfodinámicos en suelo urbano y de expansión.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Remoción en masa

Los procesos de remoción en masa identificados en el suelo urbano se concentran en las márgenes del río Aburrá y en las zonas de expansión del municipio y corresponden a deslizamientos asociados a eventos de alta pluviosidad. Se presenta a continuación la descripción de algunos eventos de remoción en masa de relevancia dentro de la zona urbana.

En el barrio la inmaculada, sobre la margen derecha del río Aburrá, se evidencian deslizamientos de tipo traslacional sobre la ladera, asociado a aguas infiltradas y de escorrentía, además de la socavación en la base por parte del río (Figura 50).



Figura 50. Deslizamiento activo de tipo traslacional, localizado en la margen derecha del río Aburrá a la altura del barrio La Inmaculada.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

En la vereda La Aguacatala, se observó un deslizamiento de tipo traslacional, el cual fue producto de fuertes lluvias que desestabilizaron la ladera, resultando en la destrucción de una vivienda (Figura 51).



Figura 51. Deslizamiento ocurrido en la zona de expansión 303 con afectación a una vivienda.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Dentro de la zona urbana se destaca un proceso en la zona de Villas de la Valeria, el cual tuvo gran afectación por destrucción de viviendas, y que tiene obras de estabilización mediante terraceo y manejo de aguas, pero que en la actualidad presenta un pequeño evento activo en su corona (Figura 52).



Figura 52. Evento estabilizado en Villas de la Valeria.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 90. Tipo de procesos morfodinámicos en suelo urbano y de expansión.

Tipo de evento	Cantidad	Porcentaje
Traslacional	38	43,2%
Rotacional	23	26,1%
Cicatriz	24	27,3%
Socavación	3	3,4%
Total	89	100%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

En total se identificaron 89 procesos morfodinámicos en el suelo urbano, de los cuales el 43,2% son de tipo traslacional, el 26,1% de tipo rotacional, el 27,3% son cicatrices de procesos y el 3,4% son procesos activos de socavación del cauce (Tabla 90); con respecto a la actividad, se clasifican activos el 65,2%, inactivos el 12,4%, latentes el 6,7%, y relictos el 24,7%, esto se observa en la Tabla 91 y en el Gráfico 16.

Tabla 91. Actividad de los procesos morfodinámicos identificados en suelo urbano y de expansión.

Estado	Cantidad	Porcentaje
Activo	50	56,2%
Relicto	22	24,7%
Inactivo	11	12,4%
Latente	6	6,7%
Total	89	100%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

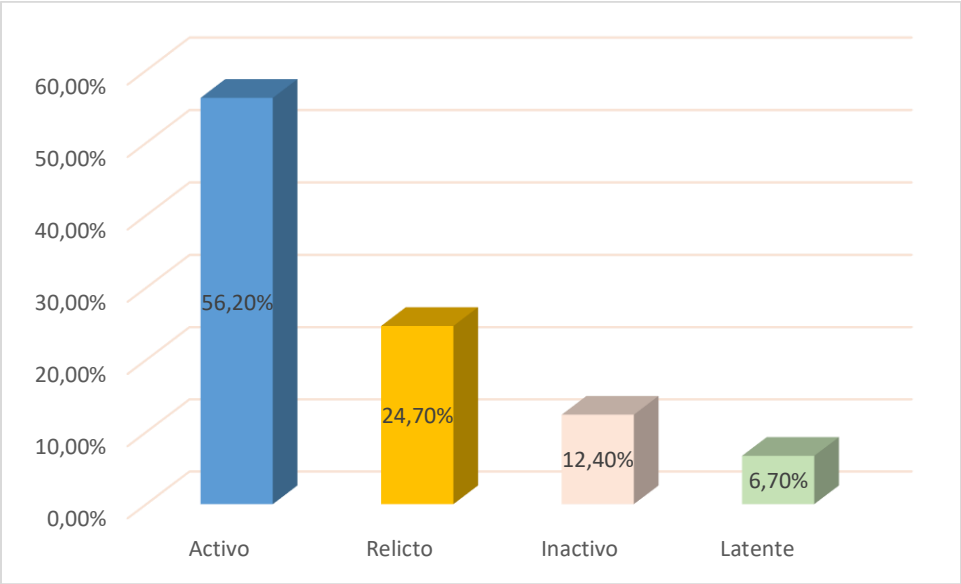


Gráfico 16. Estado de los procesos morfodinámicos identificados en suelo urbano y de expansión.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

5.5.2 PROCESOS MORFODINÁMICOS EN SUELO RURAL

Para la identificación de procesos morfodinámicos en suelo rural, se realizó con base a lo mencionado al inicio del capítulo, teniendo en cuenta lo observado en campo, fotografías aéreas, así como imágenes satelitales de Google Earth®.

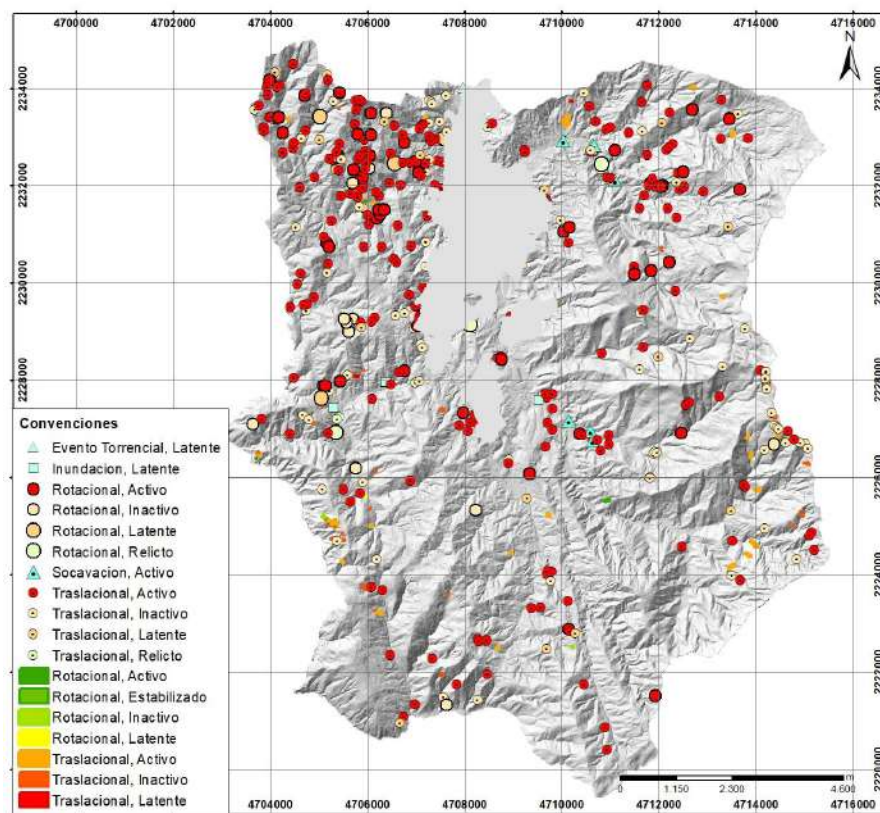


Figura 53. Mapa de procesos morfodinámicos en suelo rural.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Estos procesos son detonados por las condiciones climáticas, los grandes espesores de suelo residual y factores antrópicos que aumentan la susceptibilidad a movimientos en masa asociados con el mal manejo de taludes para la construcción de viviendas y vías, la falta de sistemas de drenajes de aguas de escorrentía, zonas de fuertes pendientes, así como el inadecuado uso del suelo como en pastoreo extensivo, especialmente en las partes medias y altas de las vertientes del municipio.

El tipo de proceso morfodinámico que domina la zona rural del municipio son cicatrices en un 63,1%, asociada a eventos inactivos o relictos, seguido por procesos rotacionales con el 30,1% de las ocurrencias, que se asocian a eventos de alta pluviosidad donde el suelo se satura y pierde sus condiciones de estabilidad, esto es sumado a los grandes espesores de suelo residual desarrollados sobre las rocas volcánicas y metamórficas, además de presentarse en algunas zonas pastoreo resultando en la pérdida de la cobertura vegetal.

Tabla 92. Tipo de procesos morfodinámicos en suelo rural.

Tipo de evento	Cantidad	Porcentaje
Cicatriz	816	63,1%
Traslacional	78	6,0%
Rotacional	390	30,1%
Socavación	10	0,8%
Total	1294	100%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

En la Tabla 93 y en el Gráfico 17 se observan los procesos morfodinámicos clasificados según su actividad, identificados en suelo rural, en donde el 238 % son de estado activo, el 10,9% inactivos, el 2,1% latentes, el 0.07% se encuentran estabilizados y el 63,1% son de carácter relicto.

Tabla 93. Actividad de los procesos morfodinámicos identificados en suelo rural.

Estado	Cantidad	Porcentaje
Relicto	817	63,1%
Activo	308	23,8%
Inactivo	141	10,9%
Latente	27	2,1%
Estabilizado	1	0,1%
Total	1294	100%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

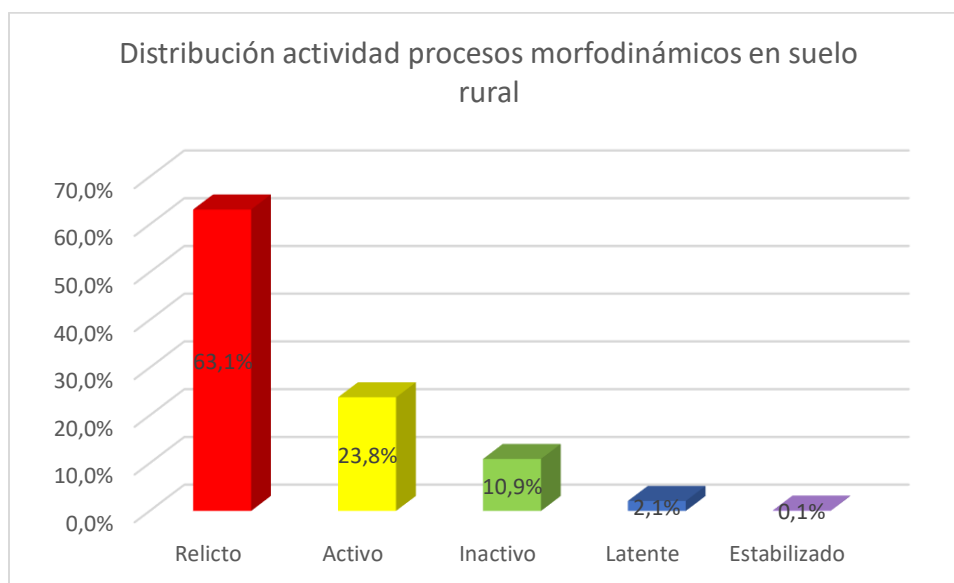


Gráfico 17. Estado actividad de los procesos morfodinámicos identificados en suelo rural.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Se presenta a continuación la descripción de algunos eventos de remoción en masa de relevancia dentro del suelo rural del municipio.

Remoción en masa

En la vía que comunica el barrio Andalucía con el centro poblado La Corrala se observan procesos de remoción en masa, clasificado como un deslizamiento lento de estado activo, el cual presenta un movimiento progresivo de la banca en dirección a la quebrada (Figura 54). Estas zonas, están sujetas a este tipo de eventos, donde la masa del suelo pierde estabilidad con el paso del tiempo por efecto de agentes detonantes como la lluvia y sismos, además del mal manejo de aguas que incrementa el hundimiento.



Figura 54. Fenómeno de deslizamiento lento localizado en la vía que va hacia el barrio Andalucía.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Se presenta a continuación la descripción de algunos eventos de remoción en masa de relevancia dentro del territorio.

En la vereda La Chuscala se presenta un movimiento en masa rotacional, el más grande dentro de los mapeados, que presenta evidencia de actividad desde 2009, su corona es de más de 70 m de amplitud y el cuerpo de masa deslizado es de más de 100m, en la base el material se deposita a lo largo de la quebrada La Chuscala, pudiendo ocasionar su taponamiento (Figura 55).

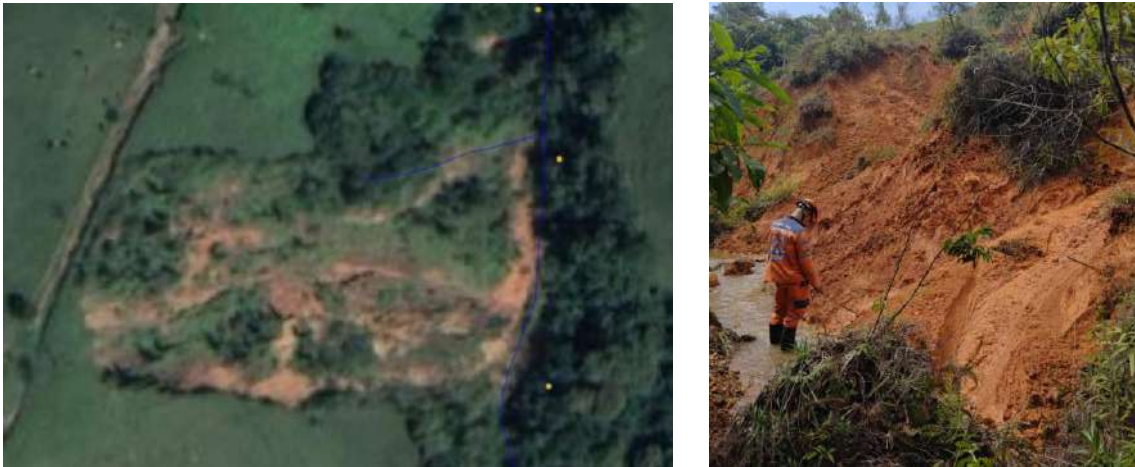


Figura 55. Movimiento en masa, La Chuscala, izq. imagen satélite, vista desde la quebrada.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023), Google Earth (2021)

En la vereda La Corrala se presentan numerosos movimientos en masa, asociados a la interacción de la socavación de las corrientes sobre las vertientes, algunos de los cuales han dado lugar a desplazamiento del cauce de la quebrada y son monitoreados por el SIATA (Figura 56).



Figura 56. Movimiento en masa, La Corralita
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Dentro de los movimientos en masa causados por intervención humana se resalta el evento que se presentó en la Escombrera La Granja 2, el 3 de mayo del presente año, el cual dio lugar al taponamiento del cauce del río Aburrá, como se observa en la Figura 57.



Figura 57. Taponamiento río Aburrá por movimiento en masa.
Fuente: YouTube, La Chiva a Alerta (2021)

En la vereda La Aguacatala, hay una serie de deslizamientos superficiales, en estos la corona no supera los 5 m de amplitud y su escarpe es menor que 1 m, pero tienen gran relevancia porque en esta corriente está la captación para un acueducto veredal.



Figura 58. Taponamiento de quebrada por movimiento en masa.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

En la vereda Sinifaná, se representa un deslizamiento superficial de gran extensión, que ha dado lugar a eventos de carácter torrencial que han afectado la vía veredal, y tiene el box coulvert cerca del colapso. Este evento está asociado con las altas pendientes del terreno, las altas precipitaciones y la poca competencia de la roca, que está ampliamente afectada estructuralmente (Figura 59).



Figura 59. Deslizamiento superficial Vereda Sinifaná.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Socavación lateral

Se presentan a continuación ejemplos de los procesos de socavación lateral de las corrientes, los cuales generan una mayor afectación en el municipio.

A lo largo de la quebrada La Miel hay numerosos eventos de socavación lateral, algunos alcanzan más de 30 m de longitud y debido a su actividad generan movimientos en masa asociados, y han afectado infraestructura como tuberías y placas deportivas.



Figura 60. Socavación Lateral quebrada La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Otra corriente que presenta amplia actividad de socavación es la quebrada La Raya, la cual tiene eventos de menor energía, comparado con los eventos de la quebrada La Miel, pero tiene un amplio historial de eventos

torrenciales recientes los cuales han afectado las viviendas ubicadas en la parte baja de la quebrada y la vía que comunica a Caldas con el sector de La Tablaza (Figura 61).



Figura 61. Socavación Lateral quebrada La Raya.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6. MODELACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DE LAS CORRIENTES A ANALIZAR

6.1 ESTUDIO HIDROLÓGICO

Para determinar la amenaza por inundaciones es importante identificar el comportamiento de los caudales extremos en la región de estudio. Esto se consigue mediante la caracterización de las precipitaciones máximas a escala de evento, describiendo su comportamiento interanual asociado a frecuencia, magnitud y duración, y de cómo estos eventos se transforman en escorrentía superficial generando los eventos de creciente sobre los cauces de interés.

Por otra parte, teniendo en cuenta que nos encontramos en un contexto de cambio climático, es importante identificar e incluir los cambios que éste puede inducir en el comportamiento hidrológico del municipio de Caldas.

6.1.1 ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD Y DETERMINACIÓN DE LAS CORRIENTES HÍDRICAS A ANALIZAR

Con el objetivo de analizar las corrientes susceptibles a generar eventos de inundación y avenida torrencial se utilizó el criterio empleado por (UNAL & AMVA, 2018) quienes sugieren que las corrientes con una cuenca hidrográfica mayor que 0,8 km² pueden generar eventos de inundación que representen una amenaza potencial. Sin embargo, con el objetivo de ser conservadores se utiliza un área de cuenca de 0,4 km², para

considerar a una corriente como origen de eventos amenazantes por inundación y avenidas torrenciales. De esta manera, en la siguiente figura se presentan las corrientes estudiadas con respecto a la red de drenaje del municipio de Caldas.

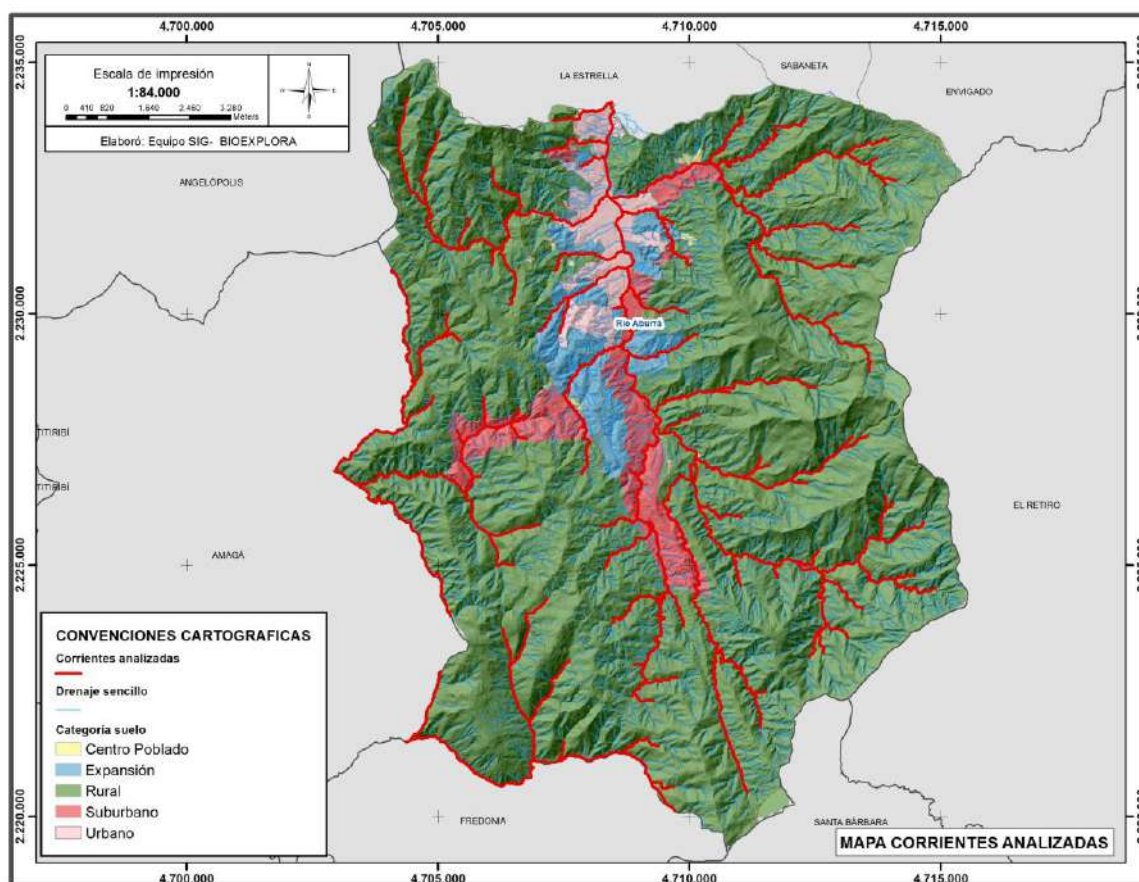


Figura 62. Corrientes analizadas del municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.1.2 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LAS CUENCAS ESTUDIADAS

Uno de los principales cálculos necesarios para la evaluación de los procesos hidrológicos que se dan en las cuencas hidrográficas son el de la caracterización de los parámetros morfométricos. El área de la cuenca hidrográfica es considerada uno de los parámetros más importantes en todos los procesos hidrológicos que se dan en la cuenca, ya que esta representa el volumen de control de esta; para la estimación de los caudales medios de largo plazo este es el parámetro morfométrico más relevante.

En el proceso de transformación de lluvia en escorrentía a escala de evento, utilizando el enfoque metodológico de las hidrógrafas unitarias, como se desarrolla en el presente estudio, existen otros parámetros morfométricos de la cuenca que también influyen; estos son:

- Perímetro de la cuenca

- Longitud del cauce principal
- Distancia de la salida de la cuenca al centro de gravedad
- Diferencia de elevaciones máxima de la cuenca
- Pendiente del cauce principal
- Pendiente promedio de la cuenca

Por otra parte, la caracterización de índices morfométricos tales como el factor de forma, la relación de bifurcación, la relación de longitudes, entre otros permite inferir sobre el comportamiento hidrológico que pueda tener la cuenca ante la ocurrencia de eventos extremos.

A continuación, se presenta una figura de las cuencas hidrográficas analizadas y los parámetros morfométricos de las principales corrientes estudiadas, las cuales corresponden a las corrientes que descargan directamente a río Aburrá y a la cuenca del río Cauca, río Amagá y Quebrada Sinifaná.

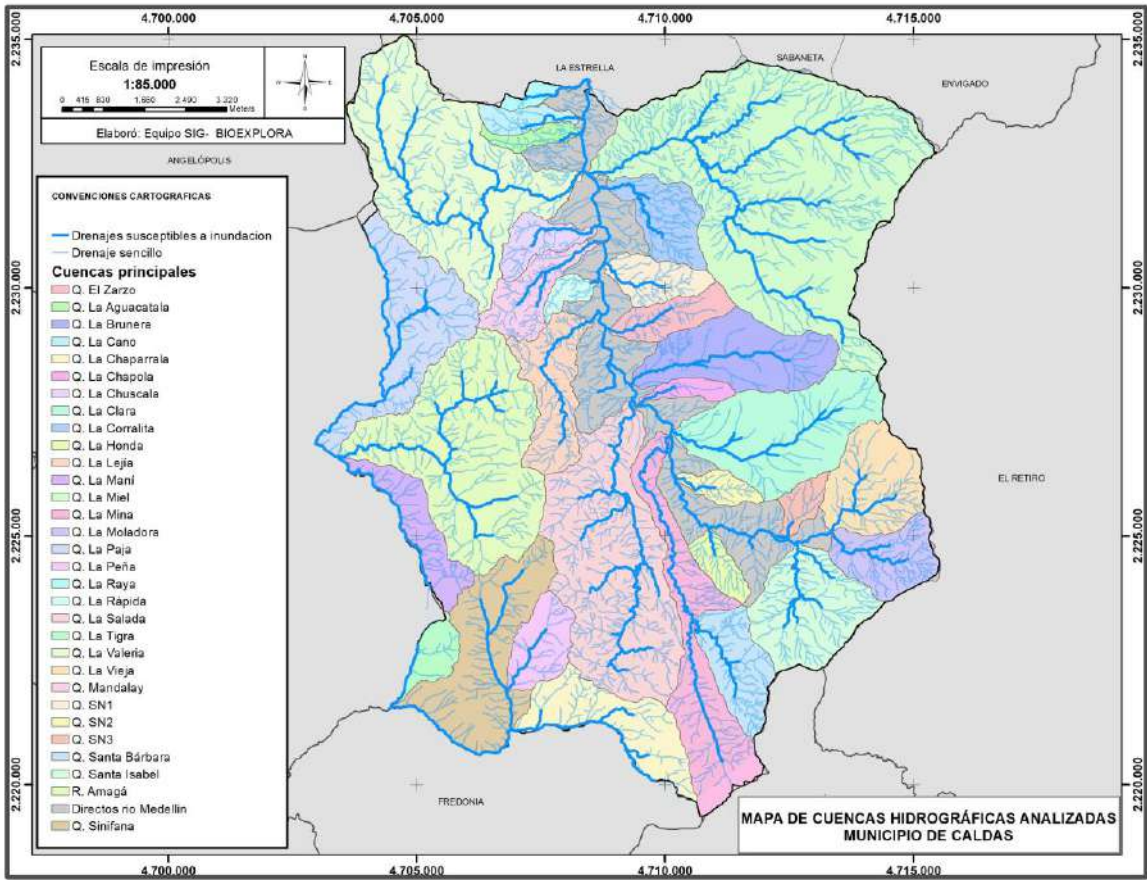


Figura 63. Mapa de cuencas hidrográficas analizadas del municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

Tabla 94. Parámetros morfométricos de las cuencas principales.

Parámetro		R. Aburrá	R. Amagá	Q. Aguacatala	Q. Brunera	Q. Cano	Q. Chaparrala	Q. Chapola	Q. Chuscala	Q. Clara
Cuenca	Área [km ²]	101.34	10.98	0.64	4.46	0.83	6.80	0.61	1.26	6.35
	Perímetro [km]	63.95	19.53	6.01	12.36	6.23	13.42	5.27	7.28	14.10
	Longitud máxima [km]	20.20	7.77	2.72	5.37	2.86	5.43	2.49	3.19	5.94
	Ancho [km]	5.02	1.41	0.23	0.83	0.29	1.25	0.25	0.39	1.07
	Distancia al centroide [km]	7.52	3.41	1.30	2.87	1.39	2.86	1.27	1.88	3.36
	Elevación máxima [msnm]	3109.13	2189.59	2240.51	2839.26	2400.00	2699.33	2255.03	2037.14	3088.38
	Elevación mínima [msnm]	1718.28	1471.57	1726.66	1792.97	1719.86	1563.03	1807.95	1742.13	1832.04
	Diferencia de elevaciones [m]	1390.85	718.02	513.85	1046.29	680.14	1136.30	447.08	295.01	1256.34
	Elevación media [msnm]	2155.33	1900.69	1911.80	2218.83	2004.26	2108.58	1982.04	1863.89	2298.18
	Pendiente media [%]	0.57	0.55	0.50	0.64	0.66	0.63	0.54	0.44	0.63
Cauce	Longitud [km]	19.59	7.34	2.22	5.02	2.40	5.03	2.07	2.80	5.32
	Pendiente media [m/m]	0.03	0.07	0.17	0.18	0.17	0.19	0.14	0.05	0.18
	Elevación Máxima [msnm]	2363.63	1974.06	2091.02	2682.31	2131.99	2521.70	2088.03	1895.79	2785.95
Red Drenaje	Máximo orden Horton-Strahler	4.00	4.00	2.00	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	4.00
	Numero de Corrientes	82.00	89.00	4.00	36.00	6.00	44.00	1.00	13.00	53.00
	Longitud total de Corrientes [km]	129.99	36.51	2.67	15.27	3.26	23.14	2.07	4.79	22.63
	Frecuencia de Corrientes de primer orden	0.63	6.10	4.72	6.28	6.02	5.15	1.64	7.16	6.30

Parámetro		R. Aburrá	R. Amagá	Q. Aguacatala	Q. Brunera	Q. Cano	Q. Chaparrala	Q. Chapola	Q. Chuscala	Q. Clara
	Densidad de drenaje [km/km ²]	1.28	3.33	4.20	3.42	3.93	3.40	3.38	3.81	3.56
	Frecuencia de drenaje [und/km ²]	0.81	8.11	6.29	8.07	7.23	6.47	1.64	10.34	8.35
	Relación de bifurcación [Horton]	4.06	4.08	3.00	5.29	5.00	3.24	-	3.00	3.38
	Relación de longitudes [Horton]	1.99	2.63	0.35	3.87	12.63	1.39	-	3.50	1.90
	Relación de áreas [Horton]	4.57	4.79	3.12	6.86	10.72	3.80	-	4.19	4.01
	Relación de aspecto [Horton]	2.16	1.57	1.78	1.74	2.89	1.40	-	1.95	1.82
Índices	Coefficiente compacidad	1.78	1.65	2.11	1.64	1.92	1.44	1.89	1.82	1.57
	Relación de circularidad	0.31	0.36	0.22	0.37	0.27	0.47	0.28	0.30	0.40
	Diámetro topológico	19.00	25.00	3.00	19.00	5.00	17.00	1.00	6.00	22.00
	Relación de elongación	0.56	0.48	0.33	0.44	0.36	0.54	0.35	0.40	0.48
	Factor de forma	0.25	0.18	0.09	0.15	0.10	0.23	0.10	0.12	0.18
	Coefficiente de masividad	21.27	173.18	3006.48	497.56	2414.43	310.25	3245.04	1483.03	361.93
	Coefficiente orográfico	0.02	0.05	0.42	0.25	0.56	0.19	0.33	0.07	0.25
	Coefficiente de estabilidad	0.78	0.30	0.24	0.29	0.25	0.29	0.30	0.26	0.28
	Índice de asimetría	1.19	1.93	2.17	1.18	1.43	1.12	1.11	1.33	1.32

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 95. Parámetros morfométricos de cuencas principales – continuación.

Parámetro		Q. Corralita	Q. Honda	Q. Lejía	Q. Mandalay	Q. Maní	Q. Miel	Q. Mina	Q. Moladora	Q.P aja	Q. Peña
Cuenca	Área [km ²]	2.20	0.88	3.08	1.95	3.82	22.30	8.01	2.44	7.36	1.81
	Perímetro [km]	9.16	5.14	12.35	9.99	11.59	29.43	22.09	8.18	18.61	6.84
	Longitud máxima [km]	4.19	2.13	5.24	4.10	5.55	11.26	10.89	3.44	7.39	2.73
	Ancho [km]	0.53	0.41	0.59	0.48	0.69	1.98	0.74	0.71	1.00	0.66
	Distancia al centroide [km]	1.93	1.00	2.46	2.02	2.83	4.79	5.82	1.81	4.11	1.43
	Elevación máxima [msnm]	2303.44	2509.43	2157.96	2111.43	2128.13	3109.13	2704.24	2959.20	2185.95	2244.56
	Elevación mínima [msnm]	1734.88	1913.98	1790.78	1746.97	1473.00	1730.35	1834.36	2073.91	1404.01	1629.81
	Diferencia de elevaciones [m]	568.56	595.45	367.18	364.46	655.13	1378.78	869.88	885.29	781.94	614.75
	Elevación media [msnm]	1900.87	2187.86	1924.18	1916.13	1854.98	2252.15	2295.90	2579.17	1934.13	2028.25
	Pendiente media [%]	0.51	0.76	0.43	0.49	0.61	0.60	0.61	0.78	0.51	0.69
Cauce	Longitud [km]	3.66	1.75	4.90	3.53	5.20	10.88	10.42	3.03	6.89	2.40
	Pendiente media [m/m]	0.09	0.24	0.04	0.06	0.10	0.11	0.07	0.24	0.09	0.20
	Elevación Máxima [msnm]	2064.92	2334.69	2016.24	1960.20	1986.13	2914.01	2558.64	2802.97	2023.93	2098.73
Red Drenaje	Máximo orden Horton-Strahler	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	4.00	3.00	4.00	3.00
	Numero de Corrientes	26.00	8.00	28.00	15.00	34.00	197.00	68.00	21.00	63.00	14.00
	Longitud total de Corrientes [km]	10.68	3.00	10.97	7.74	12.49	86.67	28.64	8.24	23.64	5.15
	Frecuencia de Corrientes de primer orden	8.62	5.65	6.82	5.64	7.60	7.08	6.74	6.56	6.66	6.07
	Densidad de drenaje [km/km ²]	4.85	3.39	3.56	3.97	3.27	3.89	3.57	3.38	3.21	2.84

Parámetro		Q. Corralita	Q. Honda	Q. Lejía	Q. Mandalay	Q. Maní	Q. Miel	Q. Mina	Q. Moladora	Q.P aja	Q. Peña
	Frecuencia de drenaje [und/km ²]	11.79	9.04	9.09	7.69	8.91	8.83	8.48	8.61	8.56	7.72
	Relación de bifurcación [Horton]	2.59	2.24	4.58	3.32	5.39	3.61	3.92	4.00	3.63	3.32
	Relación de longitudes [Horton]	1.54	0.78	4.27	2.84	3.79	1.87	3.15	2.95	2.69	1.86
	Relación de áreas [Horton]	3.08	2.85	6.00	4.50	6.41	4.09	4.89	5.32	4.24	4.42
	Relación de aspecto [Horton]	1.75	2.21	1.66	1.99	1.37	1.94	1.86	1.33	1.59	1.44
Índices	Coefficiente compacidad	1.73	1.53	1.97	2.00	1.66	1.75	2.18	1.47	1.92	1.42
	Relación de circularidad	0.33	0.42	0.25	0.25	0.36	0.32	0.21	0.46	0.27	0.49
	Diámetro topológico	13.00	4.00	14.00	5.00	25.00	52.00	26.00	13.00	25.00	10.00
	Relación de elongación	0.40	0.50	0.38	0.38	0.40	0.47	0.29	0.51	0.41	0.56
	Factor de forma	0.13	0.19	0.11	0.12	0.12	0.18	0.07	0.21	0.13	0.24
	Coefficiente de masividad	862.24	2473.31	624.77	981.87	486.08	100.99	286.48	1058.04	262.89	1118.92
	Coefficiente orográfico	0.15	0.40	0.04	0.07	0.11	0.09	0.09	0.32	0.08	0.21
	Coefficiente de estabilidad	0.21	0.29	0.28	0.25	0.31	0.26	0.28	0.30	0.31	0.35
	Índice de asimetría	2.35	3.16	1.26	1.35	1.05	4.22	1.91	1.01	2.24	1.77

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 96. Parámetros morfométricos de cuencas principales – continuación.

Parámetro		Q. Rápida	Q. Salada	Q. Sinifaná	Q. Sta. Bárbara	Q. Sta. Isabel	Q. Tigra	Q. Valeria	Q. Vieja	Q. Zarzo
Cuenca	Área [km ²]	0.54	11.03	6.15	2.51	4.34	1.60	11.53	3.52	1.51
	Perímetro [km]	4.39	20.11	13.82	8.44	10.38	6.78	21.37	9.40	7.44
	Longitud máxima [km]	2.00	9.84	5.13	3.75	3.63	2.83	10.27	3.35	3.37
	Ancho [km]	0.27	1.12	1.20	0.67	1.19	0.56	1.12	1.05	0.45
	Distancia al centroide [km]	1.00	5.09	2.54	1.81	2.11	1.56	2.90	1.52	1.82
	Elevación máxima [msnm]	1958.27	2391.07	2259.45	2657.83	2821.93	2128.04	2624.37	3069.15	2434.46
	Elevación mínima [msnm]	1756.73	1799.21	1563.97	2098.74	2002.74	1267.14	1729.63	2072.82	1771.09
	Diferencia de elevaciones [m]	201.55	591.87	695.48	559.09	819.19	860.91	894.74	996.33	663.38
	Elevación media [msnm]	1863.18	2031.98	1973.92	2370.34	2336.01	1784.99	2120.01	2565.09	2009.91
	Pendiente media [%]	0.40	0.46	0.59	0.72	0.70	0.79	0.55	0.77	0.58
Cauce	Longitud [km]	1.54	9.38	4.82	3.43	3.22	2.47	9.87	2.98	2.91
	Pendiente media [m/m]	0.09	0.04	0.11	0.12	0.15	0.29	0.08	0.27	0.15
	Elevación Máxima [msnm]	1884.66	2219.39	2101.82	2500.14	2476.72	1965.96	2488.70	2883.12	2212.94
Red Drenaje	Máximo orden Horton-Strahler	2.00	4.00	4.00	3.00	4.00	3.00	4.00	4.00	3.00
	Numero de Corrientes	4.00	91.00	51.00	24.00	41.00	13.00	100.00	30.00	13.00
	Longitud total de Corrientes [km]	2.03	36.99	19.79	8.57	15.59	4.37	39.03	12.01	5.11
	Frecuencia de	5.60	6.44	6.67	7.98	7.38	5.63	6.68	6.53	6.63

Parámetro		Q. Rápida	Q. Salada	Q. Sinifaná	Q. Sta. Bárbara	Q. Sta. Isabel	Q. Tigra	Q. Valeria	Q. Vieja	Q. Zarzo
	Corrientes de primer orden									
	Densidad de drenaje [km/km ²]	3.78	3.35	3.22	3.42	3.59	2.73	3.38	3.41	3.39
	Frecuencia de drenaje [und/km ²]	7.47	8.25	8.30	9.58	9.45	8.13	8.67	8.52	8.62
	Relación de bifurcación [Horton]	3.00	4.10	3.45	4.47	3.16	3.00	4.28	2.75	3.16
	Relación de longitudes [Horton]	6.63	2.92	1.53	2.92	1.68	3.08	3.10	1.30	2.62
	Relación de áreas [Horton]	6.65	4.67	4.10	5.73	3.68	4.73	5.05	3.09	4.04
	Relación de aspecto [Horton]	1.34	1.77	1.63	2.28	1.98	1.42	1.60	1.58	1.70
Índices	Coefficiente compacidad	1.68	1.70	1.56	1.49	1.40	1.50	1.76	1.40	1.70
	Relación de circularidad	0.35	0.34	0.40	0.44	0.51	0.44	0.32	0.50	0.34
	Diámetro topológico	3.00	34.00	24.00	15.00	13.00	6.00	36.00	13.00	9.00
	Relación de elongación	0.41	0.38	0.54	0.48	0.65	0.50	0.37	0.63	0.41
	Factor de forma	0.13	0.11	0.23	0.18	0.33	0.20	0.11	0.31	0.13
	Coefficiente de masividad	3478.82	184.20	321.15	946.01	538.46	1116.41	183.80	728.08	1332.83
	Coefficiente orográfico	0.08	0.03	0.08	0.12	0.15	0.46	0.07	0.28	0.29
	Coefficiente de estabilidad	0.26	0.30	0.31	0.29	0.28	0.37	0.30	0.29	0.30
	Índice de asimetría	2.43	2.03	1.33	2.42	2.23	1.77	1.22	3.42	1.18

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 97. Parámetros morfométricos de cuencas principales – continuación.

Parámetro		Q. SN1	Q. SN2	Q. SN3
Cuenca	Área [km ²]	1.52	0.76	0.71
	Perímetro [km]	6.76	5.12	5.01
	Longitud máxima [km]	3.11	2.31	2.18
	Ancho [km]	0.49	0.33	0.33
	Distancia al centroide [km]	1.43	1.19	1.19
	Elevación máxima [msnm]	2359.57	2294.42	2584.66
	Elevación mínima [msnm]	1751.08	1859.02	1975.46
	Diferencia de elevaciones [m]	608.50	435.40	609.20
	Elevación media [msnm]	1918.36	2060.06	2245.58
	Pendiente media [%]	0.56	0.56	0.60
Cauce	Longitud [km]	2.55	1.86	1.67
	Pendiente media [m/m]	0.14	0.15	0.23
	Elevación Máxima [msnm]	2105.74	2142.31	2366.15
Red Drenaje	Máximo orden Horton-Strahler	3.00	2.00	2.00
	Numero de Corrientes	12.00	7.00	4.00
	Longitud total de Corrientes [km]	5.76	2.75	2.31
	Frecuencia de Corrientes de primer orden	5.94	7.93	4.21
	Densidad de drenaje [km/km ²]	3.80	3.64	3.25
	Frecuencia de drenaje [und/km ²]	7.92	9.26	5.61
	Relación de bifurcación [Horton]	3.00	6.00	3.00
	Relación de longitudes [Horton]	1.80	10.41	2.34
	Relación de áreas [Horton]	3.59	12.43	4.18
	Relación de aspecto [Horton]	1.92	1.65	2.02
Índices	Coefficiente compacidad	1.54	1.65	1.66
	Relación de circularidad	0.42	0.36	0.36
	Diámetro topológico	8.00	6.00	3.00
	Relación de elongación	0.45	0.42	0.44
	Factor de forma	0.16	0.14	0.15
	Coefficiente de masividad	1265.83	2723.94	3150.27
	Coefficiente orográfico	0.24	0.25	0.52
	Coefficiente de estabilidad	0.26	0.27	0.31
	Índice de asimetría	1.23	1.24	1.77

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.1.3 TORMENTA DE DISEÑO

La respuesta de una cuenca frente a eventos extremos depende de las características de la tormenta de diseño. El análisis de la precipitación se basa fundamentalmente en la obtención de las variables de intensidad, frecuencia, duración y de la distribución temporal de la lluvia.

6.1.3.1 Duración de la lluvia

En este caso, la duración de la lluvia se hace igual al tiempo de concentración de la cuenca, debido a que es la situación más crítica, en el cual la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía; para duraciones inferiores al tiempo de concentración no toda la cuenca está aportando escorrentía, y para duraciones mayores, la intensidad de la lluvia disminuye sin incrementarse el área de drenaje, resultando esto en una situación menos desfavorable.

Para determinar la duración de la lluvia a partir de los parámetros morfométricos (ver Tabla 96), se utilizaron las fórmulas empíricas descritas en la sección 3.2 del presente trabajo.

El tiempo de concentración, seleccionando corresponde al promedio de los valores que se encuentran más cercanos entre sí, considerando aquellos que se encuentren en una banda con un ancho igual al rango intercuartil centrada en la mediana de los valores estimados. Asimismo, se descartaron los valores que estuviesen por encima de la mediana más dos veces la desviación estándar y valores menores que la mediana menos dos veces la desviación estándar.

Los tiempos de concentración estimados para las demás cuencas se presentan en el ANEXO A.1.

Tabla 98. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales.

Metodología	R. Aburrá	R. Amagá	Q. Aguacatala	Q. Brunera	Q. Cano	Q. Chaparrala	Q. Chapola	Q. Chuscala	Q. Clara
Bransby-Williams	352.19	123.05	15.63	76.07	36.85	69.24	25.42	56.43	81.63
California Culverts Practice	108.71	37.45	3.11	19.88	8.20	19.52	5.50	14.65	21.26
Clark	369.49	99.37	18.84	55.56	20.39	72.00	18.04	29.39	68.87
Giandotti	139.99	63.23	13.73	33.79	17.57	36.97	16.47	33.04	35.94
Johnstone-Cross	141.52	80.48	26.54	62.59	39.52	63.45	32.60	48.89	66.72
Kirpich	145.56	46.93	6.98	25.49	13.08	22.74	10.57	24.84	27.24
Passini	447.23	104.84	15.43	46.61	20.52	45.89	19.41	46.69	52.78
Perez	79.57	19.00	0.62	7.71	2.33	7.47	1.38	5.49	8.36
Pilgrim-McDermott	264.44	113.33	38.39	80.48	42.49	94.47	37.81	49.74	92.05
Snyder	333.04	180.32	55.49	150.77	92.32	151.28	72.46	108.11	163.77
SCS Lag	517.37	145.05	17.45	78.16	36.03	61.48	31.98	79.26	83.18
Temez	329.54	122.03	20.16	76.88	39.13	73.01	29.29	58.47	83.11
Valencia-Zuluaga	253.07	113.27	49.32	71.05	46.04	74.17	49.28	73.43	77.30
Ven Te Chow	191.63	74.79	15.34	45.03	25.86	40.96	21.66	44.07	47.58
Ventura	421.73	99.84	19.44	43.98	19.81	46.27	20.95	44.85	50.78
Dooge	260.15	93.34	27.01	56.90	28.98	64.06	27.44	42.27	65.04
Corps Engineers	209.81	77.69	12.83	48.95	24.91	46.48	18.65	37.23	52.92
Carter	96.93	40.12	9.09	24.94	14.82	22.82	12.56	24.44	26.26
Picking	119.65	44.90	8.62	26.47	14.85	23.98	12.35	25.88	28.03
Media	236.90	83.26	15.84	48.92	25.08	49.17	21.74	41.06	53.84
Mediana	231.44	86.91	15.43	47.78	22.72	46.38	20.18	43.17	52.85
Desviación estándar	113.72	34.32	8.99	21.86	12.26	23.13	11.49	18.54	24.33
Rango inter-cuartil	191.79	60.16	10.35	40.64	21.12	40.71	15.29	22.77	45.18
Amplitud del intervalo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Límite superior intervalo	327.33	116.99	20.61	68.09	33.27	66.73	27.83	54.55	75.44
Límite inferior intervalo	135.54	56.82	10.26	27.46	12.16	26.02	12.53	31.78	30.26
Tc Seleccionado	201.00	92.00	17.00	49.00	20.00	51.00	20.00	43.00	55.00

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 99. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales – continuación.

Metodología	Q. Corralita	Q. Honda	Q. Lejía	Q. Mandalay	Q. Maní	Q. Miel	Q. Mina	Q. Moladora	Q. Paja	Q. Peña
Bransby-Williams	69.64	15.24	116.41	67.36	87.61	167.57	195.96	42.61	117.72	34.96
California Culverts Practice	16.13	3.29	32.86	18.79	25.50	50.60	55.81	11.37	35.48	9.70
Clark	39.28	20.34	51.26	36.90	51.55	147.50	79.94	36.63	80.00	31.92
Giandotti	31.79	14.81	52.82	38.07	41.90	68.62	64.61	24.72	53.73	24.62
Johnstone-Cross	54.84	25.15	73.18	54.84	65.45	100.01	96.17	45.51	81.10	41.26

Metodología	Q. Corralita	Q. Honda	Q. Lejía	Q. Mandalay	Q. Maní	Q. Miel	Q. Mina	Q. Moladora	Q. Paja	Q. Peña
Kirpich	29.26	6.34	47.79	27.31	30.27	56.15	67.47	13.86	40.78	12.07
Passini	56.93	14.27	87.58	50.55	53.14	121.94	115.21	24.74	77.43	22.28
Perez	6.01	0.66	16.51	7.65	11.22	27.61	32.61	3.59	17.54	2.95
Pilgrim-McDermott	61.58	43.57	70.72	58.79	75.87	148.37	100.56	63.98	97.35	57.17
Snyder	119.31	58.80	154.95	120.93	153.06	230.34	239.06	111.81	189.59	96.62
SCS Lag	89.48	19.79	148.62	79.56	88.26	171.58	220.82	46.67	113.98	33.73
Temmez	71.12	19.94	109.24	68.32	85.64	159.85	170.51	46.37	113.04	39.24
Valencia-Zuluaga	81.27	47.89	94.94	75.00	73.82	118.23	101.98	53.12	90.63	51.82
Ven Te Chow	50.50	14.16	75.94	47.70	51.95	86.82	101.14	27.14	66.55	24.19
Ventura	54.30	18.40	75.33	47.50	47.89	111.46	90.85	25.26	69.42	23.61
Dooge	51.62	28.71	62.96	47.90	56.43	114.87	83.82	40.77	74.94	37.11
Corps Engineers	45.28	12.70	69.55	43.50	54.52	101.77	108.56	29.52	71.97	24.99
Carter	27.76	8.43	40.70	26.32	28.51	46.14	53.24	15.51	35.96	13.93
Picking	29.82	7.93	45.62	28.10	30.72	52.45	61.49	15.62	39.76	13.86
Media	48.15	16.10	66.08	45.79	53.35	102.86	92.94	31.50	70.96	27.74
Mediana	51.06	14.81	69.55	47.60	52.55	106.61	90.85	28.33	73.45	24.80
Desviación estándar	21.62	9.98	25.81	19.17	22.23	43.98	39.76	15.92	28.55	14.14
Rango inter-cuartil	30.10	11.51	28.14	27.50	38.21	81.84	37.37	26.89	44.23	20.56
Amplitud del intervalo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Límite superior intervalo	66.11	20.57	83.62	61.35	71.65	147.54	109.53	41.78	95.57	35.08
Límite inferior intervalo	36.01	9.06	55.48	33.85	33.44	65.69	72.16	14.89	51.34	14.53
Tc Seleccionado	52.00	17.00	71.00	47.00	53.00	108.00	95.00	27.00	74.00	28.00

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 100. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales – continuación.

Metodología	Q. Rápida	Q. Salada	Q. Sinifaná	Q. Sta Bárbara	Q. Sta Isabel	Q. Tigra	Q. Valeria	Q. Vieja	Q. Zarzo
Bransby-Williams	5.76	194.78	75.72	55.05	52.81	31.14	178.98	35.18	39.94
California Culverts Practice	1.35	57.64	23.21	14.71	11.98	7.67	53.80	9.20	8.94
Clark	18.24	104.75	69.06	38.14	53.43	28.61	102.12	45.85	30.21
Giandotti	17.17	80.22	45.52	32.25	31.35	19.30	68.60	25.18	21.97
Johnstone-Cross	16.78	97.92	64.00	48.06	47.35	38.25	97.45	42.55	42.22
Kirpich	3.26	79.63	26.90	21.07	22.87	10.43	62.37	12.15	15.87
Passini	10.81	169.92	55.66	41.09	56.71	18.75	119.22	25.96	30.81
Perez	0.21	34.99	9.81	5.30	3.89	2.09	30.94	2.66	2.63
Pilgrim-McDermott	35.97	113.54	90.92	64.65	79.65	54.65	115.48	73.59	53.30
Snyder	29.79	222.98	145.56	114.19	107.78	92.72	192.73	101.72	100.91
SCS Lag	8.52	271.03	79.01	67.04	86.73	25.10	194.29	37.30	45.72

Metodología	Q. Rápida	Q. Salada	Q. Sinifaná	Q. Sta Bárbara	Q. Sta Isabel	Q. Tigra	Q. Valeria	Q. Vieja	Q. Zarzo
Temez	9.35	178.12	78.93	58.53	59.83	35.34	162.64	41.14	44.15
Valencia-Zuluaga	52.89	137.18	82.18	70.14	92.19	47.32	109.84	59.79	61.86
Ven Te Chow	8.15	116.08	47.09	38.44	41.16	21.42	94.74	24.33	30.37
Ventura	18.67	146.12	55.43	41.20	63.34	20.05	100.63	29.58	32.15
Dooge	25.57	106.37	66.49	48.46	63.99	34.12	94.71	46.99	39.43
Corps Engineers	5.95	113.40	50.25	37.27	38.09	22.50	103.55	26.19	28.11
Carter	5.02	60.58	26.01	21.50	22.92	12.43	50.08	14.00	17.24
Picking	4.46	70.97	27.73	22.45	24.10	12.21	57.44	13.94	17.56
Media	11.12	115.84	54.11	40.30	47.36	24.52	99.74	31.42	31.25
Mediana	8.52	109.89	55.54	39.76	50.08	21.96	99.04	27.89	30.59
Desviación estándar	8.28	49.44	23.10	18.08	24.39	13.47	42.92	17.88	15.09
Rango inter-cuartil	12.14	64.11	41.87	28.51	36.55	19.36	50.15	25.62	22.98
Amplitud del intervalo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Límite superior intervalo	14.59	141.94	76.48	54.02	68.36	31.65	124.12	40.70	42.08
Límite inferior intervalo	2.44	77.83	34.61	25.51	31.81	12.28	73.97	15.08	19.10
Tc Seleccionado	7.00	105.00	59.00	41.00	53.00	22.00	104.00	29.00	32.00

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 101. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales – continuación.

Metodología	Q. SN1	Q. SN2	Q. SN3
Bransby-Williams	40.97	26.10	16.59
California Culverts Practice	9.08	6.32	3.33
Clark	30.57	20.25	19.12
Giandotti	22.85	18.56	13.56
Johnstone-Cross	42.23	34.16	26.83
Kirpich	16.96	10.15	7.02
Passini	33.96	18.35	15.00
Perez	2.70	1.67	0.67
Pilgrim-McDermott	53.41	41.04	40.12
Snyder	94.78	77.62	59.38
SCS Lag	53.08	26.24	19.50
Temez	45.37	29.99	21.10
Valencia-Zuluaga	65.77	47.47	47.67
Ven Te Chow	32.10	20.95	15.42
Ventura	35.64	19.75	18.55
Dooge	40.89	28.33	27.33
Corps Engineers	28.89	19.09	13.44

Metodología	Q. SN1	Q. SN2	Q. SN3
Carter	18.15	12.17	9.13
Picking	18.60	11.93	8.67
Media	32.85	21.81	16.20
Mediana	33.03	20.00	15.42
Desviación estándar	15.93	11.39	9.31
Rango inter-cuartil	22.26	14.09	10.37
Amplitud del intervalo	1.00	1.00	1.00
Límite superior intervalo	44.16	27.04	20.60
Límite inferior intervalo	21.90	12.96	10.23
Tc Seleccionado	34.00	21.00	16.00

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.1.3.2 Intensidad y frecuencia de la lluvia

Tal como se describió en la sección 3.2, las precipitaciones sobre las cuencas hidrográficas del municipio de Caldas pueden ser caracterizadas con base en la información de las estaciones Caldas. En la siguiente tabla se presenta el porcentaje de superposición de las cuencas principales con respecto a los polígonos de Thiessen asociados a cada una de las estaciones con información de IDF de la lluvia, con base en los cuales se ponderó de la intensidad de la lluvia para cada una de estas.

Tabla 102. Porcentaje de superposición entre cuencas y polígonos de Thiessen de las estaciones IDF.

Cuenca	Estación Caldas	Cuenca	Estación Caldas	Cuenca	Estación Caldas
Q. El Zarzo	100%	Q. La Maní	100%	Q. La Vieja	100%
Q. La Aguacatala	100%	Q. La Miel	100%	Q. Mandalay	100%
Q. La Brunera	100%	Q. La Mina	100%	Q. Sta Bárbara	100%
Q. La Cano	100%	Q. La Moladora	100%	Q. Sta Isabel	100%
Q. La Chaparrala	100%	Q. La Paja	100%	Q. Sinifaná	100%
Q. La Chapola	100%	Q. La Peña	100%	Q. Sn1	100%
Q. La Chuscala	100%	Q. La Rápida	100%	Q. Sn2	100%
Q. La Clara	100%	Q. La Raya	100%	Q. Sn3	100%
Q. La Corralita	100%	Q. La Salada	100%	R. Amagá	100%
Q. La Honda	100%	Q. La Tigra	100%		
Q. La Lejía	100%	Q. La Valeria	100%		

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se presentan los valores de intensidad de lluvia estimados para cada una de las cuencas principales, mientras que para las demás cuencas se presentan en el ANEXO A.

Tabla 103. Intensidad de la lluvia asociada a cada período de retorno para las cuencas principales.

Cuenca	T _R 2	T _R 5	T _R 10	T _R 25	T _R 50	T _R 100	T _R 200	T _R 500
R Aburrá	15.05	17.58	19.78	23.12	26.01	29.26	32.92	38.47
R. Amagá	29.62	34.61	38.94	45.51	51.20	57.60	64.81	75.73
Q. La Aguacatala	112.21	131.12	147.52	172.38	193.94	218.19	245.48	286.86
Q. La Brunera	50.14	58.59	65.92	77.03	86.67	97.50	109.70	128.19
Q. La Cano	100.07	116.93	131.56	153.73	172.96	194.59	218.92	255.82
Q. La Chaparrala	48.53	56.71	63.80	74.56	83.88	94.37	106.17	124.07
Q. La Chapola	100.07	116.93	131.56	153.73	172.96	194.59	218.92	255.82
Q. La Chuscala	55.74	65.13	73.28	85.63	96.34	108.38	121.94	142.49
Q. La Clara	45.61	53.30	59.97	70.08	78.84	88.70	99.79	116.61
Q. La Corralita	47.76	55.82	62.80	73.38	82.56	92.88	104.50	122.11

Cuenca	T _R 2	T _R 5	T _R 10	T _R 25	T _R 50	T _R 100	T _R 200	T _R 500
Q. La Honda	112.21	131.12	147.52	172.38	193.94	218.19	245.48	286.86
Q. La Lejía	36.89	43.10	48.49	56.67	63.75	71.73	80.70	94.30
Q. Mandalay	51.87	60.61	68.19	79.69	89.65	100.87	113.48	132.61
Q. La Mani	47.02	54.95	61.82	72.24	81.28	91.44	102.88	120.22
Q. La Miel	25.82	30.17	33.95	39.67	44.63	50.21	56.49	66.02
Q. La Mina	28.82	33.68	37.89	44.28	49.82	56.05	63.05	73.68
Q. La Moladora	80.20	93.72	105.44	123.21	138.62	155.95	175.46	205.03
Q. La Paja	35.62	41.63	46.83	54.73	61.57	69.27	77.94	91.07
Q. La Peña	78.02	91.17	102.57	119.86	134.84	151.71	170.68	199.45
Q. La Rápida	192.89	225.41	253.60	296.34	333.40	375.10	422.01	493.14
Q. La Salada	26.45	30.91	34.78	40.64	45.73	51.44	57.88	67.63
Q. Sinifaná	43.04	50.30	56.59	66.13	74.40	83.70	94.17	110.04
Q. Sta Barbara	57.91	67.67	76.13	88.96	100.09	112.60	126.69	148.04
Q. Sta Isabel	47.02	54.95	61.82	72.24	81.28	91.44	102.88	120.22
Q. La Tigra	93.40	109.14	122.79	143.48	161.43	181.62	204.33	238.77
Q. La Valeria	26.67	31.17	35.07	40.98	46.10	51.87	58.35	68.19
Q. La Vieja	75.95	88.76	99.86	116.69	131.28	147.70	166.17	194.18
Q. Zarzo	70.41	82.27	92.56	108.16	121.69	136.91	154.03	179.99
Q. SN1	67.16	78.48	88.29	103.17	116.08	130.59	146.92	171.69
Q. SN2	96.61	112.89	127.01	148.42	166.98	187.87	211.36	246.99
Q. SN3	116.98	136.70	153.79	179.71	202.19	227.48	255.92	299.06

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

6.1.3.3 Factor de reducción de la lluvia

Con base en la metodología descrita en la sección 3.2, se estimaron los siguientes factores de reducción de la lluvia de las cuencas principales. Mientras que, en el Anexo A, se presentaran los factores de reducción para las demás corrientes.

Tabla 104. Factor de reducción de la lluvia en función del área y el tiempo de concentración.

Cuenca	FRA
R. Aburrá	0.87
R. Amagá	0.93
Q. La Aguacatala	1.00
Q. La Brunera	0.96
Q. La Cano	1.00
Q. La Chaparrala	0.94
Q. La Chapola	1.00
Q. La Chuscala	0.99
Q. La Clara	0.95
Q. La Corralita	0.98
Q. La Honda	1.00
Q. La Lejía	0.97
Q. Mandalay	0.98
Q. La Mani	0.96
Q. La Miel	0.91
Q. La Mina	0.94

Cuenca	FRA
Q. La Moladora	0.97
Q. La Paja	0.94
Q. La Peña	0.98
Q. La Rápida	1.00
Q. La Salada	0.93
Q. Sinifaná	0.95
Q. Sta. Bárbara	0.97
Q. Sta. Isabel	0.96
Q. La Tigra	0.99
Q. La Valeria	0.93
Q. La Vieja	0.96
Q. Zarzo	0.99
Q. SN1	0.99
Q. SN2	1.00
Q. SN3	1.00

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.1.3.4 Distribución temporal de la lluvia

Como se describe en la sección 3.2 se determinó la distribución de la precipitación con base en el método de bloques alternantes. En la siguiente figura se presenta la distribución de la lluvia estimada para la cuenca de la quebrada Limonar, mientras que en el Anexo A se presentan los valores numéricos de la distribución temporal de la lluvia estimada para todas las corrientes.

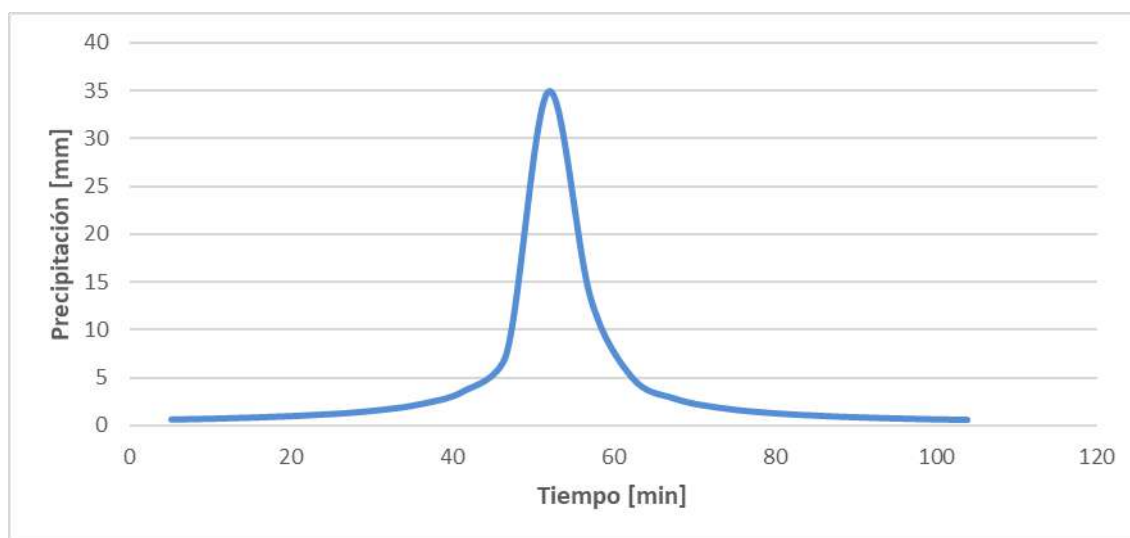


Figura 64. Distribución temporal de la precipitación con un período de retorno de 100 años en la Q. La Valeria.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.1.3.5 Pérdidas hidrológicas

Utilizando la metodología propuesta por el NRCS, tal como se describió en la sección 3.2 del presente estudio, el coeficiente de escorrentía se determinó con base en los mapas de cobertura y suelos definidos en este

estudio. En la Figura 65 y la Figura 66 se muestra el tipo de suelo y las coberturas en el municipio de Caldas, mientras que en la Tabla 105 se presentan los números de curva (CN) definidos para cada cobertura identificada en el PBOT y su relación con las coberturas definidas por el NRCS. En la Tabla 106 se presenta el grupo hidrológico definido para cada tipo de suelo identificado en el PBOT.

El CN se obtiene del cruce de la cobertura vegetal con el grupo hidrológico asociado a cada tipo de suelo, como se presenta en la Figura 67.

Tabla 105. Coeficiente de escorrentía (CN) asociado a cada cobertura identificada en el POT y su relación con las coberturas definidas por el NRCS .

Cobertura POT	Cobertura NRCS	A	B	C	D
Tejido urbano continuo	Áreas residenciales - lotes 500 sq m	77	85	90	92
Tejido urbano discontinuo	Áreas residenciales - lotes 1.000 sq m	61	75	83	87
Zonas industriales o comerciales	Distritos urbanos - Comercio y negocios	89	92	94	95
Pastos limpios	Pastos	68	79	86	89
Pastos arbolados	Pastos	49	69	79	84
Pastos enmalezados	Pastos	39	61	74	80
Mosaico de cultivos	Cultivos contorno	65	75	82	86
Mosaico de pastos y cultivos	Pastos + Cultivos contorno	52	68	78	83
Mosaico de cultivos y espacios naturales	Cultivos contorno + Espacios naturales	52	68	78	83
Bosque de galería y/o ripario	Bosques	30	55	70	77
Plantación forestal	Bosques	45	66	77	83
Plátano y banano	Cultivos	72	81	88	91
Café	Cultivos	72	81	88	91
Cítricos	Cultivos	72	81	88	91
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	Bosques	30	55	70	77
Plantación de latifoliadas	Bosques	45	66	77	83
Vegetación secundaria alta	Rastrojo	30	48	65	73
Vegetación secundaria baja	Rastrojo	35	56	70	77
Rastrojo bajo	Rastrojo	48	67	77	83
Bosque natural intervenido	Bosques	45	66	77	83
Cultivo permanente	Cultivo contorno y terrazas	62	71	78	81
Bosque plantado	Bosques	45	66	77	83
Construcciones	Áreas residenciales - lotes 500 sq m	77	85	90	92
Rastrojo alto	Rastrojo	30	48	65	73
Construcciones	Áreas residenciales - lotes 500 sq m	77	85	90	92
Rastrojo bajo	Rastrojo	48	67	77	83
Pasto natural	Pastos	39	61	74	80
Bosque natural intervenido	Bosques	45	66	77	83
Cultivo permanente	Cultivo contorno y terrazas	62	71	78	81
Pasto natural	Pastos	39	61	74	80

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 106. Grupo hidrológico asociado a cada tipo de suelo.

Nomenclatura	Grupo Hidrológico	Nomenclatura	Grupo Hidrológico
AEf	B	SAd1	B
GSb	B	SAe1	B
HBf	B	TEe1	B
HBf1	B	TEf2	B
LPb	B	YAe1	B
NQe1	B	YAf1	B
NQf3	B	ZU	B

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

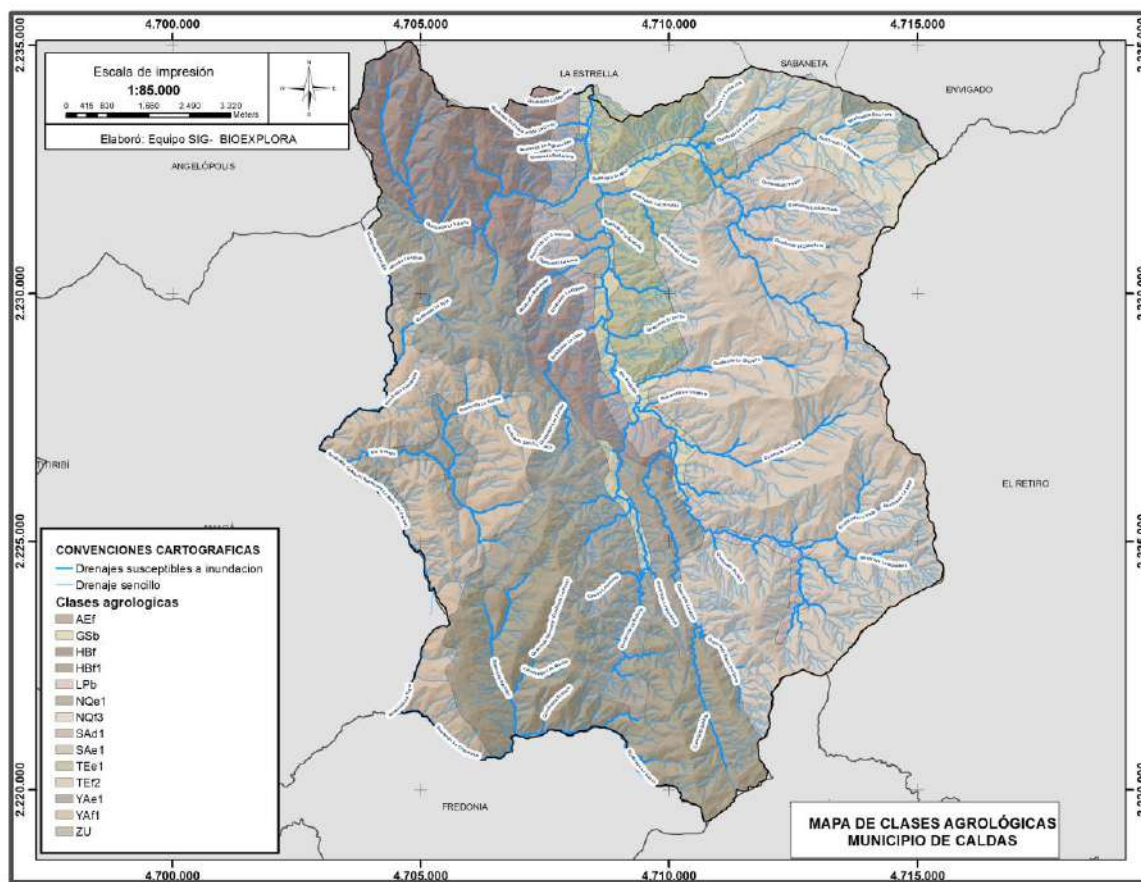


Figura 65 Clasificación agrológica de los suelos en el municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

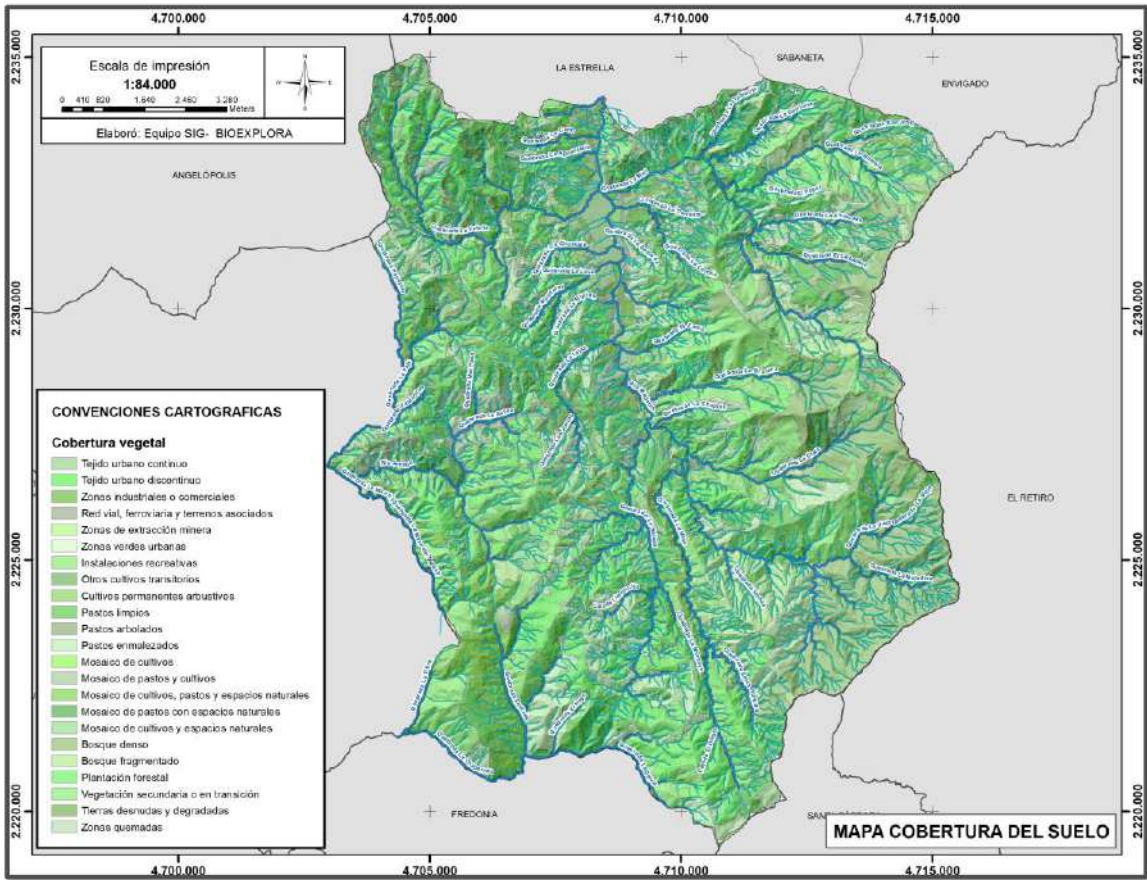


Figura 66. Cobertura vegetal en el municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

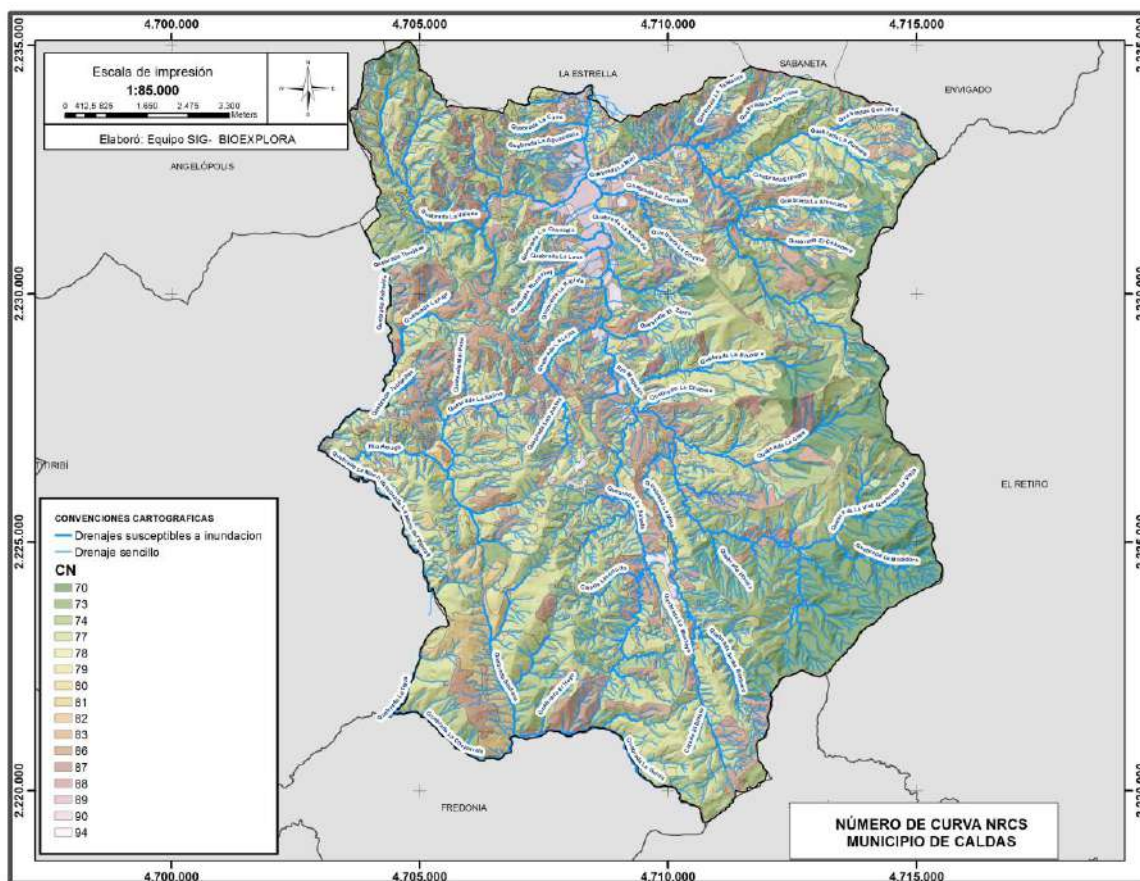


Figura 67 Número de Curva NRCS en el municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Por último, la humedad antecedente del suelo está definida en tres grupos:

- AMC-I: para suelos secos.
- AMC-II: para suelos intermedios.
- AMC-III: para suelos húmedos.

Con el objetivo de ser conservadores, considerando que el presente estudio es un estudio básico de amenaza, se asume una condición AMC III.

Tabla 107. Número de Curva NRCS para las principales cuencas.

Cuenca	AMC I	AMC II	AMC III
R. Aburrá	60	78	89
R. Amagá	61	79	90
Q. La Aguacatala	66	82	91
Q. La Brunera	57	76	88
Q. La Cano	61	79	90
Q. La Chaparrala	61	79	90
Q. La Chapola	58	77	89
Q. La Chuscala	61	79	90

Cuenca	AMC I	AMC II	AMC III
Q. La Clara	57	76	88
Q. La Corralita	63	80	90
Q. La Honda	53	73	86
Q. La Lejía	64	81	91
Q. Mandalay	64	81	91
Q. La Mani	61	79	90
Q. La Miel	60	78	89
Q. La Mina	60	78	89
Q. La Moladora	49	70	84
Q. La Paja	64	81	91
Q. La Peña	58	77	89
Q. La Rapida	63	80	90
Q. La Salada	61	79	90
Q. Sinifaná	60	78	89
Q. Sta Barbara	57	76	88
Q. Sta Isabel	51	71	85
Q. La Tigra	64	81	91
Q. La Valeria	61	79	90
Q. La Vieja	53	73	86
Q. Zarzo	61	79	90
Q. SN1	58	77	89
Q. SN2	64	81	91
Q. SN3	60	78	89

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.1.4 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS

Para la estimación de caudales máximos se utilizó los métodos de las hidrógrafas unitarias de (Snyder, 1972), (SCS, 1972) y (Williams & Hann, 1973). Para la obtención de la hidrografía de respuesta para cada uno de los sitios de interés, se realiza la convolución de las hidrógrafas unitarias y el hietograma, obteniendo el caudal máximo asociado a los diferentes períodos de retorno como el caudal pico de la hidrografía de respuesta. A continuación, se presentan las hidrógrafas de creciente asociadas a un período de retorno de 100 años estimadas para la quebrada La Miel.

$$[P][U] = [Q] \quad \text{Ecuación 6.1}$$

donde:

- **[P]:** es la matriz de precipitaciones, que corresponde al hietograma (no acumulado)
- **[U]:** es la hidrógrafa unitaria en forma vectorial
- **[Q]:** es la hidrógrafa de respuesta

Esta ecuación puede representarse gráficamente de la siguiente manera.

$$\begin{bmatrix}
 P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
 P_2 & P_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
 P_3 & P_2 & P_1 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 P_M & P_{M-1} & P_{M-2} & \dots & P_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
 0 & P_M & P_{M-1} & \dots & P_2 & P_1 & \dots & 0 & 0 \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & P_M & P_{M-1} \\
 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & P_M
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 U_1 \\
 U_2 \\
 U_3 \\
 \vdots \\
 U_{N-M+1}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 Q_1 \\
 Q_2 \\
 Q_3 \\
 \vdots \\
 Q_M \\
 Q_{M+1} \\
 \vdots \\
 Q_{N-1} \\
 Q_N
 \end{bmatrix}$$

Figura 68. Deconvolución matricial de la hidrógrafa de respuesta.

Fuente: Chow, 1994

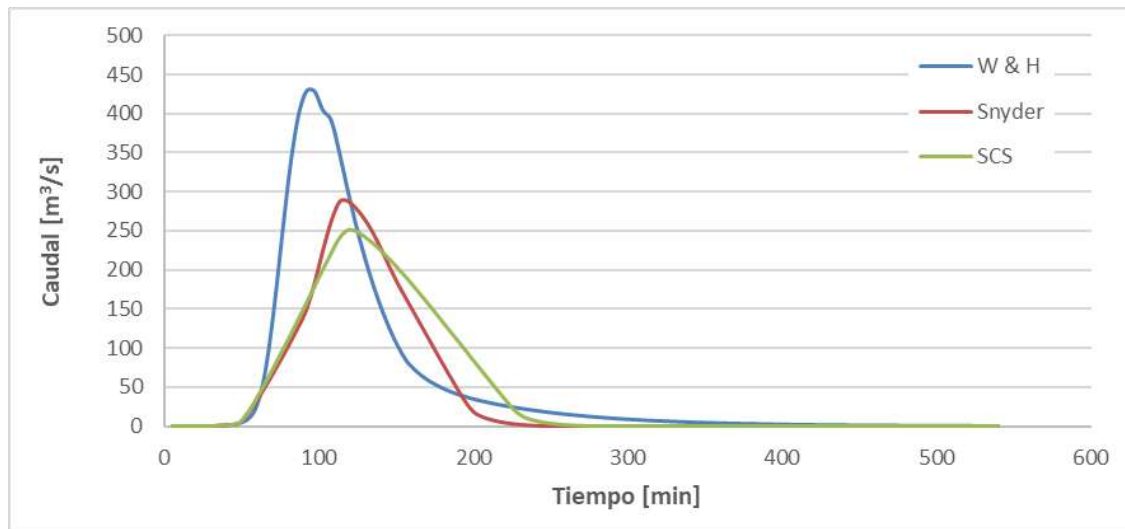


Figura 69. Hidrógrafa de respuesta estimada por las diferentes metodologías en la quebrada La Miel ante la ocurrencia del evento de precipitación asociado a un periodo de retorno de 200 años.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Como se observa en la figura anterior, los caudales estimados mediante la metodología de (Williams & Hann, 1973), varía considerablemente con respecto a los caudales estimados por los métodos de (Snyder, 1972) y (SCS, 1972), para cada corriente analizada se realizó un análisis particular por lo que el caudal de diseño se estima como el promedio de los valores más cercanos estimados por las diferentes metodologías. A continuación, se presentan los valores de caudal de creciente estimados para cada una de las cuencas principales. En el ANEXO A se presentan los caudales estimados para los demás tramos analizados.

Tabla 108. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m³/s) – W & H.

Cuenca	T _{R2}	T _{R5}	T _{R10}	T _{R25}	T _{R50}	T _{R100}	T _{R200}	T _{R500}	T _{R500 X 1.4}
R. Aburrá	232.76	292.38	345.72	428.80	502.48	586.75	682.88	830.64	1162.90
R. Amagá	66.45	83.13	98.00	121.10	141.51	164.99	191.76	232.84	325.97
Q. La Aguacatala	7.24	9.12	10.81	13.44	15.77	18.44	21.49	26.18	36.66
Q. La Brunera	43.53	55.29	65.90	82.55	97.39	114.45	133.98	164.10	229.74
Q. La Cano	10.37	13.11	15.57	19.41	22.83	26.74	31.21	38.10	53.34
Q. La Chaparrala	82.81	104.25	123.44	153.33	179.84	210.14	244.70	297.75	416.85
Q. La Chapola	5.89	7.49	8.93	11.20	13.21	15.54	18.20	22.31	31.23
Q. La Chuscala	8.00	10.03	11.85	14.67	17.18	20.04	23.30	28.31	39.63
Q. La Clara	60.78	77.11	91.81	114.85	135.38	158.94	185.90	227.44	318.42
Q. La Corralita	14.09	17.65	20.83	25.79	30.18	35.21	40.93	49.72	69.61
Q. La Honda	10.00	12.94	15.64	19.94	23.82	28.33	33.55	41.67	58.34
Q. La Lejía	16.40	20.41	23.98	29.50	34.37	39.92	46.23	55.89	78.25
Q. Mandalay	14.54	18.14	21.34	26.31	30.70	35.71	41.40	50.12	70.17
Q. La Maní	35.08	43.98	51.93	64.38	75.44	88.08	102.48	124.61	174.45
Q. La Miel	145.11	182.58	216.12	268.37	314.72	367.71	428.16	521.92	730.69
Q. La Mina	41.85	52.61	62.24	77.24	90.53	105.74	123.09	149.74	209.64
Q. La Moladora	27.10	35.30	42.83	54.86	65.77	78.48	93.20	116.21	162.70
Q. La Paja	60.49	75.40	88.67	109.22	127.35	148.00	171.48	207.42	290.39
Q. La Peña	26.62	33.79	40.24	50.35	59.36	69.69	81.52	99.75	139.65
Q. La Rapida	3.59	4.64	5.60	7.13	8.50	10.10	11.95	14.83	20.77
Q. La Salada	39.58	49.45	58.25	71.91	83.99	97.76	113.45	137.50	192.50
Q. Sinifaná	57.30	72.25	85.65	106.54	125.09	146.31	170.53	207.75	290.85
Q. Sta Barbara	21.38	27.13	32.31	40.43	47.66	55.97	65.54	80.35	112.49
Q. Sta Isabel	25.38	32.63	39.24	49.70	59.12	70.00	82.56	102.05	142.87
Q. La Tigra	28.62	35.95	42.55	52.84	61.97	72.40	84.29	102.54	143.56
Q. La Valeria	67.64	84.63	99.78	123.30	144.10	167.83	194.84	236.24	330.74
Q. La Vieja	43.44	55.99	67.42	85.55	101.87	120.75	142.52	176.31	246.84
Q. Zarzo	14.99	18.86	22.31	27.70	32.47	37.93	44.16	53.80	75.32
Q. SN1	12.94	16.36	19.43	24.22	28.49	33.38	38.97	47.57	66.60
Q. SN2	10.13	12.73	15.05	18.66	21.86	25.51	29.68	36.08	50.51
Q. SN3	8.30	10.57	12.63	15.88	18.79	22.15	26.01	31.98	44.77

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 109. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m³/s) – Snyder.

Cuenca	T _R 2	T _R 5	T _R 10	T _R 25	T _R 50	T _R 100	T _R 200	T _R 500	T _R 500 x 1.4
R. Aburrá	319.02	401.02	474.40	588.70	690.04	805.94	938.13	1141.22	1597.71
R. Amagá	63.14	79.01	93.17	115.15	134.59	156.77	182.02	220.73	309.03
Q. La Aguacatala	10.57	13.30	15.75	19.59	23.02	26.94	31.41	38.29	53.61
Q. La Brunera	32.77	41.58	49.53	61.98	73.09	85.84	100.45	122.97	172.16
Q. La Cano	12.05	15.23	18.10	22.61	26.62	31.22	36.48	44.59	62.42
Q. La Chaparrala	53.12	66.72	78.88	97.80	114.57	133.73	155.57	189.11	264.75
Q. La Chapola	8.37	10.63	12.68	15.91	18.80	22.13	25.95	31.84	44.57
Q. La Chuscala	11.82	14.83	17.53	21.72	25.42	29.66	34.49	41.89	58.65
Q. La Clara	42.56	53.98	64.26	80.38	94.75	111.25	130.14	159.26	222.96
Q. La Corralita	17.88	22.42	26.47	32.77	38.34	44.70	51.95	63.07	88.30
Q. La Honda	10.95	14.19	17.14	21.84	26.09	31.02	36.71	45.65	63.91
Q. La Lejía	22.50	28.02	32.92	40.51	47.21	54.83	63.49	76.74	107.43
Q. Mandalay	17.95	22.39	26.35	32.47	37.88	44.04	51.05	61.77	86.48
Q. La Maní	29.85	37.44	44.23	54.78	64.12	74.80	86.95	105.61	147.86
Q. La Miel	97.62	122.78	145.30	180.40	211.54	247.15	287.77	350.21	490.29
Q. La Mina	38.09	47.87	56.61	70.23	82.33	96.26	112.16	136.61	191.25
Q. La Moladora	20.99	27.27	33.04	42.31	50.74	60.57	71.97	89.79	125.70
Q. La Paja	46.70	58.15	68.34	84.10	98.00	113.83	131.88	159.67	223.53
Q. La Peña	20.41	25.89	30.84	38.58	45.48	53.41	62.48	76.46	107.05
Q. La Rapida	10.67	13.75	16.56	21.03	25.08	29.78	35.19	43.62	61.07
Q. La Salada	53.74	67.18	79.15	97.74	114.16	132.89	154.29	187.28	262.19
Q. Sinifaná	41.49	52.31	62.02	77.17	90.63	106.03	123.63	150.68	210.95
Q. Sta Barbara	21.15	26.87	32.02	40.11	47.33	55.62	65.11	79.76	111.66
Q. Sta Isabel	28.47	36.59	43.99	55.68	66.26	78.57	92.77	114.84	160.78
Q. La Tigra	23.18	29.16	34.52	42.86	50.25	58.69	68.33	83.11	116.36
Q. La Valeria	63.19	79.10	93.29	115.33	134.82	157.07	182.39	221.23	309.72
Q. La Vieja	31.92	41.13	49.56	62.93	74.98	88.94	105.04	130.07	182.10
Q. Zarzo	16.82	21.18	25.09	31.18	36.58	42.76	49.81	60.65	84.91
Q. SN1	15.44	19.54	23.22	28.98	34.11	39.99	46.71	57.06	79.89
Q. SN2	11.39	14.33	16.96	21.06	24.69	28.84	33.57	40.83	57.16
Q. SN3	10.77	13.73	16.42	20.63	24.40	28.74	33.78	41.56	58.19

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 110. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m³/s) – NRCS.

Cuenca	T_R2	T_R5	T_R10	T_R25	T_R50	T_R100	T_R200	T_R500	T_R500 x 1.4
R. Aburrá	222.08	279.04	330.01	409.42	479.86	560.43	652.37	793.70	1111.19
R. Amagá	51.26	64.12	75.64	93.56	109.43	127.54	148.18	179.86	251.81
Q. La Aguacatala	10.43	13.14	15.57	19.35	22.71	26.55	30.97	37.76	52.87
Q. La Brunera	30.87	39.16	46.62	58.33	68.77	80.76	94.49	115.67	161.94
Q. La Cano	11.80	14.92	17.72	22.09	26.01	30.51	35.65	43.58	61.02
Q. La Chaparrala	49.95	62.71	74.12	91.89	107.63	125.63	146.15	177.68	248.75
Q. La Chapola	8.19	10.41	12.42	15.56	18.37	21.62	25.35	31.12	43.56
Q. La Chuscala	11.18	14.02	16.56	20.52	24.02	28.02	32.59	39.59	55.43
Q. La Clara	39.94	50.64	60.27	75.36	88.82	104.27	121.96	149.26	208.96
Q. La Corralita	16.80	21.06	24.86	30.76	35.99	41.97	48.77	59.22	82.91
Q. La Honda	10.81	14.00	16.92	21.56	25.77	30.64	36.29	45.08	63.12
Q. La Lejía	20.03	24.91	29.25	35.97	41.92	48.71	56.43	68.26	95.56
Q. Mandalay	16.92	21.10	24.82	30.59	35.68	41.49	48.09	58.21	81.49
Q. La Maní	28.03	35.15	41.51	51.41	60.17	70.18	81.59	99.11	138.75
Q. La Miel	84.73	106.64	126.28	156.91	184.10	215.22	250.76	305.43	427.60
Q. La Mina	35.23	44.25	52.37	65.03	76.27	89.13	103.81	126.38	176.94
Q. La Moladora	20.26	26.33	31.90	40.80	48.91	58.36	69.33	86.47	121.06
Q. La Paja	43.42	54.06	63.51	78.17	91.17	105.99	122.85	148.68	208.15
Q. La Peña	19.64	24.91	29.66	37.10	43.73	51.35	60.07	73.52	102.93
Q. La Rapida	11.12	14.35	17.29	21.97	26.18	31.06	36.69	45.45	63.63
Q. La Salada	46.57	58.26	68.69	84.90	99.23	115.60	134.24	162.83	227.97
Q. Sinifaná	38.85	48.96	58.03	72.19	84.77	99.17	115.62	140.92	197.29
Q. Sta Barbara	20.05	25.46	30.33	37.98	44.80	52.64	61.63	75.49	105.69
Q. Sta Isabel	24.46	31.44	37.80	47.87	56.93	67.42	79.50	98.27	137.58
Q. La Tigra	22.59	28.37	33.57	41.68	48.86	57.08	66.46	80.87	113.22
Q. La Valeria	48.95	61.25	72.22	89.27	104.35	121.56	141.18	171.27	239.78
Q. La Vieja	30.73	39.55	47.64	60.46	72.01	85.39	100.83	124.85	174.79
Q. Zarzo	16.09	20.26	23.99	29.80	34.97	40.87	47.62	57.98	81.17
Q. SN1	14.74	18.64	22.15	27.64	32.52	38.13	44.54	54.41	76.17
Q. SN2	11.14	13.98	16.53	20.52	24.06	28.11	32.73	39.82	55.75
Q. SN3	10.66	13.60	16.26	20.45	24.20	28.51	33.47	41.13	57.58

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 111. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m³/s)– Racional.

Cuenca	T _R 2	T _R 5	T _R 10	T _R 25	T _R 50	T _R 100	T _R 200	T _R 500	T _R 500 x 1.4
R Aburrá	235.56	295.54	349.17	432.68	506.72	591.41	688.04	836.61	1171.26
R. Amagá	51.63	64.55	76.08	93.98	109.82	127.92	148.54	180.19	252.27
Q. La Aguacatala	10.45	13.17	15.61	19.42	22.81	26.69	31.13	37.97	53.16
Q. La Brunera	30.84	39.09	46.53	58.19	68.60	80.56	94.26	115.43	161.60
Q. La Cano	11.73	14.84	17.63	22.01	25.91	30.38	35.50	43.41	60.77
Q. La Chaparrala	50.43	63.29	74.80	92.71	108.60	126.78	147.53	179.42	251.19
Q. La Chapola	8.14	10.35	12.35	15.49	18.30	21.54	25.25	30.99	43.38
Q. La Chuscala	10.80	13.54	16.00	19.81	23.20	27.06	31.48	38.26	53.56
Q. La Clara	40.17	50.89	60.55	75.69	89.20	104.71	122.49	149.94	209.91
Q. La Corralita	16.39	20.53	24.23	29.98	35.08	40.91	47.56	57.77	80.88
Q. La Honda	10.81	14.00	16.93	21.59	25.80	30.71	36.38	45.25	63.35
Q. La Lejía	19.55	24.31	28.54	35.10	40.89	47.48	54.98	66.47	93.06
Q. Mandalay	16.49	20.57	24.19	29.82	34.79	40.46	46.91	56.81	79.54
Q. La Mani	27.77	34.81	41.10	50.90	59.58	69.50	80.82	98.22	137.51
Q. La Miel	86.99	109.30	129.28	160.42	188.05	219.67	255.78	311.32	435.85
Q. La Mina	35.12	44.11	52.14	64.66	75.77	88.47	102.98	125.29	175.40
Q. La Moladora	20.41	26.53	32.15	41.13	49.27	58.76	69.77	86.99	121.78
Q. La Paja	43.42	54.05	63.50	78.15	91.08	105.82	122.59	148.29	207.61
Q. La Peña	19.59	24.82	29.54	36.93	43.52	51.09	59.77	73.17	102.44
Q. La Rapida	11.51	14.87	17.95	22.85	27.28	32.42	38.36	47.63	66.68
Q. La Salada	46.75	58.39	68.77	84.89	99.15	115.43	133.97	162.42	227.39
Q. Sinifaná	38.92	49.03	58.10	72.26	84.85	99.27	115.75	141.14	197.60
Q. Sta Barbara	19.83	25.16	29.96	37.50	44.23	51.97	60.85	74.55	104.37
Q. Sta Isabel	24.37	31.31	37.62	47.62	56.61	67.02	79.02	97.68	136.75
Q. La Tigra	22.69	28.52	33.73	41.86	49.07	57.33	66.76	81.26	113.77
Q. La Valeria	49.22	61.49	72.43	89.42	104.44	121.59	141.14	171.13	239.58
Q. La Vieja	31.22	40.19	48.37	61.34	73.02	86.56	102.18	126.50	177.09
Q. Zarzo	15.84	19.93	23.59	29.31	34.38	40.19	46.83	57.05	79.87
Q. SN1	14.48	18.30	21.73	27.11	31.90	37.39	43.68	53.38	74.73
Q. SN2	11.05	13.89	16.43	20.38	23.90	27.91	32.50	39.56	55.39
Q. SN3	10.69	13.65	16.33	20.55	24.33	28.69	33.70	41.47	58.06

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Siguiendo los lineamientos del AMVA, para cuencas menores de 2 km se utiliza únicamente el caudal estimado por el método racional, mientras que para el resto de las cuencas se respeta el criterio de la desviación con respecto a la media de los valores mencionado anteriormente.

Vale la pena aclarar que, al utilizar un coeficiente de escorrentía corregido en función del número de curva (método racional modificado) se reducen significativamente los caudales estimados por el método racional utilizando los coeficientes de escorrentía disponibles en la bibliografía, acercándolos más a los caudales picos de los modelos de hidrógrafas unitarias. De igual manera, se validó si este estimativo se encontraba dentro del rango de la media mas o menos una desviación estándar para determinar si se incluye en el promedio de los caudales asumido para la estimación de los caudales de diseño.

Tabla 112. Selección de metodologías utilizadas para estimar los caudales de diseño.

Cuenca	W & H	SNYDER	NRCS	RACIONAL
R. Aburrá	SI	NO	SI	SI
R. Amagá	NO	SI	SI	SI
Q. La Aguacatala	NO	NO	NO	SI
Q. La Brunera	NO	SI	SI	SI
Q. La Cano	NO	NO	NO	SI
Q. La Chaparrala	NO	SI	SI	SI
Q. La Chapola	NO	NO	NO	SI
Q. La Chuscala	NO	NO	NO	SI
Q. La Clara	NO	SI	SI	SI
Q. La Corralita	NO	SI	SI	SI
Q. La Honda	NO	NO	NO	SI
Q. La Lejía	NO	NO	SI	SI
Q. Mandalay	NO	NO	NO	SI
Q. La Maní	NO	SI	SI	SI
Q. La Miel	NO	SI	SI	SI
Q. La Mina	NO	SI	SI	SI
Q. La Moladora	NO	SI	SI	SI
Q. La Paja	NO	SI	SI	SI
Q. La Peña	NO	NO	NO	SI
Q. La Rapida	NO	NO	NO	SI
Q. La Salada	NO	NO	SI	SI
Q. Sinifaná	NO	SI	SI	SI
Q. Sta Barbara	SI	SI	SI	SI
Q. Sta Isabel	SI	SI	SI	SI
Q. La Tigra	NO	NO	NO	SI
Q. La Valeria	NO	SI	SI	SI
Q. La Vieja	NO	SI	SI	SI
Q. Zarzo	NO	NO	NO	SI
Q. SN1	SI	SI	SI	SI
Q. SN2	SI	SI	SI	SI
Q. SN3	SI	SI	SI	SI

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 113. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m³/s)– Valores seleccionados.

Cuenca	Tr2	Tr5	Tr10	Tr25	Tr50	Tr100	Tr200	Tr500	Tr500 x 1.4
R. Aburrá	230.13	288.99	341.63	423.63	496.35	579.53	674.43	820.32	1148.45
R. Amagá	55.34	69.23	81.63	100.90	117.95	137.41	159.58	193.59	271.03
Q. La Aguacatala	10.45	13.17	15.61	19.42	22.81	26.69	31.13	37.97	53.16
Q. La Brunera	31.49	39.94	47.56	59.50	70.15	82.39	96.40	118.02	165.23
Q. La Cano	11.73	14.84	17.63	22.01	25.91	30.38	35.50	43.41	60.77
Q. La Chaparrala	51.16	64.24	75.93	94.14	110.27	128.72	149.75	182.07	254.90
Q. La Chapola	8.14	10.35	12.35	15.49	18.30	21.54	25.25	30.99	43.38
Q. La Chuscala	10.80	13.54	16.00	19.81	23.20	27.06	31.48	38.26	53.56
Q. La Clara	40.89	51.84	61.70	77.15	90.92	106.75	124.86	152.82	213.94
Q. La Corralita	17.02	21.33	25.18	31.17	36.47	42.53	49.43	60.02	84.03
Q. La Honda	10.81	14.00	16.93	21.59	25.80	30.71	36.38	45.25	63.35
Q. La Lejía	19.79	24.61	28.90	35.54	41.40	48.10	55.71	67.37	94.31
Q. Mandalay	16.49	20.57	24.19	29.82	34.79	40.46	46.91	56.81	79.54
Q. La Maní	28.55	35.80	42.28	52.36	61.29	71.49	83.12	100.98	141.37
Q. La Miel	89.78	112.91	133.62	165.91	194.56	227.35	264.77	322.32	451.25

Cuenca	T _R 2	T _R 5	T _R 10	T _R 25	T _R 50	T _R 100	T _R 200	T _R 500	T _R 500 x 1.4
Q. La Mina	36.15	45.41	53.71	66.64	78.12	91.29	106.32	129.43	181.20
Q. La Moladora	20.55	26.71	32.36	41.41	49.64	59.23	70.35	87.75	122.85
Q. La Paja	44.51	55.42	65.12	80.14	93.42	108.55	125.77	152.21	213.10
Q. La Peña	19.59	24.82	29.54	36.93	43.52	51.09	59.77	73.17	102.44
Q. La Rapida	11.51	14.87	17.95	22.85	27.28	32.42	38.36	47.63	66.68
Q. La Salada	46.66	58.33	68.73	84.90	99.19	115.51	134.10	162.63	227.68
Q. Sinifaná	39.75	50.10	59.38	73.87	86.75	101.49	118.33	144.25	201.95
Q. Sta Barbara	20.34	26.48	31.55	39.51	46.60	54.74	64.09	78.53	109.95
Q. Sta Isabel	24.74	31.80	38.22	48.40	57.55	68.15	80.36	99.33	139.07
Q. La Tigra	22.69	28.52	33.73	41.86	49.07	57.33	66.76	81.26	113.77
Q. La Valeria	53.79	67.28	79.31	98.00	114.54	133.41	154.90	187.88	263.03
Q. La Vieja	31.29	40.29	48.52	61.57	73.34	86.96	102.68	127.14	177.99
Q. Zarzo	15.84	19.93	23.59	29.31	34.38	40.19	46.83	57.05	79.87
Q. SN1	14.48	18.30	21.73	27.11	31.90	37.39	43.68	53.38	74.73
Q. SN2	11.05	13.89	16.43	20.38	23.90	27.91	32.50	39.56	55.39
Q. SN3	10.69	13.65	16.33	20.55	24.33	28.69	33.70	41.47	58.06

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.2 ESTUDIO HIDRÁULICO

Mediante el estudio hidráulico se determinan las condiciones de profundidad y velocidad de flujo ante la ocurrencia de los eventos de creciente asociados a un período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años, con el objetivo de clasificar el grado de amenaza de estos, en condiciones de inundaciones y avenidas torrenciales tal como se describe a continuación.

6.2.1 ESTRATEGIA Y ESCENARIOS DE MODELACIÓN

Dadas las condiciones geomorfológicas e hidráulicas encontradas para las principales cuencas del municipio de Caldas, se determinaron las siguientes estrategias y escenarios de modelación:

- Para las áreas asociadas a unidades geomorfológicas susceptibles a eventos de inundación, principalmente asociadas a las llanuras de inundación del río Aburrá y las principales quebradas del municipio donde hay disponibilidad de información a escala 1:2.000, se determinó viable el desarrollo de modelos hidráulicos bidimensionales (2D) con corrección del terreno e implantación de estructuras hidráulicas, utilizando como caudales de entrada los caudales máximos asociados a un período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años.
- Para las quebradas que presentan coberturas de gran longitud, y son propensas a obstruirse durante un evento de inundación (secciones hidráulicas menores que 2 m de dimensión mínima), se asume un bloqueo y desbordamiento de las estructuras hidráulicas.
- Para el estudio de avenidas torrenciales se definió un escenario de modelación hidráulico bidimensional (2D) asumiendo que las estructuras hidráulicas se encuentran obstruidas durante la ocurrencia del evento debido a su condición de insuficiencia. El caudal utilizado corresponde a un

caudal con un período de retorno de 500 años, esto con el objetivo de considerar un evento extremo que abarque todas las incertidumbres implícitas en eventos de este tipo.

- Para las zonas donde las quebradas se encuentran encañonadas y los flujos laterales durante los eventos de creciente no son significativos, se utilizó el descriptor morfométrico HAND (*“Height Above Nearest Drainage”*), tal como se describe en Zheng et. al (2018).
- Se hace necesario modelar las condiciones de nivel y velocidad del río Aburrá, con el objetivo de utilizar estas condiciones como condiciones de borde para los modelos desarrollados para cada una de las quebradas estudiadas.

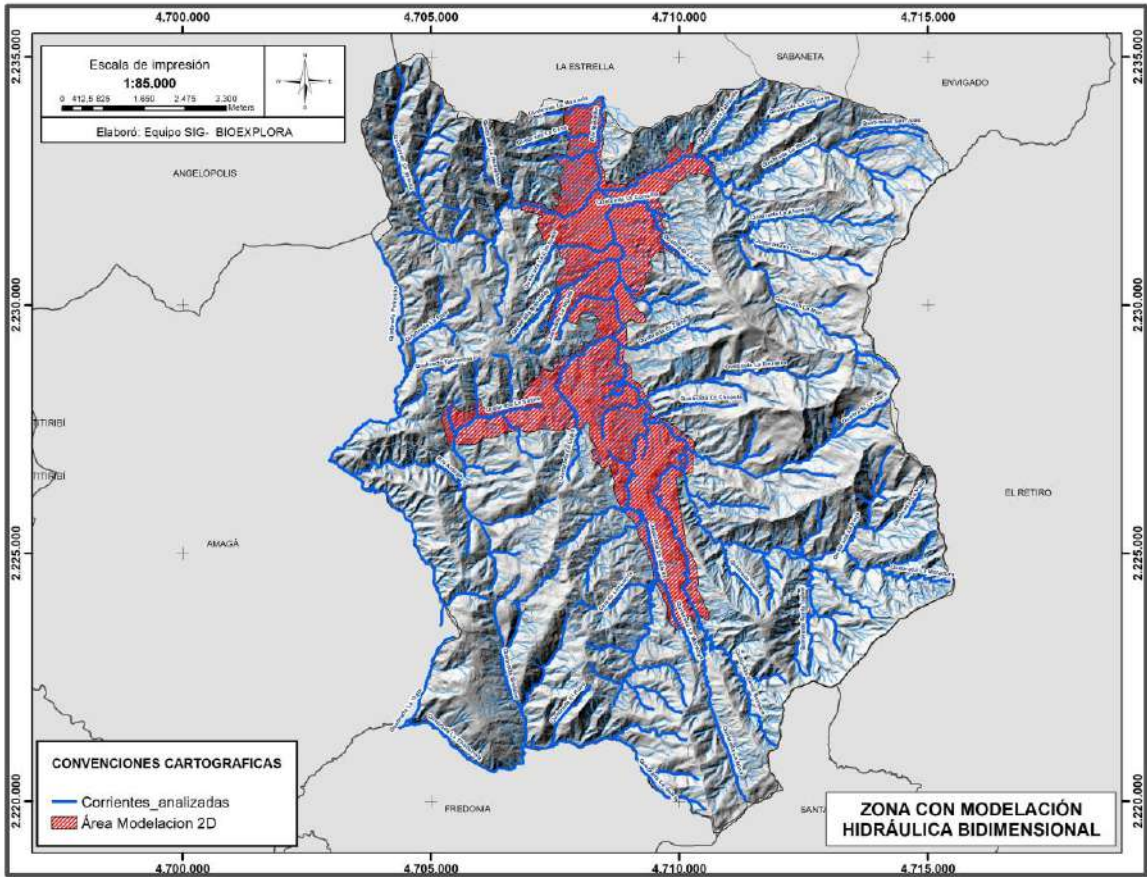


Figura 70. Zonas con modelación hidráulica bidimensional.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los escenarios de modelación empleados en el modelo HEC.

Tabla 114. Escenarios de modelación hidráulica utilizados

Corriente	Escenario	Tipo de modelo	Evento	Corrección del terreno	Implantación de estructuras hidráulicas	Caudales de entrada
Río Aburrá	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	Si	No aplica	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200, Tr500, 1.4 x Tr500
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Aguacatala	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Cano	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Chuscala	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Corralita	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Lejia	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Salada	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500

Corriente	Escenario	Tipo de modelo	Evento	Corrección del terreno	Implantación de estructuras hidráulicas	Caudales de entrada
Q. SN 1	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Miel	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Mina	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Valeria	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
	3	2D	Inundación	No	Si	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	4	2D	Av. Torrencial	No	Si	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Brunera	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Chaparrala	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Chapola	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Clara	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Honda	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. Mandalay	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Maní	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200

Corriente	Escenario	Tipo de modelo	Evento	Corrección del terreno	Implantación de estructuras hidráulicas	Caudales de entrada
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Moladora	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Paja	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Peña	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Rápida	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
R. Amagá	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. Sinifaná	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. Sta. Bárbara	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. Sta. Isabel	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Tigra	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. La Vieja	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. Zarzo	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. SN2	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500
Q. SN3	1	HAND	Inundación	No	No	Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, Tr200
	2	HAND	Av. Torrencial	No	No	Tr500, 1.4 x Tr500

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.2.2 MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO

El insumo principal para la modelación hidráulica corresponde al Modelo de Elevación Digital (MDT) generado para el desarrollo del POT de Caldas. Este corresponde a un modelo generado a partir de cartografía escala 1:2.000 para las zonas urbanas y de expansión y 1:5.000 para las áreas rurales y fue generado con una resolución de píxel de 2 m.

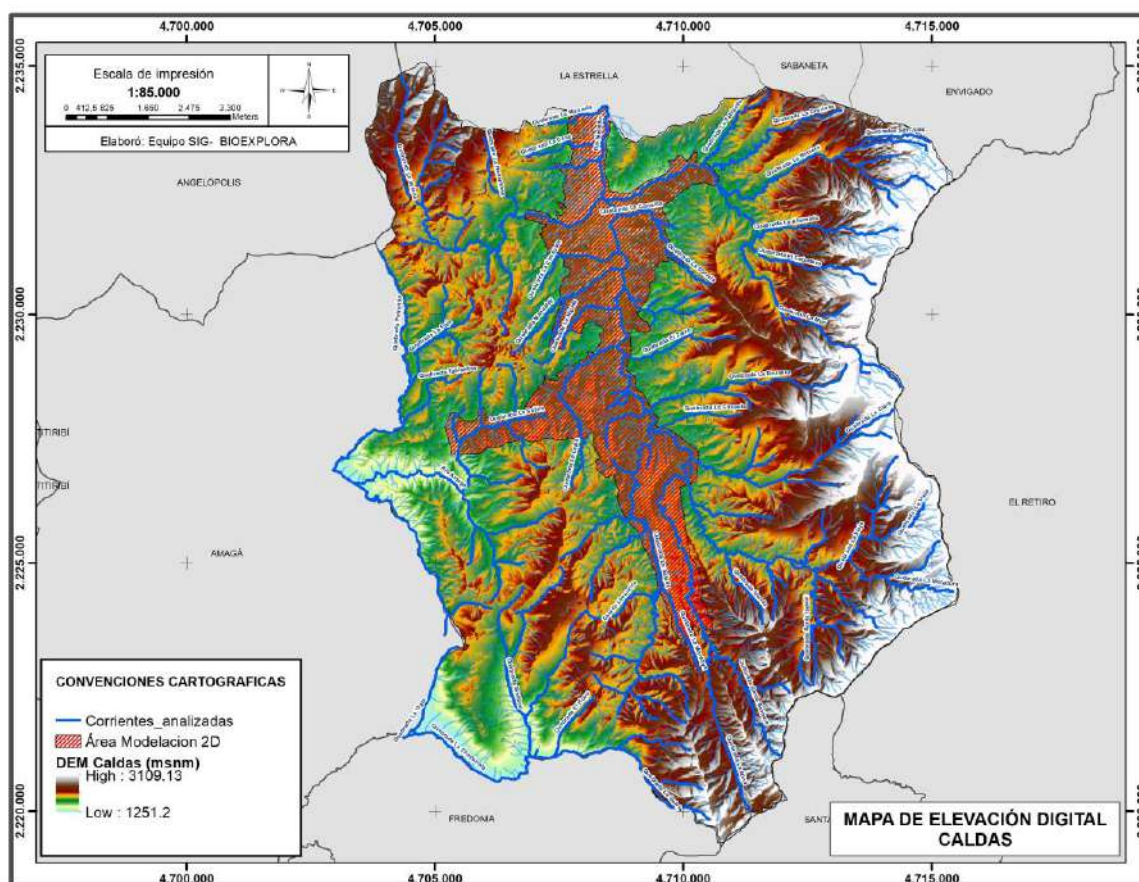


Figura 71. Modelo digital de elevación utilizado para la modelación hidráulica.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

Para los efectos de modelación hidráulica se presentan las siguientes limitaciones:

- Falta de información en zonas de cobertura de las estructuras hidráulicas
- Falta de detalle en zonas con variaciones de elevación menores que 2 m

Dado que no es apreciable el efecto de las obras hidráulicas sobre el MDE, no es viable realizar una corrección de los canales existentes en las zonas con coberturas.

6.2.2.1 Levantamiento de estructuras hidráulicas

Con el objetivo de evaluar el efecto de las estructuras hidráulicas en el comportamiento hidráulico de las quebradas del municipio de Girardota se realizó un levantamiento en campo con lienza donde se midieron las principales dimensiones de las estructuras, las cuales fueron complementadas mediante medición en planos con base en las fotografías aéreas más actuales a la fecha. En el Anexo B se presenta la tabla con las dimensiones principales de las estructuras hidráulicas levantadas.



Figura 72. Levantamiento de dimensiones en La Quebrada La Corralita
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)



Figura 73. Levantamiento de dimensiones en La Quebrada La Chuscala
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.2.2.2 Implantación de estructuras hidráulicas

La metodología utilizada para levantar la información topográfica del municipio de Caldas presenta limitaciones con respecto a la información en zonas con cobertura, dado que el modelo no refleja algunas de las coberturas. En estas zonas es posible realizar la implantación de las obras hidráulicas en la malla de modelación, tomando como punto de referencia el fondo del cauce, tal como se ilustra en las siguientes figuras.

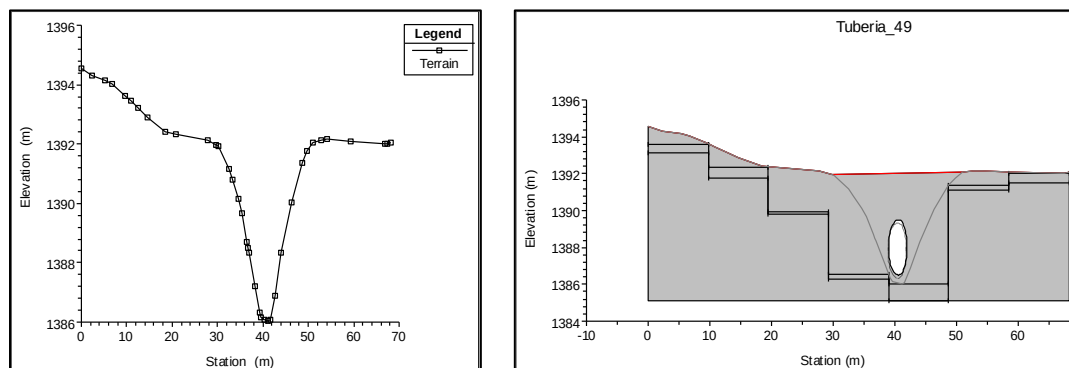


Figura 74 Implantación de estructura hidráulica en el modelo digita del terreno de la quebrada La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

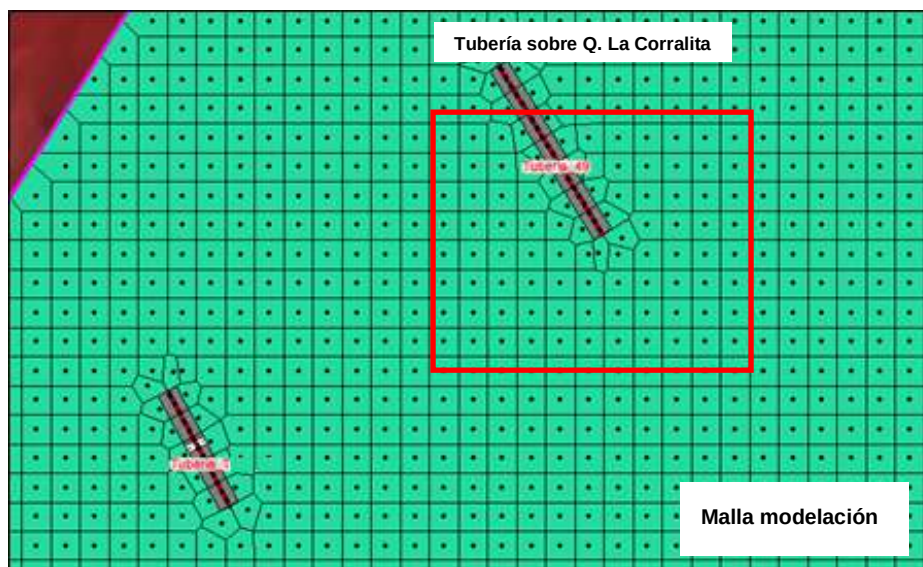


Figura 75. Implantación de la estructura en la malla de modelado 2D.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Para los casos donde se observan las coberturas se procede a interpolar una superficie entre la sección hidráulica inmediatamente aguas arriba e inmediatamente aguas abajo de las coberturas, la cual es superpuesta sobre el modelo de elevación tal como se ilustra a continuación.

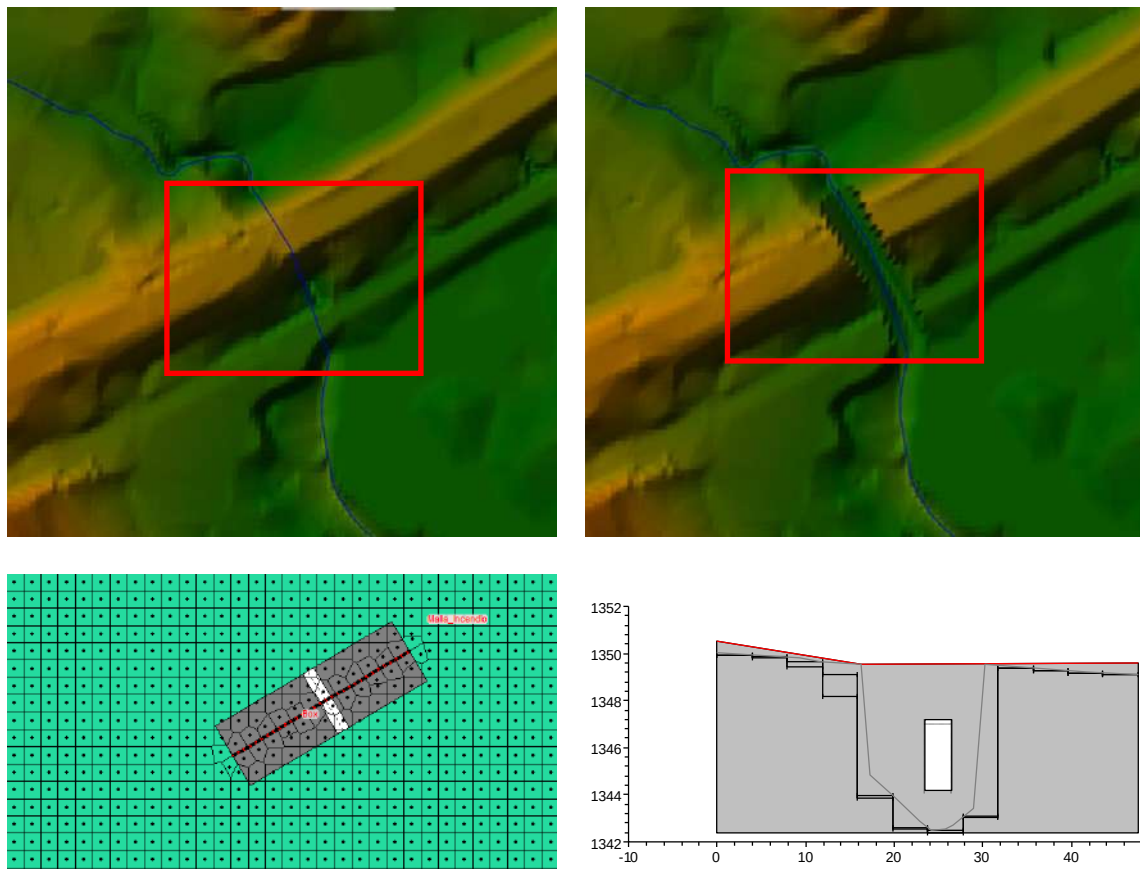


Figura 76 Ajuste del modelo digital de elevación para la implantación de una estructura hidráulica en la quebrada La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Vale la pena aclarar que para efectos del estudio de hidráulico para la condición de flujo torrencial se bloquearon las obras con una dimensión mínima menor que 3,0m, dado que estas son susceptibles a bloquearse por presencia de material de arrastre de gran tamaño.

6.2.3 COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

La asignación de la rugosidad para el modelamiento hidráulico se hizo con base en los valores expuestos por (Chow, Maidment, & Mays, 1988). En general, se tuvo en cuenta que la rugosidad en ríos de montaña se relaciona no sólo con el diámetro de las partículas o sedimentos presentes en el lecho, sino con las estructuras macro disipadoras de energía, comúnmente relacionadas con las altas pendientes, y las estructuras escalonadas, o de saltos y pozos del lecho. Las quebradas en la zona en estudio poseen una estructura de saltos y pozos bien definida, en su zona media y alta, con pendientes elevadas, y materiales en el lecho de

tamaños hasta cantos de roca, lo que las hace muy eficiente en disipación de energía, en lo concerniente al análisis de los mecanismos de disipación en los cauces. Así, la asignación de la rugosidad de acuerdo con el tipo de material únicamente, como se hace tradicionalmente, puede subestimar el efecto de la rugosidad en función del régimen de flujo.

Para el modelamiento hidráulico, se asignaron rugosidades para todas las secciones en los cauces, teniendo como base las descripciones de campo. Se emplearon valores del coeficiente de rugosidad de Manning en los tramos naturales del cauce principal, de 0,03 – 0,035 – 0,02 – 0,013, dependiendo de la ubicación del tramo dentro de la cuenca. Igualmente se asignaron valores del coeficiente de rugosidad a las banacas (izquierda y derecha) de 0,02 a 0,06, con base en el tipo y características de la cobertura.

Por otra parte, con el objetivo de ser conservadores, se asumió un coeficiente de rugosidad de 0,05 para las corrientes donde se utilizó el descriptor morfométrico HAND.

En la Figura 77 se presenta el coeficiente de rugosidad seleccionado tanto para los cauces como para las llanuras de inundación, mientras que en la Tabla 115 se presentan los criterios para la selección.

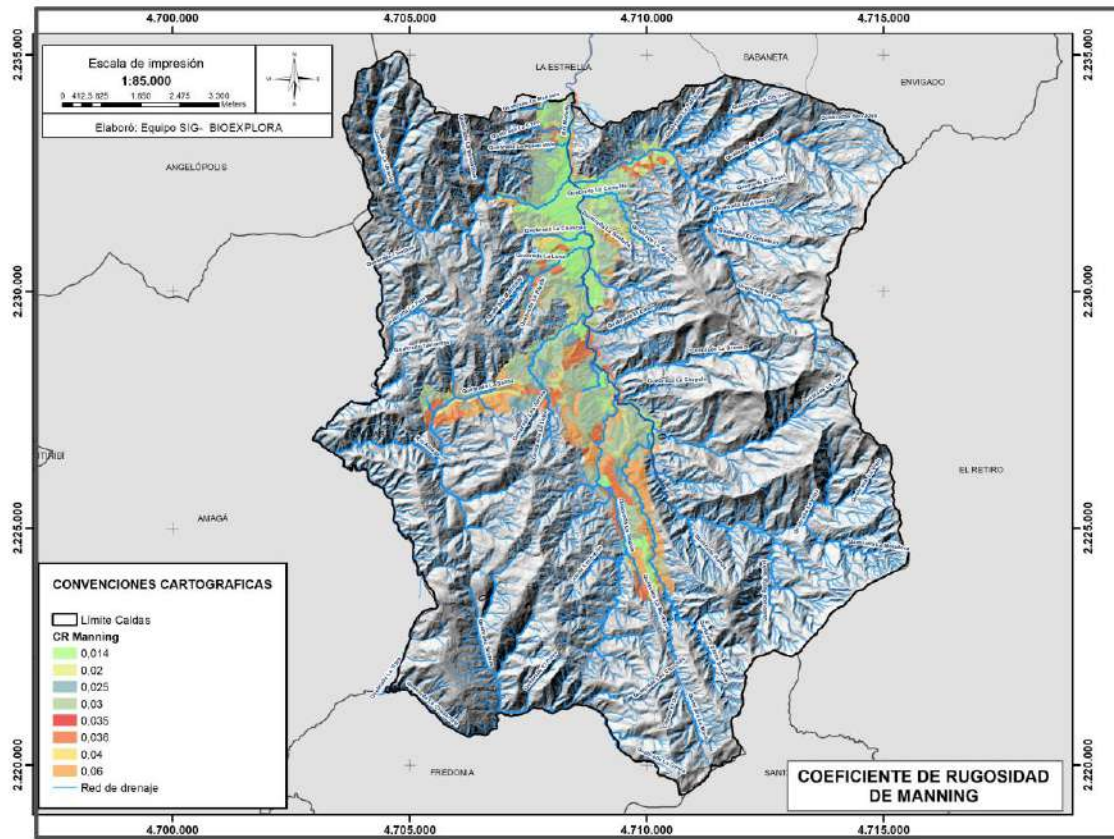


Figura 77. Coeficiente de rugosidad de Maning
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 115. Coeficiente de rugosidad de Manning.

Características cauce o llanura	Coefficiente de escorrentía	Descripción	Casos aplicación
Bosques (Todos)	0,060	Cobertura de arboles	Todas las corrientes
Cauces en condiciones naturales	0,035	Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	Todas las corrientes
Cultivos	0,040	-	Todas las corrientes
Pastos cortos	0,030	-	Todas las corrientes
Vías	0,014	Concretos	Todas las corrientes
Tejido urbano continuo	0,020	Concretos con rugosidad alta	Todas las corrientes
Tejido urbano discontinuo	0,020	Concretos con rugosidad alta	Todas las corrientes
Zonas verdes urbanas	0,030	Pastos	Todas las corrientes
Zonas industriales y construcciones	0,020	Concretos con rugosidad alta	Todas las corrientes
Zonas mineras	0,028	Canales excavados en tierra mediante draga o excavadora	Todas las corrientes

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

6.2.3.1 Coeficiente de rugosidad en avenidas torrenciales

Según Suarez (2001) El factor más importante a determinar en el modelamiento de avalanchas de flujo Newtoniano (avenidas torrenciales), es el número de rugosidad n de Manning, el cual representa la fricción entre el canal y el flujo. Para la modelación se debe obtener una rugosidad n teniendo en cuenta no solamente la rugosidad del canal, sino también las características del flujo. La rugosidad para avalanchas es generalmente más alta que para flujos de agua.

Este criterio se explica en la siguiente forma: A mayor espesor es mayor la cantidad de partículas sólidas y en consecuencia es mayor la disipación de energía potencial debida al movimiento de la carga transportada, y se debe aumentar el valor de la rugosidad de Manning para tener en cuenta esta disipación de energía.

De esta manera, con base en la siguiente tabla propuesta en Suarez (2001), se selecciona un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,1, ya que se ajusta a las condiciones de flujo de las corrientes en estudio las cuales corresponden a “Flujos no viscosos donde predominan los materiales de partículas gruesas, con profundidades de aproximadamente 2m”.

Tabla 116. Coeficiente de rugosidad de Manning para avenidas torrenciales.

Tipo de flujo	Características del cauce	Pendiente	Valores de n (Manning) para diferentes profundidades			
			0.5 m	1.0 m	2.0 m	4.0 m
Flujos no viscosos predominan los materiales de partículas gruesas	Canal angosto y empinado con gradas y contracciones. El material del lecho son piedras de 0.5 a 2.0 mt.	0.15 0.22	0.20	0.25	0.33	0.50
	Canal con muchas curvas y gradas. El material del lecho son piedras de 0.3 a 0.5 mts.	0.08 0.15	0.10	0.125	0.167	0.25
	Canal ancho y recto. El material del lecho es piedra de hasta 0.3 m., arena y grava.	0.02 0.08	0.056	0.071	0.10	0.125
Flujos viscosos predominan los materiales de partículas finas (limos y arcillas)	Canal angosto empinado y meándrico. El material del lecho son piedras grandes, arena y grava, formando bloqueos y gradas.	0.12 0.16	0.056	0.067	0.083	0.10
	Canal comparativamente recto. El material del lecho son piedras, arena y grava.	0.08 0.12	0.036	0.042	0.05	0.06
	Canal ancho y recto. El material del lecho son piedras de menos de 0.3 metros, arena y grava.	0.04 0.08	0.029	0.036	0.042	0.05

Fuente: Suarez (2001)

$$n = 0,077 \cdot Q_p^{1/15} \quad \text{Ecuación 6.2}$$

Este coeficiente corresponde de una forma adecuada con el factor de rugosidad estimado a partir de la ecuación propuesta por Rickenmann (1999), quien, con base en diversos estudios, relaciona el caudal pico con el coeficiente de rugosidad de Manning, mediante la siguiente expresión.

Utilizando el valor del caudal pico para un período de retorno de 500 años en la quebrada La Miel (333 m³/s), se obtienen un coeficiente de rugosidad de Manning de aproximadamente 0,11, por lo tanto, se selecciona un coeficiente de rugosidad de 0,1 s/m^{1/3} para todos los modelos hidráulicos implementados para la modelación de las avenidas torrenciales.

6.2.4 DESCRIPTOR MORFOMÉTRICO HAND: ESCENARIOS 1 Y 2

Para las quebradas estudiadas, por fuera del área de modelación hidráulica, las estimaciones de profundidad y velocidad de flujo se utilizaron con base en el descriptor morfométrico HAND. Con base en la metodología descrita en la sección 3.2 se procedió a calibrar la curva de nivel de inundación y capacidad hidráulica de cada uno de los tramos de la red de drenaje, mediante una relación de tipo potencial. Posteriormente, con base en los caudales estimados para cada uno de los tramos, se procede a estimar el nivel de flujo y se propaga el nivel de inundación sobre el modelo digital de elevación.

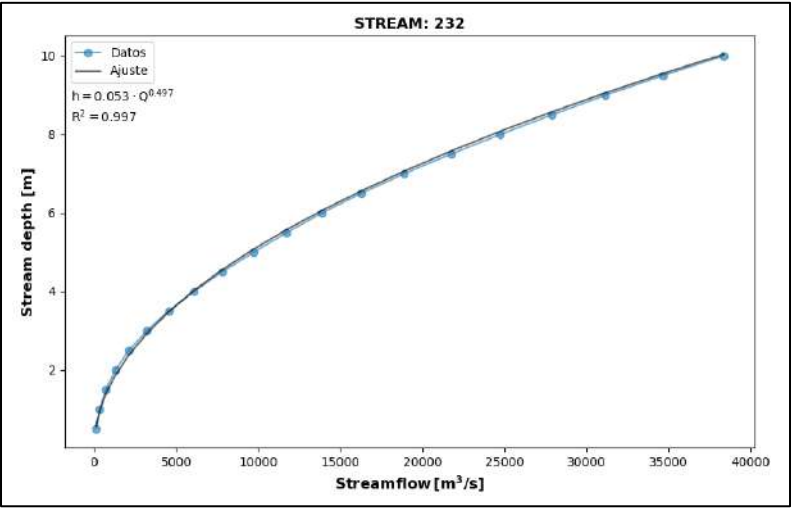


Figura 78 Curva de calibración nivel-caudal en el tramo de descarga de la quebrada La Corralita.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

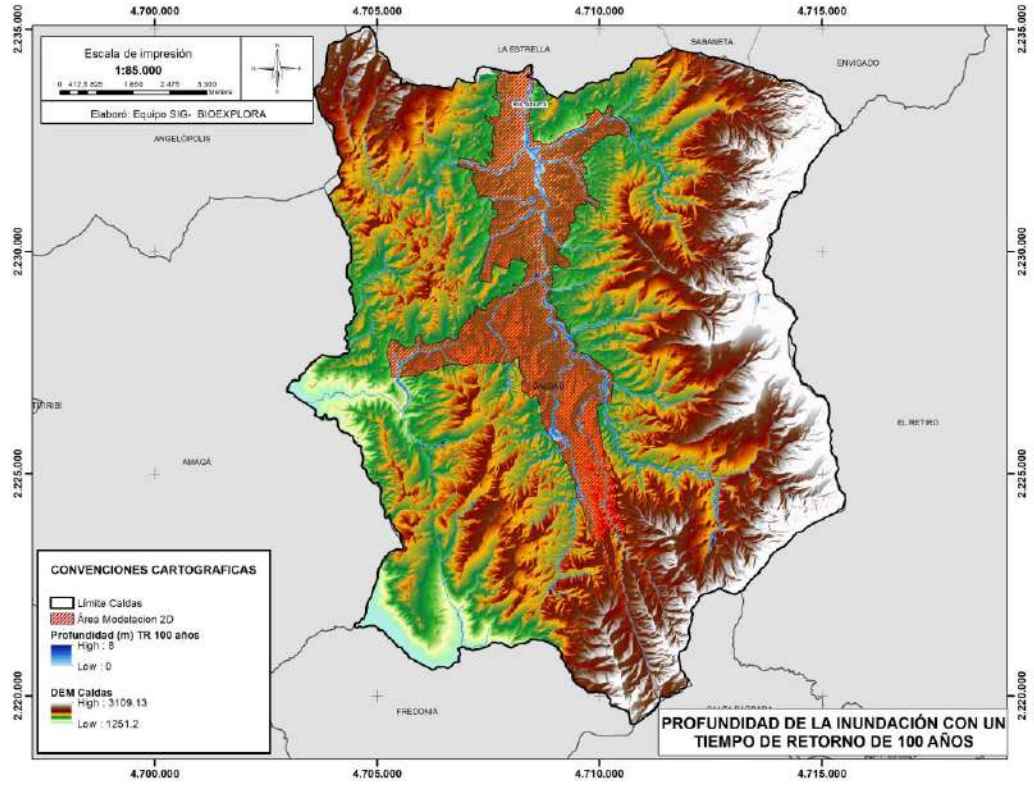


Figura 79 Profundidad de la inundación con un TR de 100 años, metodología HAND – Zona Rural y Urbana¹
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

¹ No se tiene en cuenta para la clasificación de la amenaza

6.2.5 MODELACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL: ESCENARIOS 3 Y 4

La evaluación de la amenaza hidrológica (inundación y avenidas torrenciales) constituye un asunto esencial en la planeación del territorio. Con este objetivo en mente se plantea el desarrollo de un modelo hidráulico, mediante el cual se podrá determinar la variación espaciotemporal de los niveles y velocidades en los tramos de las quebradas identificadas como susceptibles a avenidas torrenciales (La Miel, La Valeria, La Chuscala, La Corralita, entre otras), ante la ocurrencia de los eventos de caudales extremos (máximos) que pueden generar afectaciones sobre cualquiera de los elementos del territorio.

En este trabajo la modelación hidráulica utilizó el modelo implementado en el software HEC-RAS 6.1.0 (*“Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System”*), del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (*“U.S Army Corps of Engineers”*), el cual permite realizar la simulación unidimensional y bidimensional del flujo permanente y no permanente, para una red completa de canales naturales y artificiales.

Para la modelación hidráulica se tuvieron en cuenta las siguientes suposiciones o consideraciones:

- El tipo de flujo en un río es “no permanente”, sin embargo, se desea conocer los niveles en condiciones de caudales máximos probables, se supone flujo de tipo permanente.
- Las obstrucciones ocasionadas tanto en el cauce como en las planicies de inundación son simuladas de acuerdo con la información topográfica disponible.

Dado que el objetivo principal del estudio de amenazas consiste en evaluar las condiciones de profundidad y velocidad de la lámina de agua ante el evento de inundación, se hace necesario implementar un modelo bidireccional (2D). A continuación, se resumen las actividades requeridas para la implementación de un modelo hidráulico bidimensional en condición de flujo permanente en HEC-RAS 6.1.0

- Construcción de la geometría del cauce (planta perfil y secciones) con base en información topográfica.
- Implantación de estructuras hidráulicas transversales y paralelas al cauce.
- Construcción de la malla computacional
- Definición del paso temporal de resolución
- Definición de los coeficientes de rugosidad asociada a la malla computacional.
- Definición de los caudales de simulación (corresponden a los máximos asociados a diferentes períodos de retorno).
- Definición de las condiciones de borde en las secciones de control hidráulico
- Ejecución del modelo y análisis de resultados.

6.2.5.1 Modelación hidráulica río Aburrá

A continuación, se presenta el modelo de elevaciones construido para el tramo estudiado del río Aburrá, así como la malla computacional definida para este.

En la tabla descrita a continuación se presentan las características principales de la malla computacional y de los parámetros temporales de modelación.

Tabla 117. Características principales de la malla computacional y los parámetros temporales de modelación del río Aburrá

Parámetro	Valor	Unidad
Resolución en x en el cauce	5,0	m
Resolución en y en el cauce	5,0	m
Resolución en x en la llanura de inundación	10,0	m
Resolución en y en la llanura de inundación	10,0	m
Número de celdas	35.000,0	und
Tiempo de modelado	6,0	Horas
Paso de tiempo	0,50	segundos
Velocidad de viaje de la onda supuesto	5,0	m/s
Parámetro de Courant-Lewis	0,80 a 1,10	-

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

La definición del coeficiente de rugosidad se utilizó la información de coberturas disponible, asociando estos valores al coeficiente de rugosidad de Manning.

6.2.5.1.1 Caudales de diseño y condiciones de borde

Los caudales de modelación para el río Aburrá fueron obtenidos de los Estudios Básicos De Amenaza Por Movimientos En Masa, Inundaciones y Avenidas Torrenciales En Los Municipios de Caldas, La Estrella, Envigado, Itagüí, Bello, Copacabana y Barbosa, Para La Incorporación De La Gestión Del Riesgo En La Planificación Territorial (UNAL, 2018). De esta forma el caudal de diseño corresponde a los valores mostrados en la Tabla 118.

Tabla 118. Caudales de diseño para el tramo estudiado del río Aburrá

Cuenca	Tr2	Tr5	Tr10	Tr25	Tr50	Tr100	Tr200	Tr500	Tr500 x 1.4
R. Aburrá	230.13	288.99	341.63	423.63	496.35	579.53	674.43	820.32	1148.45

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Las condiciones de borde dadas por el Río Aburrá, se toma las profundidades de flujo estimadas en el “ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RÍO MEDELLÍN EN EL TRAMO

COMPRENDIDO ENTRE LA CLARA Y LA QUEBRADA LA JABALCONA; ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE AVENIDAS TORRENCIALES EN EL SECTOR AGUAS ARRIBA DE LA CLARA Y, MONITOREO DEL TRAMO CANAL IZADO DEL RÍO MEDELLÍN HASTA EL HATILLO EN EL VALLE DE ABURRÁ” (AMVA & UNAL, 2022).

Tabla 119. Condición de borde de las quebradas.

Corriente	Cota terreno	Profundidad T_R 100 AMVA	Condición Borde
Q. La Manuela	1710.90	2.30	1713.20
Q. La Miel	1730.20	4.20	1734.40
Q. Corralita	1734.00	4.23	1738.23
Q. La Mina	1837.15	2.80	1839.95
Q. La Salada	1799.00	4.30	1803.30
Q. La Lejía	1767.60	3.20	1770.80
Q. Ripida	1753.50	5.70	1759.20
Q. Mandalay	1746.50	4.10	1750.60
Q. Chuscala	1742.10	4.40	1746.50
Q. Valeria	1729.63	4.25	1733.88
Q. Aguacatala	1723.20	4.82	1728.02
Q. Cano	1719.30	5.80	1725.10
Q. SN1	1749.50	4.70	1754.20
Q. Brunera	1792.45	4.40	1796.85
Q. Chapola	1807.90	3.30	1811.20
Q. Clara	1831.87	5.40	1837.27
Q. Zarzo	1770.90	4.30	1775.20

Fuente: Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS

Se presenta a continuación el desarrollo de la zonificación de amenazas para los diferentes eventos en análisis, como son, movimiento en masa, inundaciones y avenidas torrenciales.

7.1 DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Se presenta la determinación de la amenaza por movimiento en masa, en suelos urbano y rural, acorde con la metodología presentada en el capítulo respectivo.

7.1.1 INSUMOS Y ANÁLISIS GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO ANÁLISIS DE LOS INSUMOS

Como se explicó brevemente en el capítulo 3.1.1 para hacer la modelación de la amenaza fue necesario recurrir a información secundaria que proporcionara valores en los parámetros mecánicos del suelo para cada unidad

geológica. Inicialmente se genera una recopilación de los Estudios de Suelo del municipio presentados para licencias de construcción y disponibles en el archivo de la alcaldía.

A partir de este inventario se identifican los valores y características de los parámetros del suelo con el objetivo de extraer el espesor máximo del suelo, la cohesión, peso unitario, ángulo de fricción y tipo de suelo para las diferentes unidades geológicas presentes en el área de estudio. La información recopilada presenta rangos, valores e información representativa para diferentes tipos de suelo y es obtenida a partir de ensayos de caracterización (granulometría, límites de Atterberg y pesos unitarios), ensayos de corte directo, ensayos de penetración estándar (SPT), ensayos de compresión simple, ensayos geofísicos y fotografías de los sitios de estudio.

En la Figura 80, se observa el mapa con las formaciones superficiales sobre las que se encuentran los 263 estudios de suelo que se revisaron para el municipio de Caldas, y en la Tabla 120 se resume la cantidad de estudios que se encuentra sobre cada formación, en la que es posible notar que la mayoría de los estudios que se revisaron están sobre depósitos aluviotorrenciales.

Tabla 120. Estudios de suelo por formación superficial, municipio de Caldas.

Unidad	Estudios de suelo
Suelo residual derivado de Anfibolita de Minas	2
Suelo transportado aluvial	15
Suelo transportado aluviotorrencial	136
Suelo transportado de depósitos de vertiente	5
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	69
Esquistos de Cajamarca	1
Suelo residual derivado de Esquistos de Caldas	5
Llenos antrópicos	5
Suelo residual derivado del Miembro volcánico de Quebradagrande	24
Suelo residual derivado del Stock de Amagá	1

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

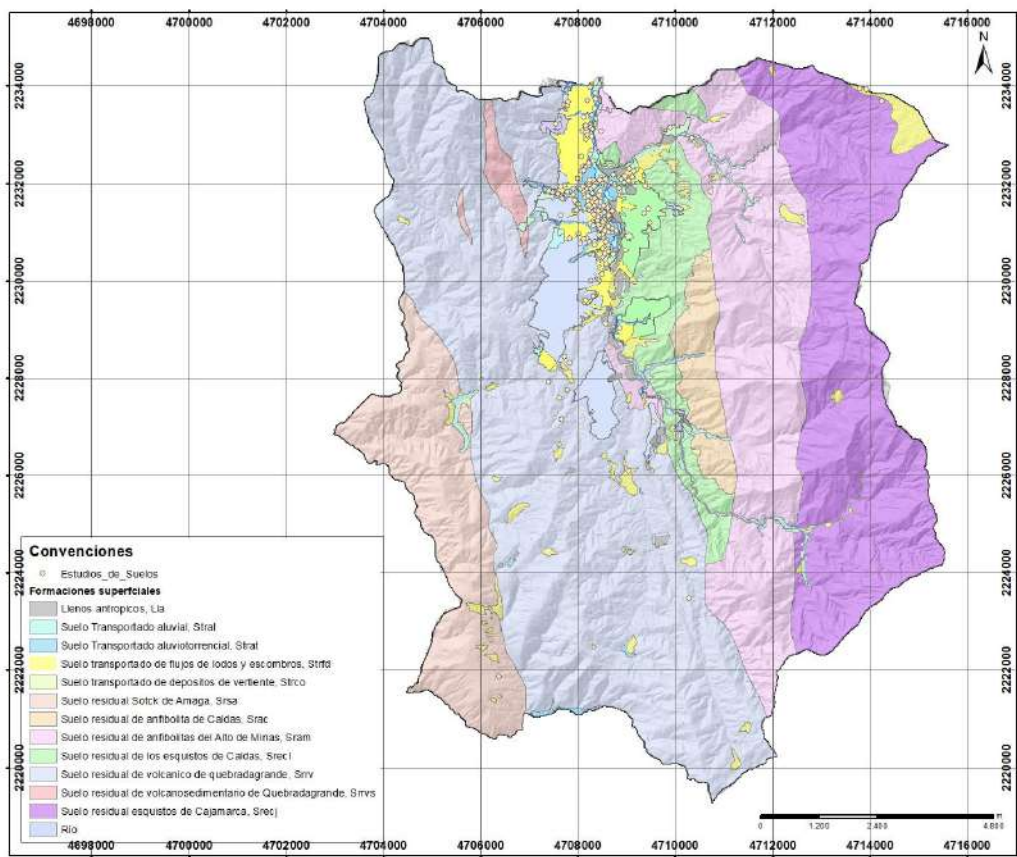


Figura 80. Formaciones superficiales y estudios de suelo revisados del municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.1.1.1 Parámetros mecánicos del suelo

Los parámetros mecánicos (ángulo de fricción, cohesión y peso unitario) de cada unidad geológica del municipio de Caldas fueron definidos a partir de los estudios obtenidos en las curadurías de Caldas, así como los valores de referencia de los estudios regionales realizados por AMVA (2016) y (UNAL & AMVA, 2018). Los valores medios de los parámetros de resistencia del suelo (estrato superficial/suelo deslizable) para cada unidad geológica se presentan en la Tabla 121.

Tabla 121. Valores medios de los parámetros geotécnicos para las formaciones superficiales del municipio de Caldas.

Formación superficial	Código	Tipo de suelo	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción (°)	Peso unitario del suelo (kN/m³)
Suelo residual derivado de Anfíbolita de Caldas	Srac	ML	9.5	24	19
Suelo residual derivado de Anfíbolita de Minas	Sram	SC	10	30	18
Suelo transportado aluvial	Stral	GM	10.5	35	17

Formación superficial	Código	Tipo de suelo	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción (°)	Peso unitario del suelo (kN/m ³)
Suelo transportado aluviotorrencial	Strat	GM	13.5	31	19
Suelo transportado de depósitos de vertiente,	Strco	CL o ML	10.5	30	17
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros,	Strfd	ML o MH	13.3	25	18
Suelo residual esquistos de Cajamarca	Srecj	ML	16.5	18.5	18.17
Suelo residual de Esquistos de Caldas	Srecl	MH	11	28	19
Llenos antrópicos	Lla	SM o GM	12.00	31.00	17.00
Suelo residual del volcánico de QuebradagrandeS	Srrv	ML o MH	15	25	18
Suelo residual del Volcanosedimentario de Quebradagrande	Srrvs	ML	16	22	20
Suelo residual del Stock de Amagá	Srsa	SP o SM	7.5	26	15.73

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.1.1.2 Propiedades hidráulicas del suelo

Para la descripción del comportamiento hidráulico del suelo se emplean los parámetros de la curva de retención de agua del suelo (SWRC) del modelo de Garner (1958), obtenidos mediante funciones de pedotransferencia (PTF) propuestos por Hodnett & Tomasella (2002) para suelos tropicales. SWRC muestra la relación que existe entre el contenido de agua del suelo y la matriz de succión, lo cual es una característica de los suelos parcialmente saturados. Comúnmente se emplea el tipo de suelo (textura: arcilla, limo, arena grava, o combinaciones) para definir los parámetros de la curva de retención (Yang & You, 2013). En este trabajo los parámetros de la curva de retención de agua del suelo (θ_s : contenido volumétrico de agua en saturación θ_r : contenido volumétrico de agua residual y α : parámetro que representa la inversa de la altura vertical de la franja capilar sobre el nivel freático) se definieron por medio de PTF de clase empleando la clasificación de suelo por textura. Se utilizó la textura de suelo de cada unidad geológica para el estrato superficial del suelo encontrado en los estudios de suelos del municipio de Caldas, así como las descripciones de AMVA-UNAL (2018) de los suelos predominantes en cada unidad geológica del municipio de Caldas. Esta misma información se empleó para obtener la conductividad hidráulica saturada (K_s) por medio de correlaciones establecidas en la literatura. La difusividad hidráulica saturada (D_0) se calculó de acuerdo a una correlación comúnmente empleada por diferentes autores en el mundo usando TRIGRS: $D_0 = 100K_s$ (Marin & Velásquez, 2020; Tran et al., 2017, 2018).

7.1.1.3 Profundidad del suelo

Los valores de espesor del suelo fueron determinados a partir de las descripciones de profundidad de los registros de perforación. Estos fueron comparados con los datos suministrados por AMVA (2006) en las descripciones de las unidades geológicas en Caldas y el Valle de Aburrá. Además de observaciones puntuales realizadas en campo verificaron las condiciones descritas.

Se implementó el modelo de profundidad del suelo efectivo propuesto por Saulnier et al. (1997), el cual representa el límite basal impermeable (profundidad vertical del límite inferior, d_{lz}) de modo que una capa superficial permeable se superpone a un sustrato menos permeable, como el regolito sobre el lecho rocoso (Baum et al., 2008). De acuerdo con esto, el mapa de profundidad del suelo se calcula como función de la pendiente:

$$d_{lz} = z_{\max} \left[1 - \frac{\tan \delta - \tan \delta_{\min}}{\tan \delta_{\max} - \tan \delta_{\min}} \left(1 - \frac{z_{\min}}{z_{\max}} \right) \right], \quad (11)$$

donde δ representa el ángulo de pendiente, $z_{\min}$ y $z_{\max}$ son los valores mínimo y máximo de la profundidad del suelo y, $\delta_{\min}$ y $\delta_{\max}$ son los valores mínimo y máximo del ángulo de la pendiente. Para las doce unidades geológicas se asumió un valor de $z_{\min} = 0.2$ m, mientras que $z_{\max}$ fue variable en todas las unidades geológicas de acuerdo a información obtenida de los estudios en las unidades geológicas del municipio y las descripciones de estas unidades en estudios de amenaza previos. La Tabla 122 presenta los valores de las propiedades hidráulicas del suelo y el valor de pendiente máximo definido para cada unidad geológica.

Tabla 122. Propiedades hidráulicas y profundidad máxima del estrato superficial (deslizable) para las formaciones superficiales del municipio de Caldas.

Formación Superficial	Conductividad hidráulica, K_s (m/s)	Contenido de agua volumétrico en saturación, θ_s	Contenido de agua volumétrico residual, θ_r	α	Espesor del suelo (máximo) (m)
Suelo residual derivado de Anfibolita de Caldas	36.24984	0.601	0.223	1	2
Suelo residual derivado de Anfibolita de Minas	83.99988	0.461	0.111	1.4	3
Suelo transportado aluvial	74.25	0.41	0.037	2	1.5
Suelo transportado aluviotorrencial	83.99988	0.461	0.111	1.4	3
Suelo transportado coluvial	17.496	0.57	0.278	1.2	3.5
Suelo transportado de flujos de detritos	36.24984	0.601	0.223	1	3.5
Suelo residual derivado de Esquistos de Cajamarca	36.24984	0.601	0.223	1	3

Formación Superficial	Conductividad hidráulica, Ks (m/s)	Contenido de agua volumétrico en saturación, θ_s	Contenido de agua volumétrico residual, θ_r	α	Espesor del suelo (máximo) (m)
Suelo residual derivado de Esquistos de Caldas	17.496	0.57	0.278	1.2	3
Llenos antrópicos	74.25	0.41	0.037	2	3.5
Suelo residual de rocas volcánicas	36.24984	0.601	0.223	1	4
Suelo residual de rocas Volcanosedimentario	17.496	0.57	0.278	1.2	3.5
Suelo residual de intrusivo de Amagá	74.25	0.41	0.037	2	2

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.1.1.4 Nivel freático y tasa de infiltración (iniciales)

El nivel freático inicial se establece en el límite basal inferior (d_{iz}), como lo asumen la mayoría de autores al implementar el modelo TRIGRS (Baum et al., 2008; Montrasio et al., 2011; Park et al., 2013; Vieira et al., 2010). La tasa de infiltración inicial (I_{ZLT}) se calculó como la precipitación promedio multianual del mes más lluvioso (octubre), en el Valle de Aburrá, como se definió en AMVA-UNAL (2018). Dicho valor corresponde a $8.63 \cdot 10^{-8}$ m/s, para todo el territorio.

7.1.1.5 Tormenta de diseño

Se evalúa como factor detonante de los deslizamientos un evento de lluvia obtenido de las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) para el municipio de Caldas, construidas con información histórica de la estación Caldas de EPM (AMVA-UNAL, 2018). Se selecciona un evento de lluvia de 4 h de duración y un periodo de retorno de 100 años (probabilidad de ocurrencia anual de 0.01) para el cálculo de la intensidad del evento de diseño. La ecuación de la curva IDF está dada por:

$$I = \frac{K \cdot T_r^m}{(c + d)^n}$$

donde K, m, n y c son constantes (parámetros de la estación), d es la duración del evento de lluvia (en horas), T_r el periodo de retorno (en años) y I es la intensidad (en mm/h). La Tabla 123 muestra los parámetros de la ecuación de la curva IDF y la intensidad obtenida (en mm/h) para la duración y periodo de retorno seleccionados.

Tabla 123. Parámetros de curvas IDF de estación Caldas (AMVA-UNAL, 2018) e intensidad calculada para $T_r = 100$ años y $d = 4$ h.

Estación	K	m	n	c	T_r (años)	d (h)	I (mm/h)
Caldas	692.1	0.127	0.751	0.25	100	4	20.22

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.1.2 MODELACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA

Como se explicó en el capítulo 3.1, para obtener los mapas de amenaza por movimiento en masa tanto en suelo urbano y de expansión urbana como en suelo rural, se utilizaron las metodologías de TRIGRS, FOSM y SCOOPS3D. Adicionalmente, en el capítulo de la metodología se hace una descripción detallada del funcionamiento y procesamiento de cada uno de estos programas, y en el flujograma metodológico mostrado en la Figura 4, se hace una breve descripción de cómo es el desarrollo de la modelación de la amenaza.

La primera parte del desarrollo consiste en hacer una tormenta de diseño para un evento de lluvias para una probabilidad de ocurrencia de una vez al año cada 100 años (periodo de retorno de 100 años). Esta probabilidad se expresa como 1/100, la cual arroja un valor de 0.01 y es tomada en el programa TRIGRS, el cual genera un raster continuo que es procesado en ArcGIS. Debido a que la ocurrencia de lluvias permite el proceso de infiltración mediante el cual se satura el terreno, es necesario hacer el cálculo de Factor de Seguridad (FS) que es expresado como la relación entre las fuerzas resistentes del terreno y las fuerzas que lo pueden desestabilizar (como lo sería en este caso un terreno saturado). Para hacer el cálculo del FS, se utilizan modelos de escorrentía para distribuir el exceso de agua sobre cada celda del raster y se calcula por medio de la Ecuación 3-4 en donde es necesario incluir los valores de los parámetros mecánicos del suelo resumidos en la Tabla 121, por lo que para cada celda cambia el Factor de Seguridad.

Posteriormente, se procede a utilizar el complemento FOSM, el cual arroja una probabilidad espacial de que falle el terreno tomando los valores de Factor de Seguridad generados previamente por el software TRIGRS, sin embargo, en este complemento se toma el Factor de Seguridad Medio Ecuación 3-7 y la Varianza del factor de Seguridad Ecuación 3-8 para determinar la condición de equilibrio límite. Una vez el programa realiza los cálculos, arroja valores entre 0 y 1, donde 0 corresponde a 0% de probabilidad de falla espacial del terreno y siendo 1 el 100% de probabilidad espacial de que falle el terreno.

Para obtener el mapa de amenaza por movimiento en masa de tipo planar, se suman los resultados arrojados por TRIGRS (valor de FS para cada celda) y FOSM (valor de probabilidad espacial de falla para cada celda), y adicionalmente, al resultado de la sumatoria para cada celda le multiplica por 0.01 (valor de la probabilidad de ocurrencia de lluvias para un periodo de retorno de cada 100 años), y los resultados se expresan así:

Tabla 124. Valores para probabilidad de falla para TRIGRS + FOSM.

Categoría de Amenaza	Probabilidad de falla
Alta	> 0.01
Media	0.0001 – 0.01
Baja	< 0.0001

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Respecto al resultado arrojado por el software Scoops3D, se tiene un mapa de amenaza por movimiento en masa de tipo rotacional donde al igual que en TRIGRS, se tienen en cuenta los FS analizados desde los escenarios de sismo y saturación del terreno. Los valores de FS que se toman para la zonificación de la amenaza están dados por:

Tabla 125. Valores de Factor de Seguridad arrojados por Scoops 3D.

Categoría de Amenaza	Factor de Seguridad
Alta	< 1,0
Media	1,0 – 1,5
Baja	> 1,5

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Las modelaciones tuvieron en cuenta las condiciones saturadas del suelo cuando se presentan eventos de lluvia, para lo que se hizo uso de estudios de suelo previos donde se reportó el nivel freático del suelo, para determinar las profundidades de este en la modelación. No obstante, se hicieron análisis considerando posiciones más superficiales y otras más profundas, combinadas con eventos de sismo (valores tomados de AMVA - UNAL., 2018), para evaluar las condiciones más críticas posibles (Tabla 126).

Tabla 126. Escenarios para la modelación en Scoops 3D.

Escenario	Nivel freático	Condición sísmica
1	0	No
2	5 m	No
3	10 m	No
4	5 m	Sí ($k_{eq} = 0.231$)

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Una vez se obtienen las modelaciones de Scoops3D para los cuatro escenarios, se procede a comparar el resultado de cada uno de estos con el mapa arrojado por TRIGRS + FOSM, con el fin de determinar cuál escenario genera un producto más similar al mapa de probabilidad de falla de tipo planar. A partir de la comparación se determina que el escenario 1 (nivel freático a 10 m de la superficie del suelo y sin sismo), presenta una mayor consistencia.

Finalmente, escogido el mapa tanto de TRIGRS + FOSM como el de Scoops3D, se procede a combinarlos. A partir de la combinación de los mapas, es importante aclarar que siempre va a primar el escenario más crítico, por lo que, si se agrega una celda de un mapa que tiene clasificación alta de amenaza con una celda que tiene

clasificación media de amenaza en el otro mapa, el resultado final será una amenaza alta. Las combinaciones resultantes para la unión de los mapas están dadas de la siguiente forma (Tabla 127).

Tabla 127. Combinaciones resultantes para unión de mapas TRIGRS + FOSM y Scoops 3D.

		Mapa 1		
		Baja	Media	Alta
Mapa 2	Baja	Baja	Media	Alta
	Media	Media	Media	Alta
	Alta	Alta	Alta	Alta

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.2 ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA

La determinación de la amenaza fue desarrollada como se explicó en el capítulo 3. 1. La zonificación de las zonas con amenaza por movimiento en masa alta, media y baja, partió de la delimitación de las zonas con características geológicas homogéneas definiendo sobre estas, unos parámetros geotécnicos según el material geológico y datos de estudios de suelo y planes parciales cercanos a la zona de influencia como se explicó en el capítulo de Insumos y análisis geológico – geotécnico Análisis de los insumos. Los resultados obtenidos de las modelaciones se observan a continuación y se relacionan con los procesos de remoción en masa.

En la zona sur oriental del municipio, sector el Alto de san Miguel, desarrollado en los Esquistos de Cajamarca, se presenta gran abundancia de movimientos superficiales, favorecidos por las pendientes altas del terreno, las altas precipitaciones y el contacto superficial de la interface de suelos residuales y roca.

En la vereda La Miel, se presenta la mayor concentración de eventos activos, donde la mayoría de deslizamientos se clasifican como de tipo traslacional, ubicados a largo de ambas laderas de la quebrada La Miel. La vertiente occidental de la quebrada La Valeria, corresponde a la unidad geológica del miembro volcánico, la cual se caracteriza por presentar deslizamientos de tipo traslacional. Algunas zonas, como la vereda Salinas, presentan gran abundancia de procesos activos, los cuales están favorecidos por las altas pendientes del terreno y por los suelos residuales desarrollados en la zona.

Hacia el suroccidente se localiza la vereda Sinifaná, correspondiente a dos unidades geológicas, representadas por el stock de Amagá y miembro Volcánico. En esta zona, en el flanco izquierdo de la quebrada Sinifaná, se han producido varios procesos de remoción en masa. Estos movimientos están reflejados en la geología por depósitos de vertiente provenientes de las partes altas de las laderas.

En la zona rural por la vereda la Chuscala, en el barrio Mandalay, han ocurrido en los últimos años varios eventos críticos. Ejemplos de estas zonas de riesgo, se ven reflejados en las laderas de la quebrada Piedrahita, en donde el día 27 de marzo del 2009 ocurrió un deslizamiento de tipo rotacional que taponó el cauce.

La parte media y alta de la vereda La Clara, en las vertientes de las quebradas La Brunera y La Clara, corresponden a sectores críticos por el alto número de procesos morfodinámicos presentes en la zona. La mayor parte de estos procesos son latentes y activos, y se dan por la dinámica de las quebradas las cuales tienen un cauce estrecho y de altas pendientes, incisando los materiales menos competentes correspondientes a los perfiles de meteorización de los esquistos de Cajamarca y las anfibolitas del Alto de Minas.

En la zona urbana se observan pocos procesos de remoción en masa, los que se identifican corresponden a los deslizamientos localizados a lo largo de las laderas del río Aburrá. Estos eventos se asocian a la desestabilización producida por los procesos de socavación lateral del cauce. Dichos eventos se observan a la altura del barrio La Inmaculada.

7.2.1 ZONA URBANA Y ZONAS DE EXPANSIÓN URBANA

La zonificación de amenaza por movimiento en masa para la zona Urbana y de expansión urbana del municipio se trabajó a una escala 1:2000 y fue realizado a partir de los softwares Scoops 3D y TRIGRS + FOSM como se explicó en el capítulo 3.1. De las modelaciones resultaron en total seis mapas: el primero corresponde al mapa de probabilidad de falla de tipo planar desarrollado en TRIGRS + FOSM (Figura 81); los cuatro mapas arrojados por Scoops (Figura 82 y Figura 83) para los diferentes escenarios planteados en la Tabla 126, y finalmente, uno que corresponde al mapa final de amenaza por movimiento en masa para suelo urbano (Figura 84) en donde se combinaron los mapas de TRIGRS + FOSM y el de Scoops 3D.

Es necesario recordar que el mapa de amenaza de movimiento en masa de tipo rotacional modelado en Scoops 3D que se escogió para combinarlo con el de TRIGRS + FOSM, es el generado con un nivel freático de 5 m y sin evento de sismo, esto debido a que un análisis comparativo de los mapas de amenaza con Scoops3D con respecto a los obtenidos con TRIGRS y FOSM, presentan una mayor consistencia para el escenario 1. Este se selecciona y se constituye junto con el de amenaza de movimientos en masa planares de modo que la superposición de ambos se calcula seleccionando la peor condición de amenaza en sus clasificaciones de alta, media y baja.

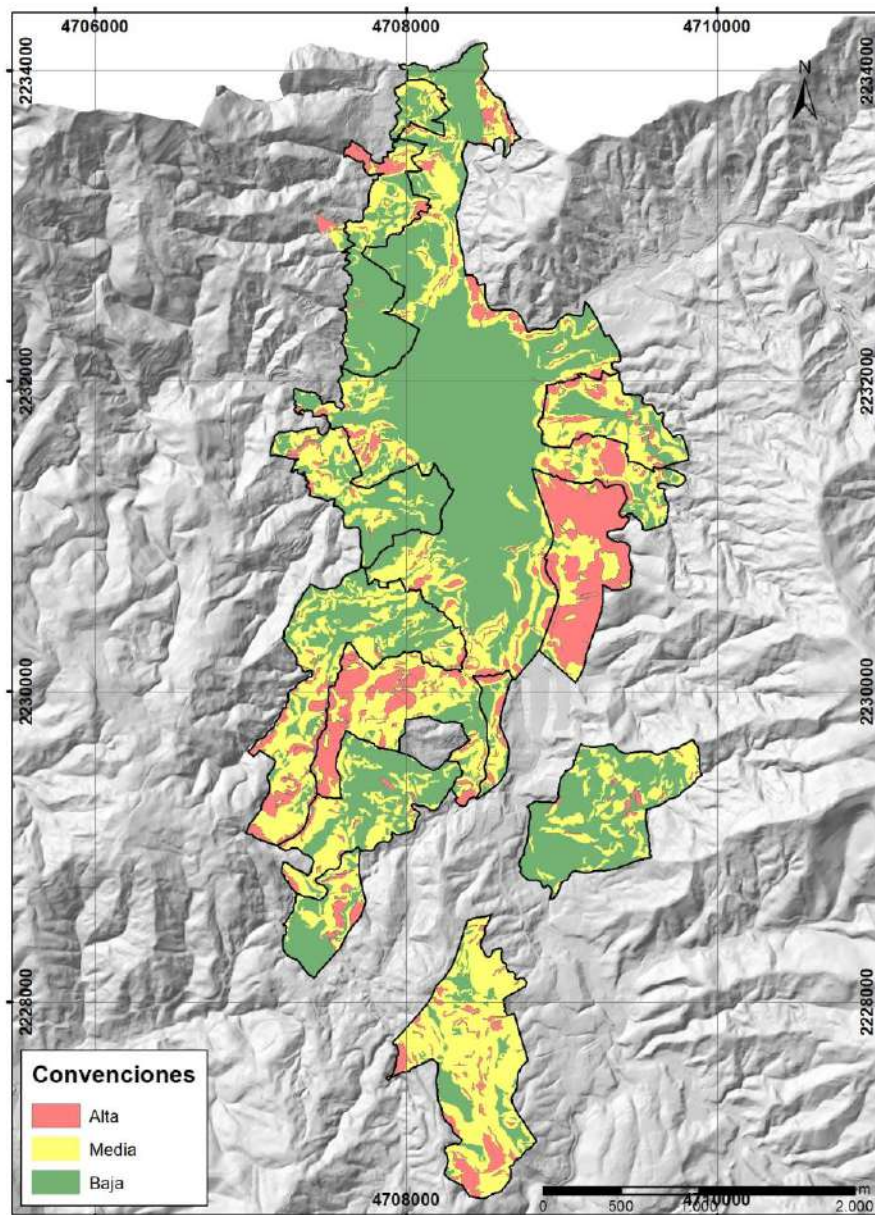


Figura 81. Amenaza de movimientos en masa con falla planar en suelos urbanos y de expansión.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

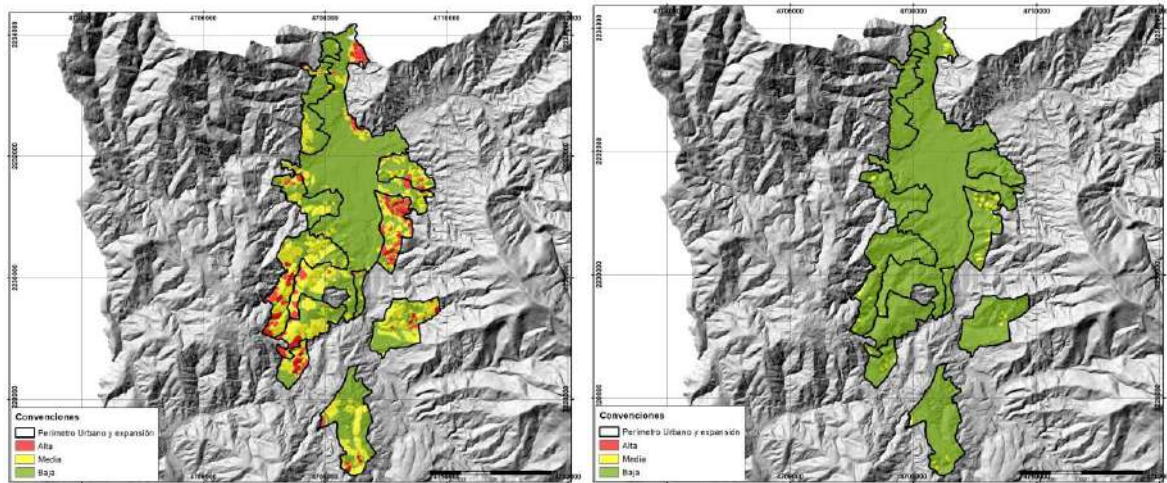


Figura 82. Amenaza de movimientos en masa de tipo rotacional en suelo urbano y de expansión en escenarios: (a) Escenario 1; (b) Escenario 2.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

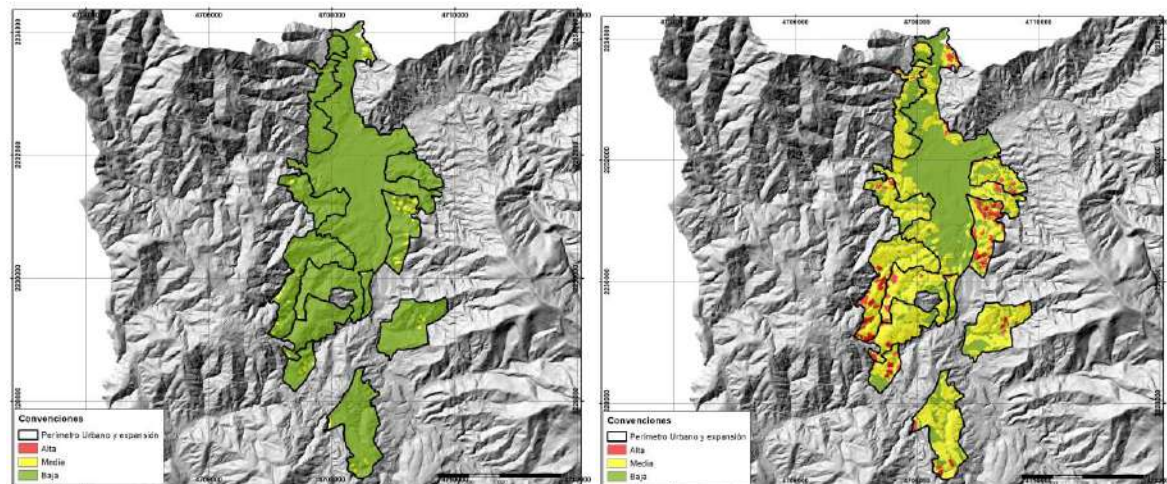


Figura 83. Amenaza de movimientos en masa de tipo rotacional en suelo urbano y de expansión en escenarios: (c) Escenario 3; (d) Escenario 4.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

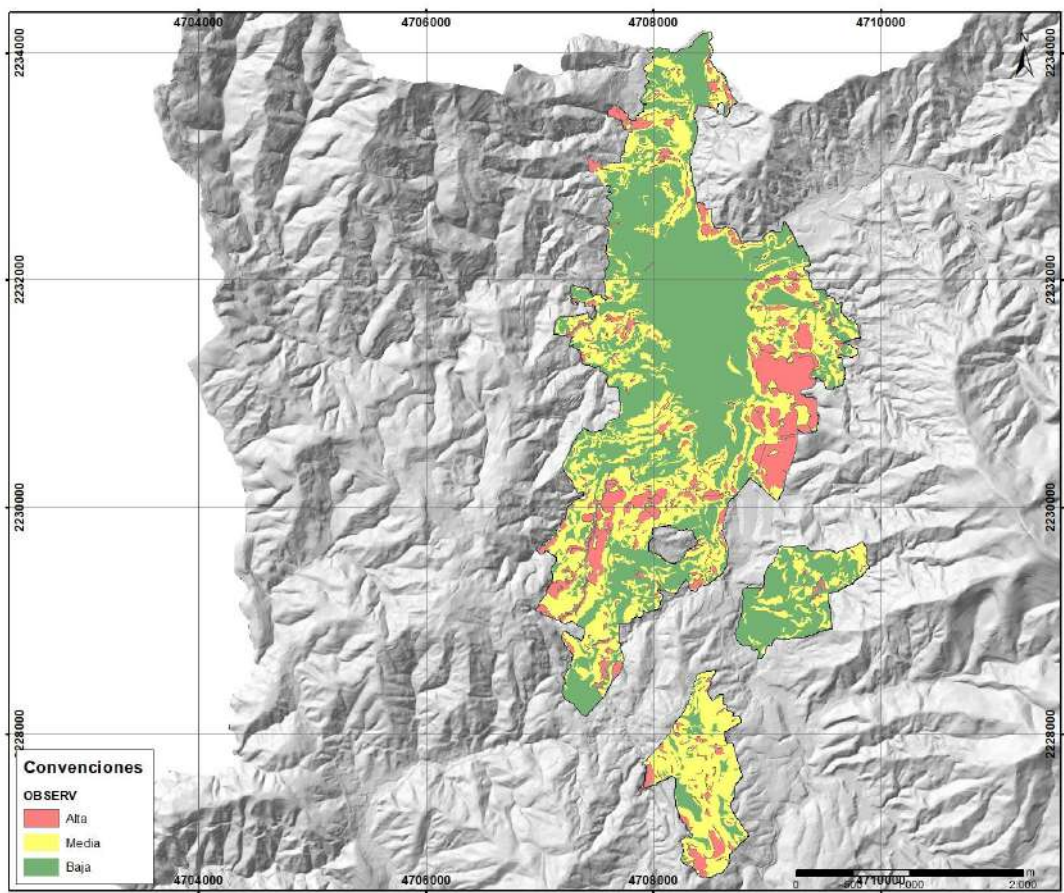


Figura 84. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el municipio de Caldas: para suelo urbano y de expansión.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

El área total del suelo urbano y de expansión, además del porcentaje que representa cada clasificación de la amenaza se resume en la Tabla 128 y en el Gráfico 18.

Tabla 128. Área en Ha de amenaza por movimiento en masa para suelo urbano y de expansión en el municipio de Caldas.

Clasificación	Área (HA)	Porcentaje
Alta	136,46	15,3%
Media	328,56	36,7%
Baja	429,41	48,0%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

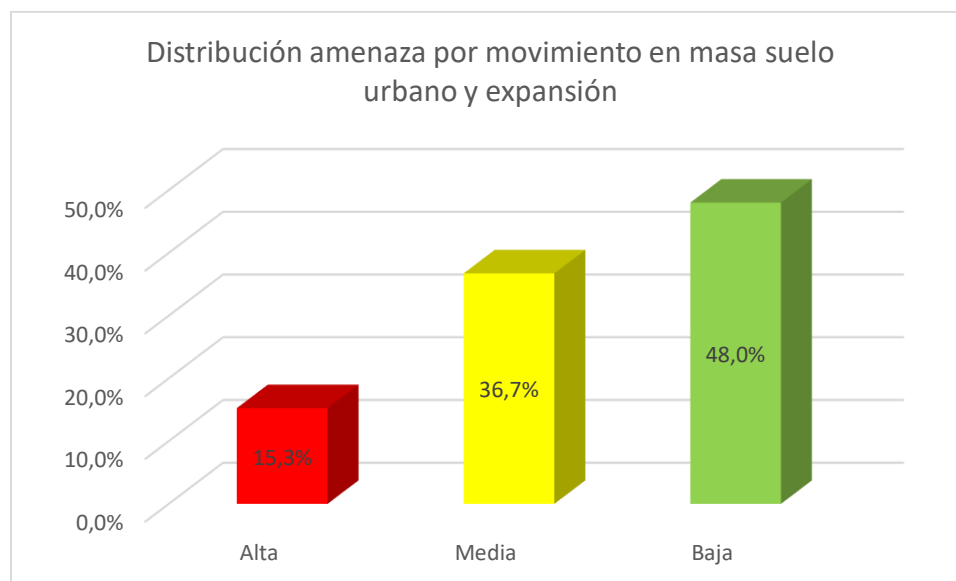


Gráfico 18. Histograma para la distribución porcentual de amenaza por movimiento en masa para suelo urbano y suelo urbano de expansión.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.2.1.1 Amenaza Alta

Las áreas clasificadas de amenaza alta en la zona urbana y de expansión del municipio de Caldas, se caracterizan por ser zonas empinadas, con inclinaciones superiores a 30° . La mayor parte de estas zonas no se encuentran urbanizadas, sin embargo, las comunidades aledañas, que se ubican ladera abajo, se encuentran en riesgo por deslizamientos.

Áreas clasificadas de amenaza alta se localizan al sur en los barrios La planta, Villacapari y la Chuscala, las cuales se ubican sobre suelos residuales de composición limo- arcillosa del miembro Volcánico, alcanzando 2.5 m de profundidad. Estas son zonas de deslizamientos activos, caracterizándose por fallas profundas, que se desencadenan por cortes en los taludes, lluvia y sismos. Otras zonas clasificadas de amenaza alta, se encuentran en el sur oriente, en los barrios Viticua, La Corrala y El Hoyo, donde la mayoría de sus laderas presentar pendientes moderadas a empinadas, producto de los cortes realizados para las vías y la fuerte incisión de los drenajes; estos barrios se ubican sobre la unidad geológica de los esquistos de Caldas, los cuales se caracterizan por un perfil de meteorización de grado V, presentando una composición limo arcillosa con un espesor de alrededor de 5 m. Algunas urbanizaciones de estos barrios se encuentran sobre las laderas que están bajo condición de riesgo, las cuales deben ser intervenidas mediante medidas de prevención y mitigación.

Hacia la parte norte, se encuentran los barrios Aguacatala, El Cano, El Pombal, Bellavista y Buena Esperanza, los cuales se encuentran desarrollados sobre depósitos de flujo de lodo y escombros. Estos se caracterizan por presentar matriz limo arcillosa de color amarillo, con baja compactación, y los cuales son susceptibles en las

vertientes de alta inclinación a movimientos en masa. En esta zona, se encuentran edificaciones en condición de riesgo, debido a su ubicación en estas laderas ya mencionadas, y a factores como la precipitación, sismos, las actividades humanas, y el mal manejo de aguas superficiales. Estos deslizamientos pueden presentar una superficie de falla tanto planar como profunda de acuerdo con el límite del depósito y la roca, y al no encontrarse el nivel freático, en eventos de alta pluviosidad cuando el material se satura tiende a presentar una mayor densidad, generando una superficie de falla más profunda.

En las zonas de expansión en la parte sur del municipio, se presentan laderas fuertemente incisadas con pendientes empinadas, compuestas de suelos residuales de composición limo-arenosa pertenecientes al miembro Volcánico. Se caracterizan por presentar fallas profundas, en el contacto suelo roca y se encuentran clasificadas en amenaza alta, en donde se han evidenciado deslizamientos de tipo traslacional y rotacional de estado activo.

7.2.1.2 Amenaza Media

Las zonas clasificadas de amenaza media representan la mayor parte del suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas, cubriendo un 36,7%. Estas zonas se caracterizan por presentar materiales finos-granulares sueltos de tamaño arena, limo y arcilla, y corresponden a zonas con pendientes entre 15-30°, ubicadas en las partes medias de las laderas. Barrios clasificados en amenaza media se localizan en La Chuscala, Viticua, La Corrala y El Hoyo.

La mayor parte de las zonas de expansión se encuentran clasificadas en amenaza media sobre suelos residuales del miembro Volcánico, siendo materiales de tamaño fino que son susceptibles a procesos de erosión. Estas zonas deben manejarse con precaución, debido a que son áreas que a largo plazo pueden convertirse en zonas de amenaza alta.

7.2.1.3 Amenaza Baja

Las zonas clasificadas de amenaza baja por movimientos en masa, están representados en la zona urbana casi en su totalidad por los barrios aledaños al río Aburrá, en donde las pendientes son de carácter suavizada a plana, correspondientes a las unidades geológicas de los depósitos aluviales y aluviotorrenciales. Los materiales que conforman a estas unidades corresponden a materiales de tamaño fino como arenas y arcillas para los aluviales y de tamaño bloque para los torrenciales. En general estas son zonas estables con pendientes entre 5-15° que no presentarían problemas de estabilidad frente a eventos sísmicos o de fuertes lluvias.

7.2.2 ZONA RURAL

El mapa de amenaza por movimientos en masa del municipio Caldas para el suelo rural se trabajó a una escala 1:10000 y fue realizado a partir de los softwares ya mencionados (Scoops 3D y TRIGRS + FOSM). De la misma manera que la modelación en la zona urbana y de expansión, se obtuvieron un total de seis mapas: el primero corresponde al mapa de probabilidad de falla de tipo planar desarrollado en TRIGRS + FOSM (Figura 85); los cuatro mapas arrojados por Scoops (Figura 86 y Figura 87) para los diferentes escenarios planteados en la Tabla 126, y finalmente, uno que corresponde al mapa final de amenaza por movimiento en masa para suelo rural (Figura 88) en donde se combinaron los mapas de TRIGRS + FOSM y el de Scoops 3D.

Es necesario recordar que el mapa de amenaza de movimiento en masa de tipo rotacional modelado en Scoops 3D que se escogió para combinarlo con el de TRIGRS + FOSM, es el generado con un nivel freático de 5 m y sin evento de sismo, esto debido a que un análisis comparativo de los mapas de amenaza con Scoops3D con respecto a los obtenidos con TRIGRS y FOSM, presentan una mayor consistencia para el escenario 1. Este se selecciona y se constituye junto con el de amenaza de movimientos en masa planares de modo que la superposición de ambos se calcula seleccionando la peor condición de amenaza en sus clasificaciones de alta, media y baja.

Los resultados obtenidos en este mapa asociados a la amenaza por movimientos en masa permiten identificar las características de varios factores de la zona de estudio por medio de la integración de las variables que inciden en la ocurrencia, tanto actual como a futuro de los posibles procesos de inestabilidad del terreno, considerando los procesos detonantes del área.

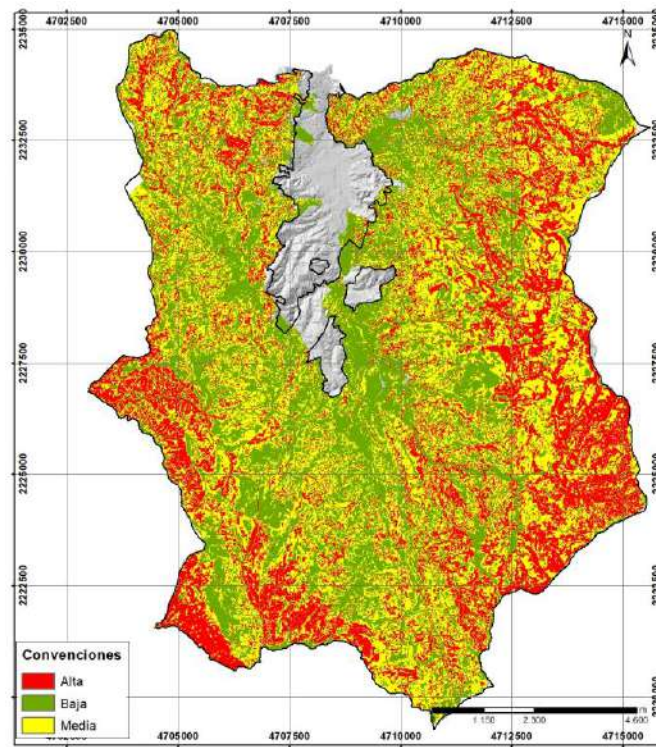


Figura 85. Amenaza de movimientos en masa con falla planar en suelo rural.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

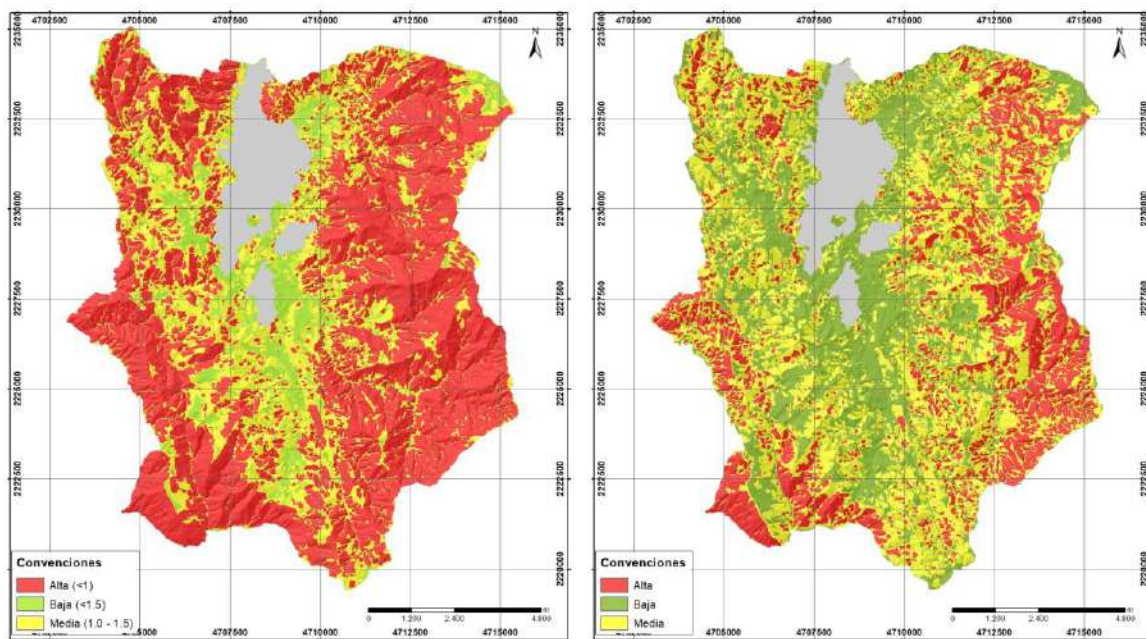


Figura 86. Amenaza de movimientos en masa de tipo rotacional en suelo rural en escenarios: (a) Escenario 1; (b) Escenario 2.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

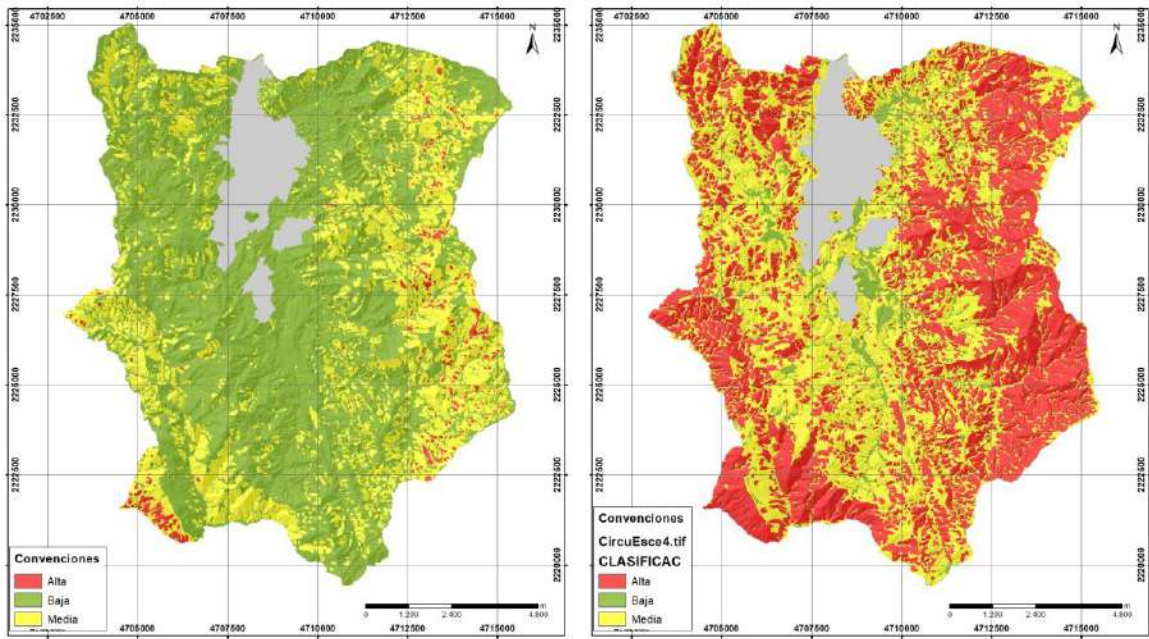


Figura 87. Amenaza de movimientos en masa de tipo rotacional en suelo rural en escenarios: (c) Escenario 3; (d) Escenario 4.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

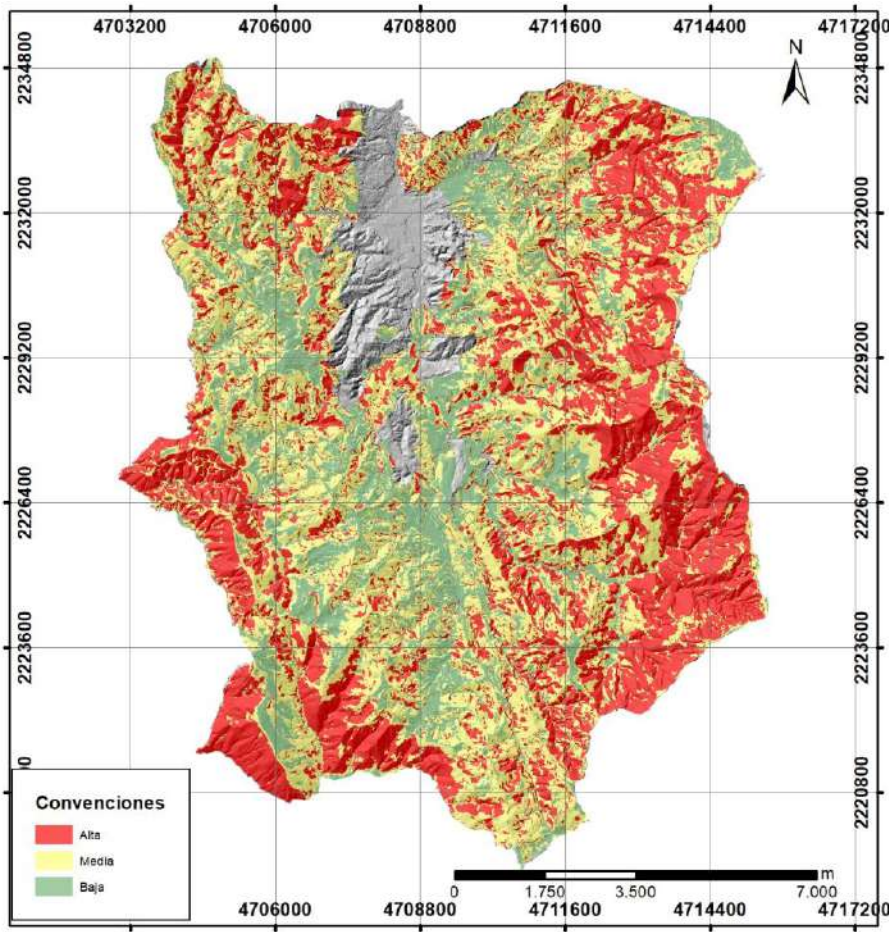


Figura 88. Mapa de amenaza de movimiento en masa en suelo rural.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

La categoría con mayor predominio en el suelo rural del municipio de Caldas es la de amenaza Media con el 43,3%, mientras que la categoría de amenaza baja es la de menor cubrimiento con el 18,9% concentrándose en las vertientes altas del municipio. En la Tabla 129 y el Gráfico 19 se presenta los porcentajes y áreas que representa cada categoría de amenaza por movimiento en masa para la zona rural.

Tabla 129. Área en Ha de amenaza por movimiento en masa para suelo rural para el municipio de Caldas.

Clasificación	Área (HA)	Porcentaje
Alta	4632,05	37,7%
Media	5317,65	43,3%
Baja	2322,64	18,9%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

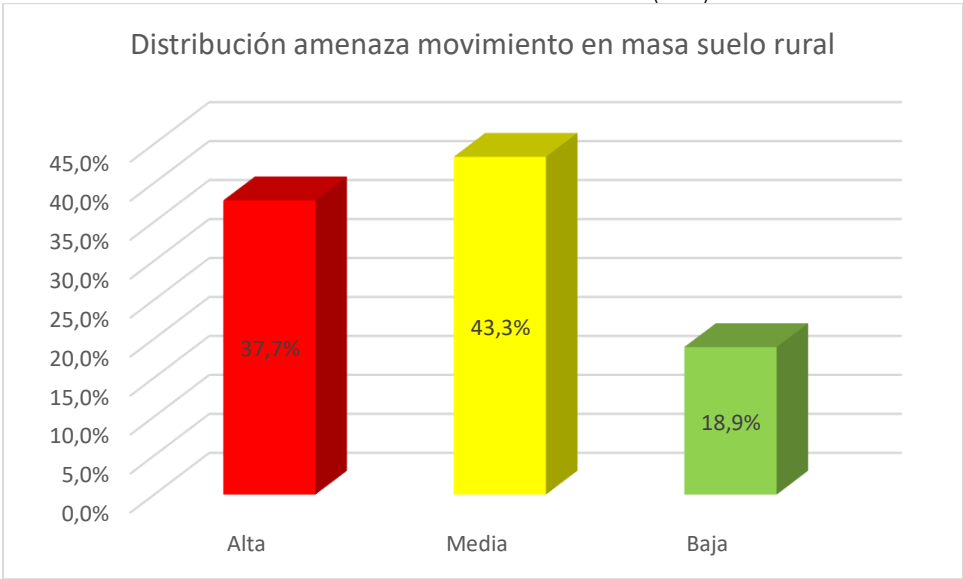


Gráfico 19. Histograma para la distribución de amenaza por movimiento en masa para suelo rural.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.2.2.1 Amenaza Alta

En el suelo rural del municipio de Caldas, se encuentra clasificado en un 37,7% como de amenaza alta por movimiento en masa. Zonas de alta concentración de deslizamientos se pueden observar en las veredas La Miel, Salinas, Sinifaná y al sur oriente del municipio por el Alto de Minas. Estos movimientos son de tipo traslacional, rotacional y de flujo. Estos eventos están influenciados por el tipo de material presente en la zona, siendo las anfibolitas del Alto de Minas y los esquistos de Caldas las unidades más afectadas, producto de alta meteorización de las rocas metamórficas, las cuales están más susceptibles al proceso de alteración y disgregación del material. Otras zonas de amenaza alta están localizadas a lo largo del stock de Amagá, en la vertiente oeste de la quebrada Sinifaná.

7.2.2.2 Amenaza Media

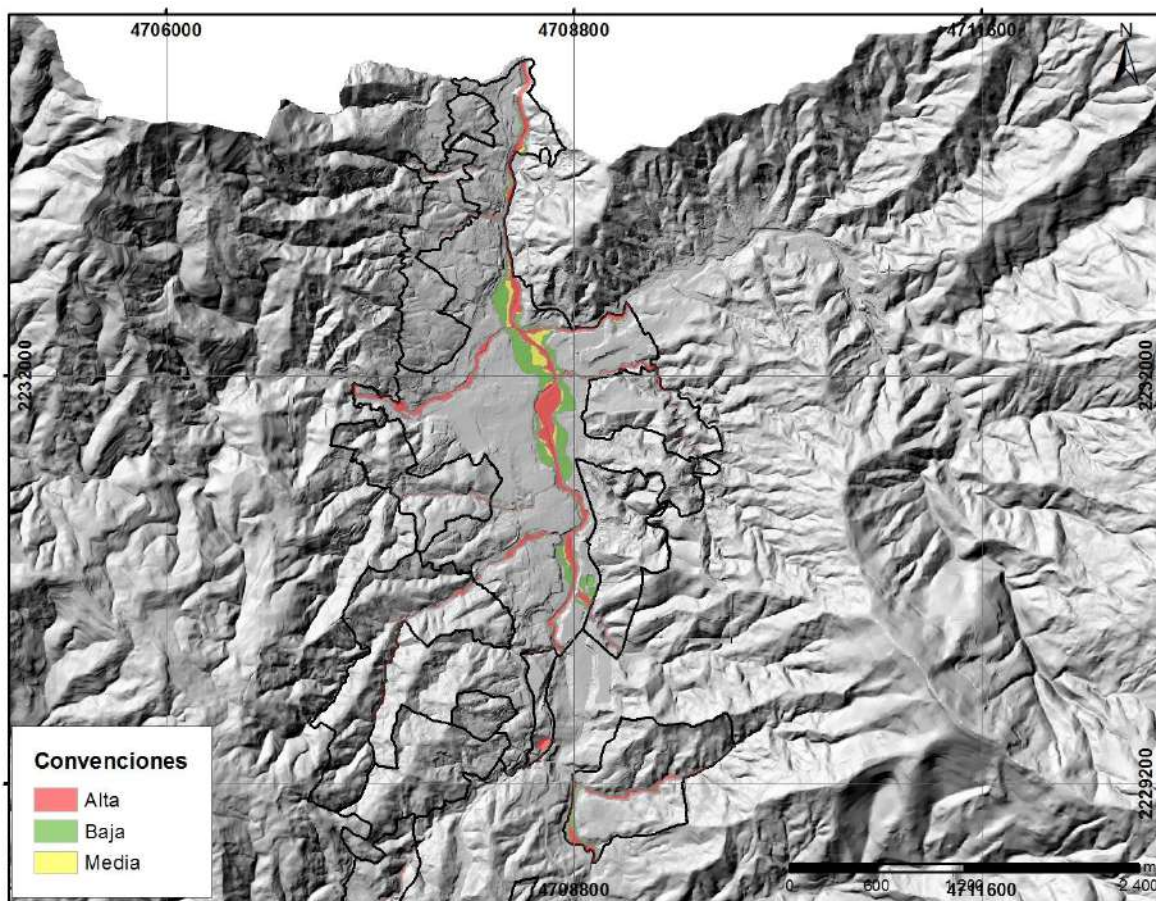
La mayor parte municipio se encuentra una amenaza media por movimientos en masa, estando representado en un 43,3%; esto es producto de su ubicación en una zona de montaña, además de los suelos residuales presentes que se han desarrollado en esta zona. Está representando principalmente en las zonas de pendiente moderada, con morfologías irregulares y en las unidades geológicas por los depósitos de flujo de lodo y escombros.

7.2.2.3 Amenaza Baja

La zona de amenaza baja en el municipio en suelo rural se encuentra representado en las zonas de pendiente suave a muy suave, en donde se depositan materiales transportados por los cauces, siendo así los depósitos aluviales y aluviotorrenciales zonas de baja amenaza. Además, otras unidades geológicas que se encuentren en zonas de baja pendiente como los llenos antrópicos y los depósitos de deslizamiento están clasificadas en amenaza baja.

7.3 ANÁLISIS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

Se presenta los resultados de la zonificación de la amenaza por inundación.



7.3.1

SUELO URBANO Y DE EXPANSIÓN

Para la zona urbana se definió la zonificación de la amenaza por inundación teniendo en cuenta la modelación hidráulica de las quebradas La Valeria, La Miel, Mandalay, La Raya, El Cano, La Rápida, La Salada, La Aguacatala, La Corralita y el río Aburrá en contraste con el levantamiento geomorfológico de detalle, el análisis de suficiencia hidráulica y con el registro histórico de eventos.

Las zonas bajas de la parte urbana, conformada por las terrazas y llanura de inundación del río Aburrá, son las más susceptibles a los eventos de inundación por crecientes del río Aburrá. Ejemplos de estas zonas, se observan en las inmediaciones del barrio La Inmaculada, donde en épocas de fuertes lluvias, han generado episodios de desbordamiento, afectando a las viviendas que se encuentran en la parte baja del río Aburrá y taponando los canales donde se descargan las aguas de origen pluvial.

También existe la amenaza de inundación en inmediaciones los sectores de La Raya y Mandalay por crecientes súbitas de la Quebradas del mismo nombre; que han generado amplias afectaciones en viviendas y vías aledañas.

Es importante anotar que la intervención antrópica en las orillas del Río Aburrá por las actividades urbanas e industriales, tales como el estrangulamiento del cauce máximo y construcciones de jarillones y diques, es una variable que provoca un aumento en la susceptibilidad por inundación en las llanuras aluviales.

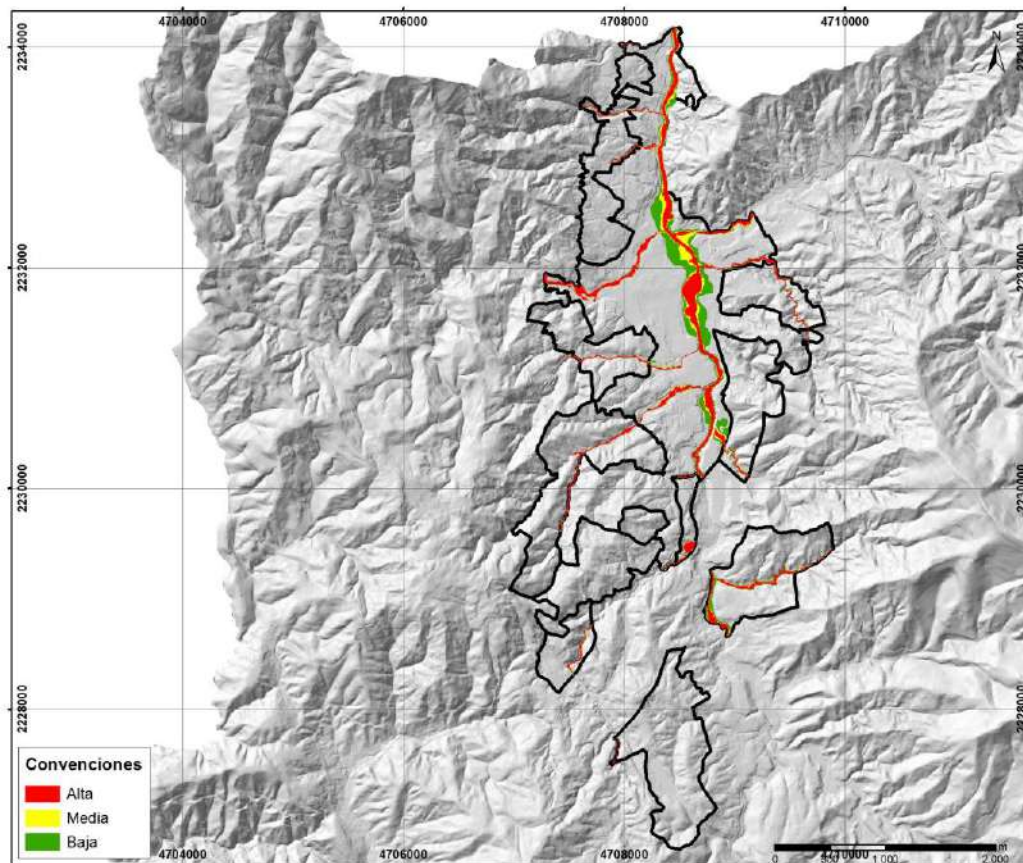


Figura 89. Mapa de amenaza por inundación para suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

La distribución de la amenaza por este evento en suelo urbano, muestra como la mayoría de este no tiene amenaza, 91.47%, equivalentes a 818.1 hectáreas, el 4.48% tiene amenaza alta, equivalente a 40 hectáreas, sólo el 1.29% tiene amenaza media, 11.2 hectáreas y el 2.79% tiene amenaza baja, equivalente a 25 hectáreas. Al hacer un análisis por los barrios se observa que los barrios más afectados son Tres Aguas, La Inmaculada, Olaya Herrera, La playita y Juan XXIII, los cuales tienen altos porcentajes de su territorio en amenaza, destacándose Olaya Herrera y La Inmaculada con más del 80% en alguna de las tres categorías de amenaza, y al analizar respecto a la categoría de amenaza alta, se destacan, la Playita, La Inmaculada y Tres Aguas, con el 45.6%, 33% y 24.5% respectivamente.



Figura 90. Distribución amenaza por inundación suelo urbano

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.3.2 SUELO RURAL

Para esta zona se definió la zonificación de la amenaza por inundación teniendo en cuenta la modelación hidráulica principalmente de las quebradas La Salada, La Mina, La Clara, La Raya, el río Aburrá y los afluentes de la cuenca del río Cauca, en contraste con el levantamiento geomorfológico de detalle, el análisis de suficiencia hidráulica y con el registro histórico de eventos.

En este suelo en general las quebradas se presentan en cauces incisados con valles profundos en V, con poco desarrollo de llanuras aluviales, por lo que este fenómeno está limitado a márgenes estrechos a lo largo del cauce activo, siendo la zona de La Clara, en la parte alta del río Aburrá, la que presenta la mayor problemática por este tipo de eventos, ya que presenta desarrollo urbanístico sobre la llanura aluvial con usos agrícolas y pecuarios.

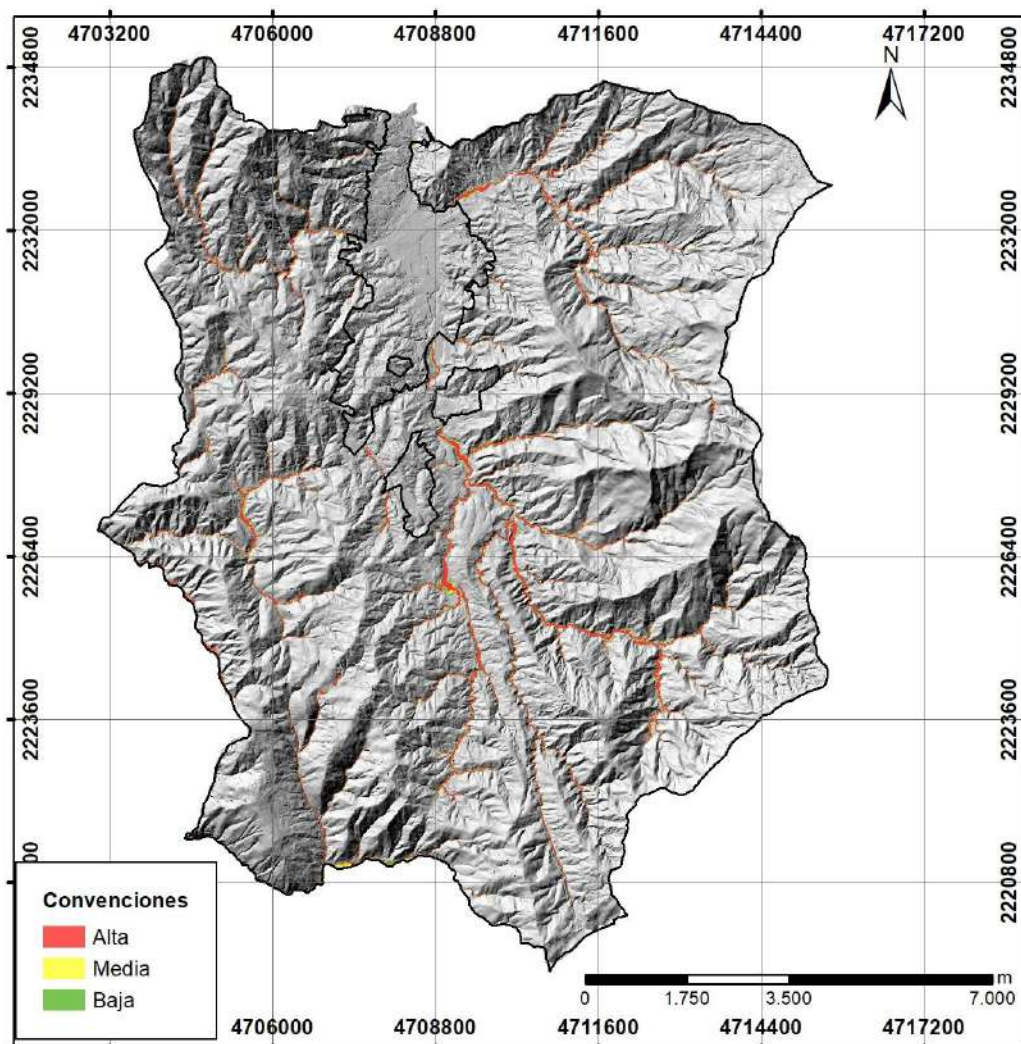


Figura 91. Mapa de amenaza por inundación para suelo rural del municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.4 ANÁLISIS DE AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL

Se presenta los resultados de la zonificación de la amenaza por avenida torrencial.

7.4.1 DESARROLLO ZONIFICACIÓN AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL

La zonificación de la amenaza ante este evento se desarrolló acorde a los lineamientos establecidos en el numeral 3.3, en donde se incluyen las siguientes consideraciones:

- Dada la naturaleza del relieve del municipio y los registros de eventos de esta naturaleza no se procedió a realizar una caracterización de la susceptibilidad de las corrientes a este evento, sino que se consideró que todas las quebradas del municipio eran susceptibles a la ocurrencia de avenidas torrenciales.

- El escenario considerado para estimar la avenida torrencial, considera la obstrucción de obras hidráulicas y la mayoración del coeficiente de rugosidad de Manning con base en el tipo de flujo que podría darse según la profundidad y velocidad en la modelación.
- Los resultados de la modelación hidráulica se clasificaron acorde a los criterios establecidos para tal fin por el SGC (SGC, 2021).
- El resultado final de la amenaza, será el resultado de la unión de las envolventes generadas por el modelo hidráulico y la caracterización geomorfológica, considerando siempre el de mayor extensión y categoría.
- En caso de que los polígonos resultantes de la amenaza fueran menores que los generados en el estudio Amenaza por inundación del río Medellín, realizado por el AMVA (AMVA 2002), los polígonos de avenida torrencial se equiparán con los de inundación.

A continuación, se presenta la amenaza acorde al modelo hidráulico desarrollado.

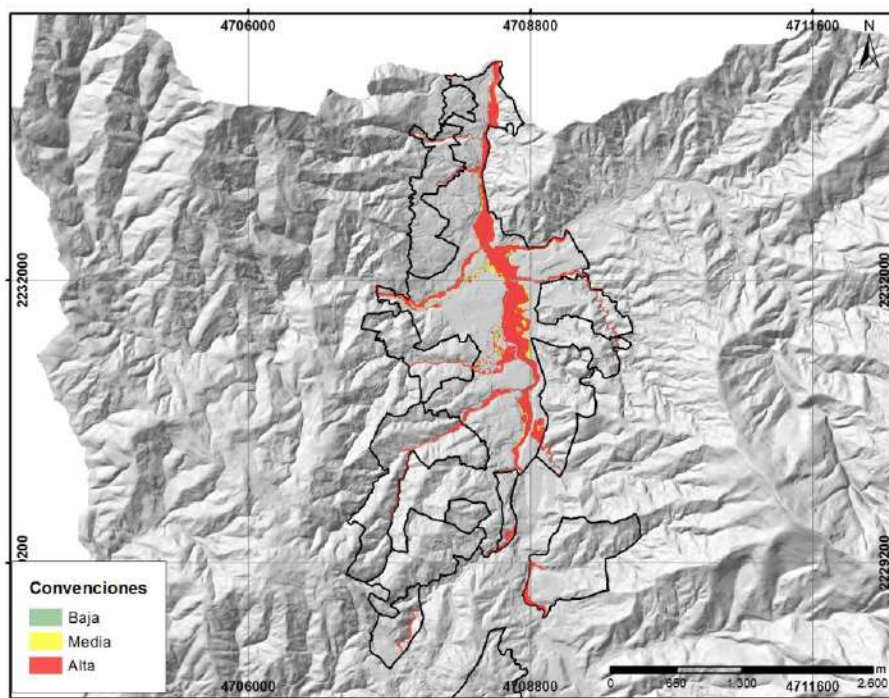


Figura 92. Clasificación amenaza por avenida torrencial acorde a modelación hidráulica

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Para el desarrollo de la envolvente geomorfológica se consideraron aquellas geoformas cuyo origen es debido eventos torrenciales del río a sus afluentes, y para su desarrollo se tuvieron las siguientes consideraciones y cuyo resultado se presenta en la Figura 93.

- Geoformas de origen torrencial: Cono aluviotorrencial y cono aluviotorrencial coalescente
- Geoformas de origen antrópico: Cuya unidad geológica esté asociada a eventos torrenciales
- Escarpes de erosión: Cuya unidad geológica esté asociada a eventos torrenciales
- En caso de que alguna unidad de tipo torrencial estuviese “separada” o asilada de la mancha hidráulica, se consideraba la continuidad de la envolvente hasta mancha, bajo el supuesto o de que la geoforma está cubierta por elementos geomorfológicos más recientes (Figura 94).

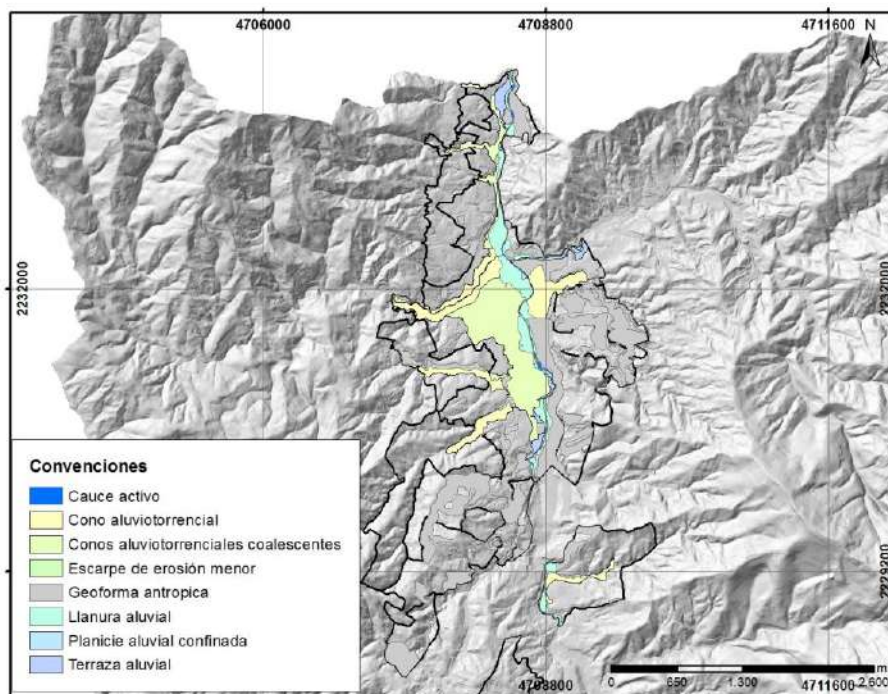


Figura 93. Mapa de Geoformas de origen aluvial y aluviotorrencial.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.4.2 SUELO URBANO Y DE EXPANSIÓN

En la Figura 94 se presenta el mapa resultante de la amenaza por avenida torrencial obtenido de la unión el modelo hidráulico y la envolvente geomorfológica.

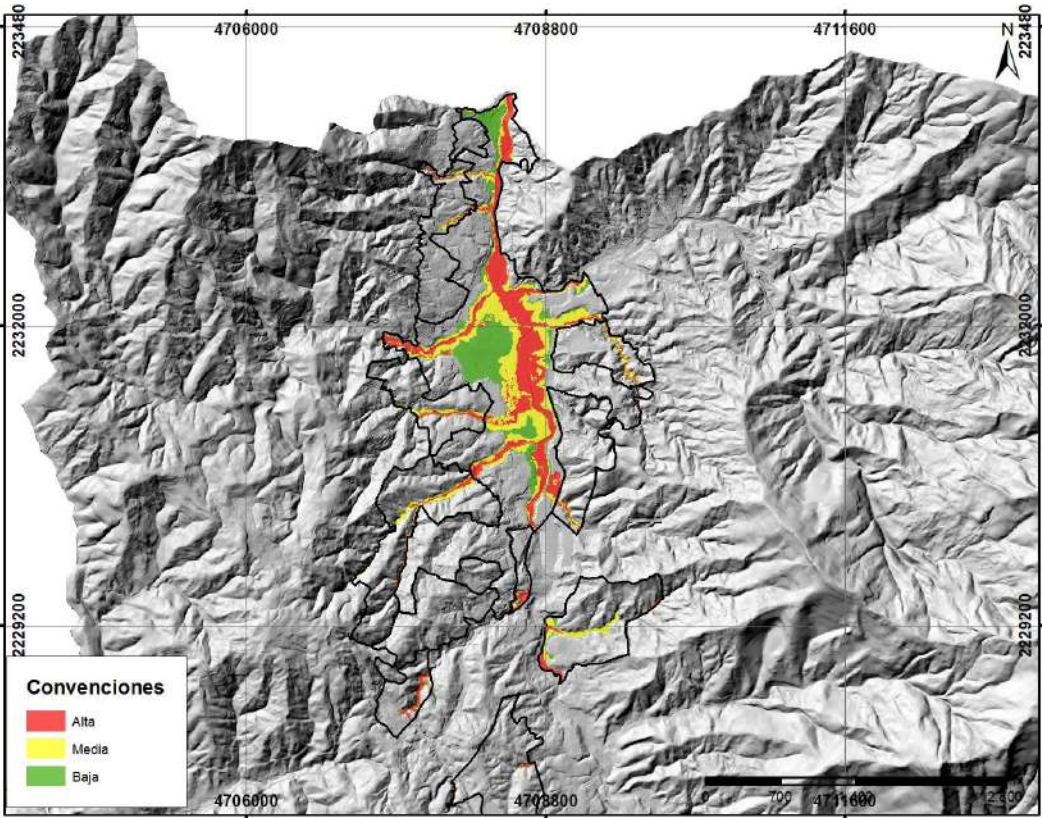


Figura 94. Mapa de amenaza por avenida torrencial para suelo urbano y de expansión del municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

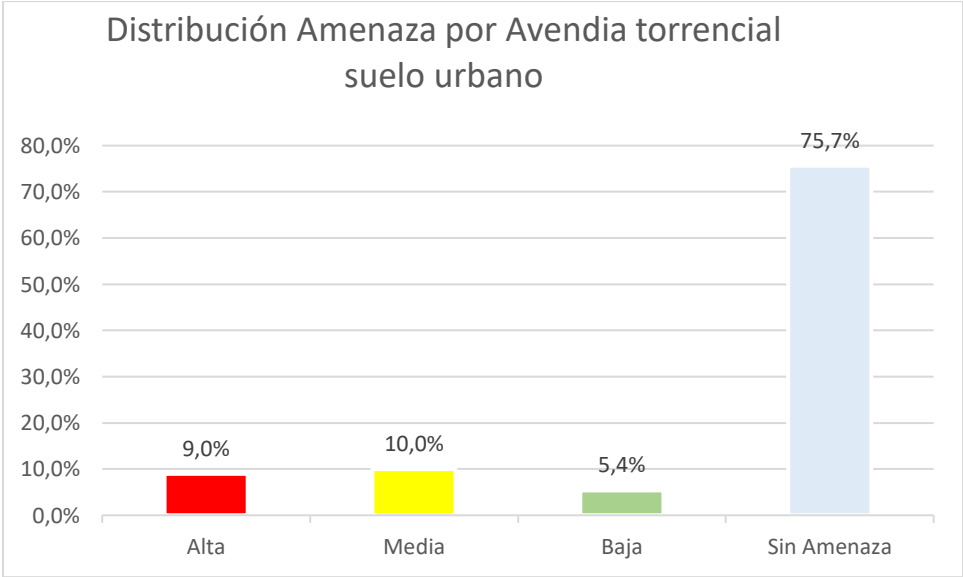


Figura 95. Distribución amenaza por avenida torrencial suelo urbano
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

La distribución de la amenaza por este evento en suelo urbano, muestra como la mayoría de este no tiene amenaza, 75.7%, equivalentes a 690.1 hectáreas, el 9.0% tiene amenaza alta, equivalente a 82 hectáreas, el 10 % tiene amenaza media, y el 5,4% tiene amenaza baja. Al hacer un análisis por los barrios se observa que los barrios más afectados son La Playita, Olaya Herrera, Juan XXIII y Felipe Echevarría, tiene nel 100% en categoría de amenaza, mientras otros como La Inmaculada, zona centro y La Acuarela tienen más de 95% en amenaza por este evento. Al analizar respecto a la categoría de amenaza alta, se destacan, La Inmaculada y Juan XXIII, Felipe Echevarría Olaya Herrera y la Playita, todo con más del 60% de su territorio en esta categoría.

7.4.3 SUELO RURAL

Para la determinación de este tipo de amenazas en suelo rural se consideró el mismo criterio que para la zona urbana, todas las corrientes fueron modeladas y se realizó el respectivo análisis de la envolvente.

Al igual que en las inundaciones, dado el relieve de valles profundos en V, con fuerte incisión y poco desarrollo de planicies aluviales, este tipo de eventos se restringe a los cauces, siendo la parte alta del río Aburrá la zona donde se pueden encontrar zonas donde los eventos pueden generar afectaciones más amplias al presentar depósitos torrenciales.

Otras zonas de torrencialidad basados en evidencias geomorfológicas se observan en la vereda Miel, estando asociado la amenaza al ancho del cauce y extendiéndose a zonas bajas en cercanías a la orilla del cauce, donde se han hecho cortes para uso urbanístico.

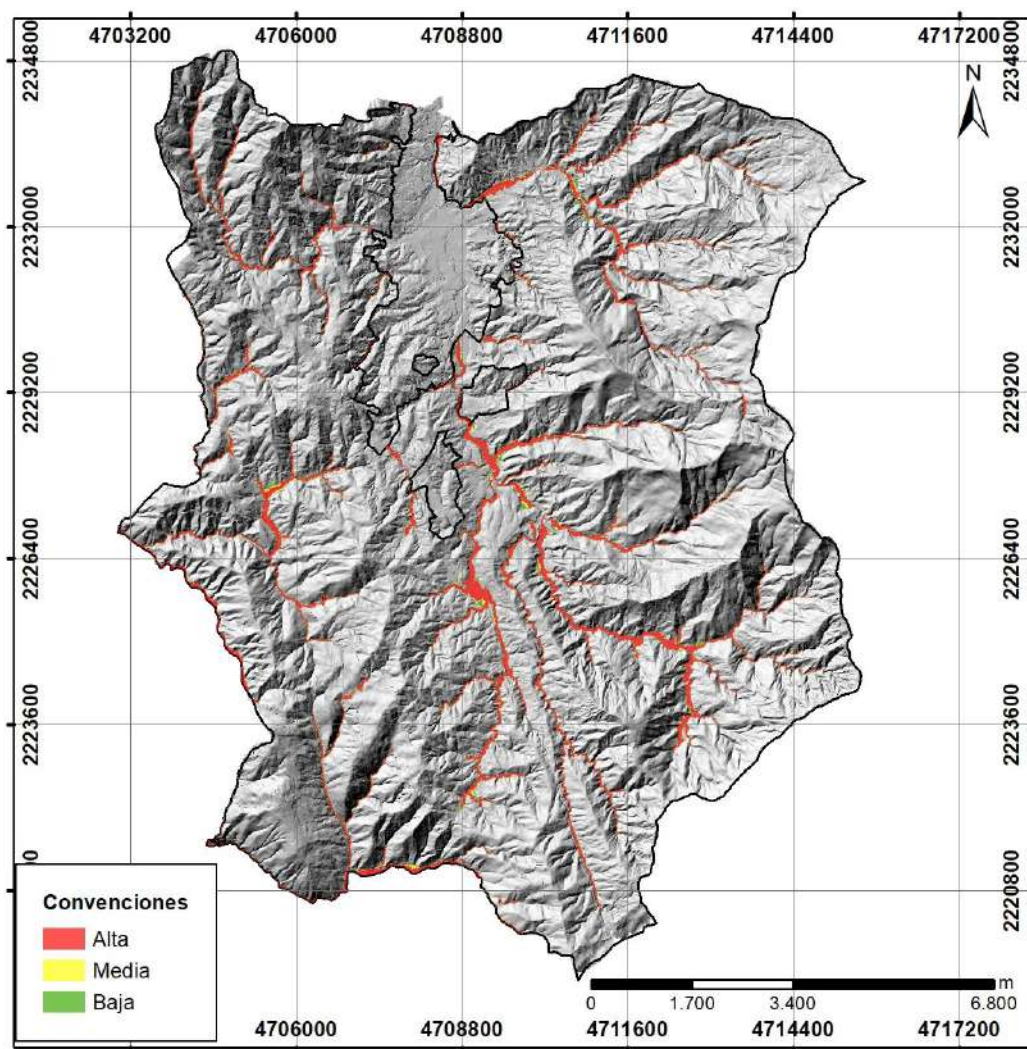


Figura 96. Mapa de amenaza por avenida torrencial para suelo rural del municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE AMENAZAS

Las amenazas presentadas en este estudio bajo los diferentes métodos mencionados anteriormente que evalúan los fenómenos de movimiento en masa, inundación y avenida torrencial, indicando su categorización y distribución sobre el municipio de Caldas, se han analizado y comparado con los estudios de zonificación de amenaza realizados por el PBOT (2010), en la actualización del POMCA (2018) y en el Estudio Básico de Amenazas (UNAL & AMVA, 2018), donde es importante aclarar que no se incluyen los resultados de las cuencas pertenecientes al río Cauca (río Amagá y quebrada Sinifaná), ya que los resultados disponibles para estas, no presentan la zonificación de amenazas de forma independiente, sino que estas hacen parte del resultado final que incluyen numerosas categorías de otros componentes, por lo que no es posible su discriminación.

7.5.1 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

En términos generales, se evidencia variación en la distribución de las categorías de amenaza (alta, media y baja) a lo largo del municipio en los cuatro estudios revisados, lo que obedece a la diferencia en las escalas de trabajo y las metodologías empleadas para la obtención de las amenazas.

La zonificación de amenazas del PBOT (2010), muestra una distribución predominante de la categoría baja de amenaza sobre el suelo urbano, asociado con las bajas pendientes marcadas por la llanura aluvial del río Aburrá, no obstante, se presentan algunas zonas de amenaza media a media-baja a lo largo de las vertientes de los cauces de algunas quebradas. Por su parte, hacia el suelo rural la amenaza predomina de media a alta, asociado con el desarrollo de procesos morfodinámicos sobre suelos residuales y a las altas pendientes de la zona.

Con respecto a la zonificación de amenazas realizada por el Estudio Básico de Amenazas (EBA) para el municipio de Caldas en el año 2017, se evidencia la predominancia de la amenaza alta en el municipio, asociado a las zonas de altas pendientes, reflejadas en la alta incisión por parte de las quebradas en las partes medias y altas de las vertientes.

En cuanto a la metodología empleada por el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá (POMCA) en el municipio de Caldas, se consideró la caracterización de amenazas por la ocurrencia de deslizamientos y eventos sísmicos a través de métodos determinísticos. Realizando un inventario de áreas susceptibles a movimientos en masa de acuerdo con su geomorfología. Este análisis no cubre todo el municipio debido a que en este se encuentra un sector perteneciente a la cuenca del río Cauca representado en la parte sur occidental del municipio. El resultado de estos análisis evidencia la predominancia de amenaza baja en la zona urbana y de expansión, asociado a las zonas bajas aledañas al río y de la amenaza alta, la cual se concentra en las partes altas de las vertientes sobre el flanco oriental del municipio, asociado a la ocurrencia de deslizamientos en esos sectores.

Por su parte, la zonificación de amenazas presentada para el municipio, fue desarrollada con base en dos métodos, el método estadístico para el suelo rural, que considera el inventario de deslizamientos y flujos, por medio de la integración de las variables que inciden en la ocurrencia, tanto actual como a futuro de los posibles procesos de inestabilidad del terreno, considerando los procesos detonantes del área y el método determinístico aplicado para suelo rural, en donde se considera las propiedades mecánicas del suelo como principal factor de desestabilización. El análisis realizado en el suelo rural muestra el predominio de amenaza alta hacia las partes altas de las vertientes, siendo zonas críticas como La Sinifaná, La Clara. La Miel, entre otras, y además señala el predominio de la amenaza baja en el suelo urbano, representado en zonas planas a onduladas, conformados por los depósitos de origen aluvial.

En comparación con los estudios anteriores, esta zonificación muestra una mejor distribución en la categoría de amenaza media y alta para la zona urbana del municipio, en donde las pendientes tienden a ser moderadas a empinadas y en donde se han presentado procesos de remoción en masa. Este cambio en la distribución de la amenaza obedece a las modificaciones del uso del suelo, las coberturas terrestres, las condiciones topográficas del municipio y a los métodos de zonificación de amenaza utilizados. Comparando la zona rural, se observa similitudes parciales entre el presente estudio y el PBOT (2010), manteniendo las vertientes de las partes de las cuencas como zonas de amenaza alta, sin embargo, se observan cambios en zonas categorizadas de amenaza media donde se diferencian zonas de poco relieve y pendiente que se categorizan como zonas de amenaza baja.

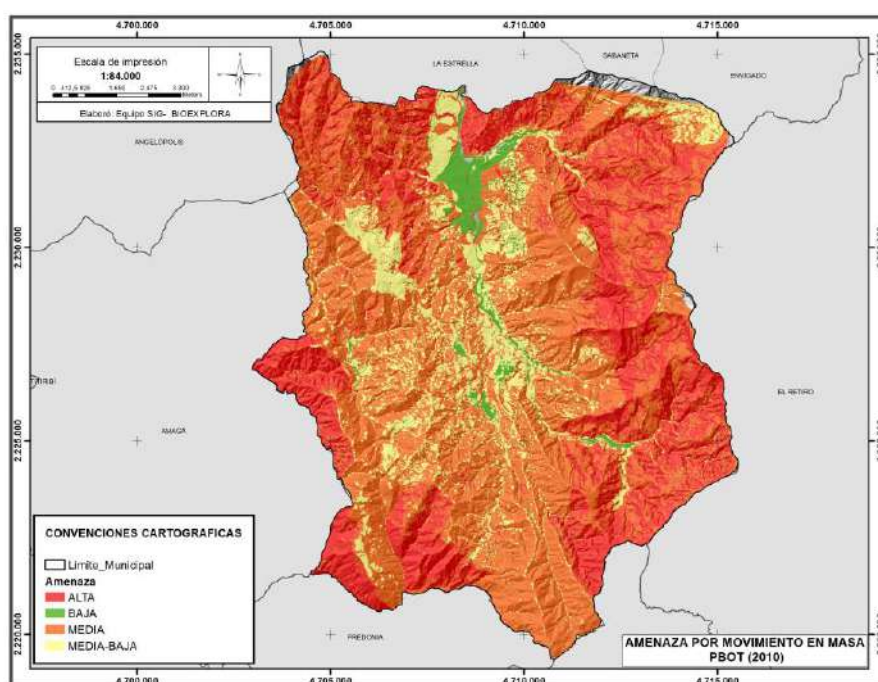


Figura 97. Mapa de amenaza por movimiento en masa, PBOT (2010).

Fuente: Tomado y modificado del PBOT (2010)

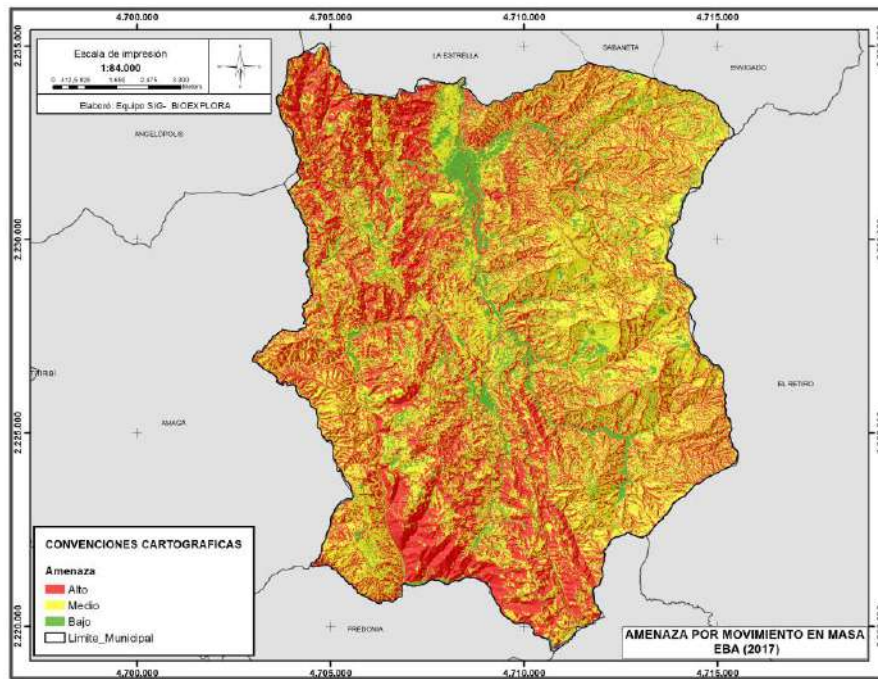


Figura 98. Mapa de amenaza por movimiento en masa, (UNAL & AMVA, 2018)
Fuente: Tomado y modificado del (UNAL & AMVA, 2018)

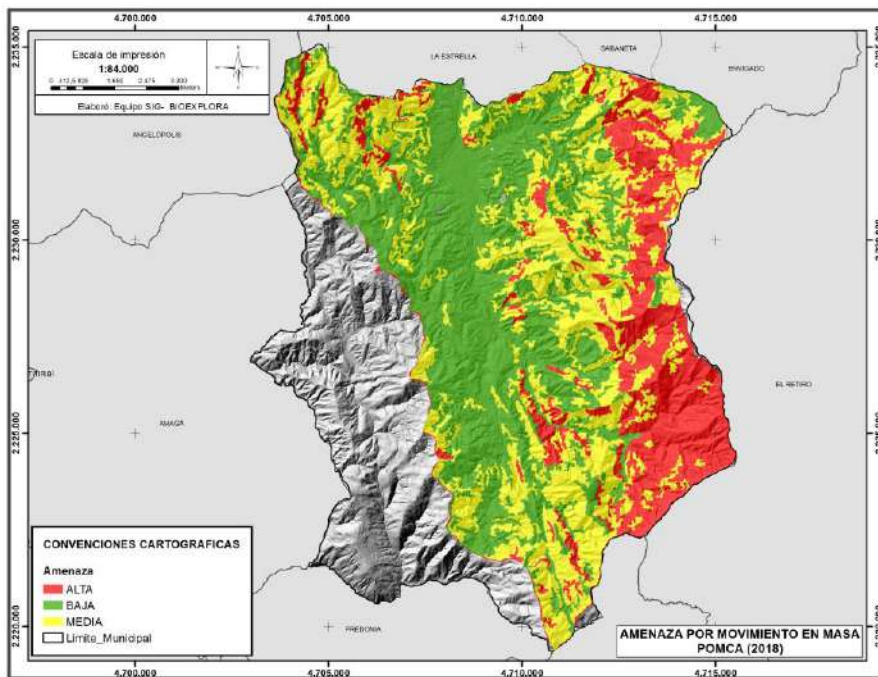


Figura 99. Mapa de amenaza por movimiento en masa, POMCA (2018).
Fuente: Tomado y modificado del POMCA (2018)

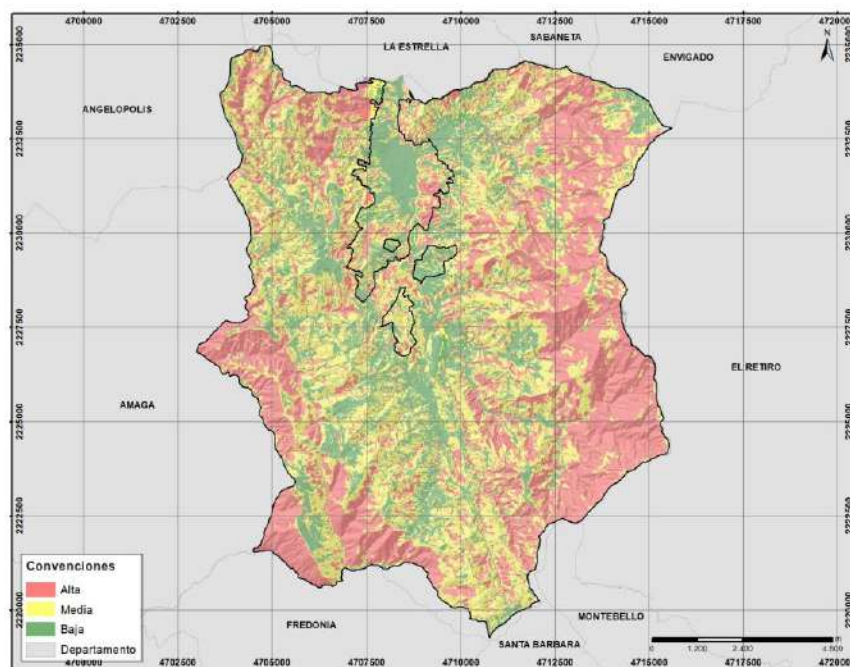


Figura 100. Mapa de amenaza por movimientos en masa del presente estudio.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.5.2 AMENAZA POR INUNDACIÓN

La zonificación de amenazas por inundación presentada por el PBOT (2010), el EBA (2017) y el POMCA del Río Aburrá (AMVA et al, 2018) para el municipio de Caldas, muestran una distribución de las categorías de amenaza sobre todo el territorio. En el presente estudio, se realiza un análisis directo sobre los cauces que presentan susceptibilidad a eventos por inundación.

El estudio realizado por el PBOT del año 2010 categoriza la amenaza por inundación a nivel general como alta, definida sobre los cauces de las quebradas Mandalay, La Clara, La Miel, La Salada y gran parte del río Aburrá, estando la parte central de la cabecera municipal ausente de la modelación. Este estudio no categoriza las demás corrientes, faltando gran parte de la red de hídrica de Caldas.

Los resultados presentados por el EBA en el año 2017 indican una categorización de la amenaza alta por inundación sobre los cauces principales del municipio, asociados a la llanura de inundación y a las partes bajas producto de cortes antrópicos. La amenaza media y baja por este tipo de eventos está representada principalmente en la zona del casco urbano.

Por su parte, la zonificación de amenazas por inundación del POMCA (AMVA et al., 2018) considera los fenómenos de inundaciones lentas evaluadas a partir de criterios geomorfológicos y recurrencia de eventos históricos e inundaciones rápidas por recurrencia de eventos en las quebradas. A partir de la información de la base de datos Desinventar (Desinventar.org, 2016) y registros históricos relatados por la comunidad se construyó un inventario de eventos, por lo cual la zonificación de la misma está determinada por la frecuencia

de estos. El inventario demuestra que la mayoría de los eventos en el municipio de Caldas han ocurrido en el área de influencia del río Aburrá, por lo cual la amenaza indica una categoría alta sobre el río Aburrá y media sobre la quebrada La Valeria, La Miel y La Corrala, sin embargo, esta zonificación hace un reconocimiento parcial de la amenaza sobre el territorio, no tomando en cuenta corrientes hídricas del municipio que presentan susceptibilidad por inundación, tales como la quebrada La Clara, La Mina, La Salada, La Lejía, entre otras.

Finalmente, la amenaza por inundación descrita en este informe determinó los cauces más propensos a inundación, por medio de la evaluación de la susceptibilidad y la zonificación de amenazas a partir de modelos hidráulicos e hidrológicos, considerando la insuficiencia hidráulica de obras, modificación de los cauces naturales y la invasión en los retiros de las quebradas.

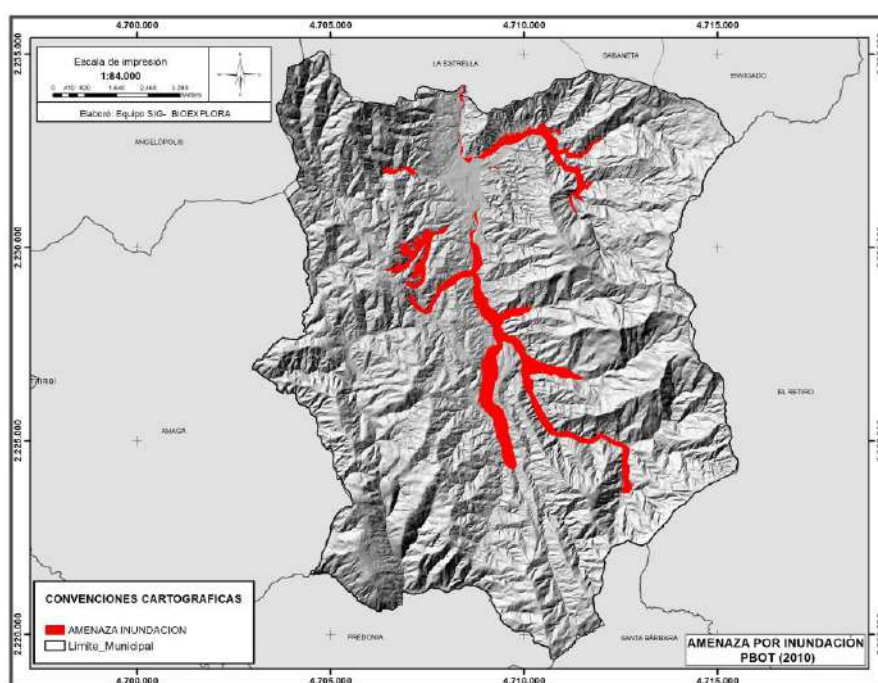


Figura 101. Mapa de amenaza por inundación, PBOT (2010).

Fuente: Tomado y modificado del PBOT (2010)

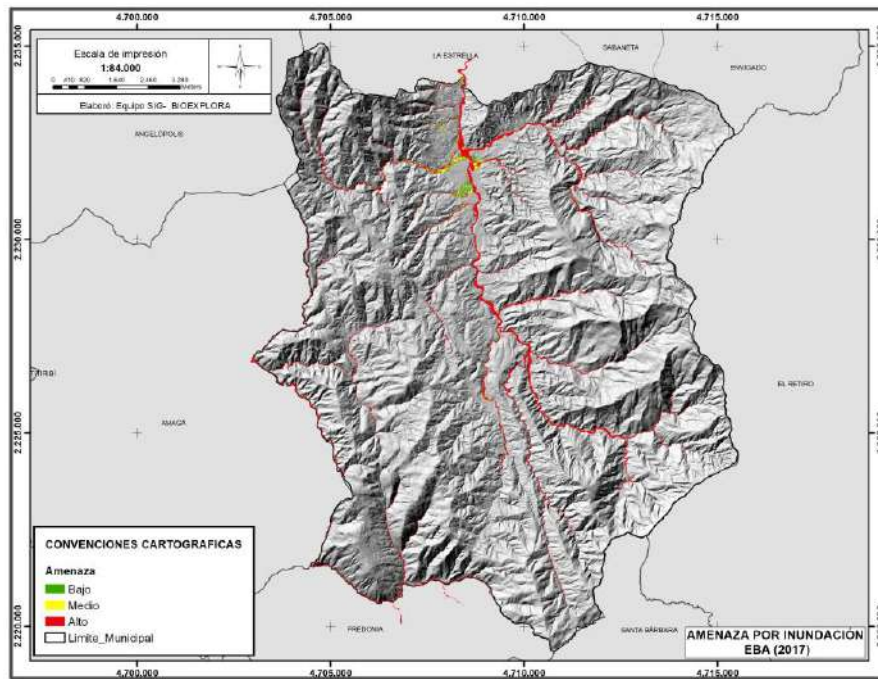


Figura 102. Mapa de amenaza por inundación, (UNAL & AMVA, 2018)

Fuente: Tomado y modificado del (UNAL & AMVA, 2018)

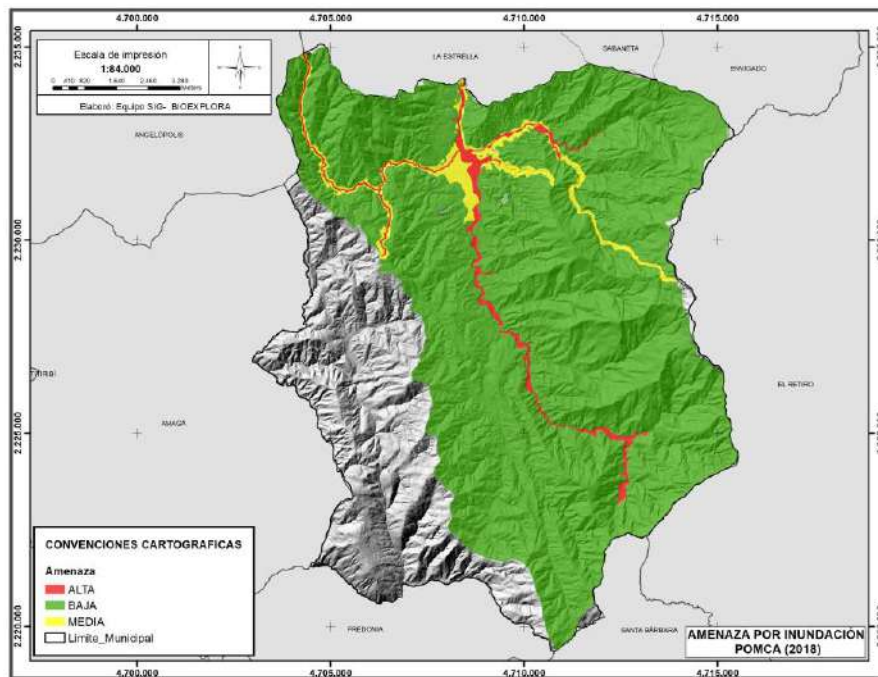


Figura 103. Mapa de amenaza por inundación, POMCA (2018).

Fuente: Tomado y modificado del POMCA (2018)

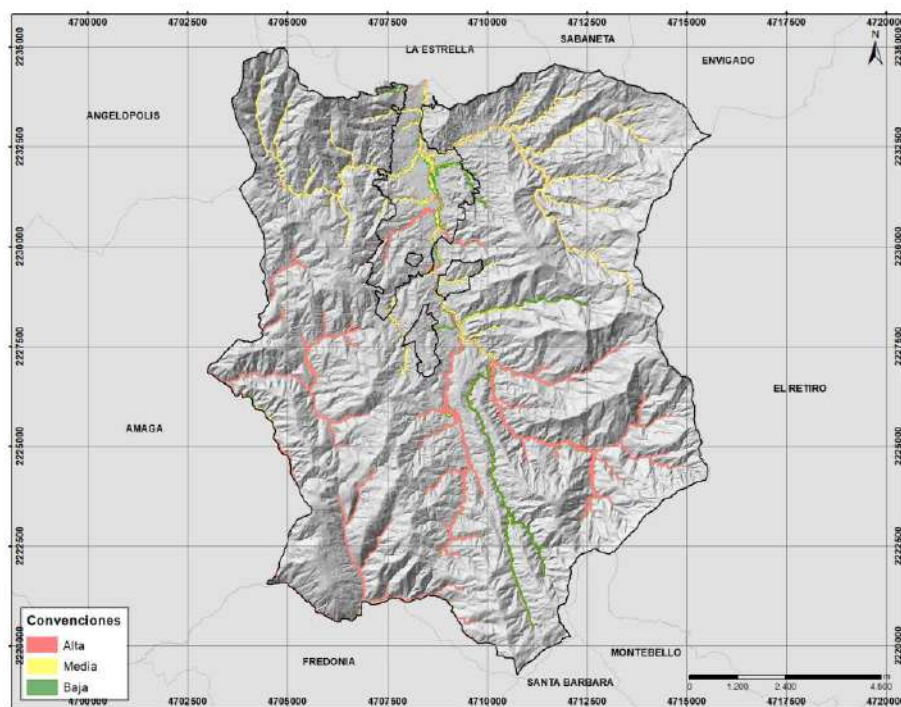


Figura 104. Mapa de amenaza por inundación del presente estudio (2021).

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.5.3 AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL

En este capítulo, se realiza un análisis comparativo de los diferentes estudios realizados en el municipio por amenaza de avenidas torrenciales y se realiza una comparación con los resultados obtenidos del presente estudio.

El Estudio Básico de Amenazas (EBA) del año 2017 presenta una zonificación de amenazas por avenida torrencial que cubre parcialmente las corrientes del municipio, siendo las corrientes analizadas, producto de la combinación de 3 métodos: i) el histórico, donde se seleccionan las cuencas que han presentado eventos de torrencialidad; ii) Las evidencias geológicas y geomorfológicas presentes en el municipio; iii) y la morfometría que presenta una cuenca que evalúa la respuesta hidrológica. La amenaza por avenida torrencial se clasifica en alta, la cual está restringida a los cauces de las quebradas Mandalay, La Valeria, La Miel, La Salada, La Chuscala, El Cano, La Raya, La Aguacatala y La Brunera, las cuales están susceptibles a la ocurrencia de eventos torrenciales.

En contraste, el POMCA 2018 establece la amenaza, a través de un análisis probabilístico por movimientos en masa como aportante de materiales sólidos de arrastre para definir la categoría de amenaza en combinación con la caracterización morfométrica. Como resultado del análisis de la amenaza por avenida torrencial para el municipio de Caldas, se tiene que las quebradas La Valeria, La Miel, El Cano, La Raya, La Aguacatala, La Brunera, La Zarza y el río Aburrá en su parte baja entre otros, presentan amenaza alta por avenida torrencial

la cual está directamente relacionada con las zonas del municipio que presenta mayores pendientes, correlacionándose así, con el resultado obtenido en la zonificación de la amenaza por movimiento en masa.

En el presente estudio se identifican las corrientes susceptibles a eventos por avenida torrencial correspondientes a la mayoría de los cauces que tienen suficiente caudal para generar potenciales eventos torrenciales. La zonificación de amenazas se realiza de acuerdo con modelos hidrológicos e hidráulicos ajustados a la geomorfología de la zona de estudio.

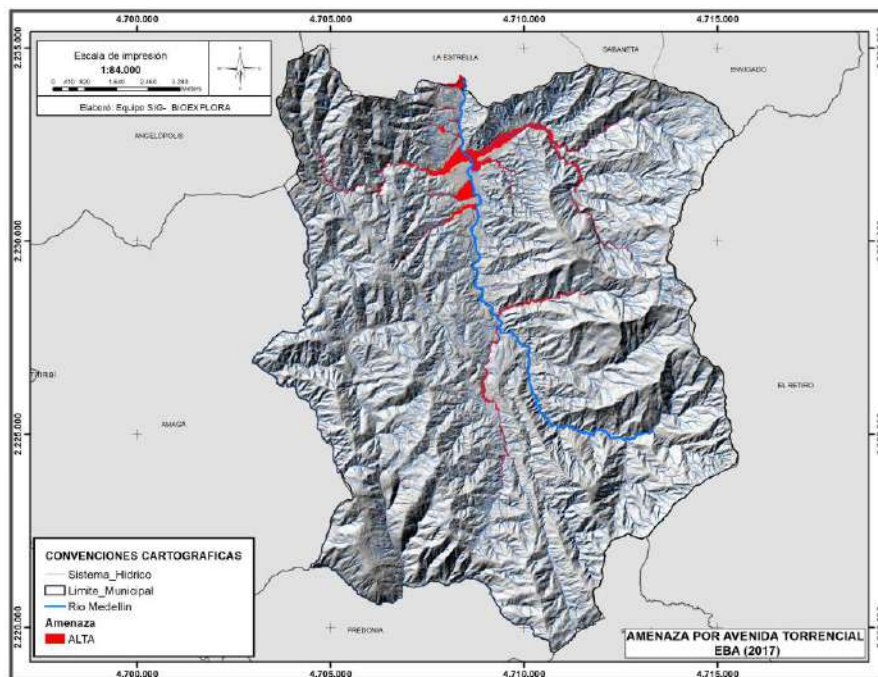


Figura 105. Mapa de amenaza por avenida torrencial, (UNAL & AMVA, 2018)

Fuente: Tomado y modificado del (UNAL & AMVA, 2018)

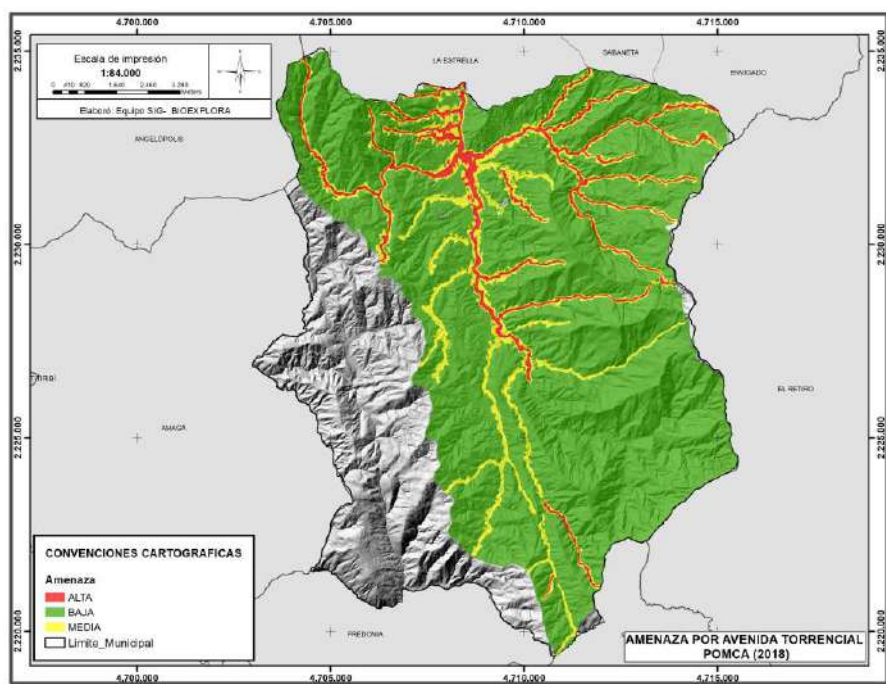


Figura 106. Mapa de amenaza por avenida torrencial, POMCA (2018).

Fuente: Tomado y modificado del POMCA (2018)

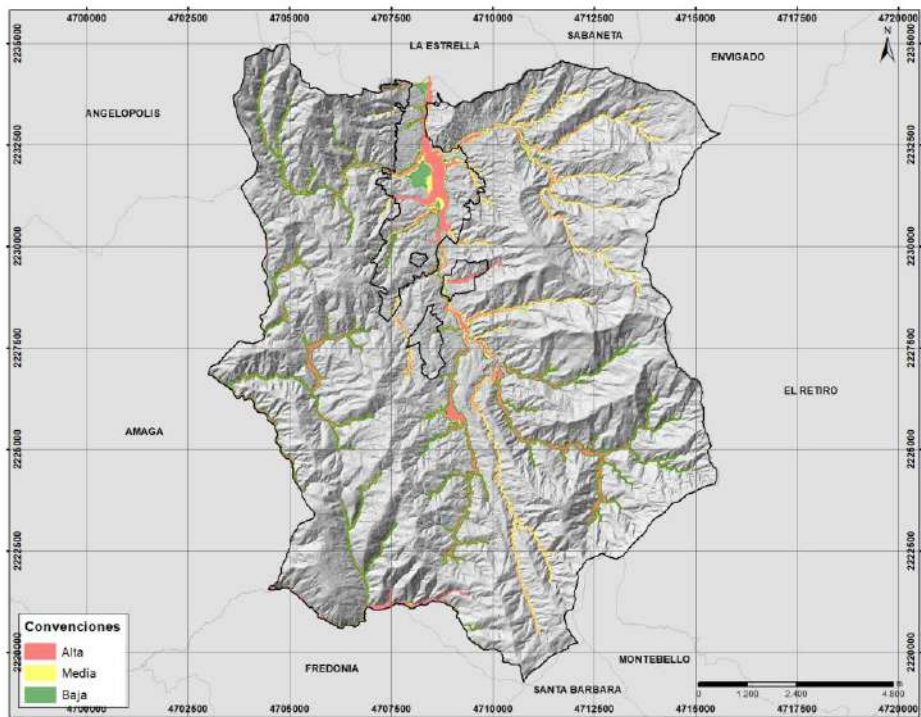


Figura 107. Mapa de amenaza por avenida torrencial del presente estudio.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS CENTROS POBLADOS

En este numeral se detallan las características geológicas, geomorfológicas, de procesos y amenazas de cada uno de los centros poblados del municipio de Caldas. Además, se realiza una comparación entre estos, con el fin de determinar zonas de mayor riesgo.

7.6.1 CENTRO POBLADO EL CANELÓN

7.6.1.1 Geología Local

En este centro poblado solo es de tiene la presencia del miembro volcánica de Quebradagrande. Que se localiza en las partes altas de la vertiente y se caracteriza por presentar grandes espesores de suelo residual, alcanzando hasta los 4m, están conformados por una matriz limo-arcillosa de color amarillo pardusco.

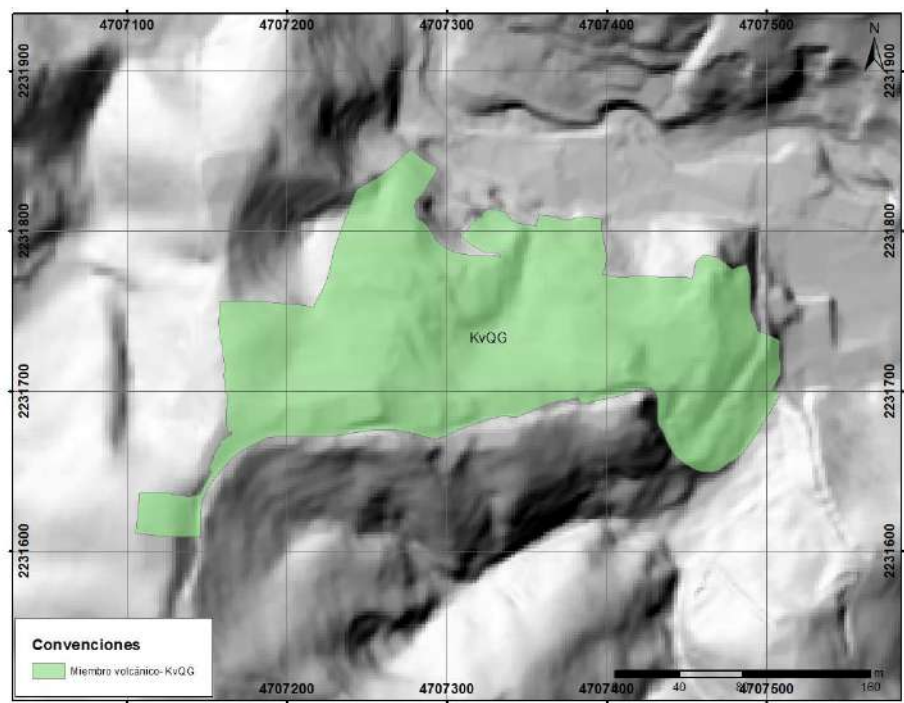


Figura 108. Mapa de unidades geológicas del centro poblado El Canelón
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 130. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro El Canelón

Centro Poblado El Canelón		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Miembro Volcánico	3,99	100%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

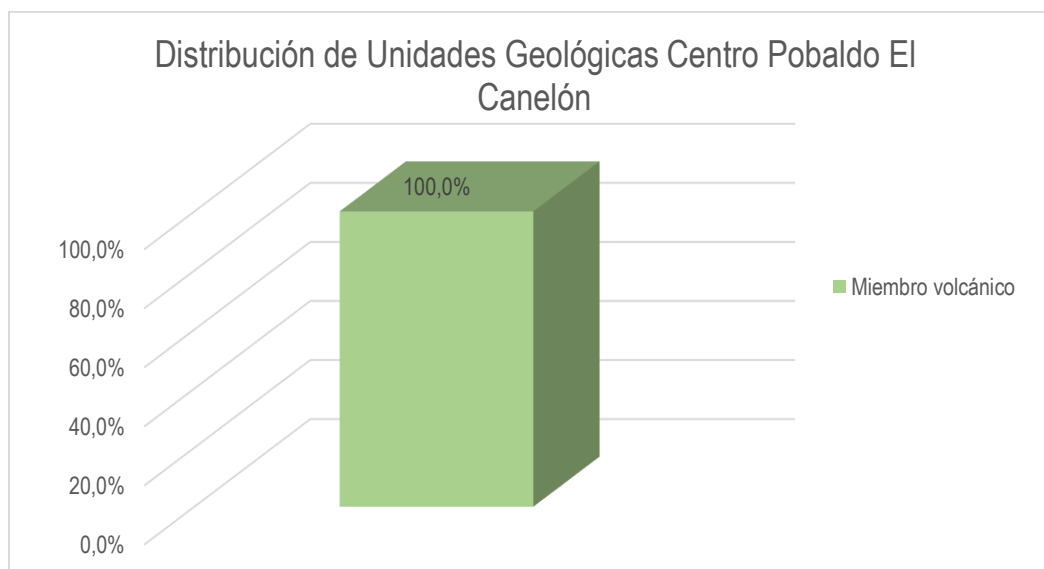


Gráfico 20. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado El Canelón
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.1.2 Formaciones superficiales locales

En este centro poblado solo se tiene la presencia de suelos derivados de rocas de la formación Quebradagrande. Estos suelos corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento, y el saprolito limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

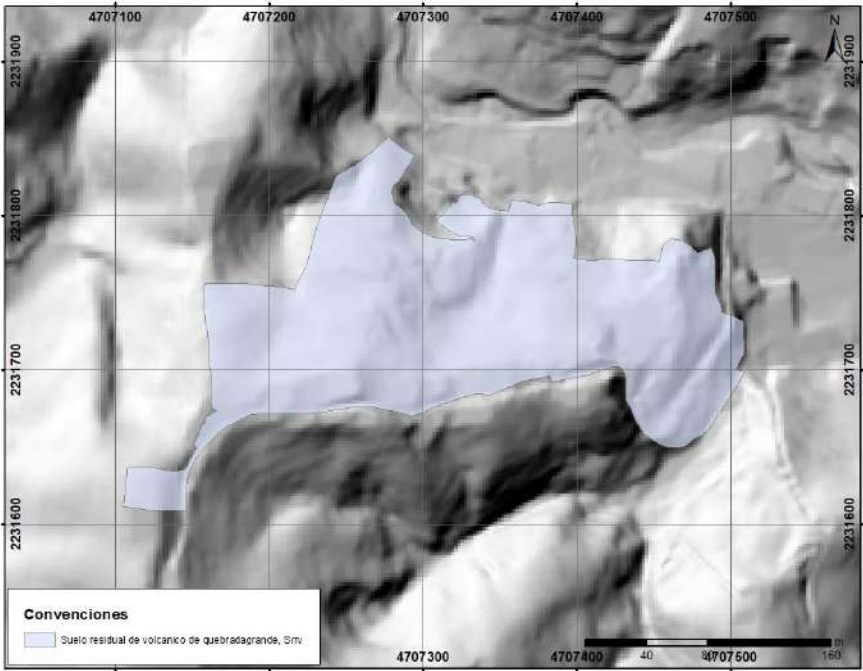


Figura 109. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado El Canelón
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

Tabla 131. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro El Canelón

Centro Poblado El Canelón		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	3,99	100%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

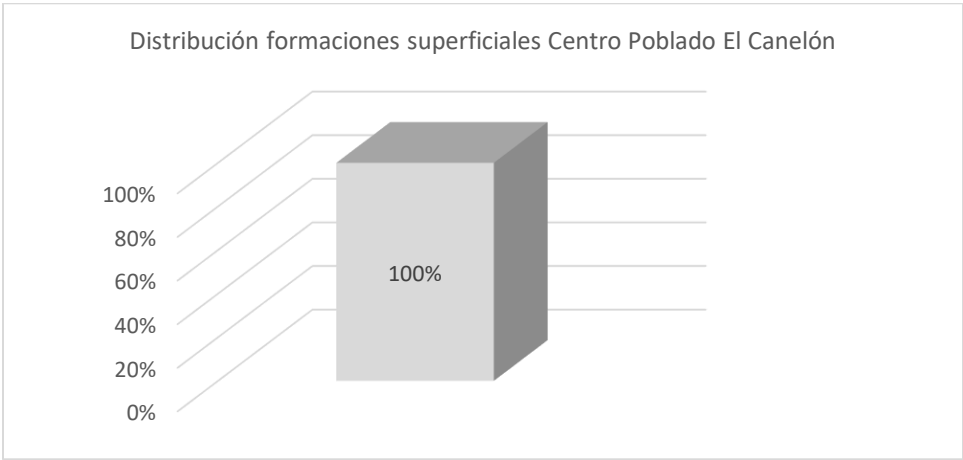


Gráfico 21. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado El Canelón
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.1.3 Geomorfología Local

El centro poblado La Aguacatala, se encuentra ubicado en zonas de vertiente sobre el occidente de la cabecera municipal. Esta zona ha sido afectada fuertemente por procesos de incisión fluvial, generando desestabilidad en los suelos residuales en las partes altas y medias de las laderas.

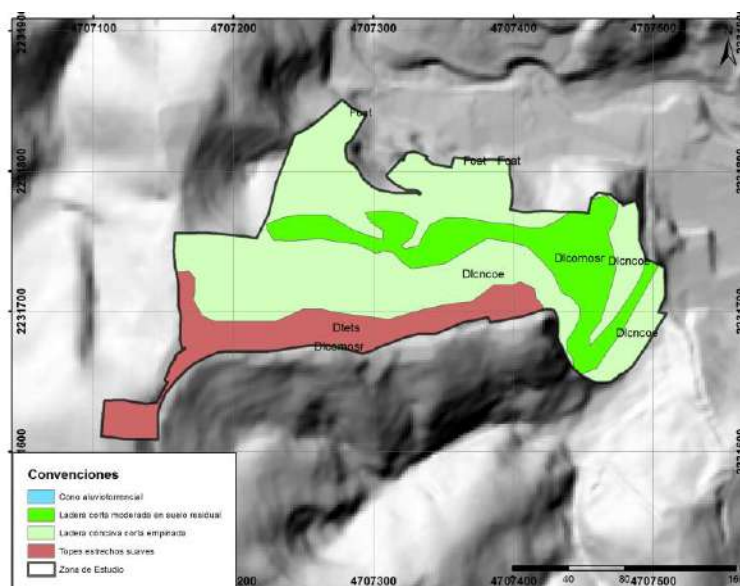


Figura 110. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado El Canelón.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ Cono aluvio-torrencial (Fcat)

Se trata de cuerpos que se forman por acumulaciones de material de origen aluvial y torrencial, los cuales se distribuyen en morfología relativamente cónica o lobular. Se componen de flujos de escombros, principalmente los cuales son depositados por eventos de avalanchas en cauces de tipo secundario, principalmente. Tienen índice de curvatura plano a convexo y rugosidad uniforme a casi uniforme. Las inclinaciones de estos cuerpos varían entre los 5° y 15°, predominantemente. Se distribuyen por el casco urbano, en zonas de transición del piedemonte del valle del río Aburra y en este centro poblado tiene una extensión muy baja, menor al 1%.

➤ Ladera cóncava corta empinada (Dlconce)

Ladera de aspecto cóncavo, la cual presenta pendientes entre los 30° y 45° de inclinación, con índice de curvatura cóncavo y muy rugosas. Asociadas a la unidad geológica del Miembro Volcánico (KvQG), cubre más del 60% del centro poblado siendo el elemento de mayor extensión.

➤ Ladera corta Moderada

Corresponde a laderas de longitud menor a 200 metros con pendientes predominantemente moderadas, es decir, entre los 15° y 30° de inclinación, Estos elementos geomorfológicos se encuentran predominantemente en las vertientes occidentales del río Aburrá.

➤ **Topes estrechos suaves (Dtes)**

Corresponde a topes de aspecto suavemente ondulado, con pendientes que van de los 5° a 15°, presentan índice de curvatura plano, predominantemente y rugosidad uniforme a casi uniforme. Se desarrollan principalmente sobre los suelos residuales de las rocas pertenecientes al Miembro volcánico (KvQG), cubre el 18,39% del centro poblado.

Tabla 132. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado El Canelón

Centro Poblado El Canelón		
Unidad Geomorfológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Cono aluviotorrencial	0,001	0,04%
Ladera cóncava corta empinada	2,43	60,80%
Ladera corta moderada	0,83	20,78%
Topes estrechos suaves	0,73	18,39%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

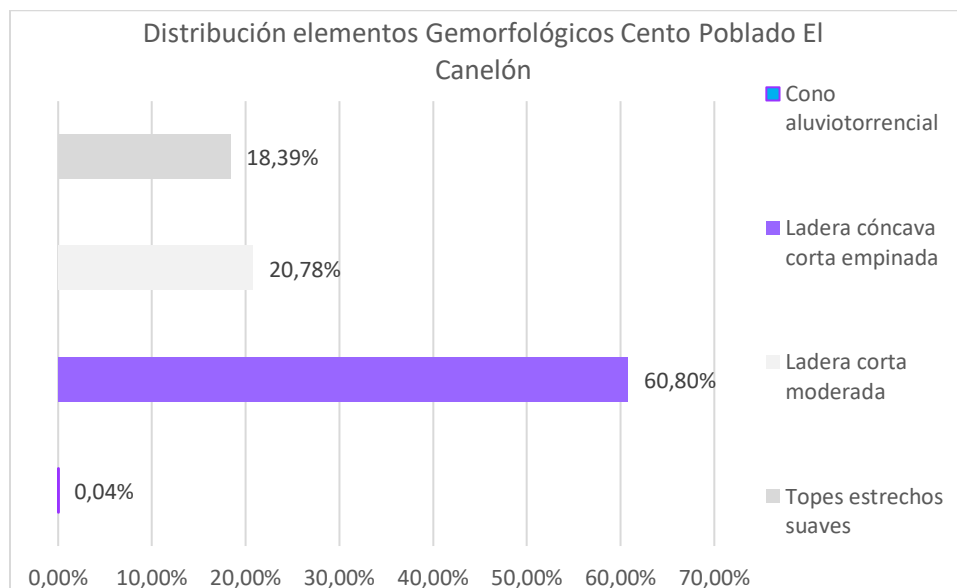


Gráfico 22. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado El Canelón

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.1.4 Procesos morfodinámicos

7.6.1.5 Zonificación de la amenaza por movimiento en masa

La zonificación de amenaza por eventos de movimiento en masa se realizó utilizando la metodología mencionada anteriormente, donde la mayor parte de la amenaza por este tipo de evento para el centro poblado

está asociada a las zonas de mayor pendiente, estando sobre los suelos residuales del miembro Volcánico. La amenaza alta representa el 10,2% del área, la amenaza media representa el 63,4% del área total del centro poblado, siendo así la de mayor extensión, la amenaza baja cubre el 26,4% del centro poblado.

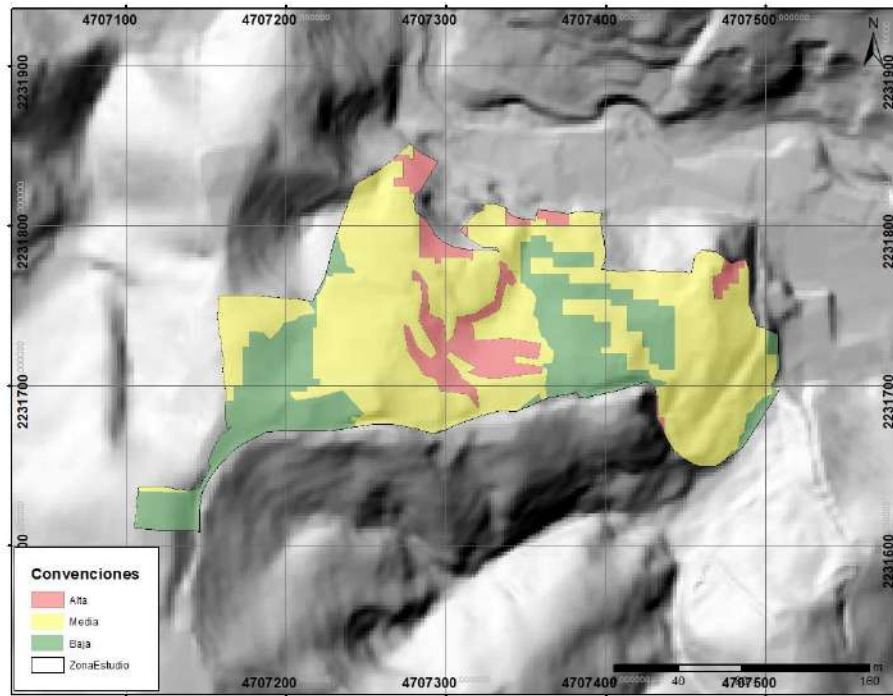


Figura 111. Mapa de amenaza por movimientos en masa para el centro poblado El Canelón
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

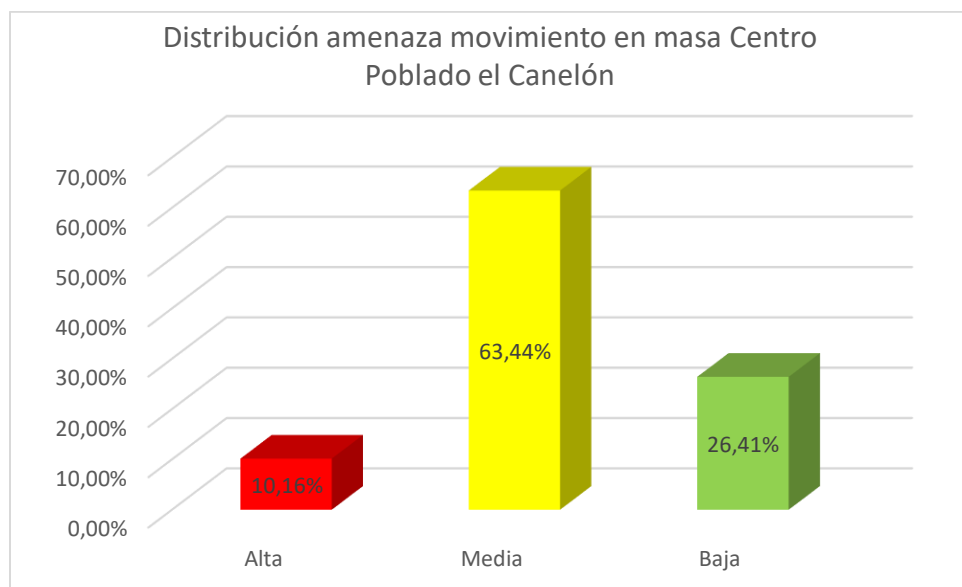


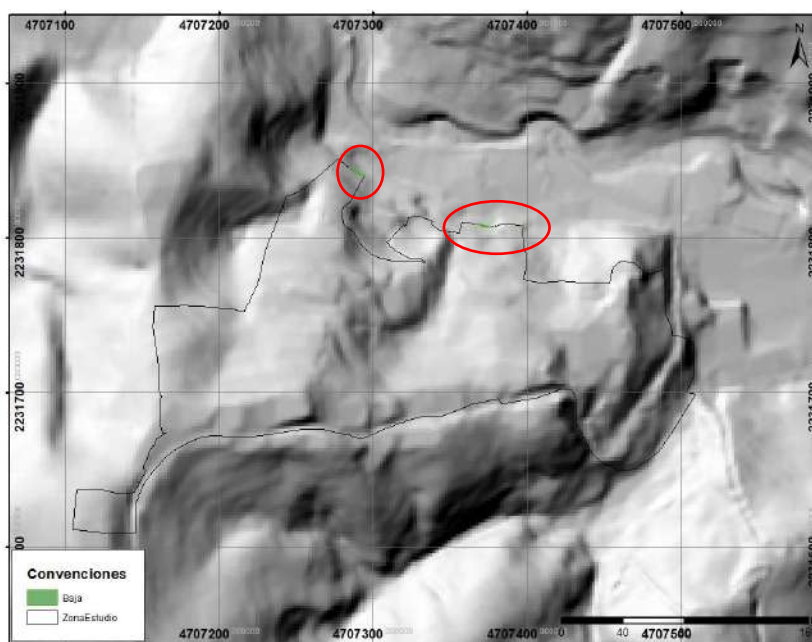
Gráfico 23. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado El Canelón

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.1.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

De acuerdo con la amenaza por inundación en el municipio, el centro poblado El Canelón no presenta amenaza por eventos de inundación, esto es producto a que no se encuentra asociada a ninguna quebrada cercana con potencial inundable, reflejada en la ausencia de depósitos de origen aluvial.

Respecto a la amenaza por eventos torrenciales, el centro poblado solo presenta categoría de amenaza baja por este evento, en una franja estrecha sobre el costado norte, con un área de 15 m², que representa menos del 0,01% s del área total de El Canelón.



Centro p Figura 112. Mapa de amenaza por avenida torrencial del centro poblado El Canelón
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.2 POBLADO LA AGUACATALA

7.6.2.1 Geología Local

La geología del centro poblado La Aguacatala, está conformada por rocas volcánicas de edad Cretácica y depósitos de flujos de escombros y/o lodos de edad Cuaternaria (Figura 113); estos depósitos se caracterizan por tener una matriz arcillosa de color amarillo, con clastos menores a 1cm.

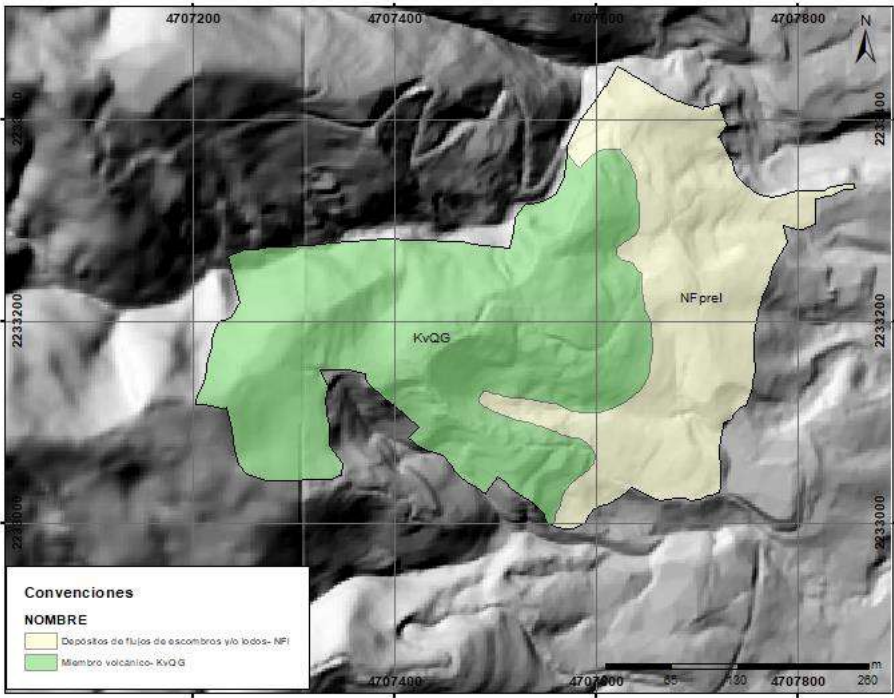


Figura 113. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Aguacatala
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Miembro Volcánico (KvQG)**

Esta unidad cubre aproximadamente 9,18 ha, representando el 62% del área del centro poblado, siendo así la de menor extensión en la zona. Se localiza en las partes altas de la vertiente y se caracteriza por presentar grandes espesores de suelo residual, alcanzando hasta los 4m, están conformados por una matriz limo-arcillosa de color amarillo pardusco.

➤ **Depósitos de flujos de escombros y/o lodos (NFprel)**

Litológicamente los depósitos de flujo se encuentran completamente meteorizados desarrollando un suelo residual de depósito; se caracterizan por presentar una matriz limosa de color café amarillento con clastos de tamaño de hasta 6 cm, subangulosos. Sobre esta unidad está depositada una capa de ceniza volcánica de 1m de espesor, la cual se caracteriza por presentar una densidad baja, con un color crema a amarillo claro de textura limosa.

A continuación, se describen el % que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 133. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Aguacatala.

Centro Poblado La Aguacatala		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	5,62	38%
Miembro Volcánico	9,18	62%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

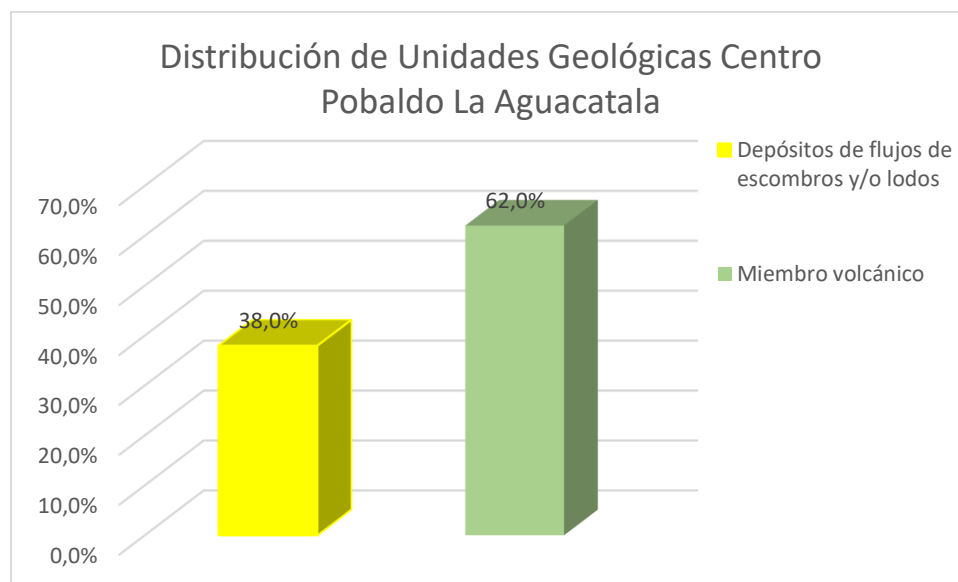


Gráfico 24. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Aguacatala.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.2.2 Formaciones superficiales locales

En este centro poblado se presentan dos formaciones superficiales como son suelos residuales de Quebradagrande, como la formación de mayor extensión y suelos transportados de depósitos de flujos de lodo y escombros.

➤ Suelos transportados de flujos de lodos y escombros.

Estos suelos cubren el 38% del centro poblado y son originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, donde espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predominio de fracción fina limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ Suelo residual de volcánico de Quebradagrande

Estos suelos cubren el 62% del centro poblado, corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento, y el saprolito limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

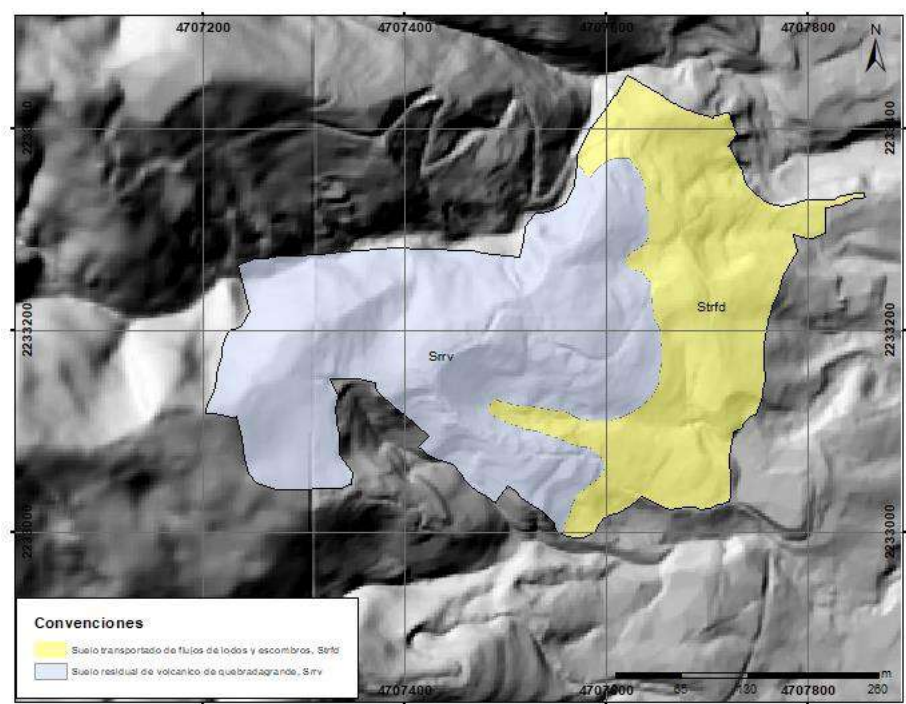


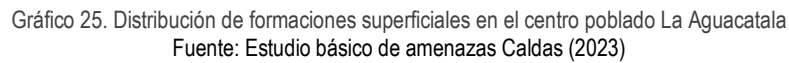
Figura 114. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Aguacatala
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

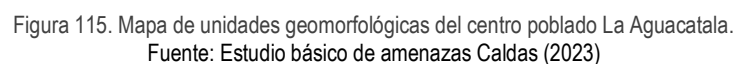
Tabla 134. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Aguacatala

Centro Poblado La Aguacatala		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	9,18	62,0%
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	5,62	38,0%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)



El centro poblado La Aguacatala, se encuentra ubicado regionalmente en el paisaje de montaña, y está representado localmente por lomos desnudos de longitud media y laderas coluviales. Esta zona ha sido afectada fuertemente por procesos de incisión fluvial, generando desestabilidad en los suelos residuales en las partes altas y medias de las laderas.



➤ **Ladera coluvial corta moderada (Dlccm)**

Se trata de una ladera de pendientes comprendidas en el rango de 15° a 30°, predominantemente y con extensión longitudinal menor a 200 metros. Estas laderas han sufrido fuertes procesos denudativos por parte de la acción fluvial, generando movimientos en masa de los suelos residuales a diferentes escalas.

➤ **Ladera coluvial media moderada (Dlcmmo)**

Geoforma ondulada, localizada a lo largo de la vertiente oriental del centro poblado. Se caracteriza por presentar pendientes moderadas (15° - 30°), con algunos sectores que alcanzan a estar empinados y rugosidad casi uniforme.

➤ **Ladera coluvial larga moderada (Dlclm)**

Laderas coluviales de longitud mayor a los 400 metros, pendientes entre los 15° y 30°, con índices de curvatura variable y moderadamente rugosas.

➤ **Ladera coluvial corta empinada (Dlccm)**

terrenos de pendientes comprendidas en el rango de 30° a 45°, con longitud menor a 200 metros. Estas laderas han sufrido fuertes procesos denudativos por parte de la acción fluvial, generando movimientos en masa de los suelos residuales a diferentes escalas.

➤ **Ladera coluvial larga suave (Dlcls)**

Laderas coluviales de longitud mayor a los 400 metros, pendientes entre los 5° y 15°, con índices de curvatura plano y rugosidad uniforme a casi uniforme. Asociadas principalmente a la unidad geológica denominada Depósitos de flujos de escombros y/o lodos.

➤ **Ladera cóncava corta empinada (Dlcncoe)**

Ladera de aspecto cóncavo, la cual presenta pendientes entre los 30° y 45° de inclinación, con índice de curvatura cóncavo y muy rugosas. Asociadas a la unidad geológica del Miembro Volcánico (KvQG)..

➤ **Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcmsr)**

Este tipo de laderas se caracterizan por presentar longitudes cortas, menores de 200 metros y pendientes que son principalmente empinadas, es decir, en el rango que va de los 30° a 45° de inclinación y se encuentran limitados por drenajes subparalelos. En general, se encuentran dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general N-S de la región.

➤ **Ladera corta moderada en suelo residual (Dlcmosr)**

Ladera de longitud menor a 200 metros con pendientes predominantemente moderadas, es decir, entre los 15° y 30° de inclinación.

➤ **Ladera corta escarpada en suelo residual (Dlcessr)**

Superficies de morfología muy inclinada exhibiendo pendientes escarpadas, es decir mayores a los 45° de inclinación, con longitudes menores a los 200 metros. Generalmente de aspecto convexo y rugoso, con inclinaciones entre 30°-45°. Esta geoforma es producto de procesos denudativos la incisión generada por la escorrentía superficial y por las quebradas adyacentes.

➤ **Topes estrechos moderados (Dtem)**

Topes de aspecto ondulado, de amplitud menor a los 50 metros, principalmente. con pendientes que van de los 15° a 30°, presentan índice de curvatura plano a convexo, predominantemente y rugosidad uniforme a casi uniforme.

➤ **Ladera corta moderada en suelo residual (Dlcmosr)**

Laderas de longitud mayor a 500 metros con pendientes entre los 15° y 30° de inclinación, con disposición levemente cóncava a planar.

Tabla 135. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Aguacatala.

Centro Poblado La Aguacatala		
Elemento Geomorfológico	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Ladera cóncava corta empinada	0,94	6,4%
Ladera coluvial corta empinada	0,42	2,8%
Ladera coluvial corta moderada	0,35	2,4%
Ladera coluvial larga moderada	1,42	9,6%
Ladera coluvial larga suave	0,18	1,2%
Ladera coluvial media moderada	3,25	21,9%
Ladera corta empinada en suelo residual	1,67	11,3%
Ladera corta escarpada en suelo residual	1,83	12,4%
Ladera corta moderada en suelo residual	2,98	20,1%
Ladera larga moderada en suelo residual	0,63	4,2%
Topes estrechos moderados	1,14	7,7%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

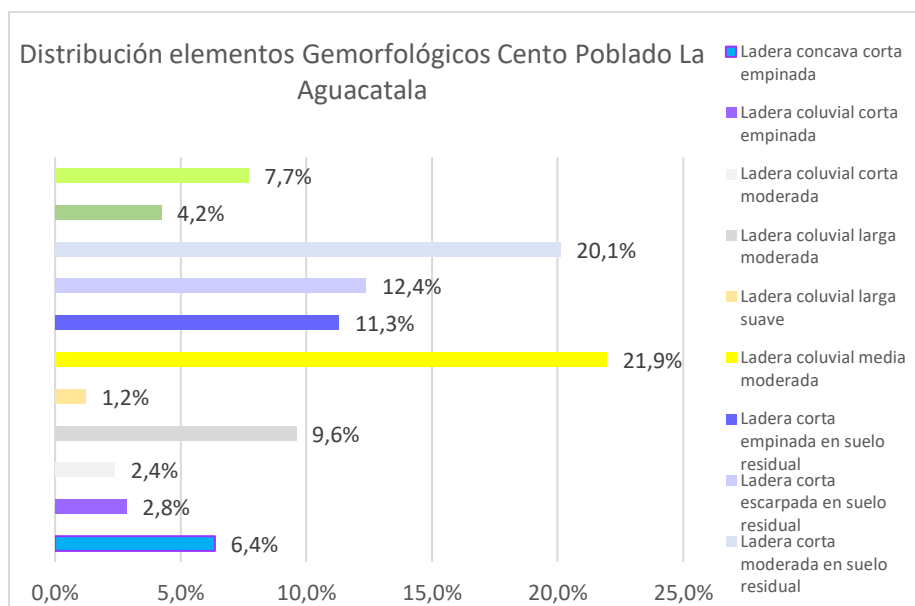


Gráfico 26. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Aguacatala.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.2.4 Procesos morfodinámicos

Asociado a las características topográficas y geomorfológicas de este centro poblado, el cual se localiza hacia la parte media del lomo, no se identifican procesos morfodinámicos activos que comprometan la estabilidad del mismo. Sin embargo, debido a los suelos residuales desarrollados en la zona y las altas pendientes se pueden presentar movimientos en masa en épocas de alta pluviosidad, generando desestabilidad en las laderas.

7.6.2.5 Zonificación de amenaza por movimiento en masa

La zonificación de amenaza por eventos de movimiento en masa se realizó utilizando la metodología mencionada anteriormente, donde la mayor parte de la amenaza por este tipo de evento para el centro poblado está asociada a las zonas de mayor pendiente, estando sobre los suelos residuales del miembro Volcánico. La amenaza alta representa el 55,2% del área, siendo la de mayor cubrimiento, la amenaza media representa el 41,4% del área total del centro poblado, la amenaza baja representa solo el 3,4% del centro poblado.

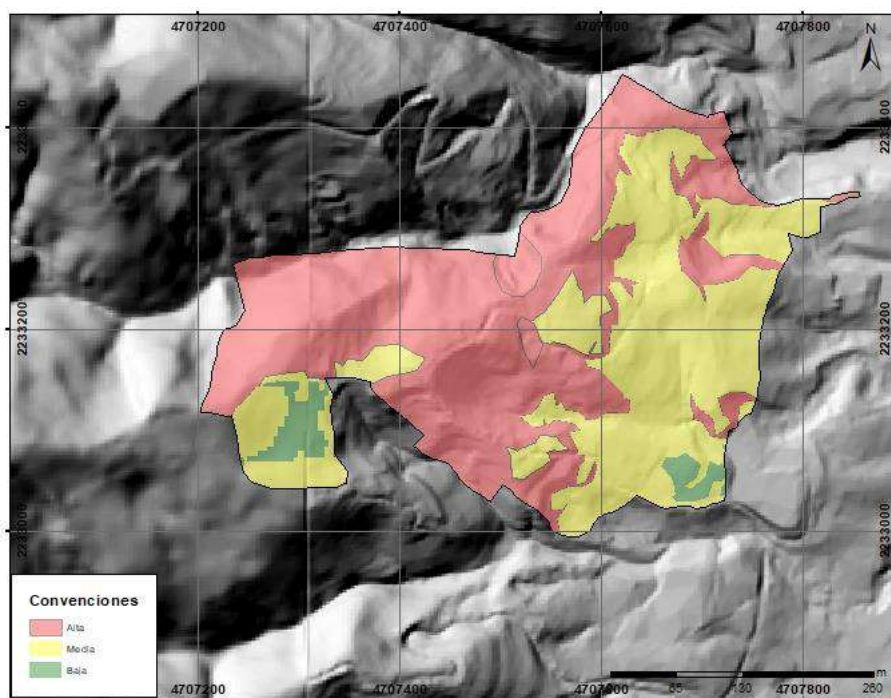


Figura 116. Mapa de amenaza por movimientos en masa para el centro poblado La Aguacatala.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

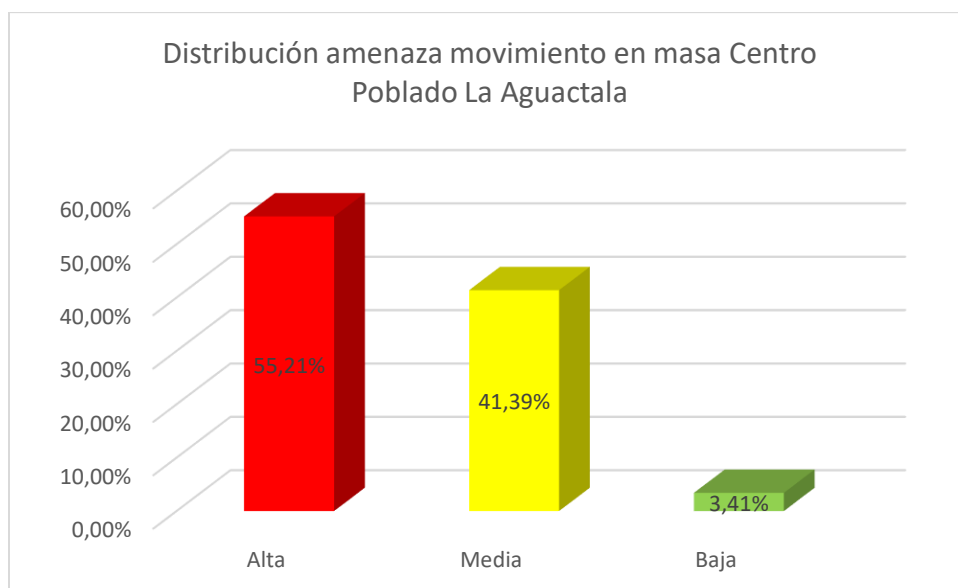


Gráfico 27. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Aguacatala.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.2.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

De acuerdo con la amenaza por inundación en el municipio, el centro poblado La Aguacatala no presenta amenaza por eventos de inundación, esto es producto a que no se encuentra asociada a ninguna quebrada cercana con potencial inundable, reflejada en la ausencia de depósitos de origen aluvial.

Del mismo modo la amenaza por eventos torrenciales, no se encuentra afectando a la zona, producto de la lejanía con los cauces principales.

7.6.3 CENTRO POBLADO LA CHUSCALA

7.6.3.1 Geología Local

La geología del centro poblado La Chuscala, está conformada en por depósitos de flujos de escombros y/o lodos de edad Cuaternaria y las rocas del miembro Volcánico de Quebradagrande (Figura 117).

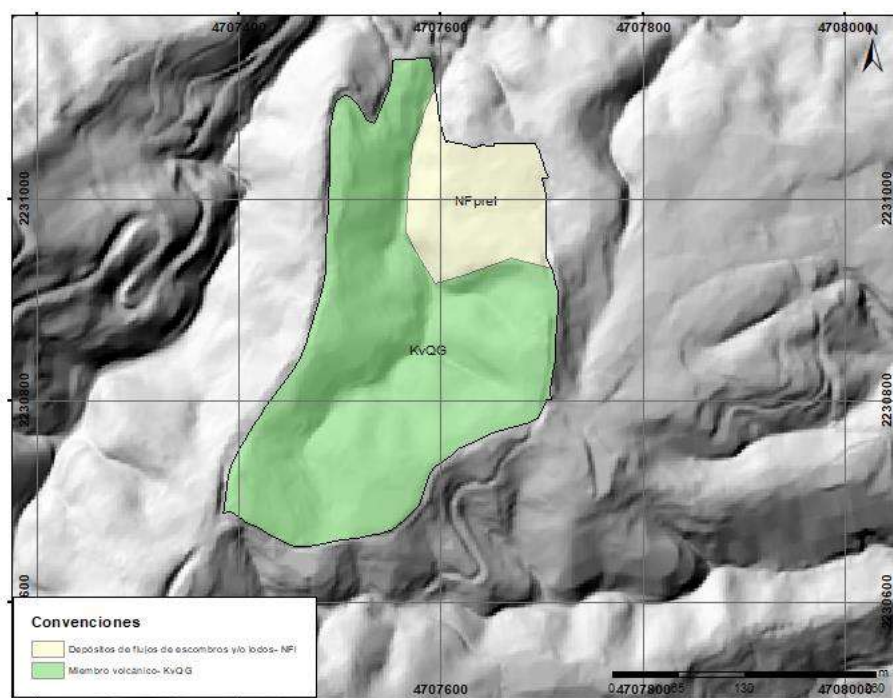


Figura 117. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Chuscala.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Miembro Volcánico (KvQG)**

Esta unidad cubre aproximadamente 7,6 ha, representando el 81.5 % del área del centro poblado, siendo así la de mayor extensión en la zona. Se localiza en las partes altas de la vertiente y se caracteriza por presentar grandes espesores de suelo residual, alcanzando hasta los 4m, están conformados por una matriz limo-arcillosa de color amarillo

➤ **Depósitos de flujos de escombros y/o lodos (NFpret)**

Los depósitos de flujo de escombros y/o lodos cubren aproximadamente un área de 1,74 ha, representando el 18,5% del centro poblado. Estos se encuentran suprayaciendo y en contacto discordante con el miembro

Volcánico. Litológicamente se caracterizan por presentar una matriz arcillosa de color café oscuro con zonas claras, envolviendo clastos muy meteorizados y redondeados de tamaño de hasta 7cm; esta unidad presenta una humedad alta a lo largo de la zona. Estos depósitos son producto de la saturación del suelo en las partes altas de las vertientes, que por sus propiedades mecánicas tienden a moverse como un flujo.



Figura 118. Depósitos de flujo de lodo y escombros, localizados en la vereda La Chuscala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 136. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Chuscala.

Centro Poblado La Chuscala		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	1,74	18,5%
Miembro volcánico	7,65	81,5%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

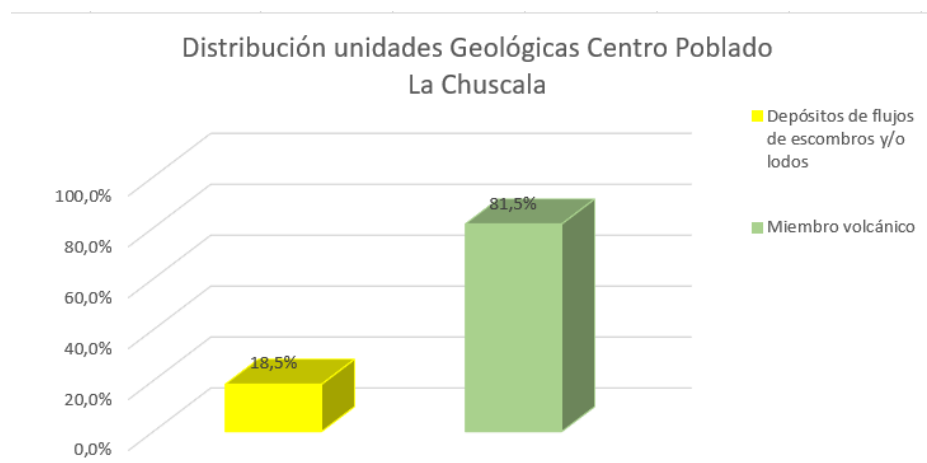


Gráfico 28. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Chuscala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.3.2 Formaciones superficiales locales

En este centro poblado se presentan dos formaciones superficiales como son suelos residuales de Quebradagrande, como la formación de mayor extensión y suelos transportados de depósitos de flujos de lodo y escombros.

➤ **Suelos transportados de flujos de lodos y escombros.**

Estos suelos cubren el 18,5% del centro poblado y son originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, donde espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predominio de fracción fina limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ **Suelo residual de volcánico de Quebradagrande**

Estos suelos cubren el 81,5 % del centro poblado, corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento, y el saprolito limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

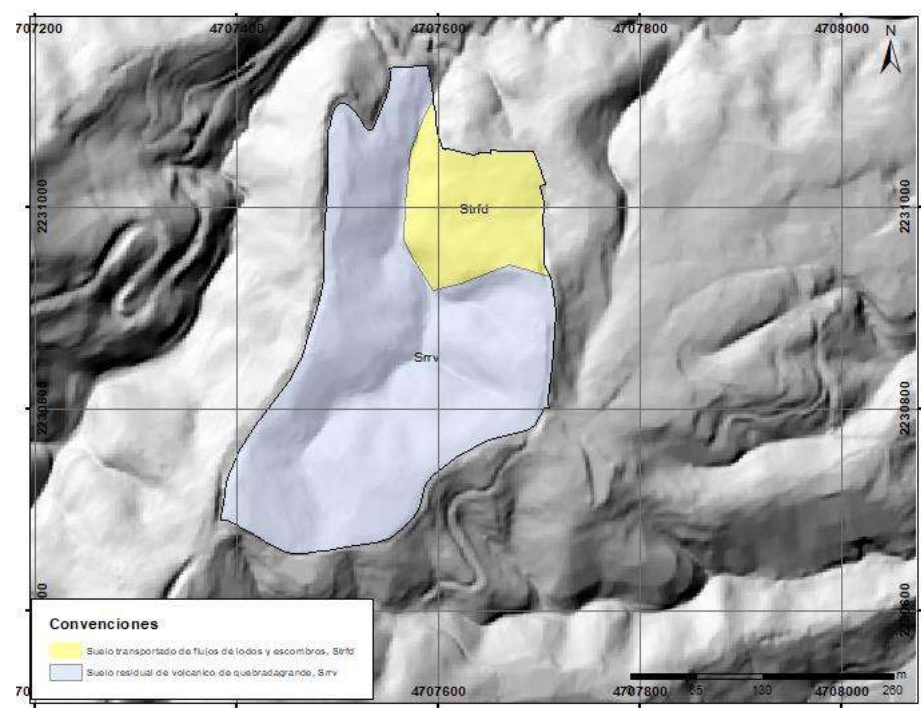


Figura 119. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Chuscala
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

Tabla 137. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Chuscala

Centro Poblado La Chuscala		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	7,65	81,5%
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	1,74	18,5%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

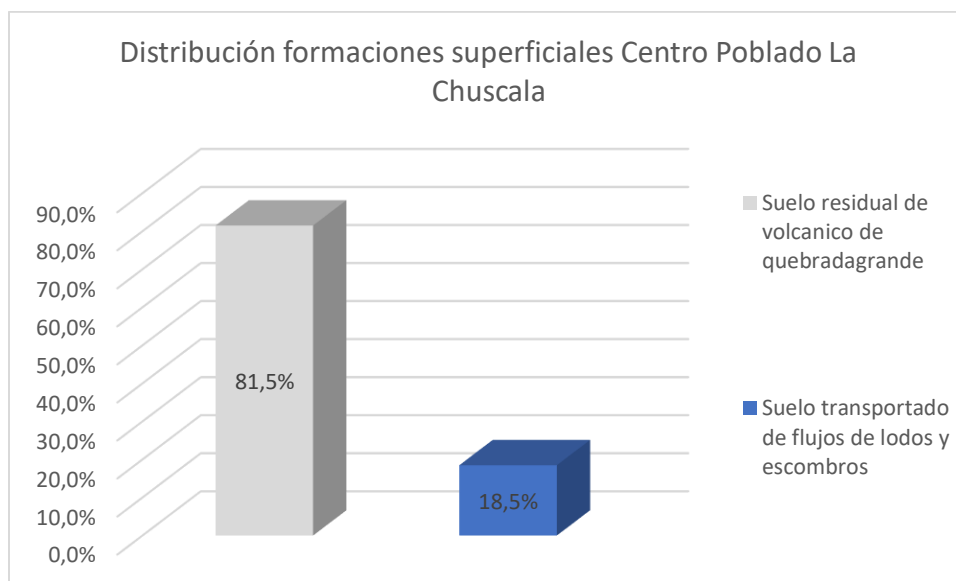


Gráfico 29. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Chuscala
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.3.3 Geomorfología Local

El centro poblado La Chuscala se encuentra ubicado regionalmente en el paisaje de montaña del Valle de Aburrá, representado por la subunidad de conos de flujo de lodos y escombros. Localmente se diferencian dos tipos de geoformas asociadas al nivel de inclinación que presentan los depósitos en esta zona, siendo así superficies suaves en depósitos poco incisados y superficies moderadas en depósitos poco incisados. El área ha sido afectada moderadamente por procesos de incisión fluvial, infiltración y acción de agentes como el viento.

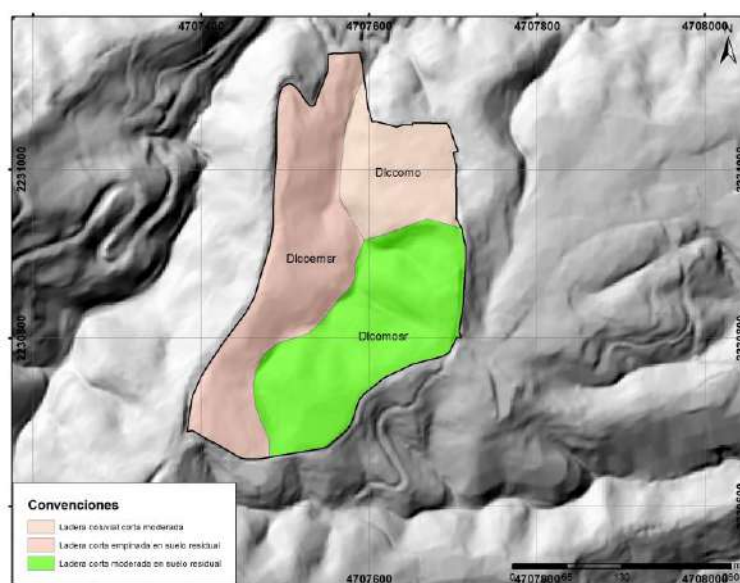


Figura 120. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Chuscala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Ladera Coluvial corta moderada (Dlccm)**

Laderas coluviales de longitud menor a 200 metros, pendientes entre los 15° y 30°, de aspecto moderadamente rugoso, desarrolladas sobre depósitos de flujos de lodo y escombros y depósitos de vertiente.

➤ **Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcesr)**

Laderas coluviales de longitud menor a 200 metros, pendientes entre los 30° y 45°, de aspecto rugoso. Asociadas principalmente a la unidad geomorfológica Lomos (L) y a las rocas del Miembro Volcánico de la formación Quebrada Grande (KvQG).

➤ **Ladera corta moderada en suelo residual (Dlcesr)**

Laderas coluviales de longitud menor a 200 metros, pendientes entre los 15° y 30°, de aspecto irregular, se generan sobre los suelos derivados de la meteorización del Miembro Volcánico de la formación Quebrada Grande (KvQG).



Figura 121. Ladera coluvial corta moderada
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se presenta la distribución porcentual de cada unidad geomorfológica en el centro poblado.

Tabla 138. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Chuscala.

Centro Poblado La Chuscala		
Unidad Geomorfológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Ladera coluvial corta moderada	1,7	18,5%
Ladera corta empinada en suelo residual	3,9	41,3%

Ladera corta moderada en suelo residual	3,8	40,1%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

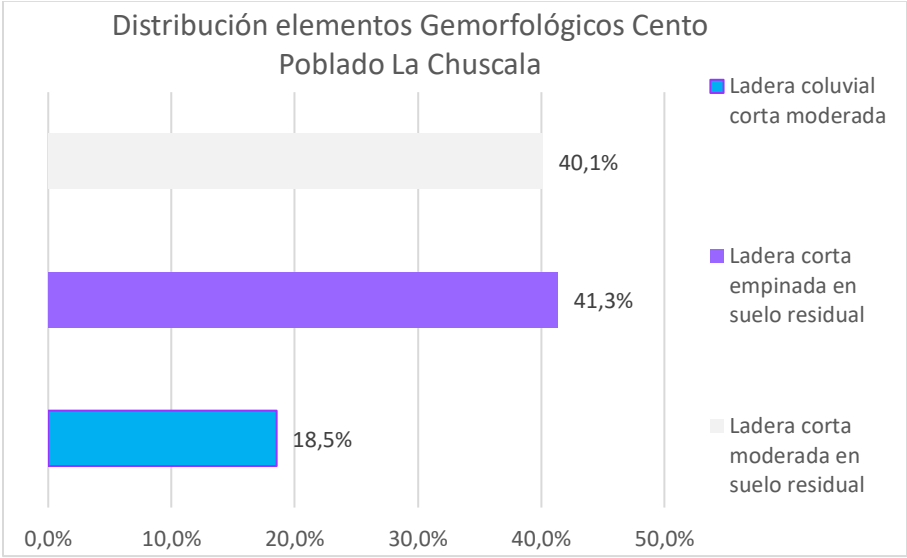


Gráfico 30. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Chuscala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.3.4 Procesos morfodinámicos

En el centro poblado La Chuscala, no se observan procesos de remoción en masa activos. Sin embargo, la fuerte incisión que se desarrolla sobre los materiales de la zona ha generado altas pendientes en las laderas que pueden desencadenar deslizamientos.

7.6.3.5 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

En la Figura 122, se observa que el centro poblado se caracteriza por estar en su mayoría en una zona de amenaza alta, dada por las pendientes empinadas generadas por la incisión de la quebrada adyacente, la cual está removiendo los materiales más meteorizados del miembro Volcánico. La amenaza media en la zona está dada en las zonas de vertientes moderadas con grados de inclinación entre 15-30° y la amenaza baja, se encuentra asociada a zonas planas o vertientes suaves.

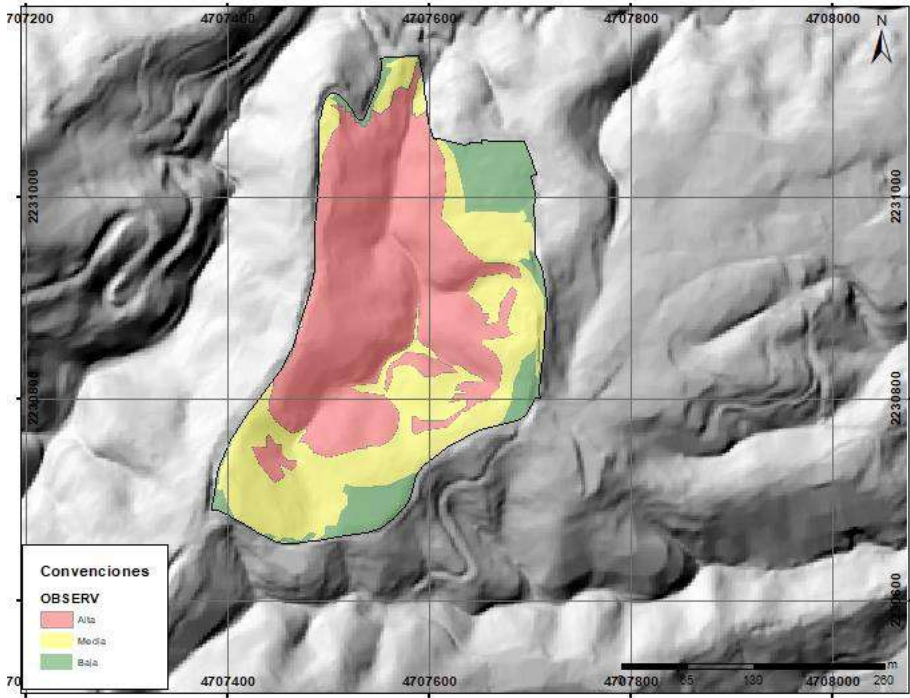


Figura 122. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Chuscala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

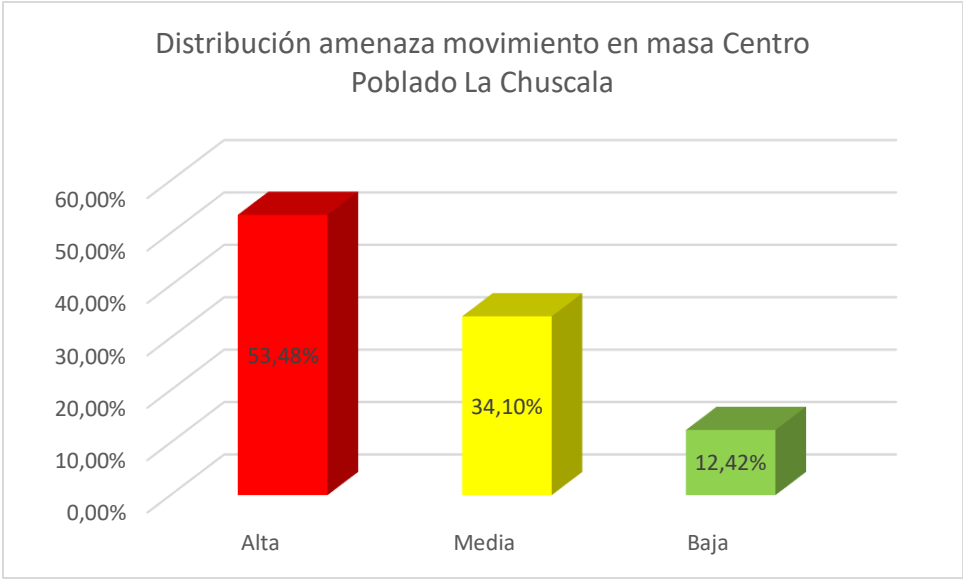


Gráfico 31. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Chuscala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.3.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

Para el centro poblado La Chuscala no se presentan amenazas por inundación y avenidas torrenciales. En las zonas aledañas a la zona de estudio se encuentran afluentes que por su dinámica fluvial y según las evidencias geomorfológicas no tienen la capacidad de generar un potencial destructible e inundable. La mancha de

inundación y de torrencialidad que se encuentra más cercana se localiza al norte de la zona de estudio, y se encuentra restringido a los depósitos torrenciales generados por la dinámica de la quebrada La Chuscala.

7.6.4 CENTRO POBLADO LA CLARA

7.6.4.1 Geología Local

La geología del centro poblado la Clara está conformada por diferentes materiales que van desde rocas metamórficas representado por los esquistos de Caldas hasta los depósitos recientes como los depósitos aluviales, aluviotorrenciales y de deslizamiento (Figura 123).

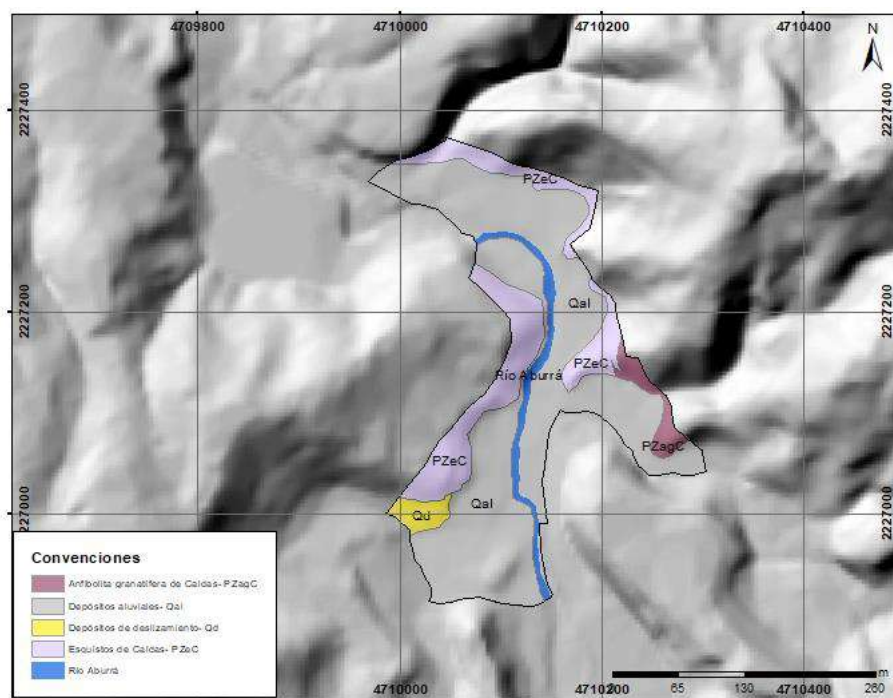


Figura 123. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Clara.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ Anfibolita Granatífera de Caldas (PZagC)

Son rocas de textura principalmente gnéssica, aunque localmente grada a una textura esquistosa muy bien definida. En esta unidad se han desarrollado todos los horizontes del perfil de meteorización, observando la roca fresca en algunas zonas hasta el horizonte VI, es decir suelo residual. En zonas de mayor pendiente el perfil de meteorización es poco espeso, donde se desarrolla principalmente un horizonte V, con espesores entre dos y tres metros, reposando sobre un horizonte II y I, el cual se encuentra generalmente fracturado. En las vertientes de menor pendiente y en especial hacia las divisorias amplias, se observa un perfil de meteorización de mayor espesor, desarrollando horizontes tipo VI y V.

➤ Esquistos de Caldas (PZeC)

Esta unidad aflora en la margen izquierda del río Aburrá a la altura de la vereda la Clara. Se encuentra ubicada en la base de la secuencia, infrayaciendo los depósitos aluviotorrenciales y aluviales (Figura 124), el espesor no es posible determinarlo debido a que solo aflora en la base de la secuencia. Presenta una dirección de buzamiento hacia el SW, con cristales de moscovita y con colores verdes que indican alteración de las micas como la biotita.



Figura 124. Esquistos de Caldas, ubicados en la margen izquierda del río Aburrá a la altura del centro poblado La Clara.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Depósitos de deslizamiento**

Estos depósitos se presentan en las partes medias y bajas de se caracterizan por presentar matrices limo-arenosas de colores café amarillentos, siendo algunos cuerpos de colores más oscuros, envolviendo fragmentos de diferente tamaño y composición dependiendo de su ubicación.

➤ **Depósitos aluviotorrenciales (Qat)**

Esta unidad se presenta sobre el margen del río Aburrá, en cuerpos aislados de tamaño variable que presentan composición dominada por bloques de diferente composición, con un tamaño que varía entre 10-50 cm, angulosos, con esfericidad media, envueltos en una matriz arcillosa. Se encuentran en contacto discordante con los esquistos de Caldas e infrayaciendo en algunas partes de la secuencia a los depósitos aluviales (Figura 125). Son producto de la depositación en las partes bajas de los bloques transportados por el río Aburrá en eventos de alta energía.



Figura 125. Depósitos aluviotorrenciales suprayaciendo los esquistos de Caldas, localizados en la margen derecha del río Aburrá a la altura del centro poblado La Clara.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Depósitos aluviales (Qal)**

Esta unidad corresponde a los depósitos de origen más reciente, cubren un área aproximada de 40000m², siendo así la de mayor de extensión en la zona. Se ubican en forma dispersa a lo largo del tope de la secuencia y se caracterizan por presentar una matriz limo-arcillosa de color café, con clastos menores a un 1cm. Corresponden a la actual llanura de inundación y son producto de la depositación de sedimentos finos, asociados a la dinámica fluvial del río Aburrá (Figura 126).



Figura 126. Depósitos aluviales formados por la sedimentación de material fino por parte del río Aburrá y sus quebradas adyacentes. Localizada a la altura del centro poblado La Clara.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Río Aburrá**

Se observa el cauce aluvial, representado en la zona por el río Aburrá.

A continuación, se describen el % que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 139. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Clara.

Centro Poblado La Clara		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Anfibolita granatífera de Caldas	0,19	3,1%
Depósitos aluviales	4,31	68,4%
Depósitos de deslizamiento	0,16	2,5%
Esquistos de Caldas	1,38	21,8%
Río Aburrá	0,26	4,2%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

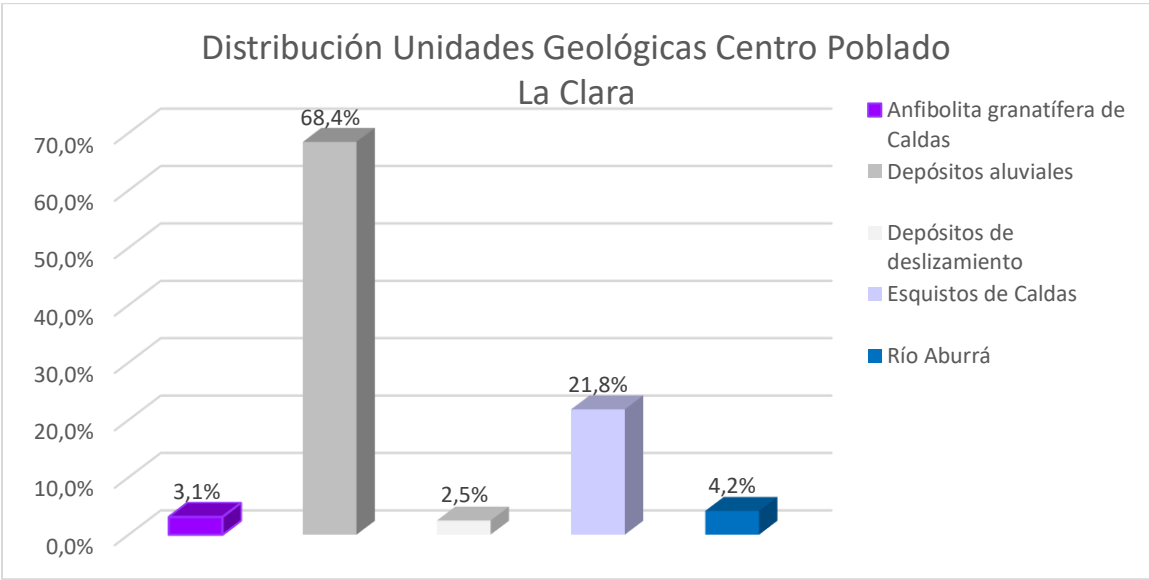


Gráfico 32. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Clara.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.4.2 Formaciones superficiales locales

En este centro poblado se presentan cuatro formaciones superficiales, dos de suelo residual y dos de suelo transportado y el río y que se describen a continuación.

➤ **Río**

Corresponde al cauce del río Aburrá

➤ **Suelo Trasportado aluvial**

Es la formación superficial de mayor extensión en el centro poblado cubriendo el 68,2%, corresponde a acumulaciones de materiales generados por la dinámica de inundación el río Aburrá, en generar tiene granulometría media a fina, arenas y limos, ocasionalmente con gravas y su espesor es variable.

➤ **Suelo transportado de flujos de lodos y escombros**

Es la formación superficial de menor extensión en el centro poblado cubriendo el 2,5%, corresponde a suelos originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, cpm espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predominio de fracción fina limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ **Suelo residual de Esquistos de Caldas**

Esta formación superficial cubre el 21,9% del centro poblado, siendo la segunda de mayor extensión. Corresponde a suelos, limos arenosos, que conservan estructuras heredadas de la roca parental, evidentes en su alta afectación estructural.

➤ **Suelo residual anfíbolita de Caldas**

Esta formación cubre el 3,1% del centro poblado, está conformada por suelos limo arenosos, de color claro, con estructura heredada de la roca parental y espesor no definido

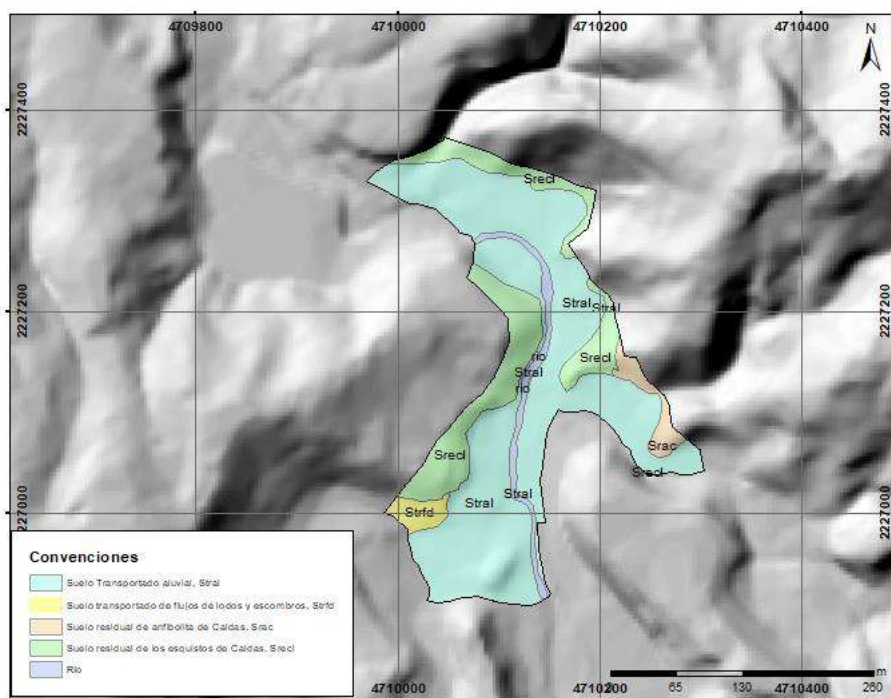


Figura 127. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Clara
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el porcentaje que representa cada formación superficial en el centro poblado.

Tabla 140. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Clara

Centro Poblado La Clara		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Rio	0,26	4,2%
Suelo residual de anfibolita de Caldas	0,19	3,1%
Suelo residual de los esquistos de Caldas	1,38	21,9%
Suelo Transportado aluvial	4,31	68,4%
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	0,16	2,5%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

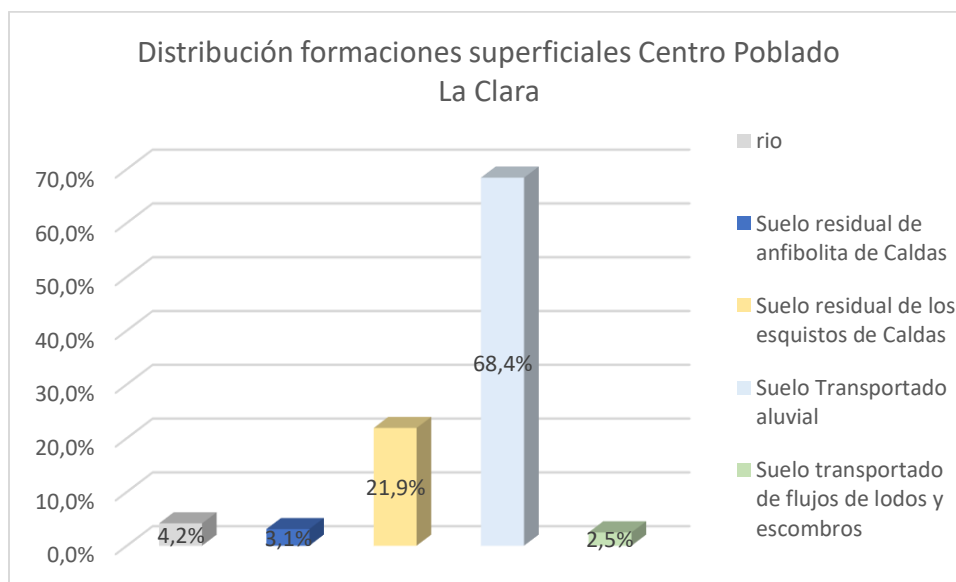


Gráfico 33. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Clara
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.4.3 Geomorfología Local

El centro poblado La Clara se encuentra ubicado en ambas márgenes del río Aburrá, asentados sobre la llanura de inundación, caracterizándose por estar afectada por inundaciones periódicas que afectan a la comunidad. Se tienen principalmente dos ambientes geomorfológicos, los cuales están controlando la dinámica del modelamiento, primero está el ambiente predominante el cual es fluvial, controlado por el río Aburrá, el cual presenta en este tramo un patrón de drenaje meándrico; sus procesos predominan en la zona plana, generando

subunidades como la llanura de inundación. El otro ambiente que modela la zona es el denudacional, asociado a procesos erosivos y gravitacionales, a partir de estos procesos se generaron las subunidades geomorfológicas como los lomos denudados.

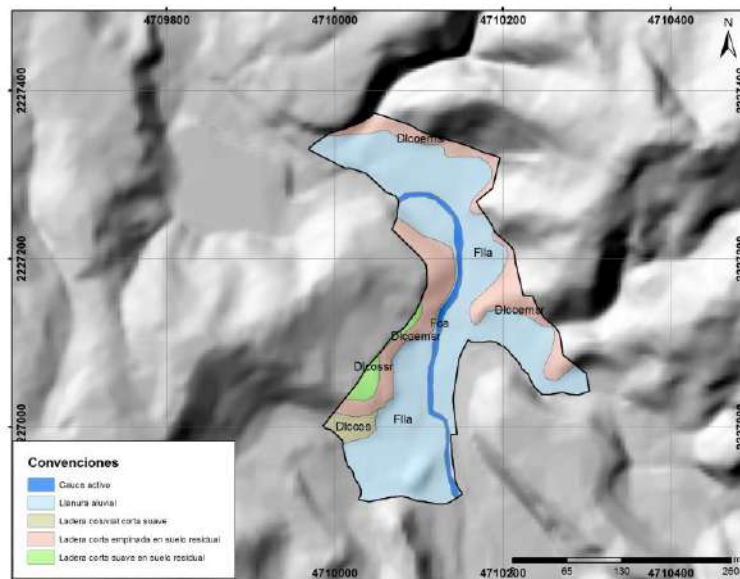


Figura 128. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Clara.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Cauce activo (Fca)**

Superficie de agua. uniforme, limitada en ambos extremos por la llanura aluvial, cubriendo aproximadamente 2,8% del área. Se caracteriza por ser un canal irregular excavado por la erosión del Río Aburrá, el cauce es de tipo meándrico, debido a cambios en la dirección de flujo del suelo urbano.

➤ **Llanura aluvial (Fpal)**

Geoforma formada por la dinámica fluvial del río Aburrá, la cual frente a eventos de crecientes puede ser inundada. Se caracteriza por ser de morfología plana, con pendientes suaves entre 5-15° y en donde se encuentra asentado la mayoría de la comunidad de la Clara (Figura 129).



Figura 129. Llanura aluvial formada por la dinámica del río Aburrá.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcoemsr)**

Esta unidad a nivel del centro poblado presenta una morfología empinada, con laderas cortas entre 17 y 20m de longitud, las vertientes se caracterizan por ser de pendiente moderada a empinada, de forma cóncava en su base y convexa al tope, con inclinaciones entre 15-45° y cubriendo aproximadamente el 29 % del área. Esta unidad se encuentra afectada por agentes erosivos tales como agua de origen pluvial y socavación lateral del drenaje del área.

➤ **Ladera coluvial corta suave (Dlccs)**

Laderas coluviales de longitudes menores a 200 metros, con pendientes principalmente entre el rango de 5° a 15°, casi uniformes a moderadamente rugosas, convexas a planas generalmente ubicadas en zonas de piedemonte o zonas intermedias de las vertientes, cubre el 4,9% del centro poblado y se desarrollada sobre depósitos de vertiente.

➤ **Ladera corta suave en suelo residual (Dlmesr)**

Superficies menores al os 200 m, de perfil convexo, y aspecto rugoso a moderadamente rugoso pendiente promedio entre los 5° y 15°, y es el elemento de menor cobertura en el Centro poblado, con 0.2 hectáreas, equivalentes al 2.4% de su extensión total.

A continuación, se presenta la distribución porcentual de cada unidad geomorfológica en el centro poblado.

Tabla 141. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Clara.

Centro Poblado La Clara		
Elemento Geomorfológico	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Cauce activo	0,3	4,2%
Ladera coluvial corta suave	0,2	2,5%
Ladera corta empinada en suelo residual	1,4	22,5%
Ladera corta suave en suelo residual	0,2	2,4%
Llanura aluvial	4,3	68,4%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

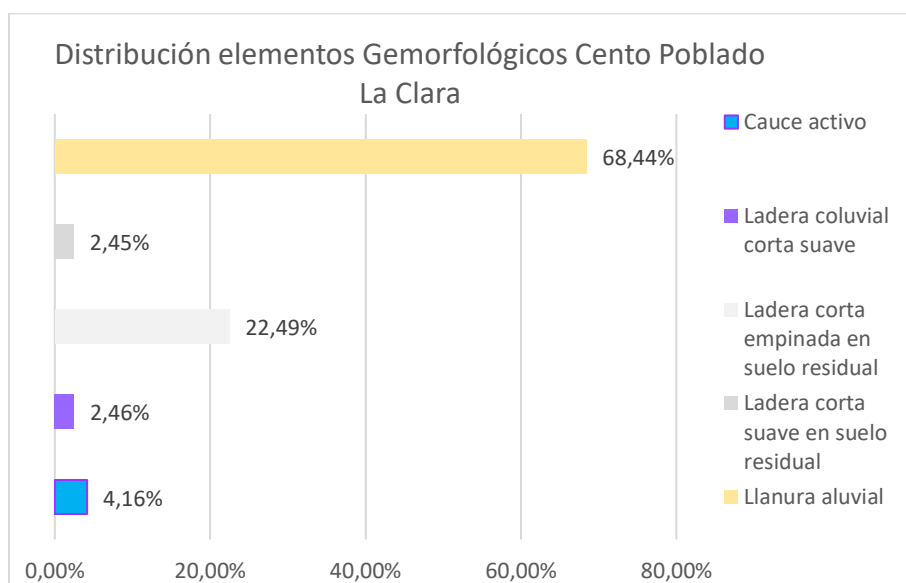


Gráfico 34. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Clara.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.4.4 Procesos morfodinámicos

En el centro poblado la Clara, se observan procesos de socavación lateral, el material poco competente conformado por unos depósitos matriz soportados son lavados por el cauce, generando la desestabilización de la banca.

7.6.4.5 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

El centro poblado La Clara se encuentra en su mayoría ubicado sobre una zona de amenaza baja (Figura 130), la cual está dada por las zonas de baja pendiente con inclinaciones entre 0-15°, correspondientes a la unidad geomorfológica llanura aluvial. Las áreas que se encuentran en amenaza media están representadas en las

zonas próximas a las unidades de morfología alomada con pendientes suaves a moderadas, por último, las zonas de amenaza alta, las cuales cubren el 9,1% del área, se asocian a las vertientes con pendientes moderadas a empinadas.

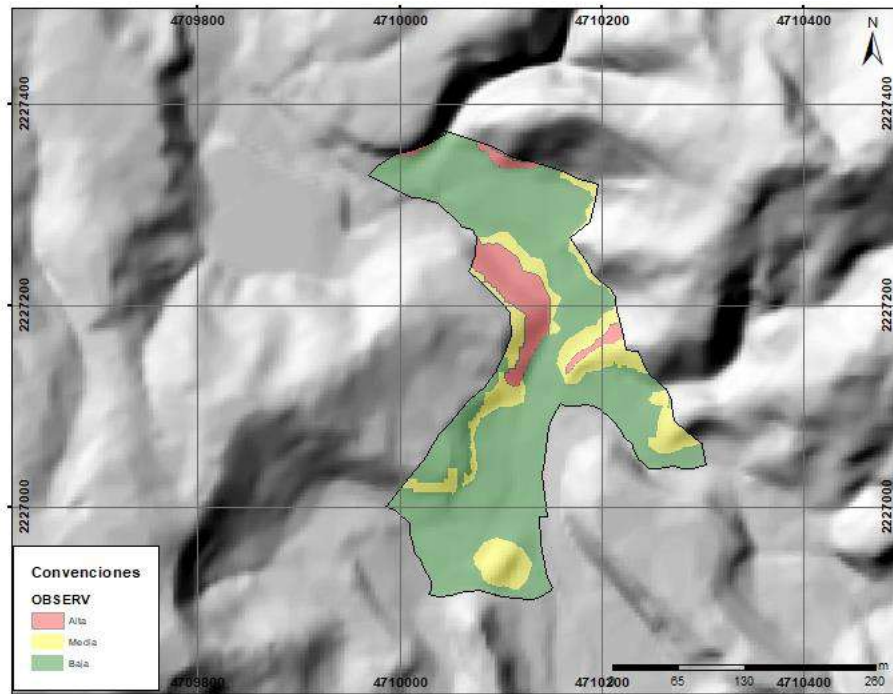


Figura 130. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Clara.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

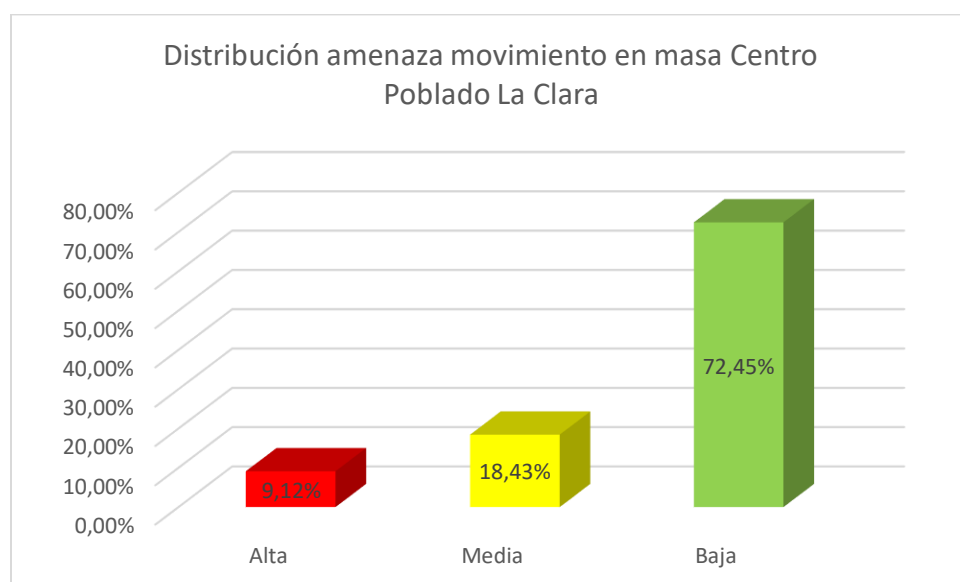


Gráfico 35. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Clara.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

7.6.4.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

El centro poblado se encuentra en su mayoría sin amenaza por inundación, representado el 77% del área total, correspondiendo a zonas elevadas, las áreas con amenaza por este evento predomina la categoría de amenaza alta con un 16,5% del centro poblado, asociado a los depósitos aluviales del río Aburrá en donde se ubica la mayor parte de los habitantes de la zona; el área de esta amenaza se caracteriza por tener pendientes suaves, y superficies uniformes a casi uniformes; la amenaza media y baja en esta zona se encuentran en menor proporción ubicándose en un segundo nivel de terraza, en donde las vertientes presentan pendientes suaves y uniformes.

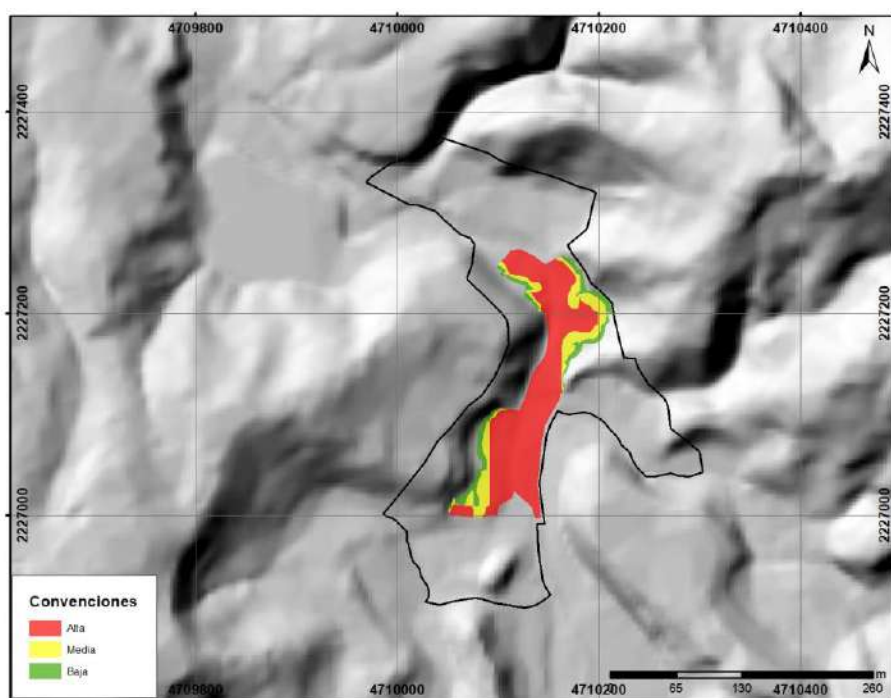


Figura 131. Mapa de amenaza por inundación para el centro poblado La Clara.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

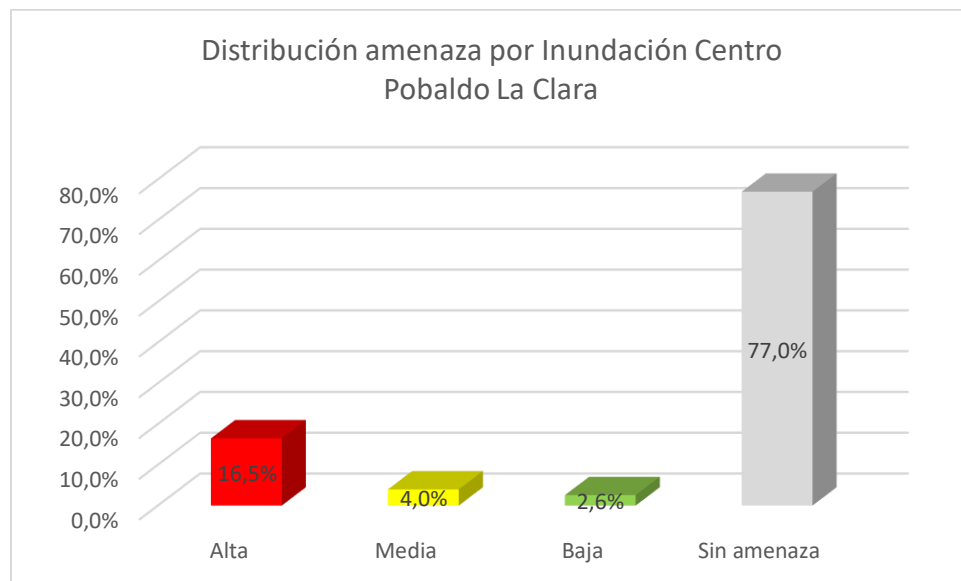


Gráfico 36. Distribución de amenaza por inundación en el centro poblado La Clara.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Para la avenida torrencial (Figura 132) se presenta un incremento en todas las amenazas siendo la amenaza alta la que cubre la mayor parte de la zona con un 51,4% del centro poblado, la media representa el 3,1%, y la baja en un 0,3%, mientras que el restante 44.8% del centro poblado no presenta amenaza por este tipo de fenómeno.

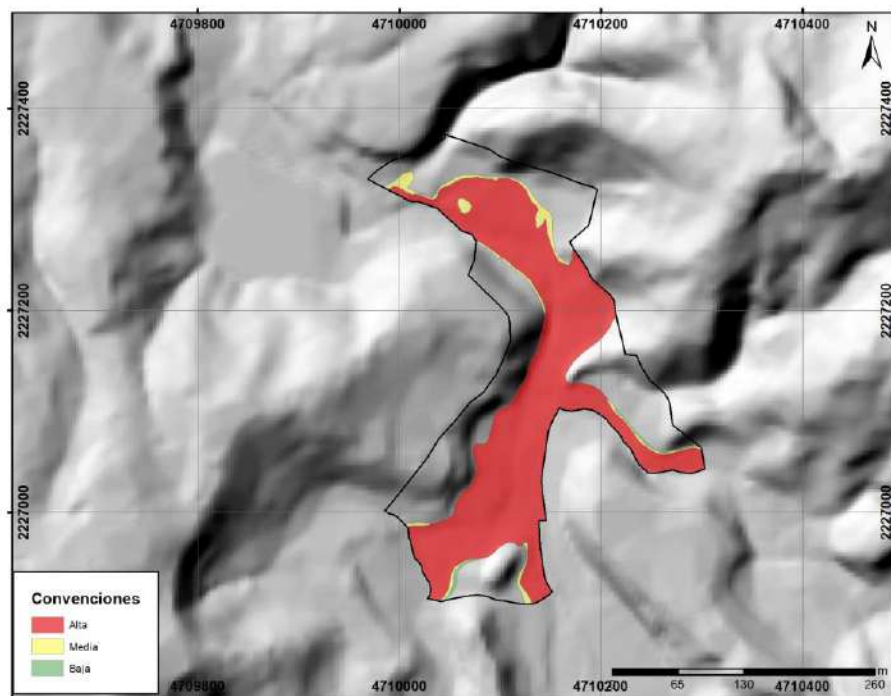


Figura 132. Mapa de amenaza por avenida torrencial para el centro poblado La Clara.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

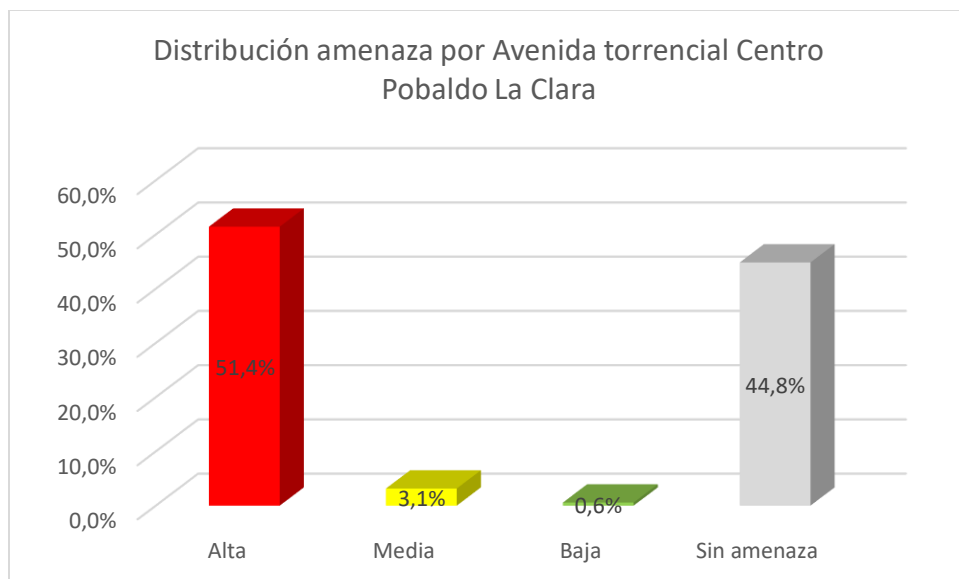


Gráfico 37. Distribución de amenaza por avenida torrencial en el centro poblado La Clara.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.5 CENTRO POBLADO LA CORRALA

7.6.5.1 Geología Local

La geología del centro poblado La Corrala está conformada por rocas metamórficas de bajo grado, correspondientes a los esquistos de Caldas y a los depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Figura 133). Estas unidades varían de una edad Devónica a Cuaternaria.

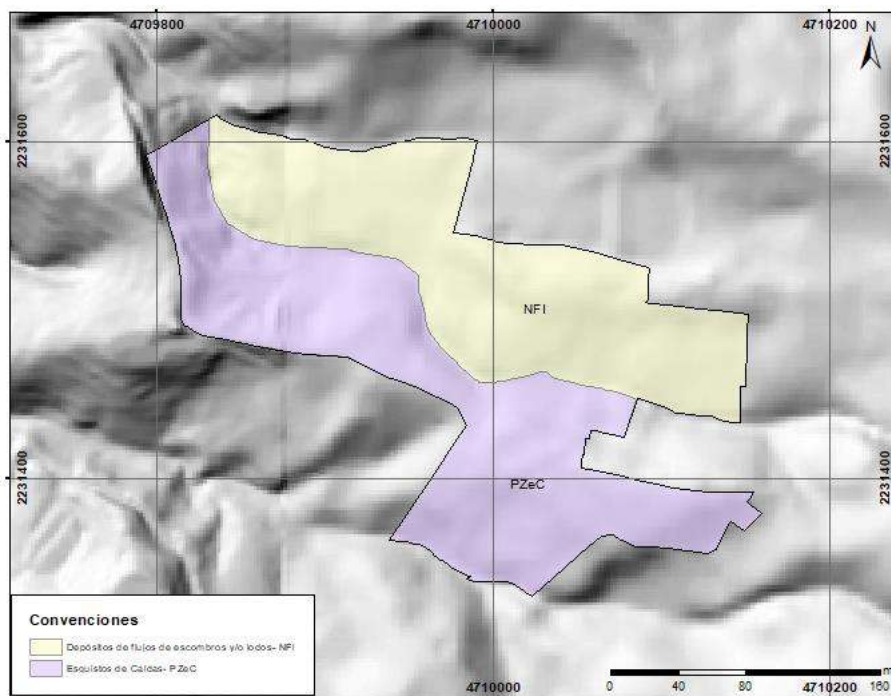


Figura 133. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Corrala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Depósitos de flujos de escombros y/o lodos (NFI)**

Litológicamente, los depósitos de flujo se encuentran completamente meteorizados desarrollando un suelo residual de depósito; se caracterizan por presentar una matriz limosa de color café amarillento con clastos de tamaño de hasta 6 cm, subangulosos. Esta unidad se encuentra en discordancia con los suelos residuales de los esquistos de Caldas, presentan una extensión de 2,36 ha, representando así el 47,1 % del centro poblado.

➤ **Esquistos de Caldas (PZeC)**

Corresponden a rocas metamórficas de textura esquistosa, las cuales han sufrido procesos de alteración y descomposición desarrollando un perfil de suelo residual. Se caracteriza por presentar una composición limo-arcillosa de color rojizo de consistencia blanda (Figura 134). En algunos sectores, en cercanías a las quebradas, donde la acción del cauce ha lavado los materiales más meteorizados, se puede observar la roca alterada con un horizonte IV, conservando algunas estructuras de la foliación y estando compuesta por minerales como moscovitas y cuarzo.



Figura 134. Suelo residual de los esquistos de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 142. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Corrala.

Centro Poblado La Corrala		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	2,39	47,q%

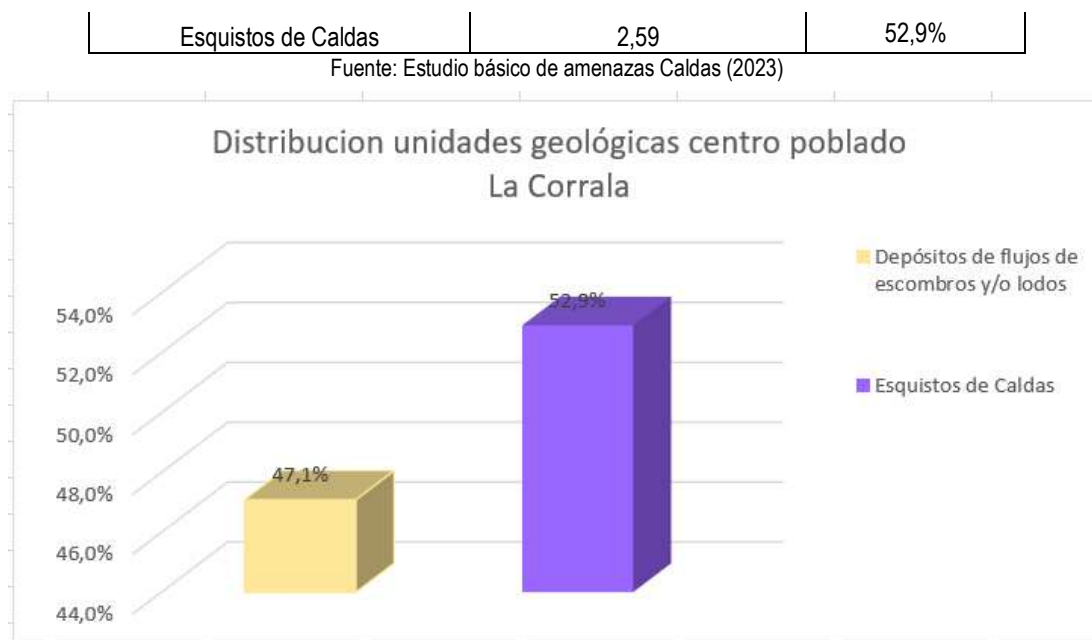


Gráfico 38. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Corrala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.5.2 Formaciones superficiales locales

En este centro poblado se presentan solamente dos formaciones superficiales, una de tipo transportado, y otra de tipo residual, como son suelos transportados de flujo de lodo y escombros, y suelo residual de ellos esquistos de Caldas, respectivamente donde los esquistos de caldas es la de mayor cubrimiento con el 52,9% del centro poblado.

➤ Suelo transportado de flujos de lodos y escombros

Es la formación superficial cubre el 47,1% del centro poblado, corresponde a suelos originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, con espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predominio de fracción fina limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ Suelo residual de Esquistos de Caldas

Esta formación superficial es la de mayor extensión en el centro poblado, cubriendo el 52,9% del este. Corresponde a suelos, limos arenosos, que conservan estructuras heredadas de la roca parental, evidentes en su alta afectación estructural.

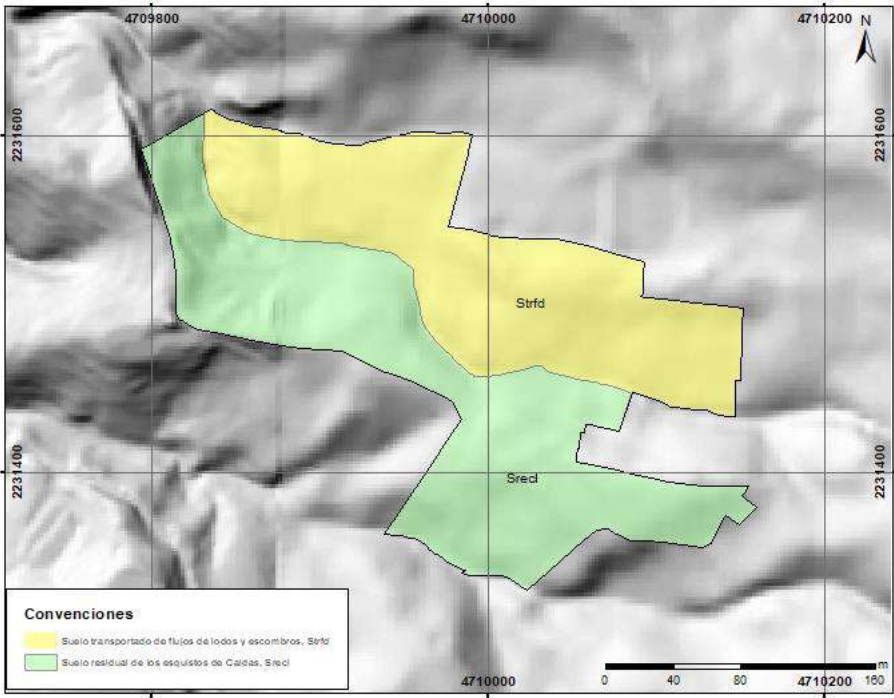


Figura 135. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Corrala
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

Tabla 143. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Corrala

Centro Poblado La Corrala		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Suelo residual de los esquistos de Caldas	2,66	52,9%
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	2,36	47,1%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

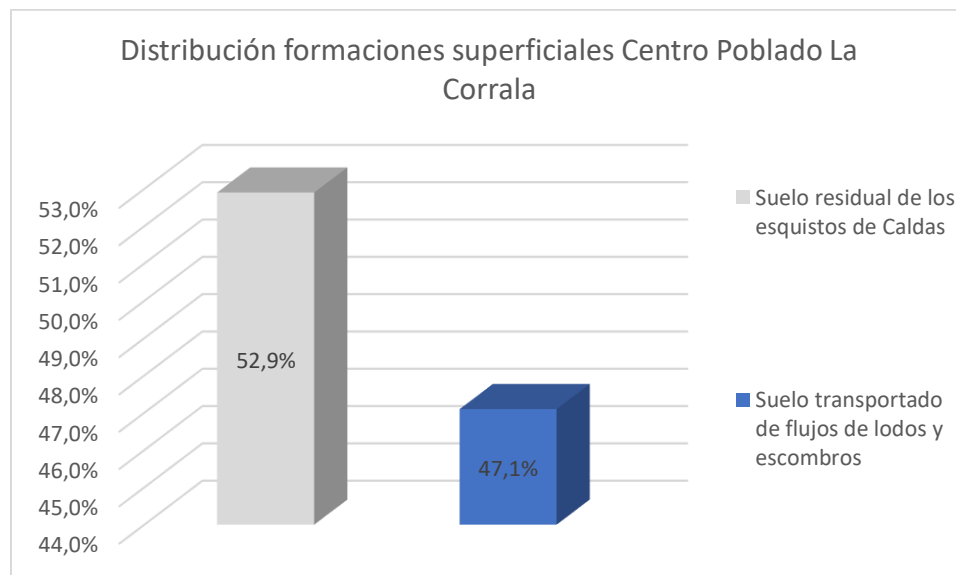


Gráfico 39. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Corrala
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.5.3 Geomorfología Local

El centro poblado La Corrala, se localiza regionalmente sobre lomos denudados y localmente varían a diversas geoformas que se definen según la pendiente y su ubicación en la zona. El área se caracteriza por ser una zona muy rugosa, con vertientes suaves a empinadas, en donde las geoformas resultantes son producto de los procesos superficiales tales como la erosión fluvial.

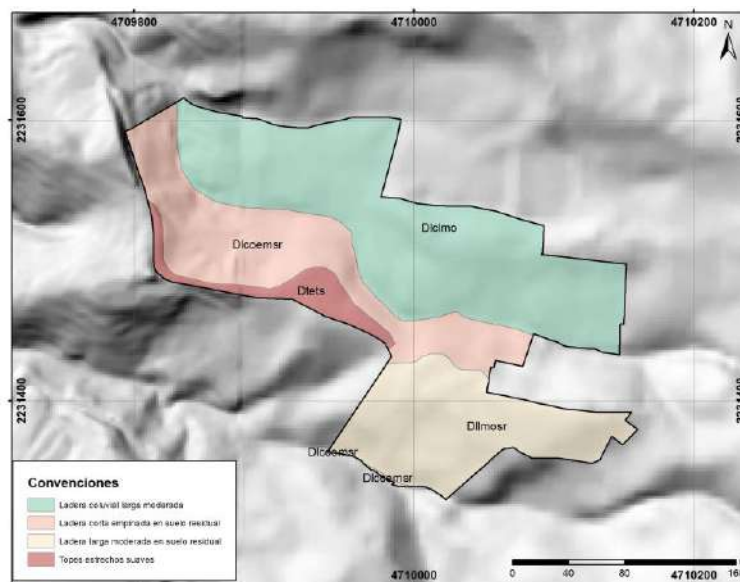


Figura 136. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Corrala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Topes estrechos suaves (Dtem)**

Superficie elevada, estrecha, de morfología plana, con pendientes que varían entre menores a 5°, con amplitud menor a los 40 m, con tipo de relieve muy alto y limitada por laderas moderadamente. Esta unidad cubre 0,25 ha, siendo así la unidad de menor extensión en la zona.

➤ **Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcoemsr)**

Superficies de morfología inclinada, cubriendo aproximadamente 0,37 ha. Se caracterizan por presentar vertientes empinadas, convexas, rugosas, con inclinaciones entre 30-45°. Estas geoformas son producto de la incisión generada por la escorrentía superficial y por las quebradas adyacentes, lavando los suelos superficiales y generando zonas de alta pendiente.

➤ **Ladera corta moderada en suelo residual (Dlcomosr)**

Laderas coluviales de longitud menor a 200 metros, pendientes entre los 15° y 30°, de aspecto moderadamente rugosos, se desarrolla sobre suelos residual de los esquistos de Caldas y cubre solo el 2,9% del centro poblado.

➤ **Ladera coluvial larga moderada (Dlclmo)**

Se trata de vertientes con longitudes mayores a los 400 metros e inclinaciones que predominan en el rango de los 15° a 30° de inclinación. Se les encuentra en la parte alta de la cuenca de la quebrada La Miel, desarrolladas en depósitos de flujos. Los procesos denudativos se dan principalmente por la acción de aguas de escorrentía sobre los depósitos y la incisión de quebradas adyacentes, el elemento de mayor extensión cubriendo el 47,1% del centro poblado.

A continuación, se presenta la distribución porcentual de cada unidad geomorfológica en el centro poblado.

Tabla 144. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Corrala.

Centro Poblado La Corrala		
Elemento geomorfológico	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Ladera coluvial larga moderada	2,36	47,1%
Ladera corta empinada en suelo residual	1,27	25,2%
Ladera larga moderada en suelo residual	1,14	22,7%
Topes estrechos suaves	0,25	5,0%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

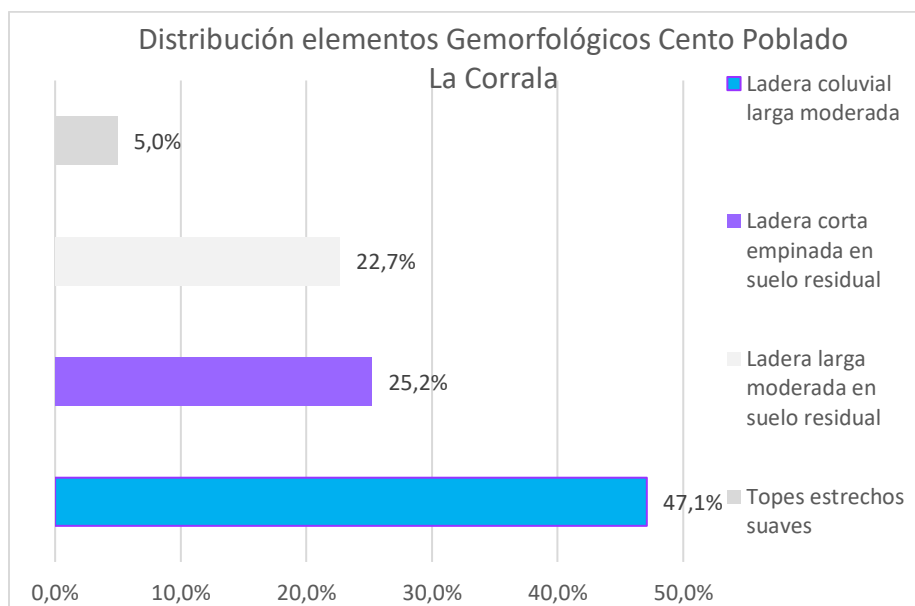


Gráfico 40. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Corrala.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.5.4 Procesos morfodinámicos

El centro poblado La Corrala, no presenta procesos de remoción en masa. Sin embargo, por su ubicación en el tope de la unidad geomorfológica, se ve afectada en sus laderas por procesos denudativos, representados por la incisión fluvial de las quebradas que desembocan en la Quebrada La Corrala.

7.6.5.5 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

El centro poblado La Chuscala, se encuentra mayoritariamente dominado por una condición de amenaza baja en un 47 % (Figura 137); esta área presenta zonas con vertientes suaves a localmente moderadas, con un patrón convexo y con pendientes entre 0-15°. Las áreas de amenaza por movimientos en masa media representan el 45,1% de la zona, se caracteriza por tener vertientes moderadas a suavizadas, de pendientes entre 15-30° y por último está la amenaza alta, esta cubre un 7,9% y está asociada principalmente a las laderas de vertiente empinada, las cuales son de mayor pendiente (30- 45°), producto de la incisión de los cauces que cortan el centro poblado.

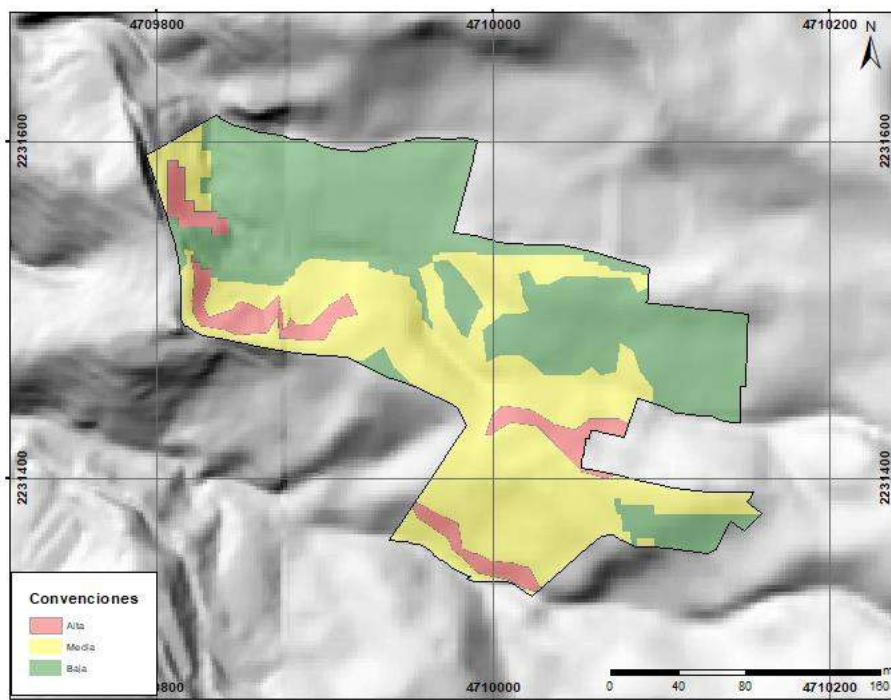


Figura 137. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Corrala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

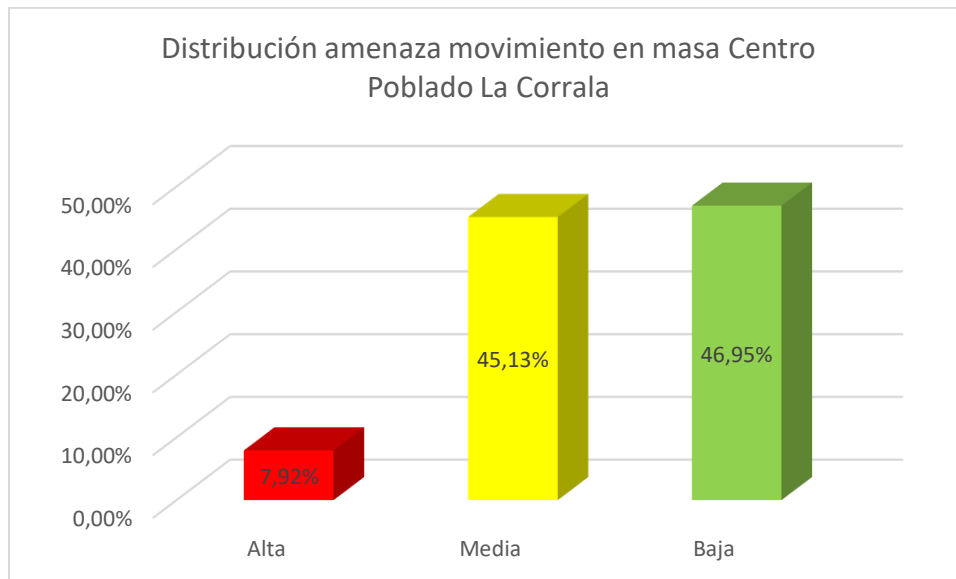


Gráfico 41. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Corrala.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.5.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

Para el centro poblado La Corrala no se presenta amenazas por inundación y avenida torrencial, esto es producto a que las quebradas presentes en la zona no cuentan con potencial inundable, reflejada en la ausencia

de depósitos de origen aluvial. Del mismo modo la amenaza por eventos torrenciales, no se encuentra afectando a la zona, y siendo los depósitos más cercanos asociadas al arrastre y depositación de bloques por parte de la quebrada La Corrala.

7.6.6 CENTRO POBLADO LA MIEL

7.6.6.1 Geología Local

La geología del centro poblado La Miel, está conformada por rocas metamórficas de alto grado, depósitos de flujos de lodos y/o escombros, depósitos aluviales y llenos antrópicos. (Figura 138). Dichos materiales varían entre una edad del Devónico y el cuaternario.

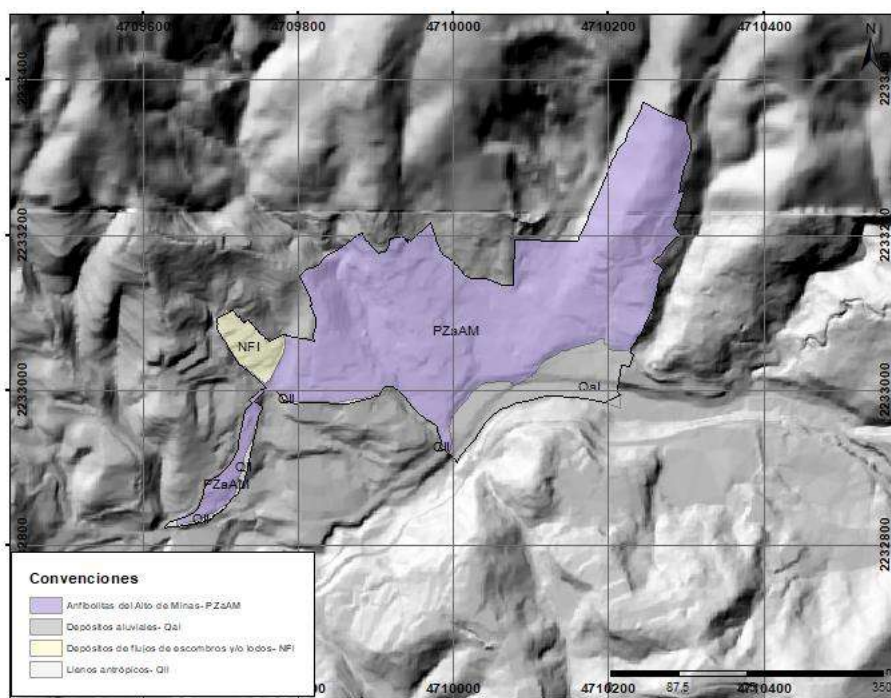


Figura 138. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ Anfibolitas del alto de Minas (PZaAM)

Esta unidad cubre el 85% del centro poblado siendo la de mayor extensión y representando el 85,0% del centro poblado. Se localiza en la parte media de la vertiente en donde predominan los procesos de remoción en masa. Está caracterizada por presentar una textura foliada, esquistosa, compuesta principalmente de cuarzo y micas en abundancia; a lo largo del centro poblado se observan pocos afloramientos, los cuales presentan un grado de meteorización moderado, desarrollando un perfil de meteorización con un horizonte III, el cual no se encuentra fracturado, pero si es fácil desintegrarlo y conserva la foliación.

➤ **Depósitos aluviales (Qal)**

Los depósitos aluviales se localizan en ambas márgenes de la quebrada La Miel, cubriendo el 10,3% del centro poblado. Se caracteriza por presentar una matriz limo-arenosa de color gris claro. Son producto del transporte y depósito del material fino de la quebrada La Miel conformando la llanura de inundación.

➤ **Depósitos de flujos de escombros y/o lodos (NFI)**

Los depósitos de flujo de escombros y/o lodos cubren el 3,6% del centro poblado. Estos se encuentran suprayaciendo y en contacto discordante con las Anfibolitas del alto de Minas. Litológicamente se caracterizan por presentar una matriz arcillosa de color café oscuro, envolviendo clastos muy meteorizados y redondeados de tamaño de hasta 6cm; esta unidad presenta una humedad alta a lo largo de la zona.

➤ **Llenos antrópicos (GAn)**

Zona de relleno, ubicada en la margen derecha de la quebrada La Miel, la cual está compuesta de distintos materiales de tamaños variables, y se utiliza para la disposición de diferentes industrias (Figura 139). En el área se observan 2 llenos antrópicos, los cuales cubren el 1,1% del centro poblado.



Figura 139. Lleno antrópico, localizado en el centro poblado La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 145. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Miel.

Centro Poblado La Miel		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Anfibolitas del Alto de Minas	9,94	85,0%
Depósitos aluviales	1,20	10,3%
Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	0,42	3,6%

Llenos antrópicos	0,12	1,1%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

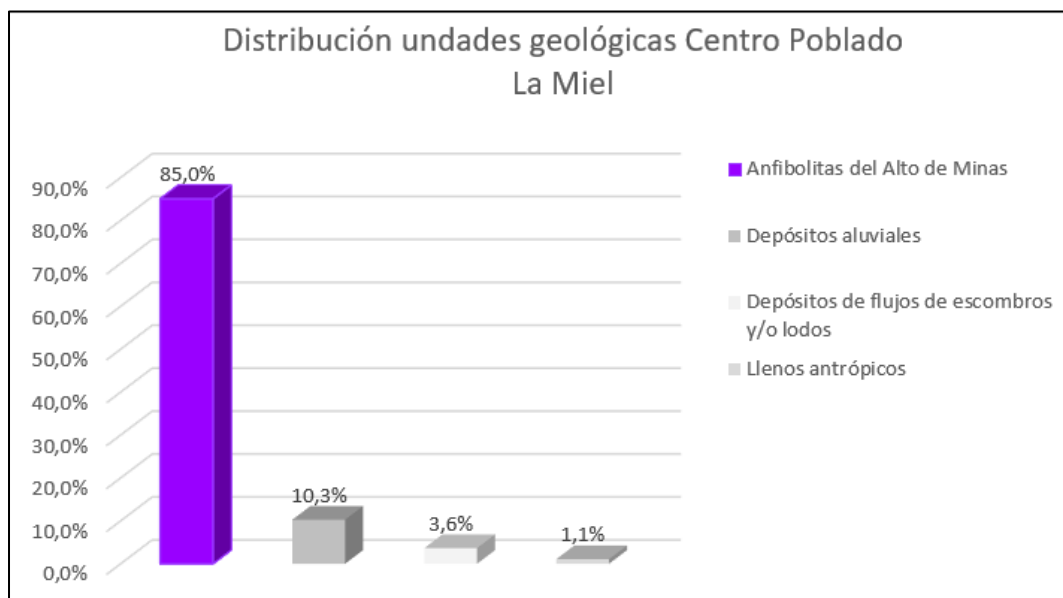


Gráfico 42. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Miel.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.6.2 Formaciones superficiales locales

Este centro poblado tiene la presencia de cuatro formaciones superficiales, de origen antrópico, transportado y residual, la de mayor extensión corresponde a suelos residuales de anfibolitas del alto de Minas, que cubre más del 85% del centro poblado y la de menor extensión es los llenos antrópicos con el 1,1% de cabimiento.

➤ Llenos Antrópicos

Los llenos cubren el 1,1% del centro poblado, siendo la formación de menor extensión, y se presenta como pequeños cuerpos alargados en el sector suroeste del centro poblado. Corresponde a acumulaciones de materiales generados por acción del ser humano, son heterogéneos y de espesor variables, presentan mezclas de suelos, con escombros y basuras.

➤ Suelo Trasportado aluvial

Esta formación cubre el 10,1% del centro poblado, corresponde a acumulaciones de materiales generados por la dinámica de inundación de la quebrada La Miel, la cual tiene granulometría media a fina, arenas y limos, ocasionalmente con gravas y su espesor es variable.

➤ Suelo transportado de flujos de lodos y escombros

Es la formación superficial cubre el 3,6% del centro poblado, se presenta como un cuerpo en la parte noroeste del centro poblado y corresponde a suelos originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, con espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predomino de fracción final limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ **Suelo residual de Anfibolita del Alto de Minas**

Esta formación cubre la mayor parte del centro poblado, con el 85,1% de su extensión, y los suelos corresponden al saprolito (Nivel V de meteorización), que presenta un material areno limoso, de color pardo claro con poca presencia de máficos, y algunas zonas con tonalidades ocre por efecto de oxidación, no presenta estructuras heredadas de la roca parental.

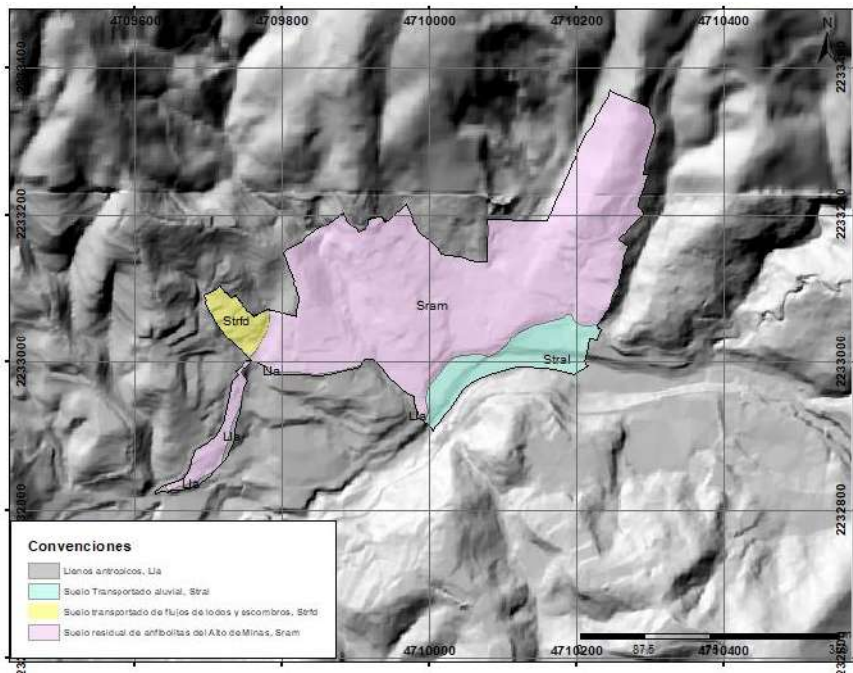


Figura 140. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Miel
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

Tabla 146. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Miel

Centro Poblado La Miel		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Llenos antrópicos	0,12	1,1%
Suelo residual de anfibolitas del Alto de Minas	9,94	85,2%
Suelo Transportado aluvial	1,18	10,1%

Centro Poblado La Miel		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	0,42	3,6%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

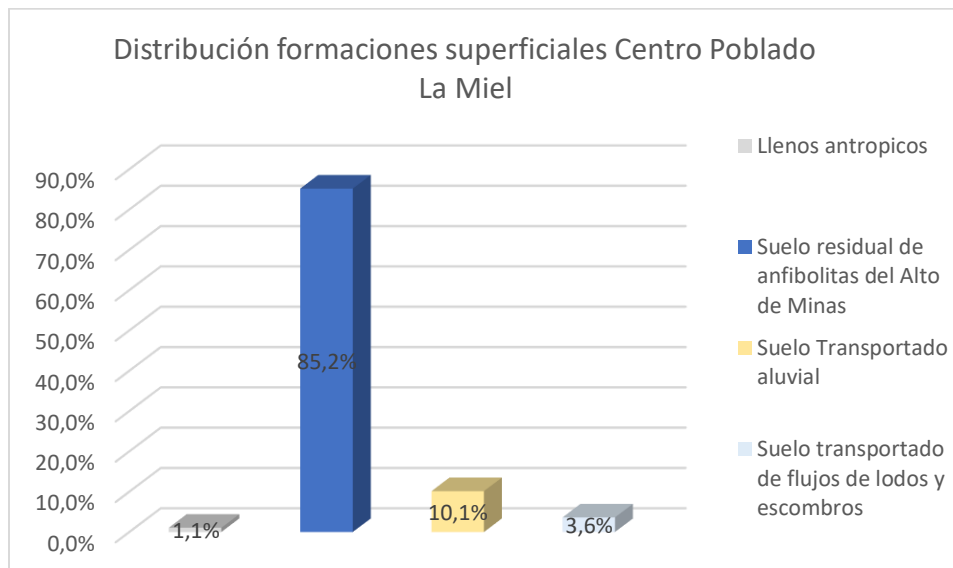


Gráfico 43. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Miel

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.6.3 Geomorfología Local

El centro poblado La Miel se encuentra ubicado sobre diferentes tipos de geoformas, controladas por los diversos agentes denudativos que se presentan en la zona. Las geoformas presentes son las siguientes: Conos de flujo de lodos y/o escombros, cimas amplias, superficies suaves y moderadas en suelo residual, vertientes empinadas, lomos denudados bajos y geoformas de origen antrópico, estas unidades serán explicadas a continuación:

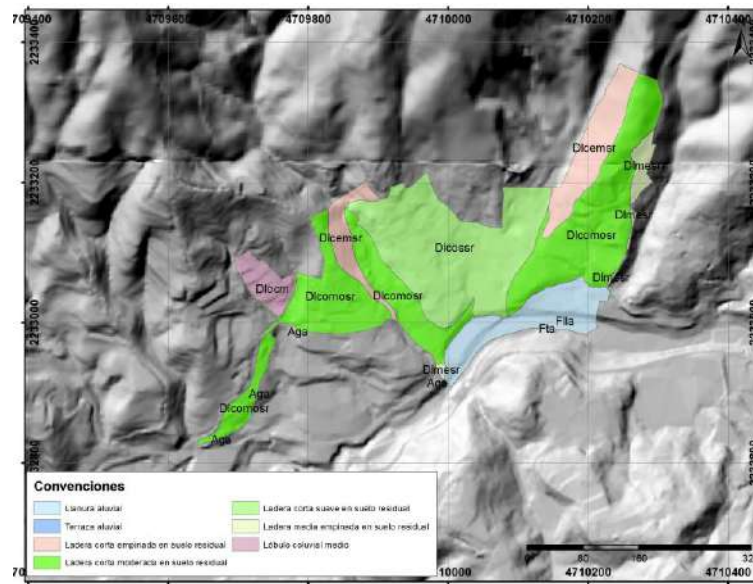


Figura 141. Mapa de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Llanura aluvial (Fpal)**

Superficie de morfología plana, con una pendiente entre 0-5° y una rugosidad uniforme. Se encuentra localizada en ambos márgenes de la quebrada la Miel, y se caracteriza por ser una zona de potencial inundable producto de una creciente del cauce (Figura 142).



Figura 142. Llanura aluvial de la quebrada La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Terraza Aluvial (Fat)**

Superficies alargadas de morfología suave con pendientes baja hacia el cauce del río Aburrá, modelada a partir de sedimentos de origen aluvial, que formaron acumulaciones de materiales que están elevadas de los cauces que las originaron.

➤ **Geoforma Antrópica (Aga)**

Superficies generadas por alteración de la morfología del terreno debido a acciones antrópicas, como cortos o llenos para generación e zonas planas para

➤ **Lóbulo coluvial medio (Dlocm)**

Este elemento presenta una extensión longitudinal que varía entre los 200 y 400 metros, con valores de pendientes suaves a moderadas, tiene como tendencia general un índice de curvatura plano a convexo, así como valores de rugosidad que corresponden a la categoría uniforme a casi uniforme, con variaciones locales de rugosidad alta.

➤ **Ladera corta suave en suelo residual (Dlcosr)**

Son superficies con longitud menor a 200 metros, con pendientes principalmente entre el rango de 5° a 15°, casi uniformes a moderadamente rugosas, convexas a planas generalmente ubicadas en zonas de piedemonte o zonas intermedias de las vertientes, desarrolladas en suelo residual de anfibolitas.

➤ **Ladera media empinada en suelo residual (Dlmesr)**

Superficies inclinadas, las cuales varían entre los 200 y 400 metros de longitud, con pendientes moderadas a empinadas, convexas, rugosas a moderadamente rugosas, con inclinaciones en promedio entre los 30° y 45°. El grado de evolución de estas geoformas está asociado a la fuerte incisión por parte de las quebradas adyacentes, lavando los suelos residuales.

➤ **Ladera corta moderada en suelo residual (Dlcmosr)**

Se trata de vertientes con longitudes mayores a los 400 metros e inclinaciones que predominan en el rango de los 15° a 30° de inclinación. Se les encuentra desarrolladas en anfibolitas de caldas. Los procesos denudativos se dan principalmente por la acción de aguas de escorrentía sobre suelos residuales de la roca y la incisión de quebradas adyacentes.

➤ **Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcoemsr)**

Este tipo de laderas se distinguen por presentar longitudes cortas, menores de 200 metros y pendientes que son principalmente empinadas, es decir, en el rango que va de los 30° a 45° de inclinación y se encuentran limitados por drenajes subparalelos. En general, se encuentran dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general N-S de la región.

A continuación, se presenta la distribución porcentual de cada elemento geomorfológico en el centro poblado.

Tabla 147. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Miel.

Centro Poblado La Miel		
Elemento Geomorfológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Geoforma antrópica	0,12281	1,053%
Lóbulo coluvial medio	0,41811	3,585%
Ladera corta empinada en suelo residual	1,40767	12,068%
Ladera corta moderada en suelo residual	4,85076	41,587%
Ladera corta suave en suelo residual	3,42068	29,327%
Ladera media empinada en suelo residual	0,25789	2,211%
Llanura aluvial	1,18211	10,135%
Terraza aluvial	0,00028	0,002%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

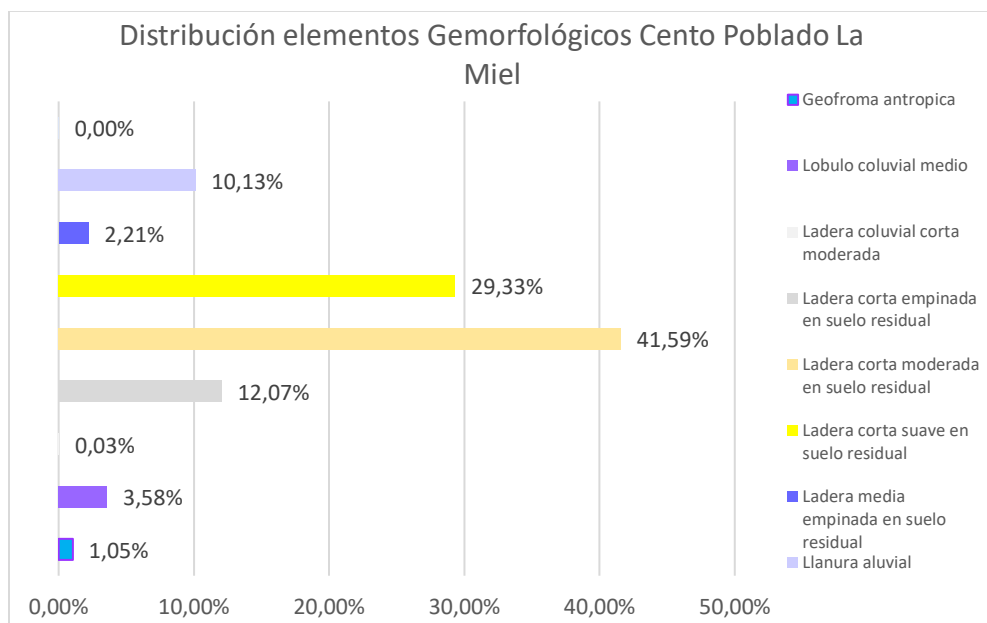


Gráfico 44. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Miel.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.6.4 Procesos morfodinámicos

En el centro poblado La Miel, no se observan procesos de remoción en masa activos. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la fuerte incisión que se presenta en la zona genera que los suelos residuales de las anfibolitas del Alto de Minas sean susceptibles a movimientos en masa. Además, en la parte baja del centro poblado se puede observar procesos de socavación lateral por parte de la quebrada La Miel, generando pérdida progresiva de la banca.

7.6.6.5 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

La zonificación de amenaza por eventos de movimiento en masa en el centro poblado la Miel, está dominada por categorías de amenaza baja (Figura 143), asociado a zonas de morfología plana a suave, localizadas en las partes bajas de los lomos desnudados. La amenaza media, está representada principalmente por las laderas con pendientes moderadas. Por último, la amenaza alta está dada en las zonas empinadas, producto de la fuerte incisión de las quebradas a las laderas lavando los suelos superficiales.

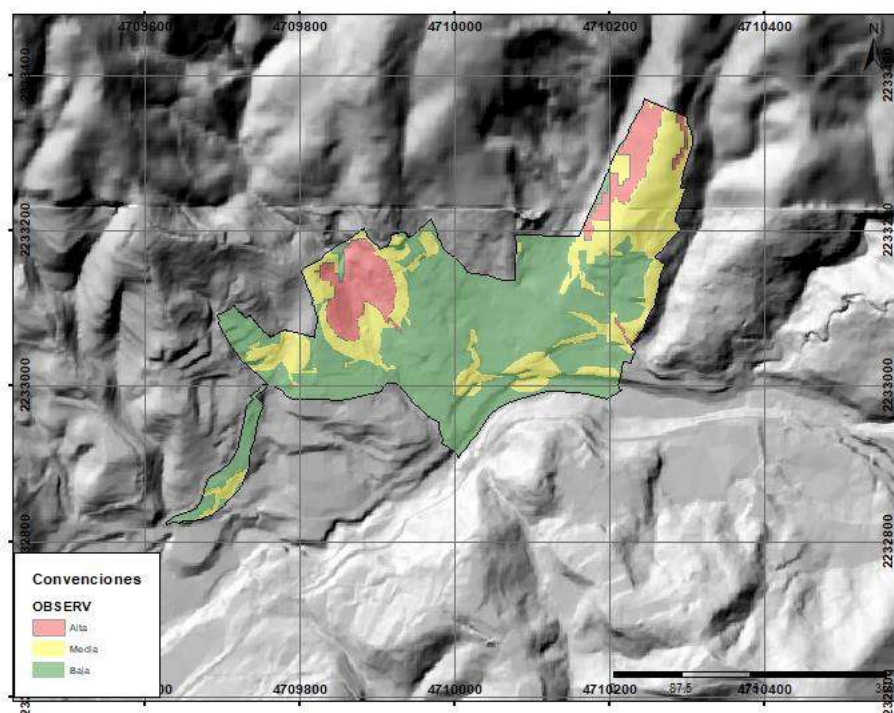


Figura 143. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Miel.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

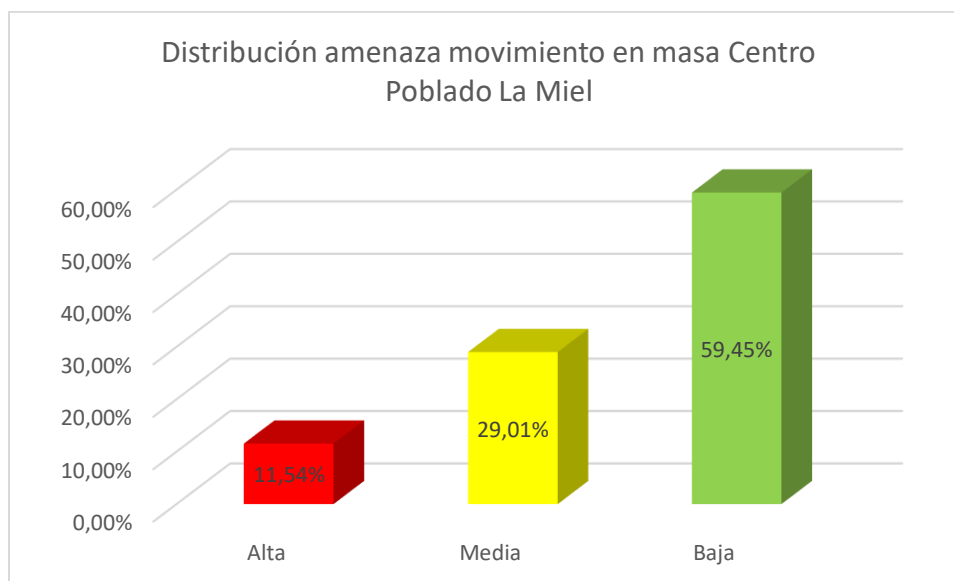


Gráfico 45. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.6.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

Para el centro poblado La Miel se presentan amenazas por inundación y avenida torrencial, siendo la quebrada La Miel el cauce principal que genera este tipo de eventos. La amenaza por inundación está dada principalmente en las zonas bajas en donde se desarrolla la geoforma de la llanura aluvial y están caracterizadas por un ser una zona de topografía

Estas zonas ocupan una considerable extensión de la parte baja de la vertiente, donde se observa una alta densidad de ocupación. Se desarrollan en su totalidad sobre depósitos aluviales y están caracterizadas por una topografía ondulada a plana de pendientes suaves a localmente moderadas, orientadas hacia el fondo del valle. Su favorable configuración geométrica y la presencia de la corriente antes descrita generan unas condiciones favorables para la generación de fenómenos de inundación.

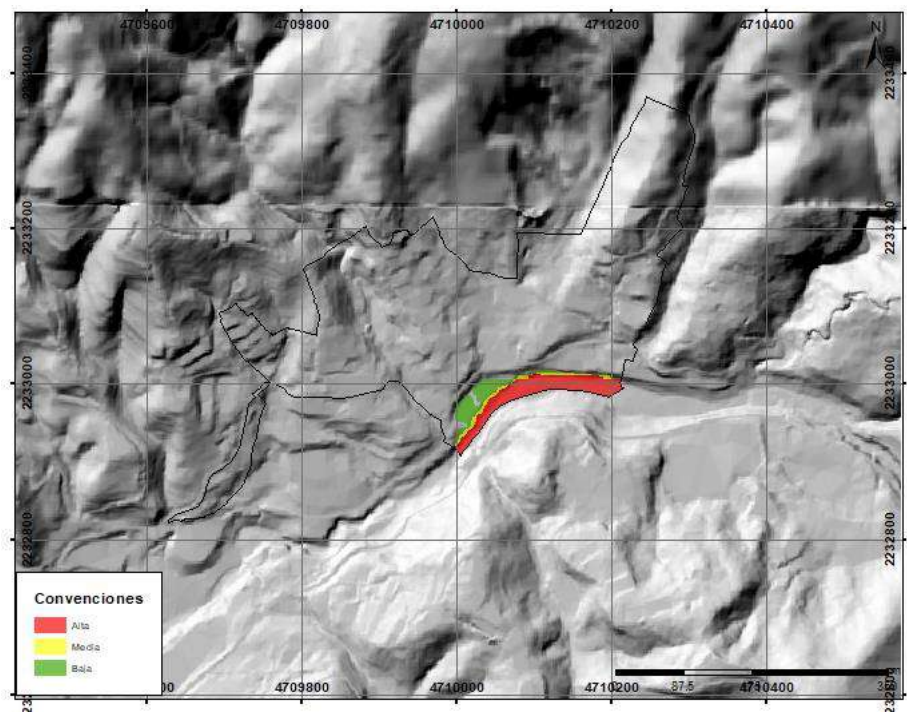


Figura 144. Mapa de amenaza por inundación para el centro poblado La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

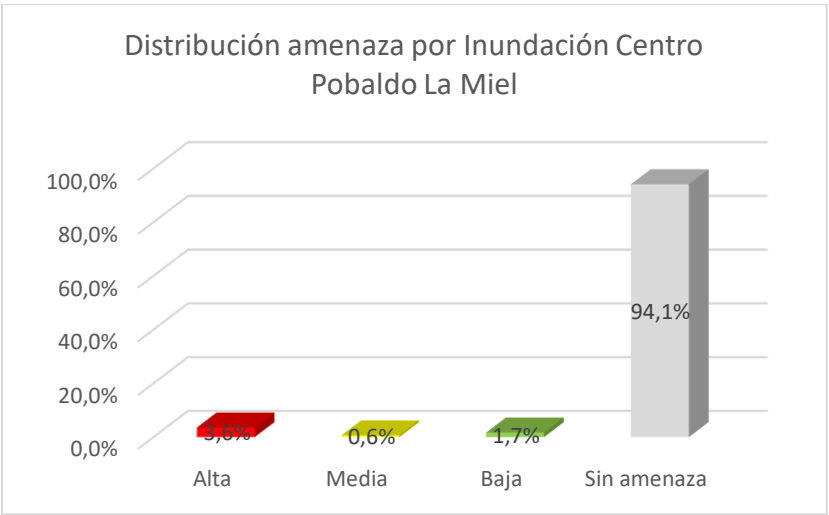


Gráfico 46. Distribución de amenaza por inundación en el centro poblado La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

También se presenta amenaza por eventos torrenciales a nivel local, en donde se observa una mayor mancha de amenaza alta en la llanura de inundación del cauce que corresponde a un área uniforme plana entre 0 y 5°. Seguido está la amenaza medida y baja, que al igual de la amenaza alta, se extiende hasta los depósitos aluviotorrenciales regionales asociados a la quebrada La Miel.

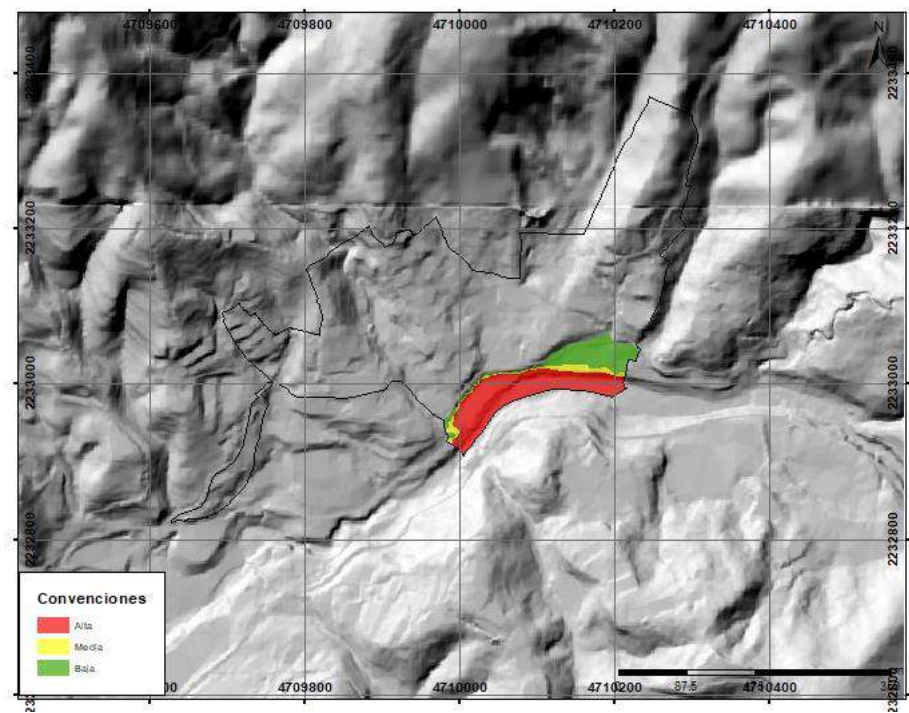


Figura 145. Mapa de amenaza por avenida torrencial para el centro poblado La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

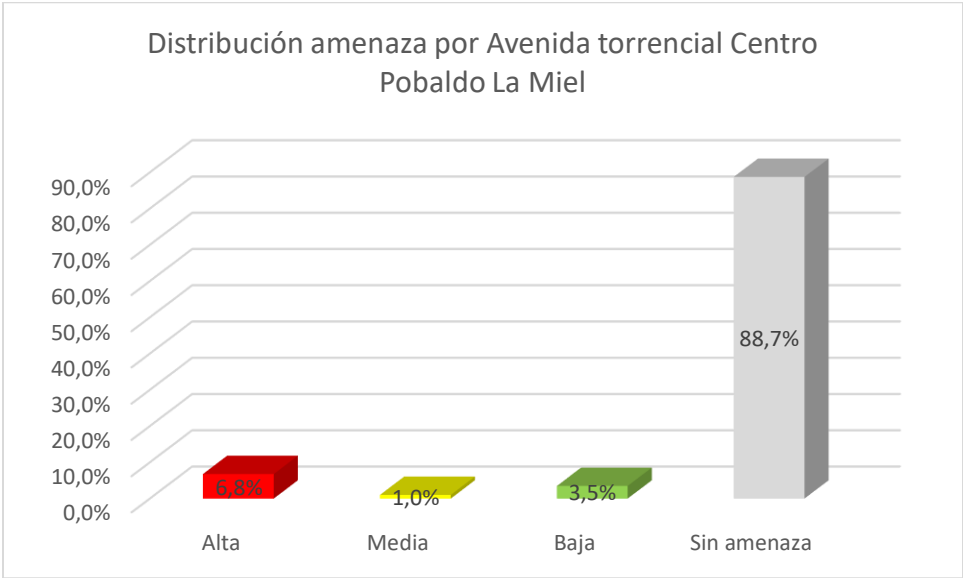


Gráfico 47. Distribución de amenaza por avenida torrencial en el centro poblado La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.7 CENTRO POBLADO LA QUIEBRA

7.6.7.1 Geología Local

Dentro del centro poblado se logran identificar dos unidades geológicas, correspondientes al miembro Volcánico y a los depósitos no litificados, los cuales cubren las partes bajas de la zona y equivalen al 70% del área total. Debido a que la vereda La Quebra se encuentra muy urbanizada, se alcanzaron a observar pocos afloramientos de las unidades correspondientes, por tal motivo se hará una descripción del material de estas zonas, complementándolas con zonas aledañas o trabajos anteriores realizados. Estas unidades varían de una edad desde el Cuaternario hasta el Jurásico Medio.

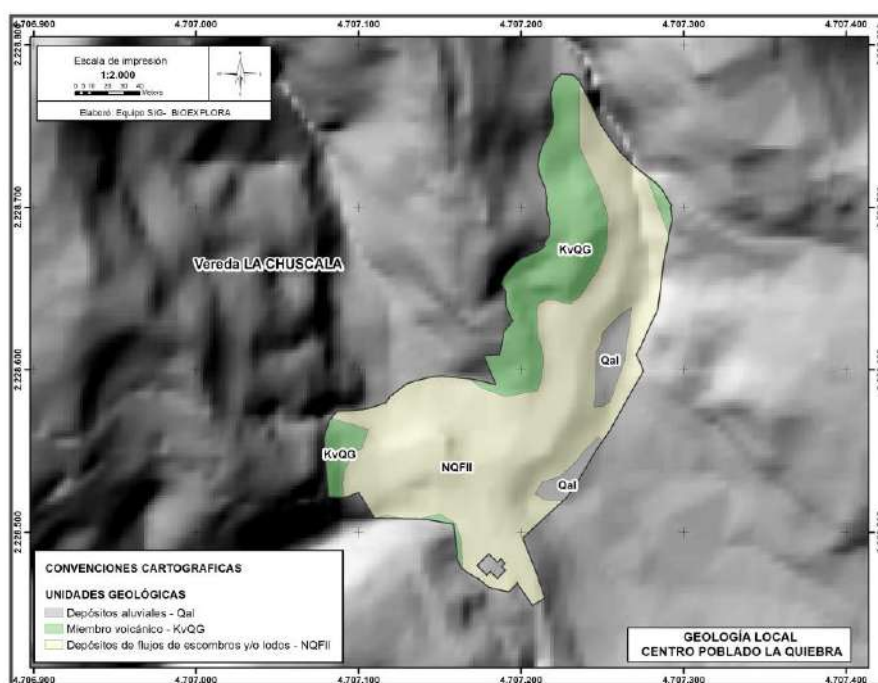


Figura 146. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Quebra.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Miembro Volcánico (KvQG)**

Esta unidad representa el 27,5% del área del centro poblado. Se ubica en las partes altas de las vertientes, afectado por una fuerte meteorización. Esta unidad ha desarrollado grandes espesores de suelo residual, presentando una matriz limo-arcillosa de color rojo y amarillo.

➤ **Depósitos aluviales (Qal)**

Esta unidad cubre el 3,8% representando el cuerpo de menor área de la zona. Se localiza en la parte baja de la vertiente, asociada a la depositación de material fino transportado por la quebrada San Francisco.

➤ **Depósitos de flujos de escombros y/o lodos (NQFII)**

Este tipo de depósitos cubren el 68,7 % del centro poblado, siendo así la unidad de mayor extensión. Se ubican en las zonas de media pendiente y topografía empinada. Están controlados aguas arriba por zonas en forma de escarpe o valle, donde provienen los materiales que los componen.

Son producto del sobresaturamiento del material parental, ya sean suelos u otros materiales que se presenten en las partes altas de las vertientes; y su estabilidad está condicionada por los parámetros intrínsecos como la permeabilidad y la cohesión, haciéndolos más vulnerables a fenómenos de remoción en masa y actividades sísmicas. Este depósito en campo, se clasifico como un depósito de flujo de lodo (Figura 147); en general presentan espesores variables, con una matriz arcillosa de amarillo, con bloques de 40 cm en promedio, cuya composición corresponde a rocas volcánicas de formas subangulosas a subredondeadas.



Figura 147. Depósitos de flujos de escombros y/o lodos, localizadas sobre la parte media de la vertiente a la altura de la vereda La Quiebra.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 148. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Quiebra.

Centro Poblado La Quiebra		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Depósitos aluviales	0,13	3,8%
Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	2,27	68,7%
Miembro Volcánico	0,91	27,5%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

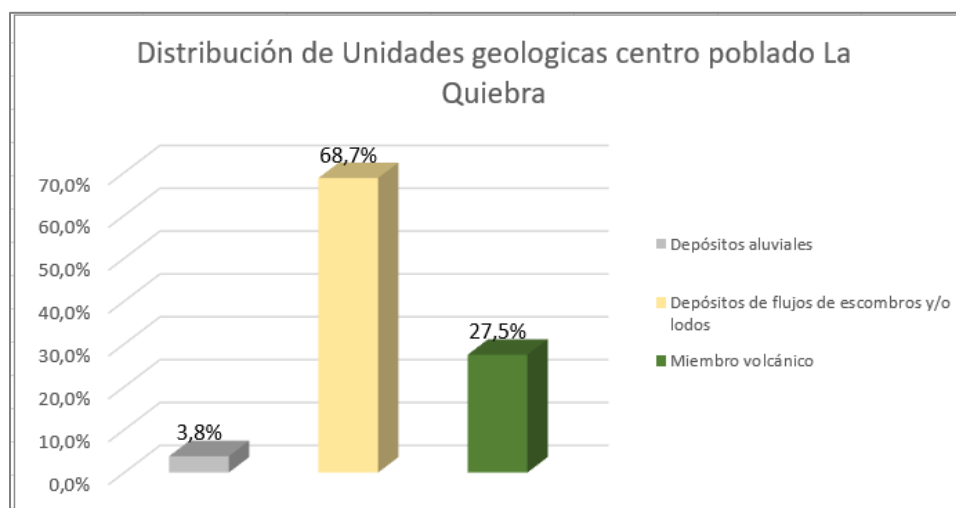


Gráfico 48. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Queibra.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.7.2 Formaciones superficiales locales

Este centro poblado presenta tres formaciones superficiales, dos de tipo transportado como son suelos transportados aluviales y suelos transportados de flujos de lodos y escombros, que son la formación e mayor cubrimiento y una de suelo residual, correspondiente a suelos derivados del volcánico de Quebradagrande.

➤ Suelo Transportado aluvial

Es la formación menor extensión en el centro poblado, con el 3,8% de su extensión. Se presenta como pequeños cuerpos disparos y corresponde acumulaciones de materiales generados por la dinámica de inundación de las quebradas de la zona que en general tienen granulometría media a fina, arenas y limos, ocasionalmente con gravas y aunque su espesor no se conde de forma precisa, se estima con no es muy espeso por la posición de estos cuerpos en el paisaje.

➤ Suelo transportado de flujos de lodos y escombros

Es la formación superficial cubre el 68 del centro poblado, siendo la de mayor extensión ene le centro poblado. Corresponde a suelos originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, con espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predomino de fracción final limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ Suelo residual de volcánico de Quebradagrande

Esta unidad cubre el 28,2% del centro poblado, se presenta como cuerpos dispersos de extensión variable en las zonas más levadas del centro poblado, Corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento y el saprolito es limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

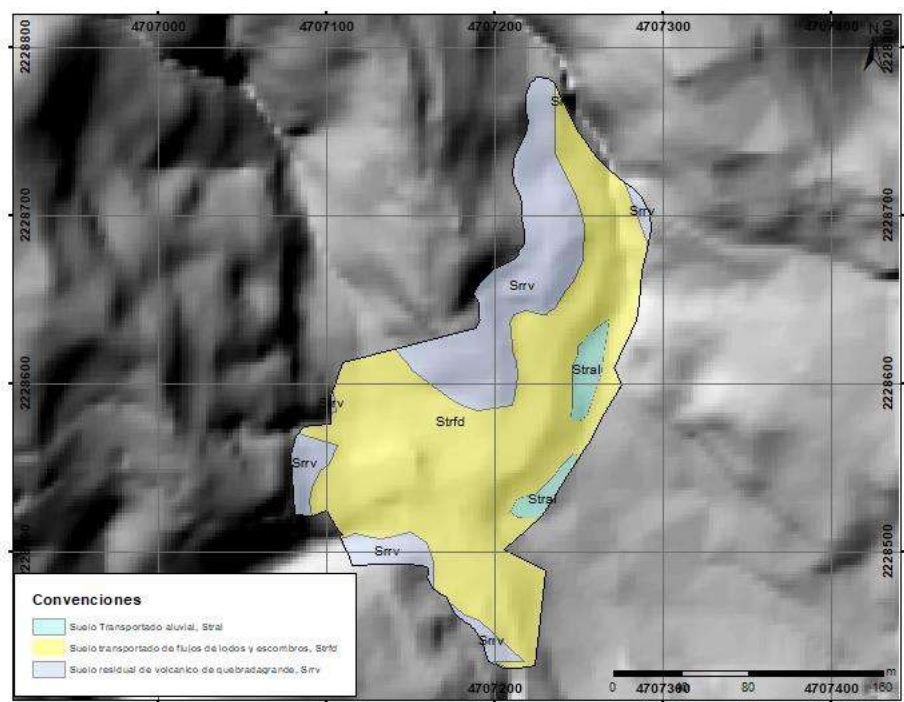


Figura 148. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Quiebra
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

Tabla 149. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Quiebra

Centro Poblado La Quiebra		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	0,93	28,2%
Suelo Transportado aluvial	0,13	3,8%
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	2,25	68,0%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

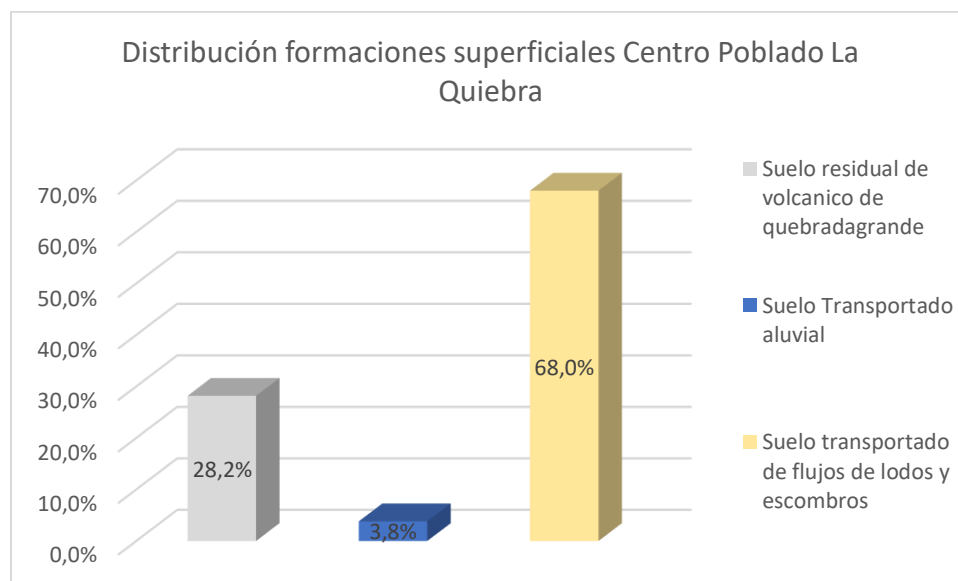


Gráfico 49. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La quiebra
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.7.3 Geomorfología Local

El centro poblado La Quiebra se ubica en la parte media de la vertiente, en donde predominan procesos superficiales tales como la erosión fluvial, movimientos en masa y la depositación del material.

La caracterización geomorfológica de este centro poblado sigue la jerarquía establecida para el estudio, logrando un mayor detalle y conservando la interpretación genética de las unidades. A nivel geomorfológico regional, el centro poblado se localiza en la unidad de Lomos (L) y en el paisaje de montaña. A continuación, se presenta el mapa geomorfológico del centro poblado (Figura 149) y la descripción de las subunidades.

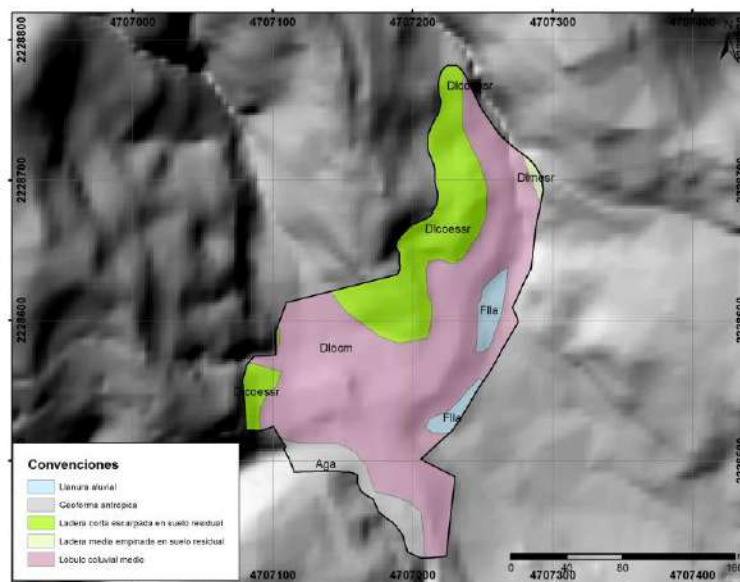


Figura 149. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Quiebra.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Geoforma Antrópica (Ae)**

Superficies artificiales construidas con material de relleno para acondicionar terrenos para desarrollos industriales, generando zonas planas amplias y taludes en sus partes superiores por cortes y bajas por llenos. Los depósitos desarrollados de forma técnica están conformados por gravas, bloques y arena bien compactados y con obras para manejo de aguas y estabilidad, sin embargo, se presentan llenos no técnicos con depósitos de todo tipo de materiales como de escombros y desechos de construcción, sin tratamientos

➤ **Llanura aluvial (Fpal)**

Geoforma formada por la dinámica fluvial de la quebrada San Francisco en su flanco oriental y que puede ser inundada ante eventos de alta pluviosidad (Figura 150).



Figura 150. Llanura aluvial ubicada en las partes bajas de la vereda La Quiebra.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Ladera corta escarpada en suelo residual (Dlcoessr)**

Unidad geomorfológica con pendientes que pueden exceder los 45°, en dirección a la quebrada principal, presentan una longitud corta, de relieve convexo y con pequeñas ondulaciones.

➤ **Lóbulo coluvial medio (Dlcm)**

Superficie alargada en forma de abanico, plana a ondulada, con pendientes suaves, uniformes a casi uniformes. Se encuentra localizada a largo de las vertientes, y su formación se asocia al transporte y deposición por parte de las quebradas presentes en la zona. Esta geoforma es la de mayor extensión, representando el 65,6% del centro poblado y se encuentra asociada a los depósitos de flujo de lodos y escombros.

➤ **Ladera coluvial media moderada (Dlcmmo)**

Geoforma de aspecto ondulado, de forma cóncava a convexa, con vertientes moderadas, muy rugosas a rugosas, la cual se encuentra localizada en la margen derecha del centro poblado. Esta unidad ha sido afectada por fuertes procesos de incisión fluvial de las quebradas adyacente.



Figura 151. Ladera coluvial media
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Ladera media empinada en suelo residual (Dlcm)**

Este tipo de geoformas se distinguen por presentar longitudes entre los 200 metros y 500 m y pendientes que son principalmente empinadas, es decir, en el rango que va de los 30° a 45° de inclinación y se encuentran limitados por drenajes subparalelos. En general, se encuentran dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general N-S de la región.

A continuación, se presenta la distribución porcentual de cada elemento geomorfológico en el centro poblado.

Tabla 150. Representación de cada elemento geomorfológico en porcentaje del centro poblado La Quiebra.

Centro Poblado La Quiebra		
Unidad Geomorfológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Geoforma antrópica	0,20	6,16%
Lóbulo coluvial medio	2,17	65,56%
Ladera corta escarpada en suelo residual	0,79	23,89%
Ladera media empinada en suelo residual	0,02	0,57%
Llanura aluvial	0,13	3,81%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

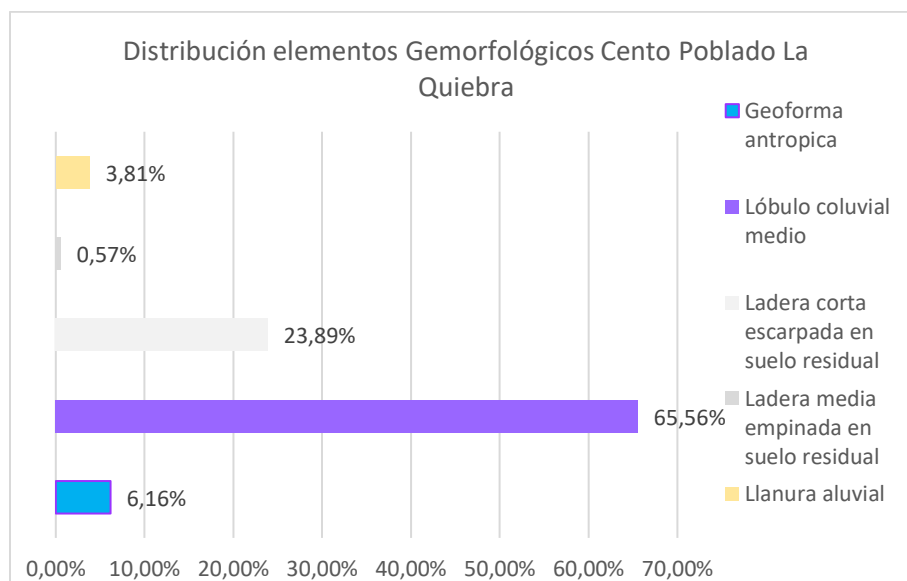


Gráfico 50. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Quiebra.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.7.4 Procesos morfodinámicos

En el centro poblado la Quiebra se evidenciaron procesos de remoción en masa activos (Figura 152). Principalmente esto es producto de la poca compactación de los suelos residuales del miembro volcánico que sumados a fuertes periodos de lluvia y a el control estructural por parte de fallas regionales, se ve afectado la estabilidad de las laderas.



Figura 152. Proceso de remoción en masa localizado en el centro poblado La Quiebra.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.7.5 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

La amenaza por movimiento en masa en el centro poblado La Quebra se asocia a las fuertes pendientes de la zona, producto de la alta incisión de las quebradas sobre los suelos residuales del miembro volcánico y a los depósitos de flujo de lodo y escombros presentes.

En este centro poblado, se presenta en un 41,6% la amenaza por movimientos en masa alta, estas zonas presentan vertientes moderadas a empinadas, con pendientes en su mayoría entre 30-45°. La amenaza media cubre la mayor parte del área, con un 527%, correspondiente a zonas con pendientes suaves a moderadas y están casi en su totalidad sobre los depósitos, por último, está la amenaza baja, localizada en la parte suroccidente de la zona, con un 5,6%, caracterizada por pendientes suaves entre 15-30° (Figura 153).

La construcción acelerada de viviendas sobre las laderas puede generar desestabilización, que, sumado a la escorrentía superficial, pueden provocar eventos de movimientos en masa que podrían afectar la infraestructura, los bienes o vidas humanas.

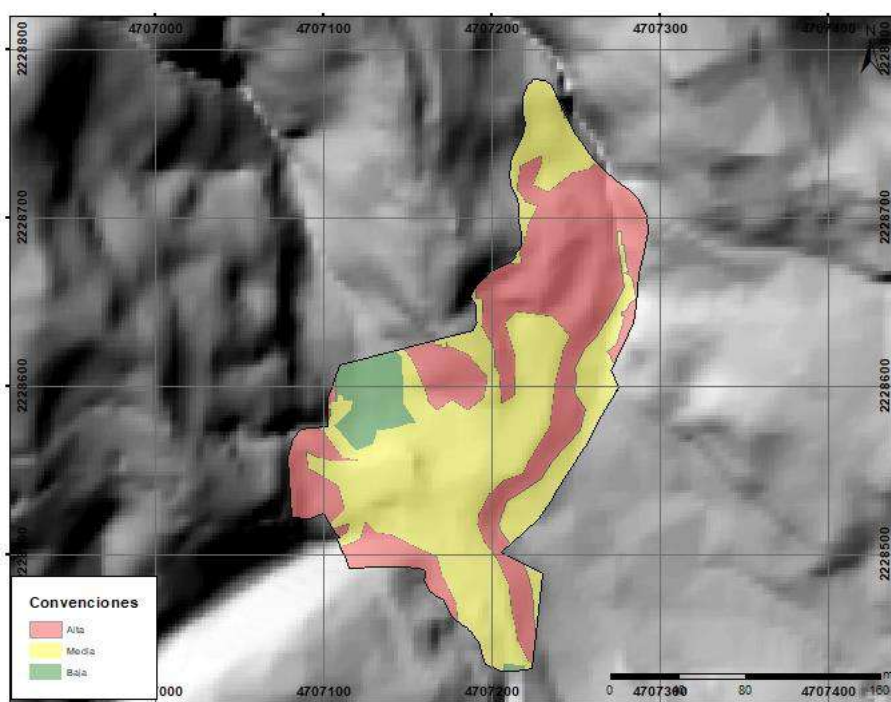


Figura 153. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Quebra.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

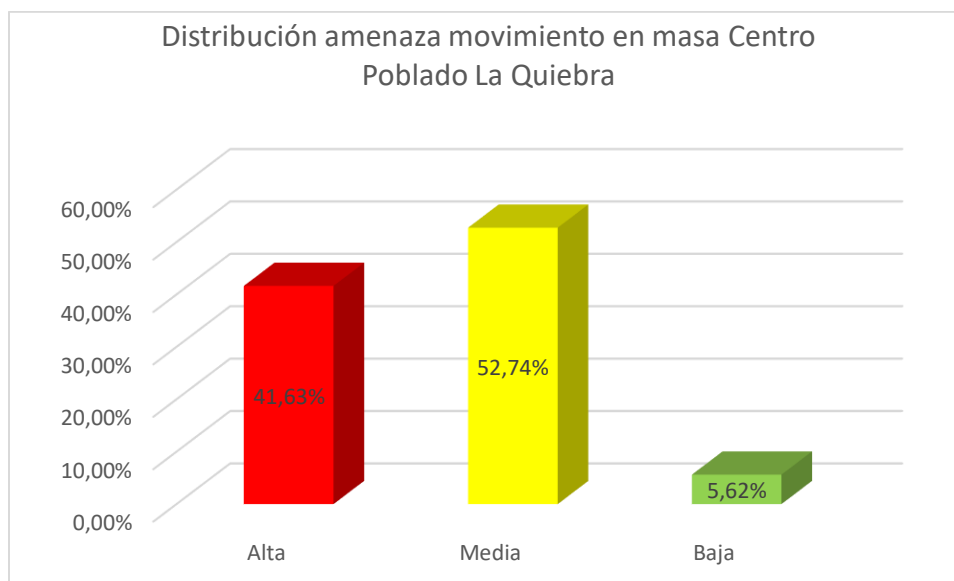


Gráfico 51. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Quebra.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.7.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

Para el centro poblado La Quebra no se presentan amenazas por inundación y avenida torrencial, esto es debido a que los afluentes de la zona no presentan un caudal con la suficiente energía y capacidad para generar eventos de desbordamiento que puedan generar afectaciones a la población. A su vez en la zona no se presentan evidencias geomorfológicas de depósitos de origen aluviotorrencial, siendo los depósitos de flujo los predominantes en el área.

7.6.8 CENTRO POBLADO LA RAYA

7.6.8.1 Geología Local

La geología del centro poblado La Raya, está conformada por rocas ígneas extrusivas hasta depósitos recientes. Estos varían de una edad entre el Cretácico y el Cuaternario respectivamente.

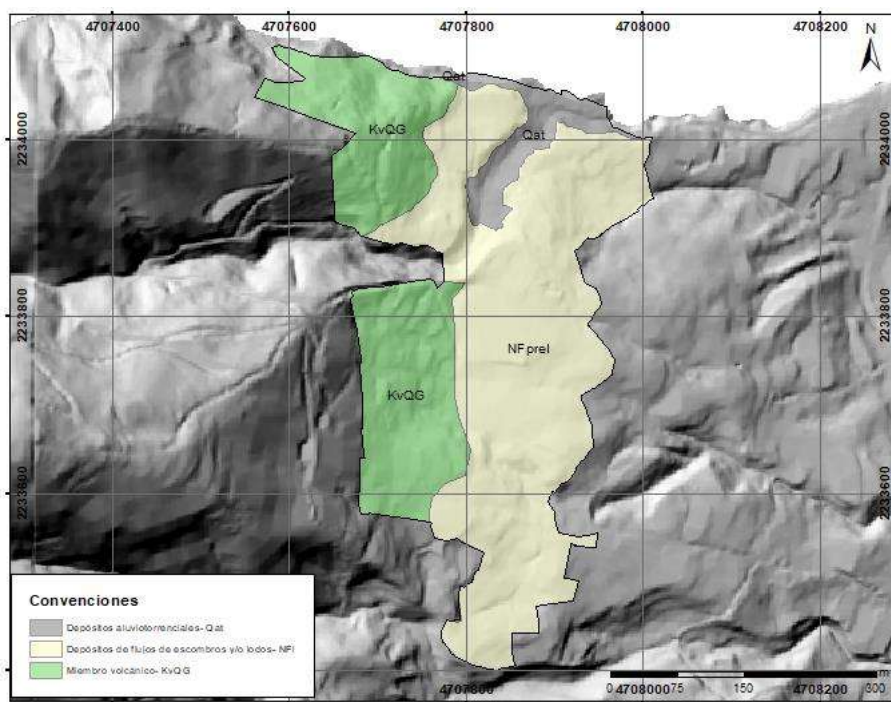


Figura 154. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Raya.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Miembro Volcánico (KvQG)**

Unidad que aflora en el límite norte del municipio, cubriendo 5,3 ha, siendo la de menor extensión en la zona, y representando el 33,2% del centro poblado. Este cuerpo se localiza en la parte media de la vertiente, con unas pendientes empinadas, en donde se han desarrollado suelos residuales de espesores de alrededor de 2m, con una matriz limo-arcillosa de color café-amarillento.

➤ **Depósitos aluviotorrenciales (Qat)**

Los depósitos aluviotorrenciales se encuentran en la base de ladera en la margen izquierda de la quebrada la Raya. Se caracterizan por presentar un matriz arcillosa de color gris, envolviendo bloques de tamaño entre 10-30cm. Esta unidad cubre aproximadamente un área de 1 ha, representando el 6,1% del centro poblado.



Figura 155. Depósitos aluviotorrenciales, localizados a la altura del centro poblado La Raya.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Depósitos de flujos de escombros y/o lodos (NFprel)**

Este tipo de depósitos cubren el 60,7% del centro poblado, siendo así la unidad de mayor extensión. Se ubican en las zonas de pendiente suavizadas a moderadas y se encuentran suprayaciendo y en contacto discordante con el miembro Volcánico. Se caracterizan por presentar bloques meteorizados de composición basáltica, subangulares de tamaños entre 10-13 cm, envueltos en una matriz limo-arenosa de color pardusco.

Estos depósitos son producto de la saturación del suelo en las partes altas de las vertientes, que por sus propiedades mecánicas tienden a moverse como un flujo.



Figura 156. Depósitos de flujo de lodos y escombros, localizados en el centro poblado La Raya.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 151. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Raya.

Centro Poblado La Raya		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Depósitos aluviotorrenciales	1	6,1%
Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	9,61	60,7%
Miembro Volcánico	5,3	33,2%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

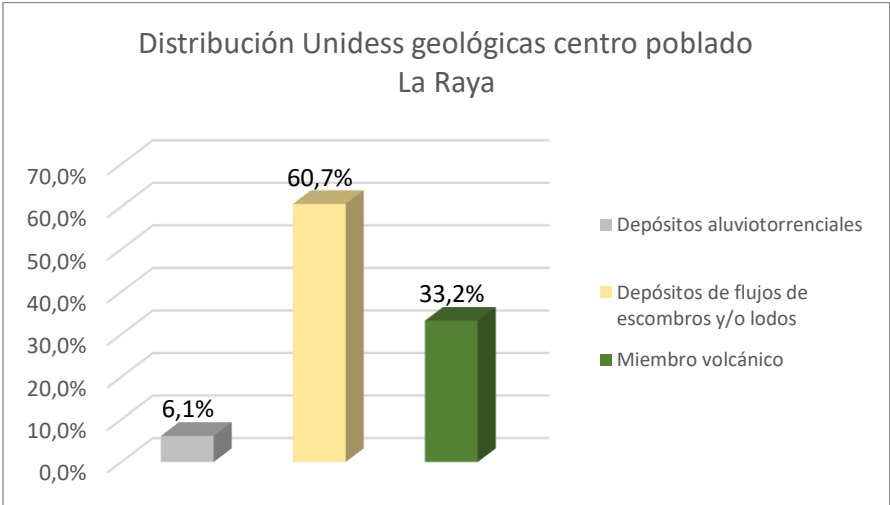


Gráfico 52. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Raya.

7.6.8.2 Formaciones superficiales locales

Este centro poblado presenta tres formaciones superficiales, dos de tipo transportado como son suelos transportados aluviotorrenciales y suelos transportados de flujos de lodos y escombros, que son la formación de mayor cubrimiento y una de suelo residual, correspondiente a suelos derivados del volcánico de Quebradagrande.

➤ Suelo Trasportado aluviotorrencial

Es la formación menor extensión en el centro poblado, con el 12,6% de su extensión. Se presenta como dos cuerpos independientes y corresponde acumulaciones de materiales generados por la dinámica torrencial de las quebradas de la cuenca de La Raya, de la zona que en general tienen granulometría gruesa, arenas y gravas angulares.

➤ Suelo transportado de flujos de lodos y escombros

Es la formación superficial cubre el 56,8% del centro poblado, siendo la de mayor extensión. Corresponde a suelos originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, con espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la

unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predominio de fracción fina limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ **Suelo residual de volcánico de Quebradagrande**

Esta unidad cubre el 30,6% del centro poblado, se presenta como dos cuerpos en la parte occidental del centro poblado que corresponde a las zonas más levadas de éste. Corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento y el saprolito es limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

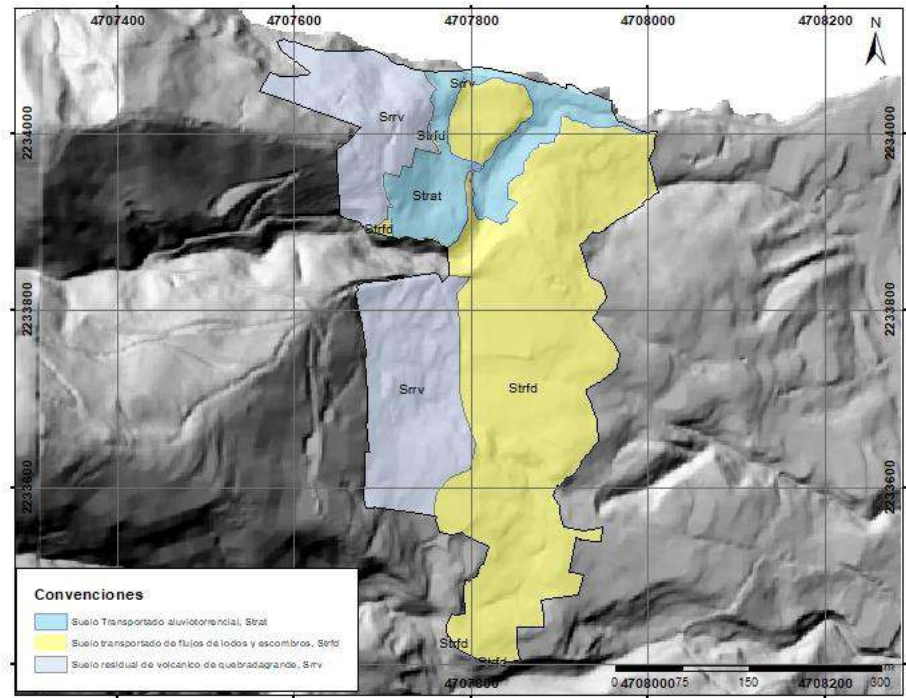


Figura 157. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La raya
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

Tabla 152. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Raya

Centro Poblado La Raya		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje

Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	4,85	30,6%
Suelo Transportado aluviotorrencial	2,00	12,6%
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	9,01	56,8%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

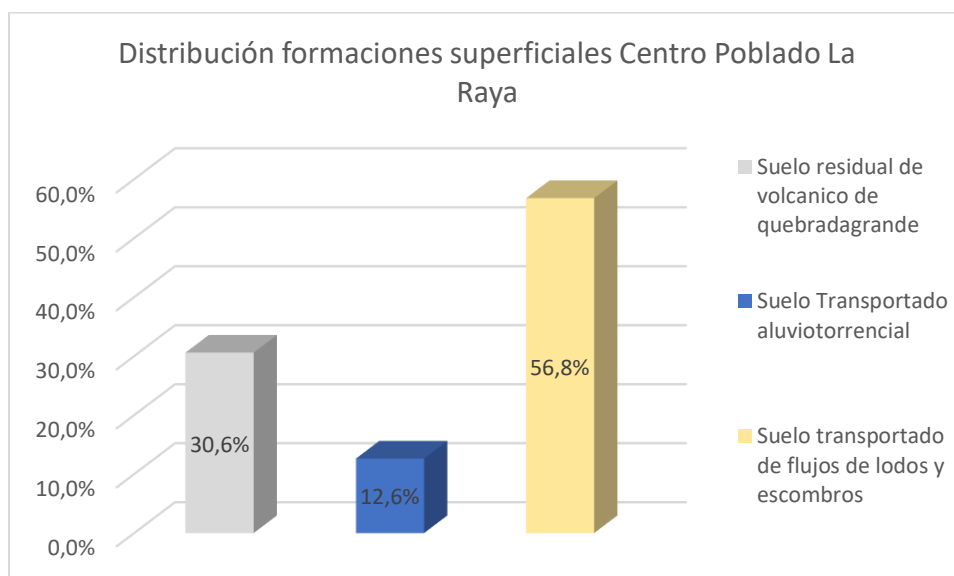
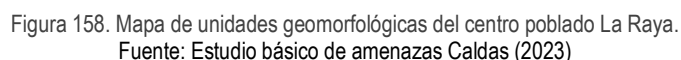


Gráfico 53. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Raya

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.8.3 Geomorfología Local

El centro poblado La Raya se localiza sobre la parte media y baja de la ladera, la cual corresponde a una zona irregular, con pendientes entre 5-30°. En esta área predomina el ambiente denudacional, el cual controla la dinámica del modelado; este ambiente se asocia a procesos erosivos y gravitacionales, y localmente de tipo aluvial (Figura 158).



Elemento geomorfológico con morfología lobular, extensión longitudinal mayor a los 400 metros, valores de pendientes suaves a moderadas. Estos lóbulos presentan como tendencia general un índice de curvatura plano, así como valores de rugosidad que corresponden a la categoría uniforme a casi uniforme. Se les encuentra en la zona donde se asientan los barrios La Aguacatala, El Cano, El Pombal, Bellavista y Buena Esperanza y la vereda La Miel.

Superficie de morfología irregular, cóncava, ubicada en la zona baja del centro poblado, en donde predominan procesos de incisión fluvial. Se caracteriza por presentar pendientes suaves con algunos sectores que llegan a ser muy empinados, con rugosidades que varían entre uniformes a muy rugosas.



Figura 159. Lóbulo coluvial medio.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Cono aluviotorrencial (Fcat)**

Superficie de morfología plana a poco ondulada, casi uniforme a moderadamente rugoso, localizada en ambas márgenes de la quebrada La Raya. Esta unidad corresponde a los depósitos aluviotorrenciales y es producto de la depositación de bloques de tamaño entre 10 y 30 cm en eventos de alta energía, donde la fuente hídrica es capaz de transportar dichos materiales depositando en las zonas aledañas.

➤ **Escarpe de erosión menor (Deem)**

Ladera abrupta o a desplome de longitud corta, de forma cóncavo convexa, con pendiente empinada a escarpada, la cual se origina por socavación fluvial o procesos de erosión. Delimita el centro poblado en la zona oriental y norte.

➤ **Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcemsr)**

Elemento geomorfológico que, localizado en la zona occidental y norte del centro poblado, presenta pendientes que oscilan entre los 15 y 30°, bordeando la unidad Superficie corta moderada (Dscm).



Figura 160. Ladera corta empinada. En suelo residual
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Ladera media empinada en suelo residual (Dlmesr)**

Superficies inclinadas, las cuales varían entre los 200 y 400 metros de longitud, con pendientes moderadas a empinadas, convexas, rugosas a moderadamente rugosas, con inclinaciones en promedio entre los 30° y 45°. El grado de evolución de estas geoformas está asociado a la fuerte incisión por parte de las quebradas adyacentes, lavando los suelos residuales.

➤ **Ladera coluvial corta suave (DlcCs)**

Laderas coluviales de longitudes menores a 200 metros, con pendientes principalmente entre el rango de 5° a 15°, casi uniformes a moderadamente rugosas, convexas a planas generalmente ubicadas en zonas de piedemonte o zonas intermedias de las vertientes, desarrollada sobre depósitos de flujos.

➤ **Ladera coluvial media suave (Dlcms)**

Laderas coluviales de longitud entre los 200 y 400 metros, pendientes entre los 5° y 15°, de aspecto uniforme a casi uniforme e índice de curvatura de aspecto plana, predominantemente. Desarrolladas sobre depósitos de flujos, cubriendo el 31,5% del centro poblado.

➤ **Ladera coluvial corta empinada (DlcCoE)**

Laderas coluviales de longitud menor a 200 m, pendientes entre los 30° y 45°, de aspecto uniforme a casi uniforme e índice de curvatura de aspecto plana a levemente cóncavo, predominantemente. Desarrolladas sobre depósitos de flujos.

➤ **Ladera coluvial irregular suave (Dlcis)**

Laderas coluviales de longitud entre los 200 y 400 metros, pendientes entre los 5° y 15°, de aspecto irregular e índice de curvatura variable de cóncavo a convexo. Desarrolladas sobre depósitos de flujos.

➤ **Ladera corta suave en suelo residual (Dicosr)**

Laderas de longitud entre los 200 y 400 metros, pendientes entre los 5° y 15°, de aspecto uniforme a casi uniforme e índice de curvatura de aspecto plana, predominantemente. Desarrolladas sobre suelos del miembro Volcánico, se encuentra en el sector sur del centro poblado.

A continuación, se describen el % que representa cada elemento geomorfológico en el centro poblado.

Tabla 153. Representación de cada elemento geomorfológico en porcentaje del centro poblado La Raya.

Centro Poblado La Raya		
Cono aluviotorrencial	0,98	3,8%
Escarpe de erosión menor	0,45	1,7%
Lóbulo coluvial largo	1,08	4,2%
Lóbulo coluvial medio	0,14	0,5%
Ladera coluvial corta empinada	0,60	2,3%
Ladera coluvial corta suave	1,88	7,3%
Ladera coluvial irregular suave	1,15	4,5%
Ladera coluvial media suave	8,08	31,5%
Ladera corta empinada en suelo residual	0,13	0,5%
Ladera corta suave en suelo residual	1,79	7,0%
Ladera media empinada en suelo residual	8,98	34,8%
Superficie corta suave con baja incisión	0,50	1,9%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

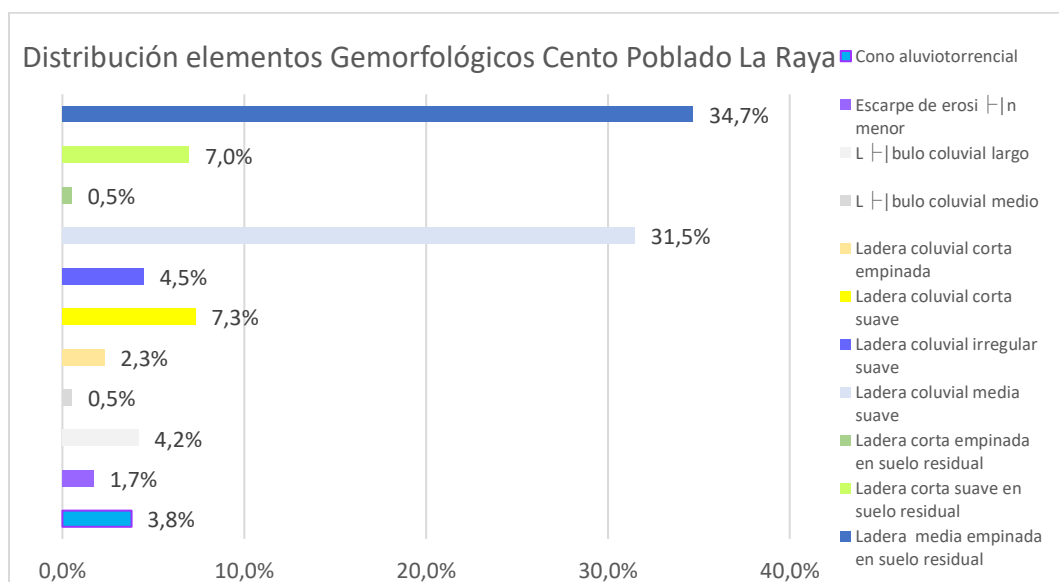


Gráfico 54. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Raya.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.8.4 Procesos morfodinámicos

En este centro poblado, no se observan procesos de remoción en masa activos. Sin embargo, se identifican zonas de alta pendiente en donde se localizan las viviendas de la zona, las cuales son susceptibles a deslizamientos.

7.6.8.5 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

La zonificación de amenaza por movimientos en masa realizada para el centro poblado La Raya, muestra que la mayor parte del área se encuentra clasificada en amenaza media que cubre el 51,3%, correspondiente a las zonas con pendientes suaves a moderadas con inclinaciones en promedio de 15-30°. Las zonas clasificadas de amenaza alta, la de menor extensión con el 6,6% corresponden a vertientes empinadas a escarpadas con inclinaciones entre 30-45, y las zonas de amenaza baja, corresponde a terrenos de pendientes suaves, menores a 15°.

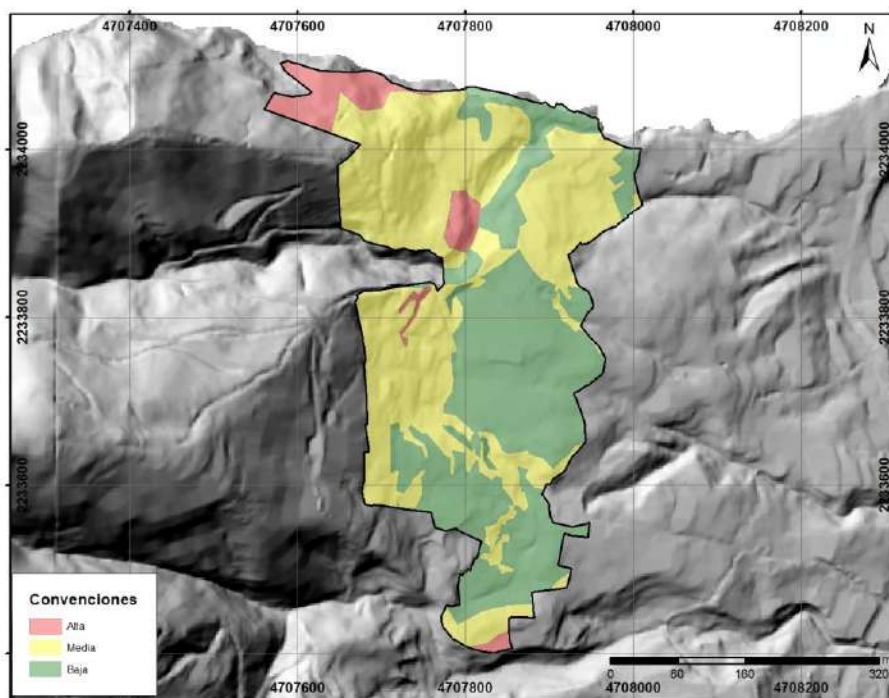


Figura 161. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro La Raya.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

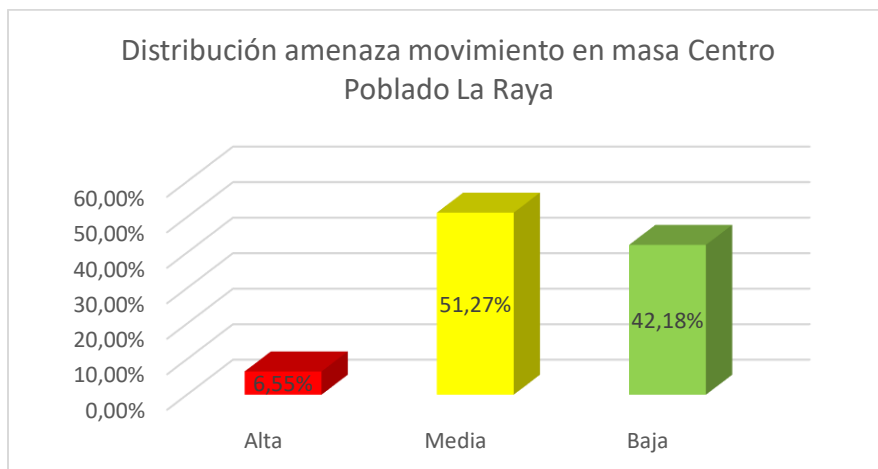


Gráfico 55. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Raya.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.8.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

En el centro poblado La Raya predominan los terrenos sin amenaza por inundación, ya que el 99,7% del éste no tiene amenaza por este evento. Respecto a las zonas con amenaza, se asocian a un afluente de La Raya, donde la de mayor cobertura es la categoría de amenaza alta que representa el 0,2% del centro poblado, mientras la amenaza media es menor del 0.1%.

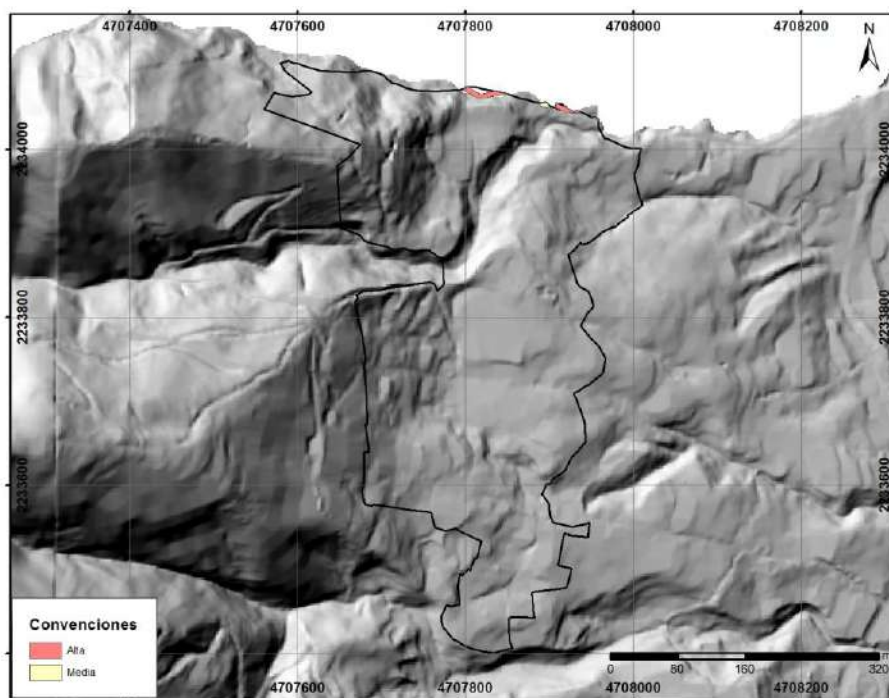


Figura 162. Mapa de amenaza por inundación para el centro La Raya.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

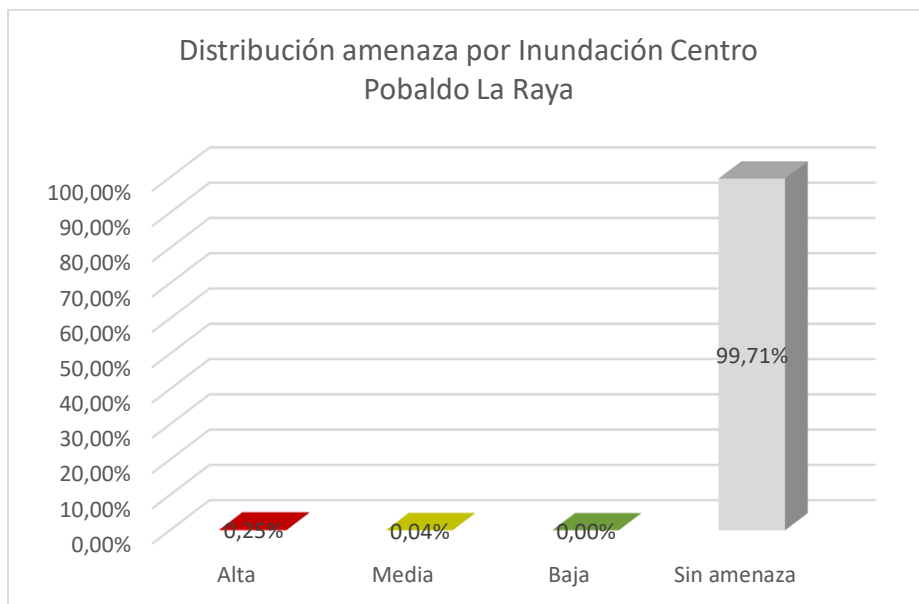


Gráfico 56. Distribución porcentual de amenaza por inundación en el centro poblado La Raya.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Respecto a la avenida torrencial la situación es similar, ya que el 98,3% del éste no tiene amenaza por este evento y las zonas con amenaza, se asocian a un afluente de La Raya, donde la de mayor cobertura es la categoría de amenaza alta que representa el 1,7% del centro poblado.

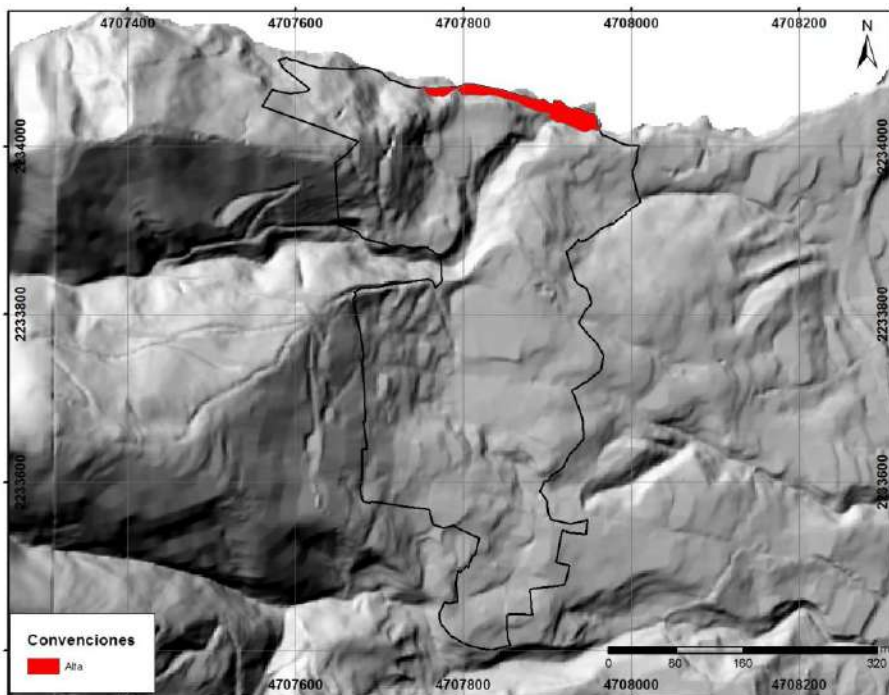


Figura 163. Mapa de amenaza por avenida torrencial para el centro La Raya.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

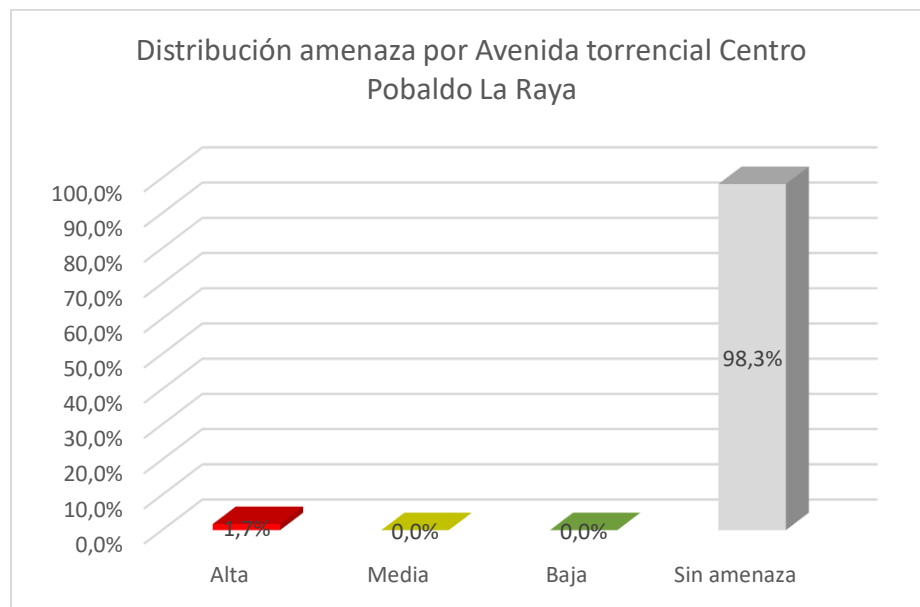


Gráfico 57. Distribución porcentual de amenaza por avenida torrencial en el centro poblado La Raya.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.9 CENTRO POBLADO LA SALADA PARTE BAJA

7.6.9.1 Geología Local

La geología del centro poblado La Salada Parte Baja está conformada por rocas metamórficas de alto grado, rocas volcánicas, llenos antrópicos y secuencias de depósitos aluviotorrenciales, aluviales y de deslizamiento en la base de las laderas. Dichos materiales varían entre una edad del Devónico y el Cuaternario.

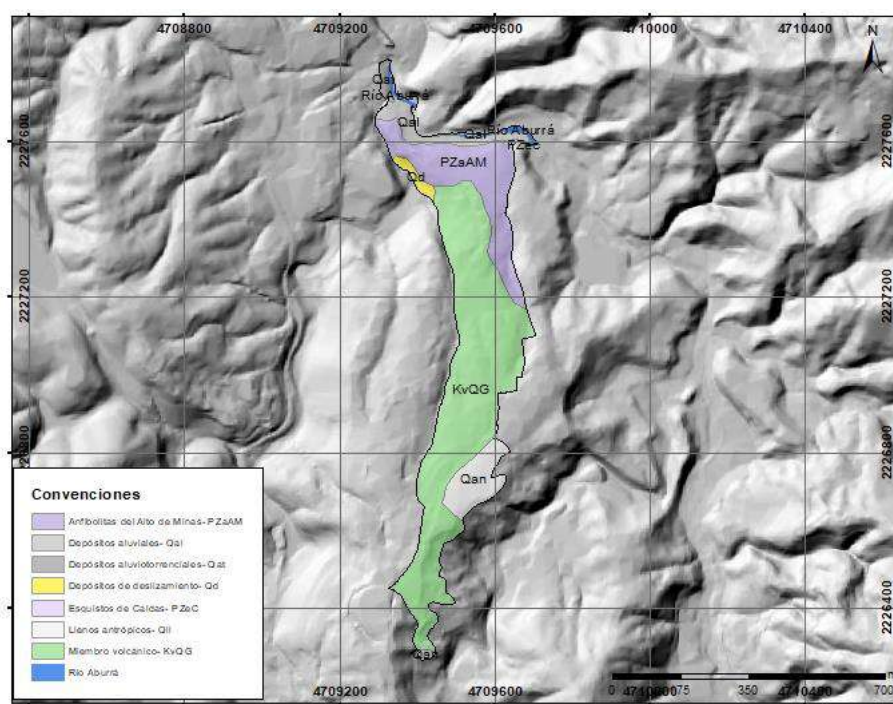


Figura 164. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Salada parte baja.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Esquistos de Caldas (PZeC)**

Corresponden a rocas metamórficas de textura esquistosa, las cuales han sufrido procesos de alteración y descomposición desarrollando un perfil de suelo residual. Se caracteriza por presentar una composición limo-arcillosa de color rojizo de consistencia blanda, son la unidad de menor extensión el centro poblado cubriendo sólo el 0,2% de este.

➤ **Anfibolitas del alto de Minas (PZaAM)**

Se observan afloramientos de la anfibolita del alto de Minas en la parte baja del centro poblado por la vía que comunica hacia la Clara. Se distinguen cuerpos de roca de textura esquistosa, la cual se encuentra compuesta en su mayoría por micas (60%) de menos de 1 cm, feldespatos, y cuarzo. A su vez, se alcanza a observar en algunos sectores la roca completamente meteorizada, alcanzando un horizonte V, de matriz arcillosa de color amarillo-anaranjado, en donde se observan pocos minerales de la roca original.



Figura 165. Anfibolitas del alto de Minas de textura esquistosa con micas, localizado al pie de ladera de la vereda La Salada parte baja.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Miembro Volcánico (KvQG)**

La zona se encuentra conformada principalmente por suelos residuales del Miembro Volcánico de Quebradagrande, cubriendo un área aproximada de 14,6 ha.

A lo largo de la vía, se observan cortes, en donde se aprecia el desarrollo del suelo residual. Este se encuentra dispuesto en varios horizontes, los cuales en conjunto forman el regolito. Se observan 5 horizontes, en donde no se alcanzan observar cristales ni estructuras de la roca original; el primero está conformado por materia orgánica de color negro con presencia de raíces que correspondería al horizonte A, el segundo es un suelo arcilloso de color café-anaranjado, debajo de esta se observa un horizonte de no más de 10 cm de color naranja, por último, en la base se observan dos horizontes arcillo-limosos, uno de color ocre y otro de color amarillo-anaranjado, estos últimos cuatro corresponderían en el perfil de meteorización al horizonte B.



Figura 166. Suelo residual del miembro Volcánico a la altura de La Salada parte baja.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Depósitos aluviales (Qal)**

Esta unidad cubre un área aproximada de 1,27 ha. representando el 5,4% del centro poblado. Se localiza en la parte baja de la vertiente, asociada al depósito de material fino transportado por el río Aburrá

➤ **Depósitos aluviotorrenciales (Qat)**

Los depósitos aluviotorrenciales se encuentran en la base de ladera en la margen izquierda Aburrá Se caracterizan por presentar un matriz arcillosa de color gris, envolviendo bloques de tamaño entre 10-30cm. Esta unidad cubre aproximadamente un área de 0,23 ha, representando el 1% del centro poblado.

➤ **Depósitos de deslizamientos**

Estos depósitos en las partes medias y bajas de las vertientes, se caracterizan por presentar matrices limo-arenosas de colores café amarillentos, siendo algunos cuerpos de colores más oscuros, envolviendo fragmentos de diferente tamaño y composición dependiendo de su material parental.

➤ **Lleno Antrópicos (QII)**

Se ubican en la base de las vertientes de la margen izquierda del río Aburrá, en donde las intervenciones, antrópicas en proceso de acumulación de escombros, basura rocas y suelos.

➤ **Río Aburrá**

Se observa el cauce aluvial, representado en la zona por el río Aburrá.

A continuación, se describe el porcentaje que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 154. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Salada parte baja.

Centro Poblado La Salada Parte Baja		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Anfibolitas del Alto de Minas	4,97	21,1%
Depósitos aluviales	1,27	5,4%
Depósitos aluviotorrenciales	0,23	1,0%
Depósitos de deslizamiento	0,34	1,5%
Esquistos de Caldas	0,04	0,2%
Llenos antrópicos	1,93	8,1%
Miembro volcánico	14,58	61,7%
Río Aburrá	0,27	1,1%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

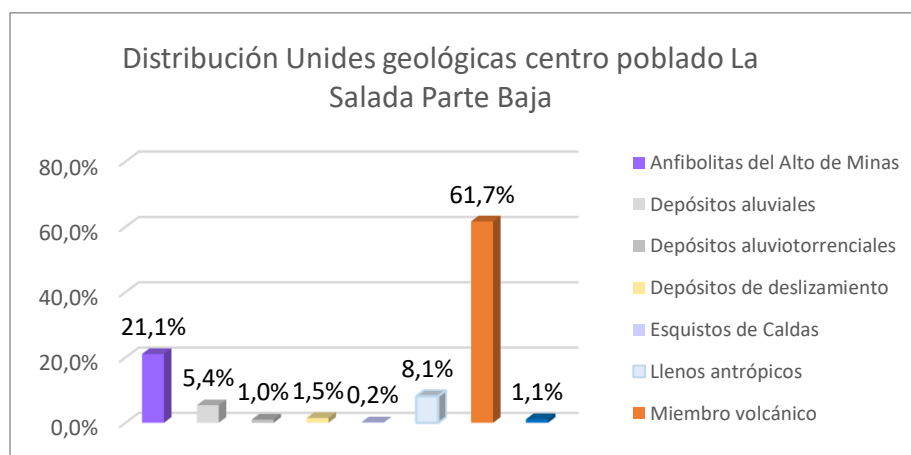


Gráfico 58. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Salada parte baja.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.9.2 Formaciones superficiales locales

Este centro poblado tiene ocho formaciones superficiales, que incluyen el río, llenos antrópicos y suelos de origen residual y transportado, siendo los suelos residuales derivados del Volcánico de Quebradagrande el cuerpo de mayor extensión con más del 61%.

➤ Río

Corresponde al cauce del río Aburrá.

➤ Llenos Antrópicos

Los llenos cubren el 8,1% del centro poblado, siendo la tercera formación de menor extensión, y se presenta como un cuerpo en el sector suroeste del centro poblado. Corresponde a acumulaciones de materiales generados por acción del ser humano, son heterogéneos y de espesor variables, presentan mezclas de suelos, con escombros y basuras.

➤ **Suelo Transportado aluvial**

Esta formación cubre el 5,5% del centro poblado, corresponde a cuerpos alargados, formados por la acumulación de materiales generados por la dinámica de inundación del río Aburrá los cuales tienen granulometría media a fina, arenas y limos, ocasionalmente con gravas y su espesor es variable.

➤ **Suelo Transportado aluviotorrencial**

Es la formación menor extensión en el centro poblado, con el 1,0 % de su extensión. Se presenta como cuerpos pequeños y corresponden acumulaciones de materiales generados por la dinámica torrencial del río Aburrá y sus afluentes que en general tienen granulometría gruesa, arenas y gravas angulares.

➤ **Suelo transportado de flujos de lodos y escombros**

Es la formación superficial cubre el 1,5% del centro poblado, se presenta como un cuerpo pequeño en el sector norte y corresponde a suelos originados por proceso de inestabilidad de las vertientes, que dan lugar a depósitos en las partes bajas, con espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos. Su origen se encuentra asociado a eventos de tipo flujo y su clasificación depende de la granulometría del cuerpo, así, hay cuerpos con predominio de fracción gruesa arenas gravas y bloques, y otros con predominio de fracción fina limos y arcillas, pero se clasifican en una sola formación superficial.

➤ **Suelo residual de volcánico de Quebradagrande**

Esta unidad cubre el 61,7% del centro poblado, siendo la de mayor extensión, se presenta como un cuerpo alargado en la parte alta de éste. Estos suelos. Corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento y el saprolito es limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

➤ **Suelo residual de Esquistos de Caldas**

Esta formación superficial cubre el 0,2% del centro poblado, siendo la formación de menor extensión. Corresponde a suelos, limos arenosos, que conservan estructuras heredadas de la roca parental, evidentes en su alta afectación estructural.

➤ **Suelo residual de Anfibolita del Alto de Minas**

Esta formación cubre el 21,1% del centro poblado, siendo la segunda de mayor extensión, corresponde al saprolito de la Anfibolita de Caldas (Nivel V de meteorización), que se observa aflorando en la zona de La clara,

donde se presenta un material areno limoso, de color pardo claro con poca presencia de máficos, y algunas zonas con tonalidades ocre por efecto de oxidación, no presenta estructuras heredadas de la roca parental.

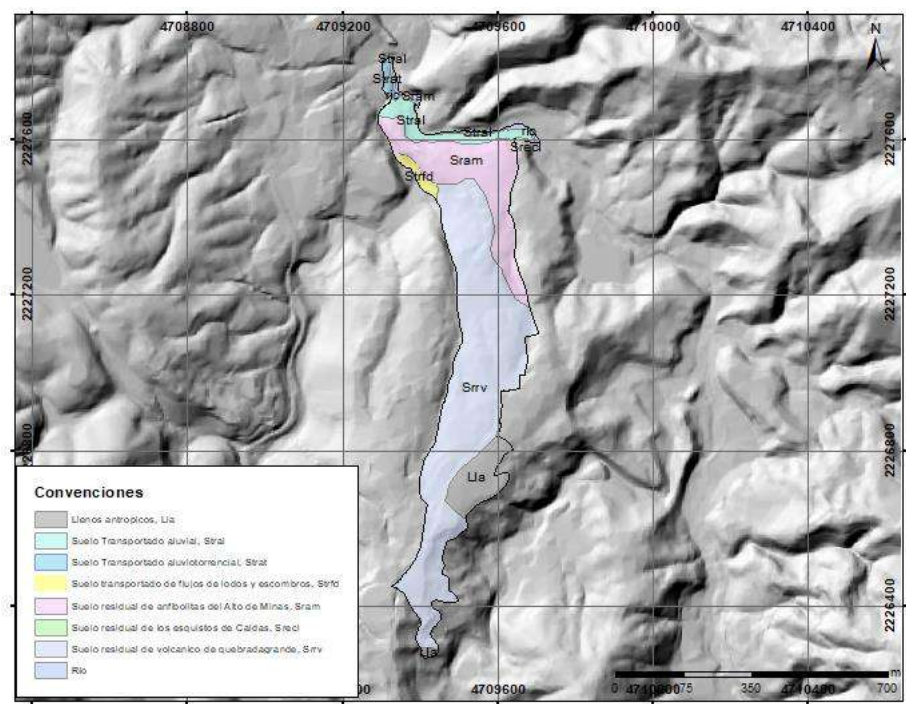


Figura 167. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Salda Parte Baja
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

Tabla 155. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Salda Parte Baja

Centro Poblado La Salada Parte Baja		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Llenos antrópicos	1,92	8,1%
rio	0,24	1,0%
Suelo residual de anfibolitas del Alto de Minas	4,97	21,1%
Suelo residual de los esquistos de Caldas	0,04	0,2%
Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	14,57	61,7%
Suelo Transportado aluvial	1,30	5,5%
Suelo Transportado aluviotorrencial	0,23	1,0%
Suelo transportado de flujos de lodos y escombros	0,34	1,5%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

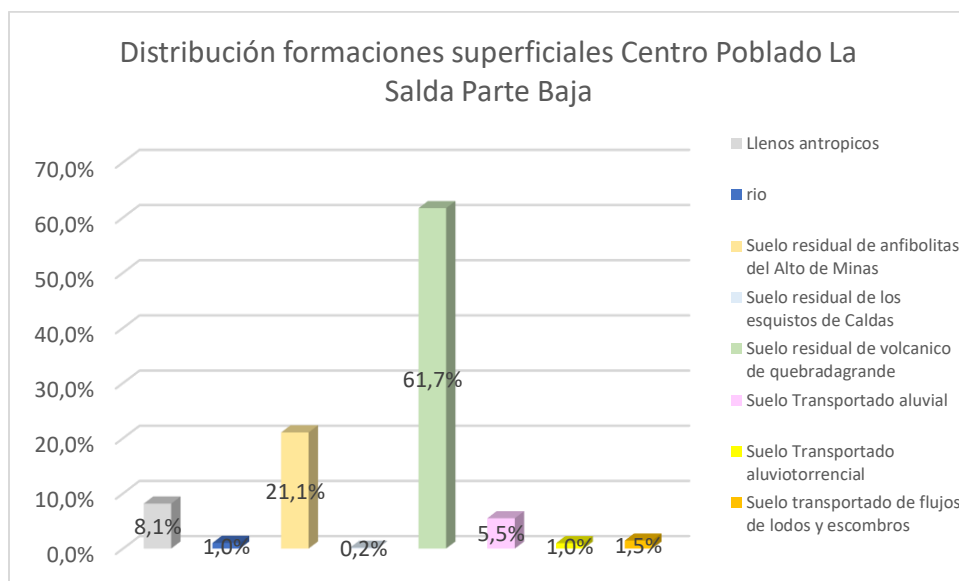


Gráfico 59. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado La Salada Parte Baja
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.9.3 Geomorfología Local

El centro poblado La Salada parte baja, se localiza regionalmente en el Valle superior del bloque oriental (VS-BO) y más en detalle sobre lomos denudados; se caracteriza por ser una zona heterogénea, con planicies hasta vertientes empinadas. Las geoformas resultantes donde se ubica este centro poblado son producto de los procesos superficiales, tales como la erosión fluvial, la gravedad y la depositación, además de la fuerte actividad tectónica que controla la zona. Las principales geoformas presentes son la llanura aluvial, la cual está en menor proporción, superficies suaves donde se ubica la mayoría del centro poblado.

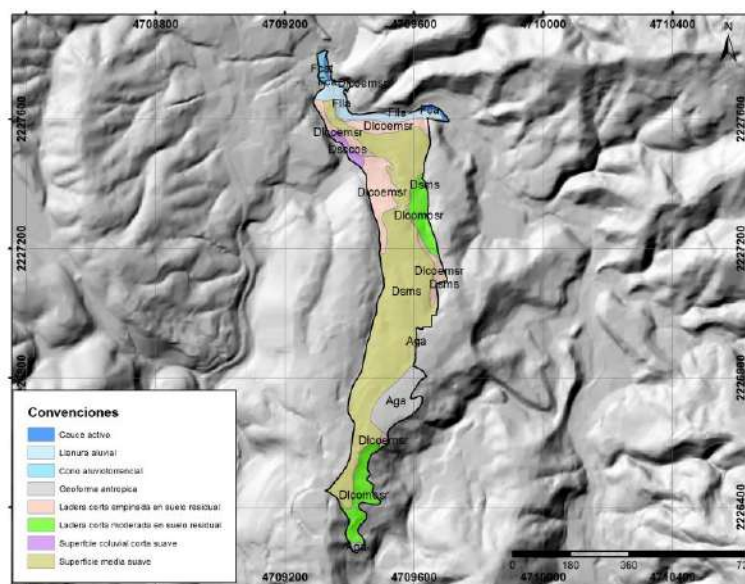


Figura 168. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado La Salada parte baja.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Geoforma Antrópica (Aga)**

Superficies artificiales construidas con material de relleno para acondicionar terrenos para desarrollos industriales, generando zonas planas amplias y taludes en sus partes superiores por cortes y bajas por llenos. Los depósitos desarrollados de forma técnica están conformados por gravas, bloques y arena bien compactados y con obras para manejo de aguas y estabilidad, sin embargo, se presentan llenos no técnicos con depósitos de todo tipo de materiales como de escombros y desechos de construcción, sin tratamientos

➤ **Cauce activo (Fca)**

Superficie de agua. uniforme, limitada en ambos extremos por la llanura aluvial, cubriendo aproximadamente 1.1 % del área del centro poblado. Se caracteriza por ser un canal irregular excavado por la erosión del Río Aburrá.

➤ **Llanura aluvial (Fpal)**

Superficie de morfología plana, con una pendiente entre 0-5° y una rugosidad uniforme. Se encuentra localizada en ambos márgenes de la quebrada la Miel, y se caracteriza por ser una zona de potencial inundable producto de una creciente del cauce.

➤ **Cono Aluviotorrencial (Fcat)**

Superficies alargadas de morfología suave, y ondulada, con pendientes suaves hacia el cauce del río Aburrá, modelada a partir de sedimentos de origen aluviotorrencial, que se presentan a la desembocadura de las corrientes al valle, que se presenta aislado respecto a otros cuerpos de origen similar.

➤ **Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcmsr)**

Superficie de aspecto empinado, con pendientes entre los 30° y 45° de inclinación. Presentan una extensión menor a los 200 m y se le encuentra al noroccidente del centro poblado.

➤ **Superficie media suave (Dsmd)**

Geoforma de unos 25 m de altura con respecto al drenaje principal, la cual se encuentra aproximadamente dispuesta perpendicularmente al río Aburrá. Esta unidad ha sido afectada por moderados procesos de incisión fluvial de las quebradas adyacentes, ocasionado que los materiales que lo conforman no mantengan estabilidad y sufran procesos de remoción en masa en las laderas.

➤ **Ladera corta moderada en suelo residual (Dlcmosr)**

Superficie con pendientes moderadas, entre los 5° y 15° de inclinación. La longitud de estas superficies no es mayor a los 200 m y se le encuentra al oriente del centro poblado.

A continuación, se presenta la distribución porcentual de cada elemento geomorfológico en el centro poblado.

Tabla 156. Representación de cada elemento geomorfológico en porcentaje del centro poblado La Salada parte baja.

Centro Poblado La Salada Parte Baja		
Elemento Geomorfológico	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Cauce activo	0,3	1,1%
Cono aluviotorrencial	0,6	2,4%
Geoforma antrópica	1,9	8,1%
Ladera corta empinada en suelo residual	3,7	15,5%
Ladera corta moderada en suelo residual	2,6	11,0%
Llanura aluvial	1,3	5,4%
Superficie media suave	13,3	56,4%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

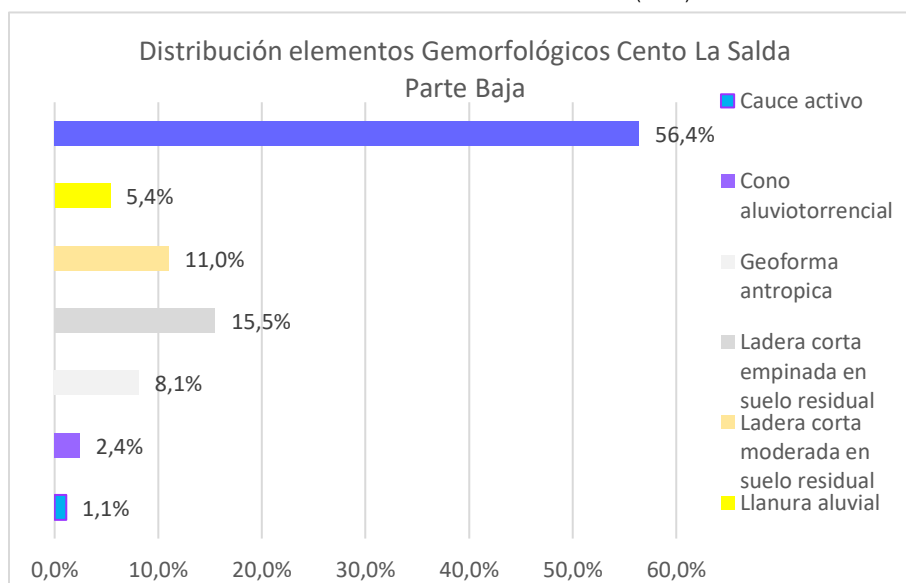


Gráfico 60. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Salada parte baja.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.9.4 Procesos morfodinámicos

En el centro poblado la Salada parte baja, se observan procesos de remoción en masa por la vertiente del lado derecho, producto de la fuerte incisión de las quebradas presentes y a periodos de intensas lluvias.

7.6.9.5 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

Mediante la zonificación de amenaza realizada para el centro poblado La Salada parte baja, el 60,5% de la zona se encuentra clasificada en la categoría de amenaza baja, correspondientes a los topos amplios de los lomos, los cuales presentan superficies planas a suaves, en donde la mayoría de las viviendas se encuentran

desarrolladas. Las zonas clasificadas como de amenaza media se ubican en las vertientes moderadas con pendientes entre $15-30^\circ$, las cuales se encuentran afectadas por la incisión fluvial de las quebradas adyacentes. Por último, las zonas clasificadas como amenaza alta, 10,8%, se localizan en las vertientes empinadas a escarpadas, estas áreas se ubican principalmente al norte del centro poblado.

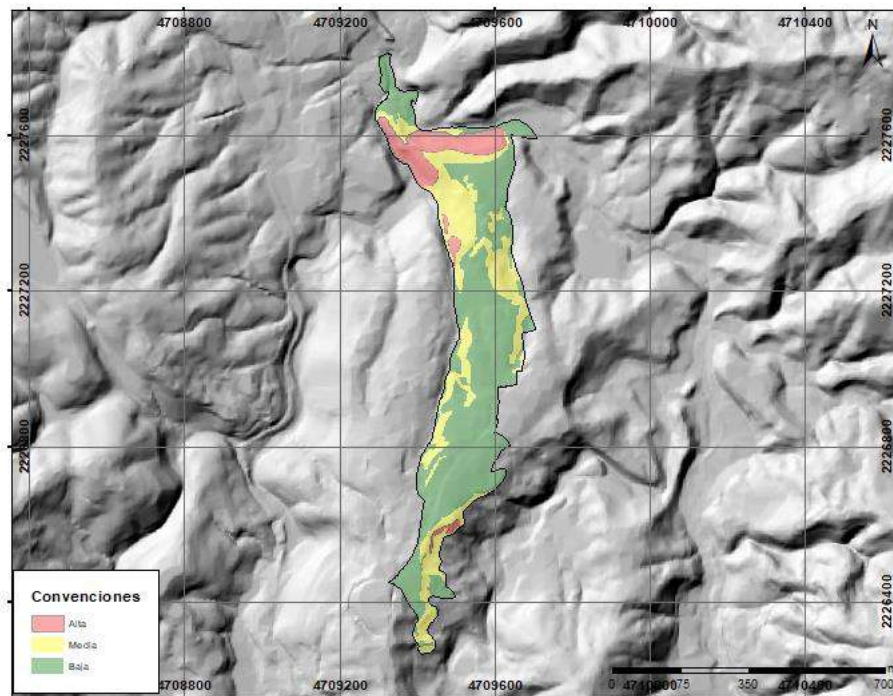


Figura 169. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Salada parte baja.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

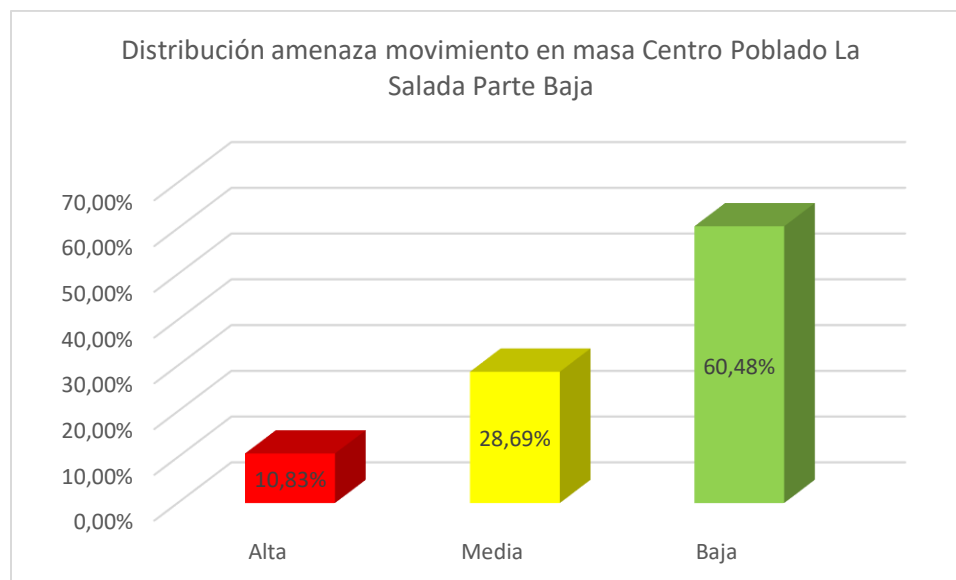


Gráfico 61. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Salada parte baja.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.9.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

En el centro poblado La Salada parte baja no presenta amenazas por inundación y avenida torrencial, esto es debido a el área de estudio se encuentra a una altura considerable de 50 a 80m con respecto a la quebrada La Salada y al río Aburrá.

7.6.10 CENTRO POBLADO LA VALERIA

7.6.10.1 Geología Local

La geología del centro poblado La Valeria está conformada por 3 unidades geológicas, como son el Miembro Volcánico de Quebradagrande, depósitos de deslizamiento y depósitos aluviotorrenciales (Figura 170). Estas unidades serán descritas a continuación.

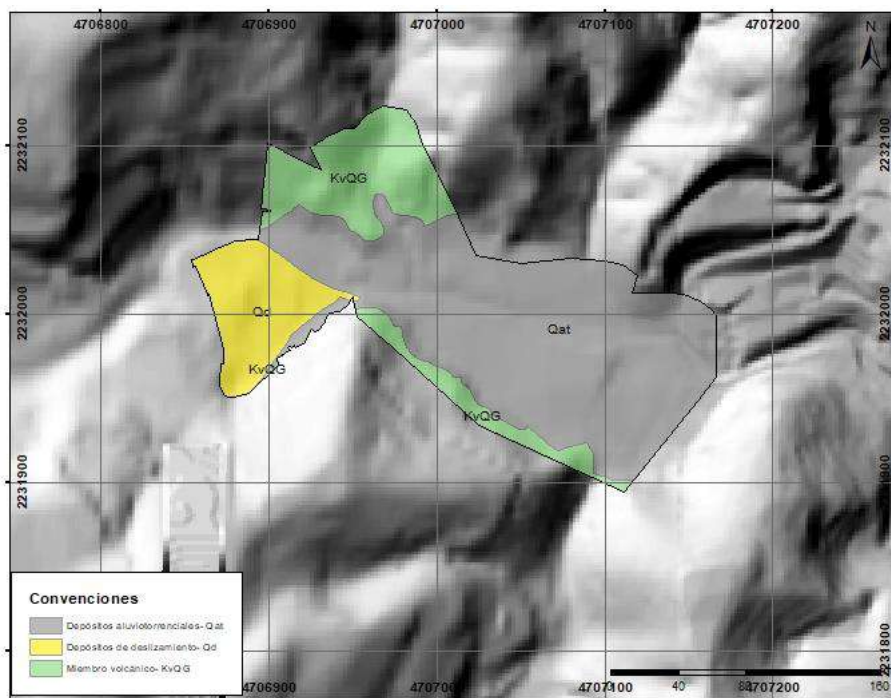


Figura 170. Mapa de unidades geológicas del centro poblado La Valeria.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ Miembro Volcánico (KvQG)

Unidad que aflora al sur, cubriendo aproximadamente 0,71 ha y representando el 21,5% del centro poblado. Este cuerpo se localiza en la parte baja de la vertiente, con unas pendientes empinadas, en donde se han desarrollado suelos residuales de espesores de menos de 2 m, con una matriz limo-arcillosa de color café-amarillento. En esta zona no se alcanzan a reconocer estructuras ni minerales de la roca original. Además,

estos suelos residuales se encuentran altamente susceptibles a procesos de remoción en masa, debido a su poca compactación y propiedades de estos materiales de tamaño fino.

➤ **Depósitos aluviotorrenciales (Qat)**

Esta unidad se asocia a la dinámica fluvial de la quebrada La Valeria, se presentan como bloques de diferente composición, con un tamaño que varía entre 10-30 cm, angulosos, con esfericidad media, envueltos en una matriz arcillosa. Se encuentran en contacto discordante con el miembro volcánico.



Figura 171. Depósitos torrenciales asociados a la dinámica fluvial de la quebrada La Valeria.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ **Depósitos de deslizamiento (Qd)**

El centro poblado La Valeria se encuentra desarrollado en su mayoría sobre depósitos de deslizamiento (Figura 163), cubriendo un área de 2,16 ha, siendo así uno de los dos cuerpos con menor extensión en la zona. Estos depósitos se caracterizan por presentar clastos de menos de 1cm, envueltos en una matriz limo-arenosa de color amarillo. Son producto de la desestabilización de las rocas fuertemente meteorizadas del miembro Volcánico en la parte alta de la vertiente, depositándose material fino en la parte baja de la ladera.



Figura 172. Viviendas del centro poblado La Valeria ubicadas sobre depósitos de deslizamiento.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el porcentaje que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 157. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado La Valeria.

Centro Poblado La Valeria		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Depósitos de deslizamiento	2,16	13,2%
Depósitos aluviotorrenciales	0,43	65,4%
Miembro volcánico	0,71	21,5%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

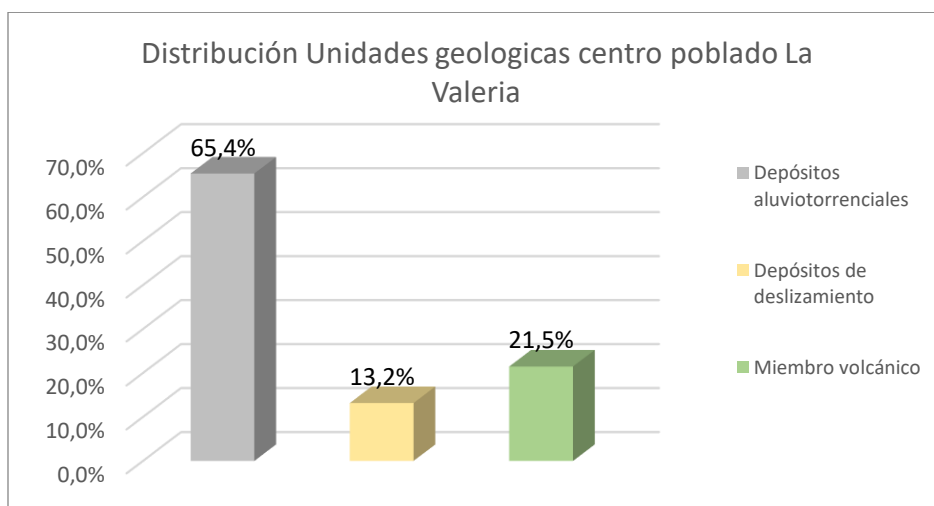


Gráfico 62. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado La Valeria.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.10.2 Formaciones superficiales locales

Este centro poblado presenta tres formaciones superficiales, dos de tipo transportado como son suelos transportados aluviotorrenciales que es la formación de mayor cubrimiento y suelos transportados depósito de vertiente, y una de suelo residual, correspondiente a suelos derivados del volcánico de Quebradagrande.

➤ **Suelo Transportado aluviotorrencial**

Es la formación mayor extensión en el centro poblado, cubriendo el 64,0 % de su extensión. Corresponde acumulaciones de materiales generados por la dinámica torrencial de la quebrada La Valeria y sus afluentes que en general tienen granulometría gruesa, arenas y gravas angulares.

➤ **Suelo transportado de depósitos de vertiente**

Esta unidad cubre el 13,2% del centro poblado, siendo la de menor extensión. Corresponde a materiales originados por procesos de inestabilidad y remoción en masa de las vertientes y los cuales varían en edad y extensión. El espesor y composición de los cuerpos es variable, dependiendo de su ubicación en la vertiente y de la unidad que dio origen a los depósitos, pero en general se caracterizan por ser una mezcla de materiales finos, (limos= con fragmentos de roca, de frescos a levemente meteorizados, de la roca donde se originó la inestabilidad.

➤ **Suelo residual de volcánico de Quebradagrande**

Esta unidad cubre el 22,8% del centro poblado, se presenta como un cuerpo en la parte alta de éste. Estos suelos corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento y el saprolito es limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

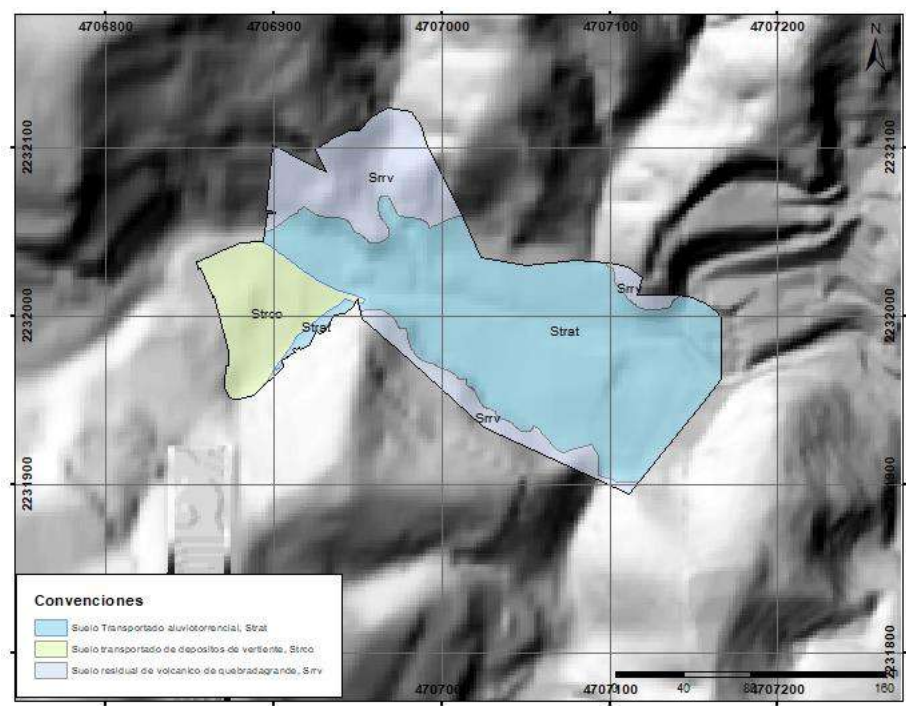


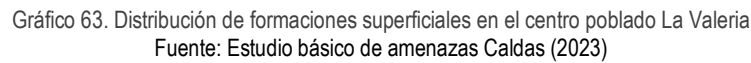
Figura 173. Mapa de formaciones superficiales del centro poblado La Valeria
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

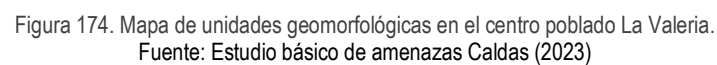
Tabla 158. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Valeria

Centro Poblado La Valeria		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	0,75	22,8%
Suelo Transportado aluvio-torrencial	2,11	64,0%
Suelo transportado de depósitos de vertiente	0,43	13,2%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)



El centro poblado La Valeria se encuentra localizado sobre la margen izquierda de la quebrada La Valeria.; su caracterización geomorfológica regional, está enmarcada en el paisaje de montaña, y más localmente sobre conos o lóbulos de deslizamiento y llanuras y terrazas aluviotorrenciales, los cuales representan la mayor parte de la zona. A continuación, se presenta la descripción de las subunidades y el mapa geomorfológico del centro poblado (Figura 174).



➤ **Cono aluviotorrencial (Fcat)**

Geoforma formada por la dinámica fluvial de la quebrada La Valeria, la cual frente a eventos de crecientes puede ser inundada y presentar eventos de alta energía. Se caracteriza por ser de morfología muy suave, con pendientes entre 5-15° y en donde se encuentra asentado parte de la comunidad de la Valeria.

➤ **Lóbulo coluvial medio (Dlocm)**

Esta geoforma está representada por superficies onduladas, de forma cóncava y longitud corta, con pendientes suaves y uniformes; se encuentran limitadas hacia las partes altas por lomos disectados desarrollados sobre suelos residuales, los cuales son la fuente del material que se depositó.

➤ **Ladera media empinada en suelo residual (Dlmesr)**

Esta geoforma localmente se observa como una vertiente de morfología ondulada a quebrada, convexa, con una longitud de 60m, con pendientes moderadas a empinadas, muy rugosas, localizada en la margen norte de la quebrada La Valeria. En general, dicho elemento geomorfológico ha sufrido fuertes procesos denudativos por parte de la acción fluvial, generando que en sus vertientes se produzcan procesos de remoción en masa de los suelos residuales.

➤ **Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcesr)**

Laderas de longitud menor a los 200 m de disposición convexa, irregular, con pendiente entre los 30 -45°, localizándose detrás del asentamiento.

➤ **Ladera corta escarpada en suelo residual (Dlcesr)**

Geoforma que a nivel local se observa como una vertiente de alta pendiente, convexa, muy rugosa, de unos 50 m de largo, con pendiente mayor a 45°, localizándose detrás del asentamiento. Esta superficie se encuentra desarrollada sobre los suelos residuales del miembro volcánico, por tal motivo, debido a sus altas pendientes, se encuentra susceptible a procesos de remoción en masa.



Figura 175. Vertiente izquierda del elemento geomorfológico denominado Ladera corta empinada en suelo residual.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se presenta la distribución porcentual de cada unidad geomorfológica en el centro poblado.

➤ **Ladera coluvial corta empinada (Dlccoem)**

Laderas coluviales de longitud menor a 200 metros, pendientes entre los 30° y 45°, de aspecto rugoso. Asociadas a depósitos de flujos de lodos y escombros.

Tabla 159. Representación de cada unidad geomorfológica en porcentaje del centro poblado La Valeria.

Centro Poblado La Valeria		
Unidad Geomorfológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Cono aluviotorrencial	2,16	65,4%
Lóbulo coluvial medio	0,41	12,4%
Ladera coluvial corta empinada	0,02	0,7%
Ladera corta empinada en suelo residual	0,17	5,1%
Ladera corta escarpada en suelo residual	0,01	0,4%
Ladera media empinada en suelo residual	0,53	16,0%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

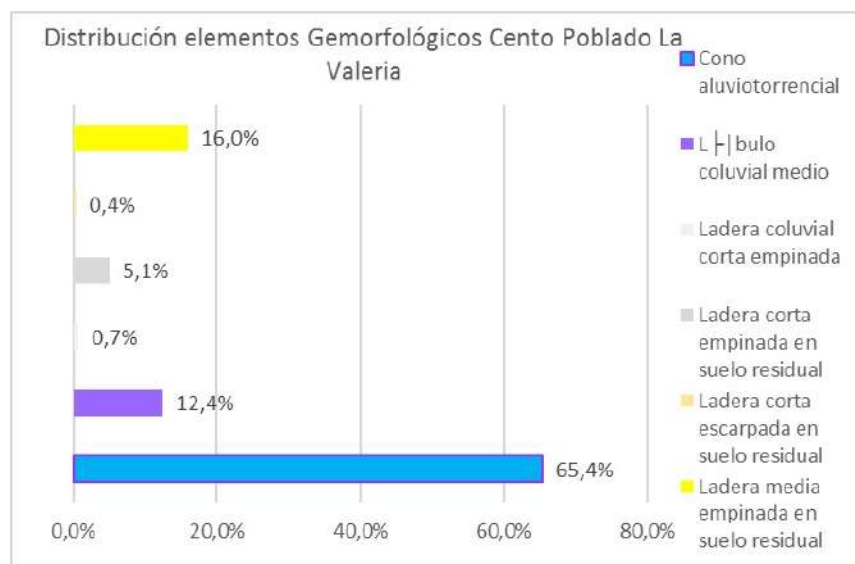


Gráfico 64. Distribución de unidades geomorfológicas en el centro poblado La Valeria.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.10.4 Procesos morfodinámicos

En el centro poblado La Valeria, no se observan procesos de remoción en masa activos. Esto es producto de las pendientes suaves que se presentan en la mayoría de la zona. Sin embargo, se observan depósitos de deslizamiento producto de la desestabilización de la ladera que se encuentra en dirección a las viviendas.

7.6.10.5 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

El centro poblado La Valeria, se encuentra mayoritariamente clasificado en una zona de amenaza baja en un 70%.; esta área presenta zonas con vertientes suavizadas, convexas con pendientes entre 5-15°, representada por los depósitos de deslizamiento. Las áreas de amenaza media por movimientos en masa se caracterizan por tener vertientes moderadas, de pendientes entre 15-30° y por último está la amenaza alta, la cual representa el 8,8% y está asociada principalmente a las vertientes empinada, las cuales están afectadas por procesos de reptación producto de la ganadería con pendientes entre 30-45°.

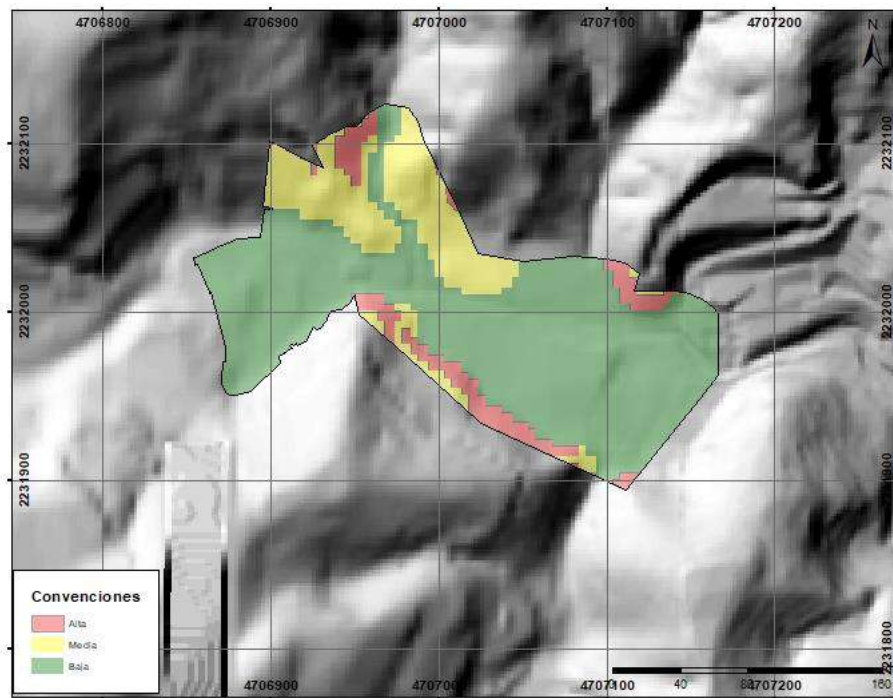


Figura 176. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado La Valeria.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

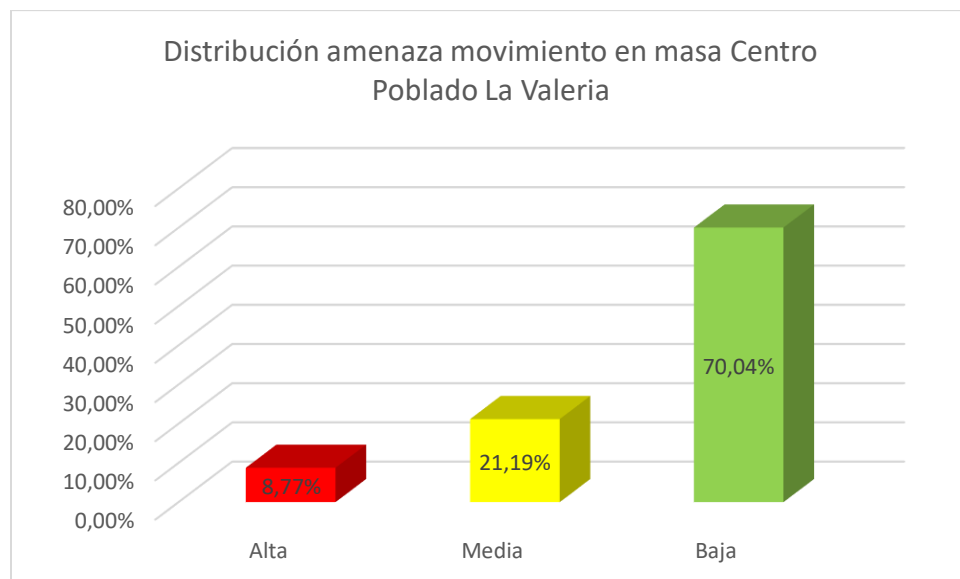


Gráfico 65. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado La Valeria.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.10.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

De acuerdo con la amenaza por inundación en el municipio, el centro poblado de La Valeria presenta una zona de amenaza por inundación asociada al cauce de la quebrada La Valeria, en las llanuras y/o terrazas presentes en la zona.

Estas zonas ocupan una considerable extensión de la parte baja de la vertiente, donde se observa una alta densidad de ocupación. Estas zonas se caracterizan por ser de topografía ondulada a plana de pendientes suaves a localmente moderadas. Su favorable configuración geométrica y la presencia de la corriente antes descrita generan unas condiciones favorables para la generación de fenómenos de inundación.

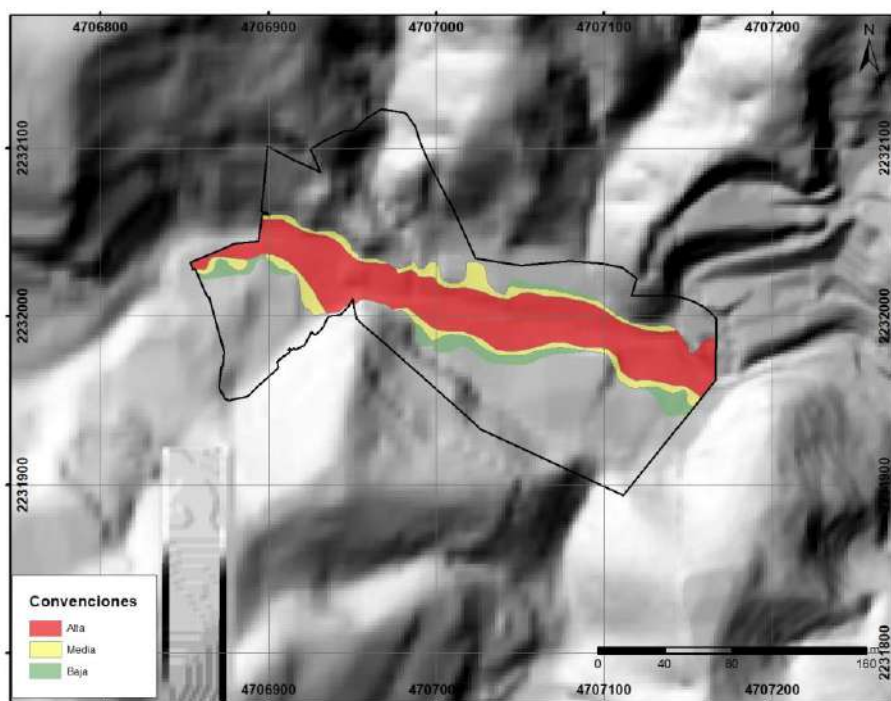


Figura 177. Mapa de amenaza por inundación para el centro poblado La Valeria.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Respecto las avenidas torrenciales el 44,2% del centro poblado no tiene amenaza, Referente a las zonas con amenaza, esta se asocia a los depósitos aluviotorrenciales, siendo las evidencias geomorfológicas las que priman en estos sectores. La amenaza alta representa el 46,8% del centro poblado y las zonas de a amenaza medida tiene una 3,2% y la se amenaza baja tiene un porcentaje de 6,8%.

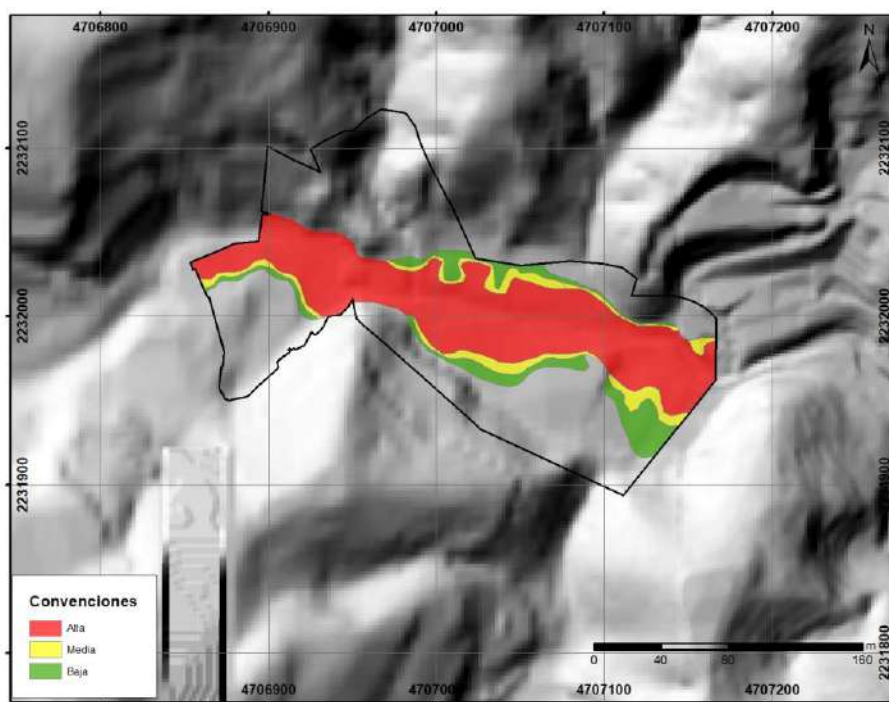


Figura 178. Mapa de amenaza por avenida torrencial para el centro poblado La Valeria.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.11 CENTRO POBLADO EL RAIZAL QUIEBRAPATAS

7.6.11.1 Geología Local

En el centro poblado Quiebrapatras se encuentran 2 unidades geológicas, representadas por los miembros Volcánico y Volcanosedimentario de Quebradagrande. Estas unidades serán descritas a continuación.

➤ Miembro Volcanosedimentario (KvsQG)

Esta unidad aflora sobre la mayor parte del centro poblado, cubriendo un área de 1,02 ha, representando el 91,3% de la zona; son cuerpos de lutitas con una orientación norte-sur, que están en contacto fallado dentro del miembro volcánico.

➤ Miembro Volcánico (KvQG)

Unidad que aflora al oeste, cubriendo aproximadamente 0,1 ha y representando el 8,7% del centro poblado. Este cuerpo se localiza en la parte baja de la vertiente, caracterizándose por presentar pendientes suaves y uniformes, en donde se han desarrollado suelos residuales de espesores de menos de 2m, con una matriz limo-arcillosa de color café-amarillento. En esta zona no se alcanzan a reconocer estructuras ni minerales de la roca original.

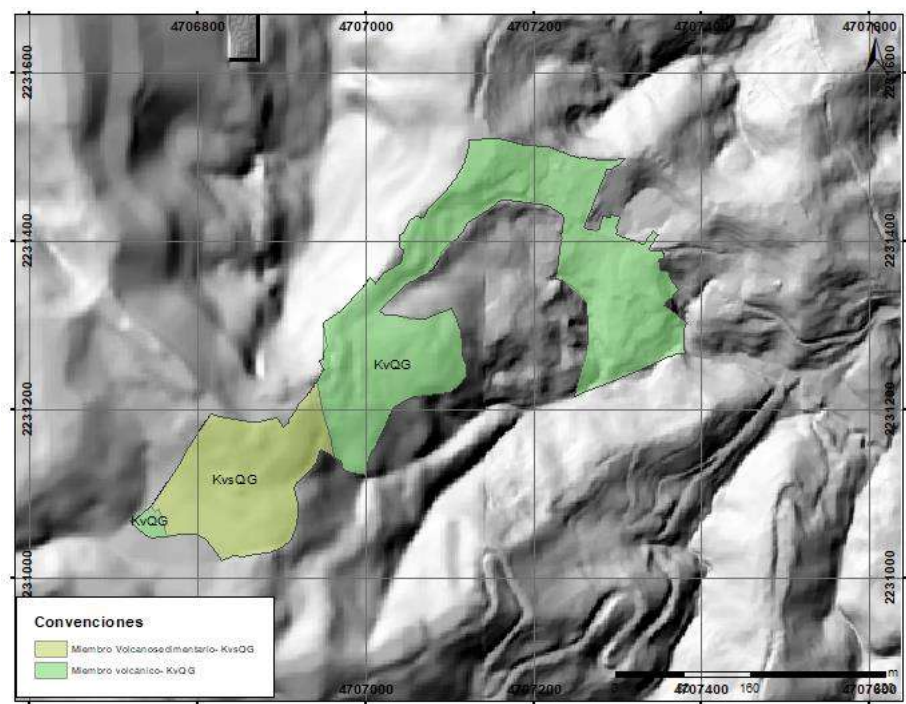


Figura 179. Mapa de unidades geológicas del centro poblado Quiebrapatas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada unidad geológica en el centro poblado.

Tabla 160. Representación de cada unidad geológica en porcentaje del centro poblado El raizal Quiebrapatas.

Centro Poblado Quiebrapatas		
Unidad Geológica	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Miembro Volcanosedimentario	1,02	91,3%
Miembro volcánico	0,10	8,7%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

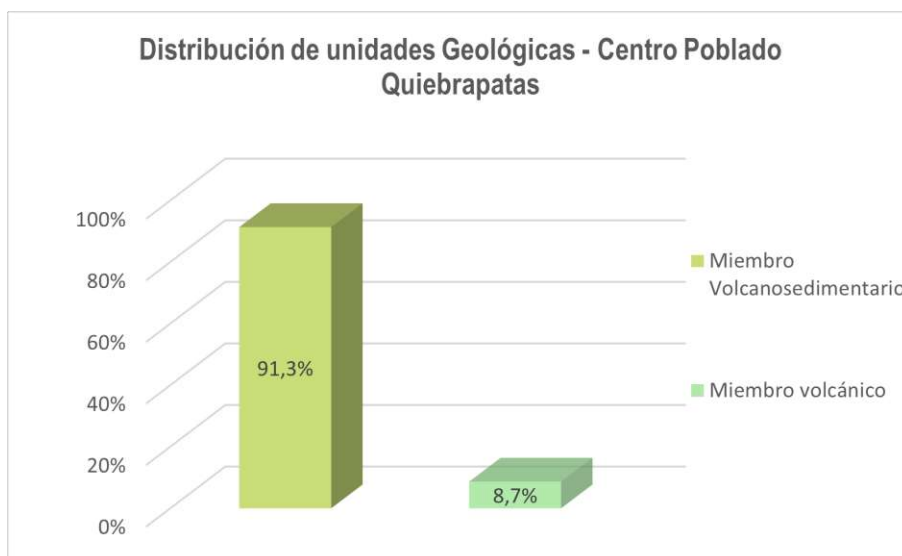


Gráfico 66. Distribución de unidades geológicas en el centro poblado Queiebrapatas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.11.2 Formaciones superficiales locales

Este centro poblado tiene sólo dos formaciones superficiales, ambas de tipo residual como son los suelos derivados del volcánico de Quebradagrande, que es la formación de mayor extensión y los suelos derivados del Volcanosedimentario de Quebradagrande.

➤ Suelo residual de volcánico de Quebradagrande

Esta unidad cubre el 71,2% del centro poblado, se presenta como un cuerpo en la parte oriental. Estos suelos corresponden a suelos residuales y saprolito (Horizontes V y VI), de hasta 4 m de espesor, infrayacidos por un nivel de transición suelo roca (Horizonte IV), de las rocas volcánicas de Quebradagrande. El suelo residual es limos arcilloso pardo amarillento y el saprolito es limos arenosos a arcillosos y tiene la misma coloración y presencia de fragmentos de roca, altamente meteorizados, el nivel de transición es una mezcla del saprolito con mayor contenido de fragmentos de roca, igualmente meteorizados y ningún nivel presenta estructuras heredadas de la roca parental.

➤ Suelo residual de Volcanosedimentario de Quebradagrande

Esta unidad cubre el 28,8% del centro poblado, se presenta como un cuerpo hacia la parte oeste. Estos suelos corresponden a suelos residuales se caracterizan por ser limosos a limo arenosos, sin estructura de roca parental.

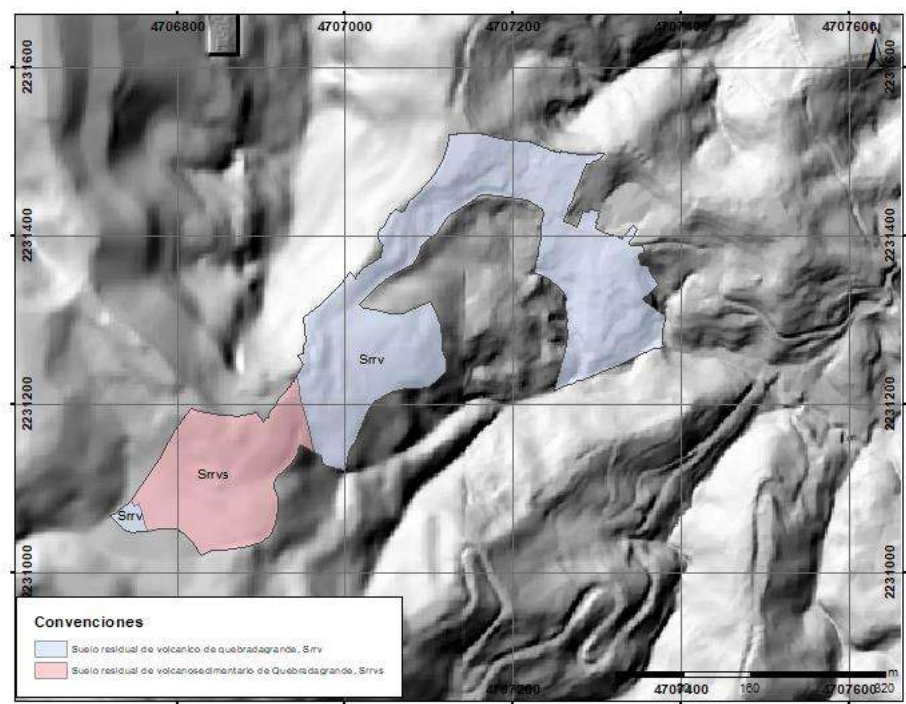


Figura 180. Mapa de formaciones superficiales del centro El Raizal Quiebrapatas
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

A continuación, se describen el % que representa cada formación superficial en el centro poblado.

Tabla 161. Representación de cada formación superficial en porcentaje del centro Poblado La Valeria

Centro Poblado El raizal Quiebrapatas		
Formación Superficial	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Suelo residual de volcánico de Quebradagrande	6,19	71,2%
Suelo residual de Volcanosedimentario de Quebradagrande	2,50	28,8%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

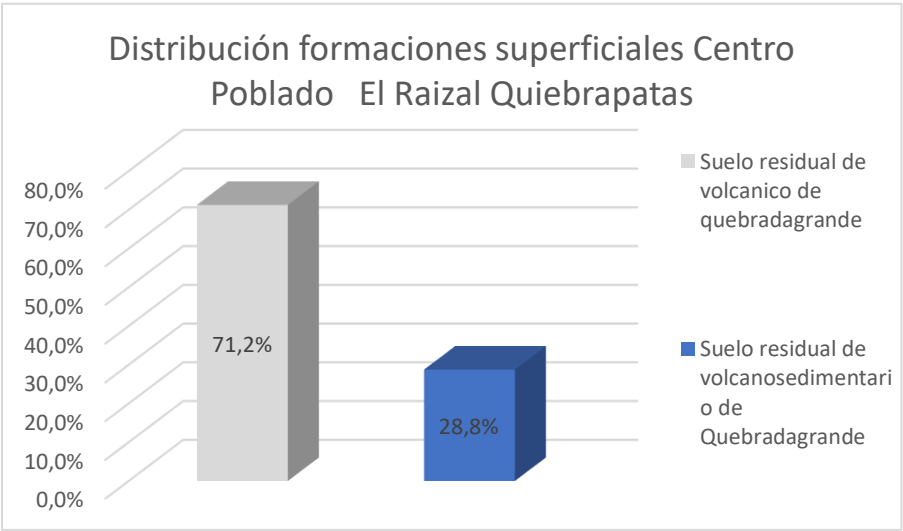


Gráfico 67. Distribución de formaciones superficiales en el centro poblado El racial Quiebrapatas
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.11.3 Geomorfología Local

Las geoformas presentes en el centro poblado El Raizal Quiebrapatas, comprenden principalmente a ambientes denudacionales, los cuales corresponden a una escala local a superficies suaves irregulares y a vertientes moderadas poco incisadas.

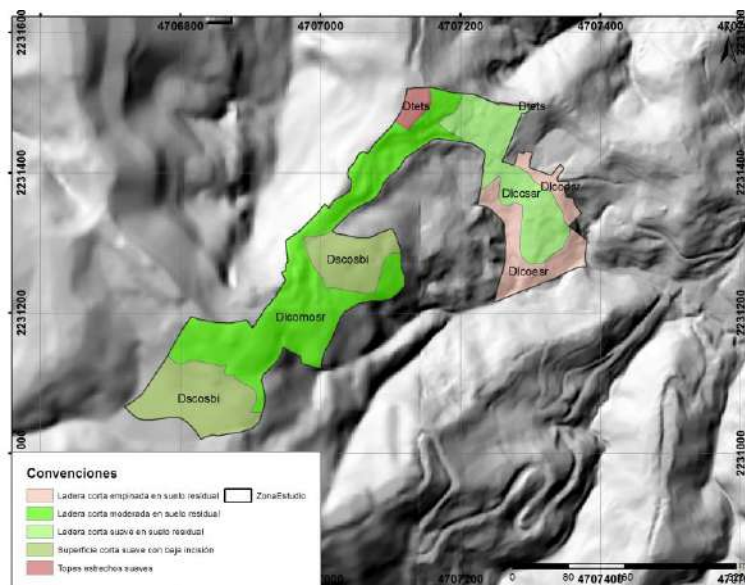


Figura 181. Mapa de unidades geomorfológicas del centro poblado Quiebrapatas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

➤ Superficie corta suave con baja incisión (Dscsbi)

Superficie de morfología suave a ondulada, de rugosidad uniforme a casi uniforme en algunos sectores, convexas, con inclinaciones en promedio de 5° - 15° . En esta geoforma se ubican la mayoría de las viviendas, cubriendo aproximadamente 2,2 ha, representando el 25,28% del área, siendo así la unidad geomorfológica de mayor extensión en la zona.

➤ Ladera corta moderada en suelo residual (Dicomosr)

Ladera localizada en la parte norte y oriente del centro poblado con una dirección N-S, cubriendo aproximadamente 3,7 ha. Se caracteriza por presentar pendientes y una rugosidad moderada, convexas, con inclinaciones entre 15° - 30° ; la unidad no ha sido afectada por grandes procesos denudativos, siendo los principales agentes de erosión las aguas de escorrentía.

➤ Topes estrechos suaves (Dtes)

Topes de aspecto suavemente ondulado, con pendientes que van de los 5° a 15°, presentan índice de curvatura plano, predominantemente y rugosidad uniforme a casi uniforme. Se desarrollan principalmente sobre los suelos residuales de las rocas pertenecientes al Miembro volcánico (KvQG).

➤ **Ladera corta empinada en suelo residual (Dlcoemsr)**

Este tipo de laderas se distinguen por presentar longitudes cortas, menores de 200 metros y pendientes que son principalmente empinadas, es decir, en el rango que va de los 30° a 45° de inclinación y se encuentran limitados por drenajes subparalelos. En general, se encuentran dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general N-S de la región.

➤ **Ladera corta suave en suelo residual (Dlcossr)**

Son superficies con longitud menor a 200 metros, con pendientes principalmente entre el rango de 5° a 15°, casi uniformes a moderadamente rugosas, convexas a planas generalmente ubicadas en zonas de piedemonte o zonas intermedias de las vertientes, desarrolladas en suelo residual de los miembros volcánico y volcanosedimentario de Quebradagrande.

A continuación, se presenta la distribución porcentual de los elementos geomorfológicos en el centro poblado.

Tabla 162. Representación de cada elemento geomorfológico en porcentaje del centro poblado El Raizal Quiebrapatas.

Centro Poblado El Raizal Quiebrapatas		
Elemento Geomorfológico	Área (hectáreas)	Porcentaje
Ladera corta empinada en suelo residual	1,08	12,39%
Ladera corta moderada en suelo residual	3,67	42,26%
Ladera corta suave en suelo residual	1,55	17,77%
Superficie corta suave con baja incisión	2,20	25,28%
Topes estrechos suaves	0,20	2,30%

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

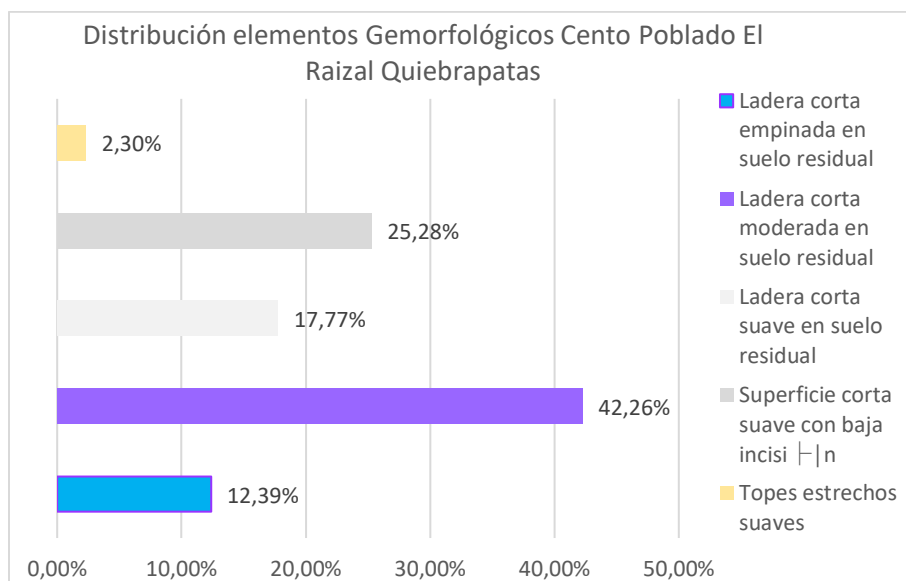


Gráfico 68. Representación de cada unidad geomorfológica en % del centro poblado Quiebrapatas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.11.4 Procesos morfodinámicos

En el centro poblado Quiebrapatas, no se observan procesos de remoción en masa activos. Sin embargo, producto de los cortes para uso residencial pueden ocasionar la desestabilización de las laderas.

7.6.11.5 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

El centro poblado El Raizal Quiebrapatas se encuentra clasificado en su mayoría por amenaza media representa el 56,4% del área, y está asociada principalmente a vertientes con pendientes moderadas, con inclinaciones entre 15-30°, la amenaza baja cubre el 34,2% del centro poblado caracterizado por ser zonas de pendientes suaves a planicies, con inclinaciones entre 0-5° y La amenaza alta cubre el 9,4% del centro y está asociado a vertientes con inclinación mayor que 30°.

El centro poblado Quiebrapatas no se encuentra clasificado en amenaza alta por movimiento en masa, esto es producto a las explicaciones realizadas y a las superficies del terreno naturales que tienden a ser zonas de baja susceptibilidad a deslizamientos.

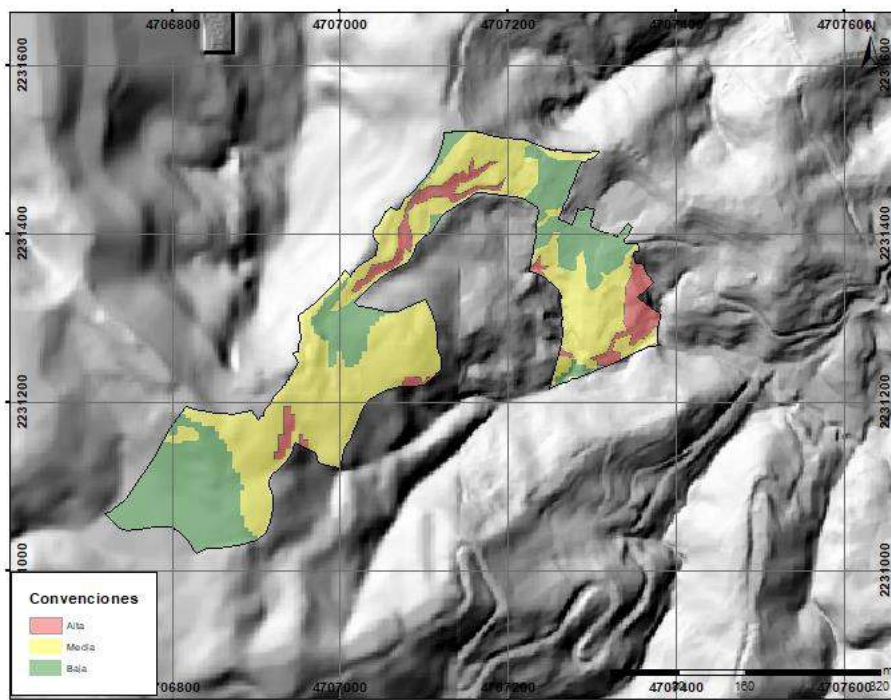


Figura 182. Mapa de amenaza por movimiento en masa para el centro poblado El raizal Quiebrapatas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

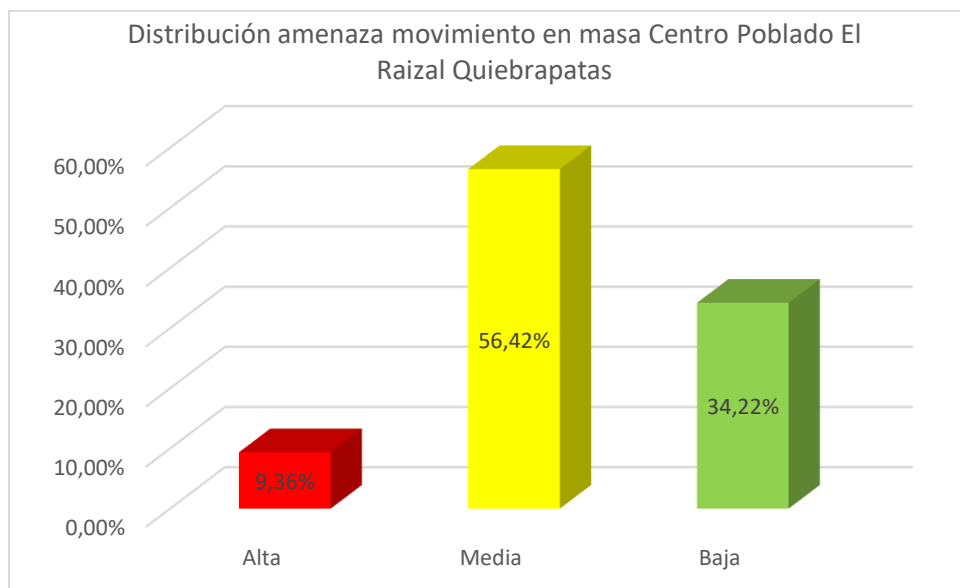


Gráfico 69. Distribución porcentual de amenaza por Movimiento en masa en el centro poblado El Raizal Quiebrapatas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

7.6.11.6 Zonificación de amenaza por inundación y avenida torrencial

En el centro poblado Quiebrapatas no presenta amenazas por inundación y avenida torrencial, localizándose en zonas altas con ausencia de afluentes que afecten la zona.

7.6.12 ANÁLISIS COMPARATIVO DE AMENAZAS EN CENTROS POBLADOS

A continuación, se presenta un análisis comparativo de las amenazas presentes en centros poblados, de acuerdo con análisis del Estudio Básico de Amenazas (UNAL & AMVA, 2018) y los resultados del presente estudio. Esto permite evaluar las condiciones de amenaza a las que han estado y estará sujeto el desarrollo de estos centros poblados.

CENTRO POBLADO	AMENAZAS 2017	AMENAZAS 2023
El Canelón	El Centro poblado predominan las categorías de amenaza media y alta por remoción en masa debido a las pendientes moderadas a fuertes, La amenaza por inundación no afecta a la zona, debido a que solo se presentan aguas efímeras en periodos de fuertes lluvias que duran algunas horas.	Respecto a la amenaza por movimiento en masa, en este centro poblado la categoría que predomina es la de amenaza media con el 68,4% del territorio, asociado a vertientes medias de suelos derivados del volcánico de Quebradagrande. A su vez, no se presenta amenaza por inundación y por avenida torrencial, presenta una franja muy pequeña de amenaza baja.
La Aguacatala	El resultado indica principalmente zonas de amenaza media y alta por remoción en masa si se tiene en cuenta las características topográficas como la fuerte pendiente, que asociado a un inadecuado manejo de las aguas superficiales genera laderas susceptibles a este tipo de procesos. Por su parte, la amenaza por inundación no afecta a la zona, debido a que solo se presentan aguas efímeras en periodos de fuertes lluvias que duran algunas horas.	La amenaza por movimiento en masa se encuentra asociada principalmente a las pendientes fuertes de las laderas y a la composición de los suelos residuales del Miembro volcánico, siendo la categoría de amenaza alta, la de mayor extensión cubriendo el 55,2% del territorio. A su vez, no se presenta amenaza por inundación y avenida torrencial, siendo solo cauces efímeros que se presentan en el centro poblado.
La Chuscala	El centro poblado está clasificado casi en su totalidad en amenaza media y baja, asociados a zonas con pendientes suaves a moderadas y en donde se han realizado obras para uso residencial. No se identificaron zonas de amenaza por inundación y avenida torrencial, siendo la quebrada adyacente al centro poblado de carácter intermitente, con poco potencial para generar este tipo de eventos.	La amenaza por movimiento en masa se encuentra distribuida 46% en las categorías media y baja y la mayor parte del territorio, el 54% en categoría alta. Se asocia principalmente a las pendientes de la zona, siendo los sectores con desarrollo de suelos residuales y pendientes fuertes a escapadas las más susceptibles a presentar procesos de remoción en masa. El acelerado proceso de construcción que se evidencia en este centro poblado, con sus posteriores consecuencias de modificación de las geoformas, el mal manejo de aguas residuales y de escorrentía, así como los cambios en los usos del suelo, podrían provocar eventos de movimientos en masa que podrían afectar infraestructura, bienes o vidas humanas. La ausencia de cauces permanentes con la capacidad de generar potencial destructible e inundable y la ubicación del centro poblado genera que la zona se encuentre ausente de eventos por inundación y avenida torrencial.
La Clara	En el Centro Poblado se presenta principalmente procesos de socavación por parte del cauce, afectando la banca en donde se encuentra la vía principal y algunas viviendas. La mayoría de la zona se encuentra	El centro poblado presenta una amplia zona de amenaza por inundación y avenida torrencial de categoría alta, asociada al cauce del río Aburrá, cuyas evidencias históricas muestran episodios de desbordamiento.

CENTRO POBLADO	AMENAZAS 2017	AMENAZAS 2023
	en amenaza alta por inundación, ubicándose sobre toda la llanura aluvial. En cuanto la amenaza por movimiento en masa predomina la categoría de amenaza baja siendo zonas planas con pendientes de menos de 5°.	La amenaza por movimiento en masa del centro poblado, se encuentra dominada por la categoría baja, con el 72,5% del territorio.
La Corrala	Las vertientes que conforman el centro poblado se encuentran clasificadas principalmente en amenaza media y alta por movimiento en masa, siendo las aguas superficiales, el mal manejo de aguas y el corte en los taludes procesos que aceleran y producen que las laderas de la zona sean susceptibles a procesos de remoción en masa. No se definió zonas de amenaza por inundación y avenida torrencial, esto es producto de la ubicación del centro poblado y a la poca capacidad de las quebradas adyacentes para generar un evento de avenida torrencial.	El centro poblado se encuentra en su mayoría clasificado en amenaza alta por movimientos en masa, siendo representado principalmente por las pendientes moderadas y los suelos residuales de los Esquistos de Caldas. No hay zonas de amenaza por inundación ni avenida torrencial, esto es producto de la ubicación del centro poblado al estar en la parte media de la vertiente sin presencia de corrientes.
La Miel	Se presentan explicaciones realizadas para construcción de viviendas que han dejado algunos taludes verticales que, debido a la filtración de aguas superficiales de la parte alta, ocasionan la desestabilización de éstos y provocan desplomes que afecta a las viviendas aledañas. Esta zona se clasifica principalmente como de amenaza media por remoción en masa. Por otra parte, se clasifica como amenaza alta por inundación las zonas aledañas a la quebrada La Miel, teniendo como principales zonas inundables las zonas clasificadas dentro de la llanura de inundación del cauce.	Respecto a los movimientos en masa, en el centro poblado predomina la categoría baja, ubicándose en la parte baja de la vertiente. con algunos sectores amenaza media y alta, asociado a algunos taludes que tienen una pendiente alta y zonas con intervención. Respecto a los eventos hidrológicos, avenida torrencial e inundación, se presenta una franja de terreno en categoría alta, a lo largo del margen de la quebrada, cubriendo entre 2 y 4 ha del territorio del centro poblado.
La Quebra	Se categoriza la mayor parte del centro poblado en amenaza media y algunas partes amenaza alta por procesos de remoción en masa, dada las características topográficas donde predominan las pendientes moderadas a empinadas. No se clasifico amenaza por inundación y avenida torrencial para este centro poblado, ubicándose en las partes altas de la vertiente.	La amenaza por movimiento en masa en el centro poblado está asociada a las zonas de mayor pendiente ubicadas en la zona noreste y sureste del área donde se presentan amenazas media-alta que cubren más del 90% del centro poblado. No se presenta amenaza por inundación ni avenida torrencial.
La Raya*	El centro poblado La Raya se encuentra principalmente clasificado en amenaza alta y media por procesos de remoción en masa, ubicándose la mayoría de la población en la parte de media de la ladera, donde predominan las pendientes empinadas y aguas de escorrentía. Se identificó una zona por amenaza por inundación en el parte norte asociado a la quebrada La Raya.	Las condiciones de amenaza por movimiento en masa del centro poblado, se encuentran en las categorías media y baja, donde las zonas de amenaza media a laderas con pendientes moderadas y las de amenaza baja a las suaves. Se presenta amenaza por avenida torrencial en la quebrada La Raya, resultado obtenido de estudio de detalle de la cuenca de La Raya.
La Salada parte baja	Se categoriza la mayor parte del centro poblado en amenaza baja y media por procesos de remoción en masa, dada las características topográficas, donde la comunidad se encuentra asentada en la cima de los lomos, en donde predominan las pendientes suaves.	La zona está clasificada mayoritariamente en amenaza baja por movimientos en masa, siendo sectores planos localizados en la parte centro y sur del centro poblado. No se presenta amenaza por inundación ni avenida torrencial.

CENTRO POBLADO	AMENAZAS 2017	AMENAZAS 2023
	No se identifica zonas de amenaza por inundación y avenida torrencial.	
La Valeria	Se categoriza la mayor parte del centro poblado en amenaza media y baja por procesos de remoción en masa, siendo zonas planas a onduladas, en donde se ubica la mayoría de las viviendas. Se observan zonas de amenaza alta en las laderas que conforman al centro poblado en la parte sur y norte, caracterizadas por ser de pendientes empinadas a moderadas. La mancha asociada a eventos de inundación se encuentra clasificada mayoritariamente en amenaza alta y está dada a la altura de la llanura aluvial.	El centro poblado La Valeria, se encuentra mayoritariamente clasificado en una zona de amenaza baja 'por movimiento en masa, siendo zonas con vertientes suavizadas, convexas con pendientes entre 5-15°, representada por los depósitos de deslizamiento. Se presenta una zona amplia de amenaza por inundación y avenida torrencial asociada a las evidencias geomorfológicas y dinámica fluvial de la quebrada La Valeria.
El Raizal Quiebrapatas	El resultado indica principalmente zonas de amenaza baja y media por remoción en masa, si se tiene en cuenta las características topográficas como las pendientes suavizadas, y los cortes realizados para actividades antrópicas han generado que se tenga una susceptibilidad baja a este tipo de procesos. No se presenta amenaza por inundación y avenida torrencial.	El centro poblado Quiebrapatas se encuentra casi en su totalidad clasificado en amenaza baja y media por procesos de movimiento en masa. En esta zona no se presenta amenaza por inundación y avenida torrencial, esto es debido a la ubicación del centro poblado en la parte alta de la ladera y a la presencia drenajes intermitentes que no tienen la suficiente energía para generar eventos con potencial destructible.

7.6.13 ÁREAS DE POBLACIÓN LIMÍTROFES AL PERÍMETRO URBANO CON TRATAMIENTO DE ESCALA URBANA

Como parte del análisis para la zonificación de amenaza para las diferentes clasificaciones del suelo y según la nueva normativa de gestión del riesgo para los estudios básicos de amenaza, se toman a consideración áreas de población que se encuentran limitando al perímetro urbano, que se deben analizar con respecto a las amenazas definidas en el presente estudio a una escala urbana.

En la Figura 183, Figura 184 y Figura 185 y en la Tabla 163, se muestra las áreas del suelo no perteneciente al área urbana que se analizó bajo la amenaza por movimiento en masa, inundación y avenida torrencial tratándolas a una escala urbana.

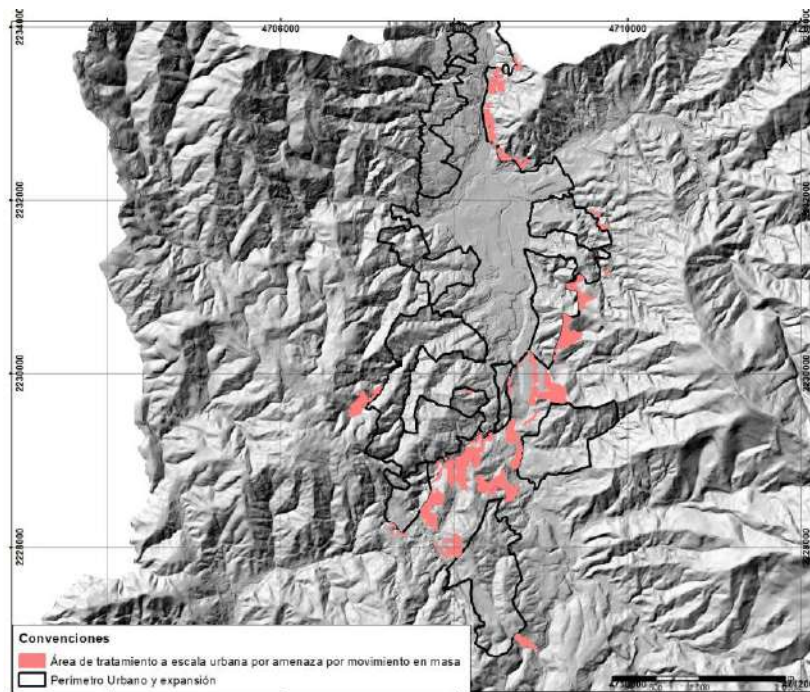


Figura 183. Mapa de áreas de población limítrofes al perímetro urbano con tratamiento a escala urbana por amenaza por movimiento en masa.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023).

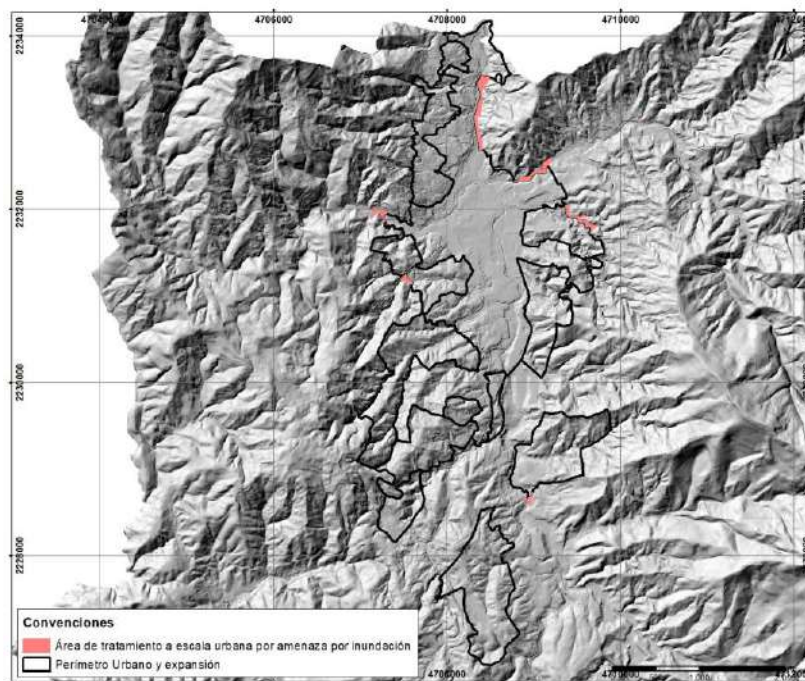


Figura 184. Mapa de áreas de población limítrofes al perímetro urbano con tratamiento a escala urbana por amenaza por inundación.

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

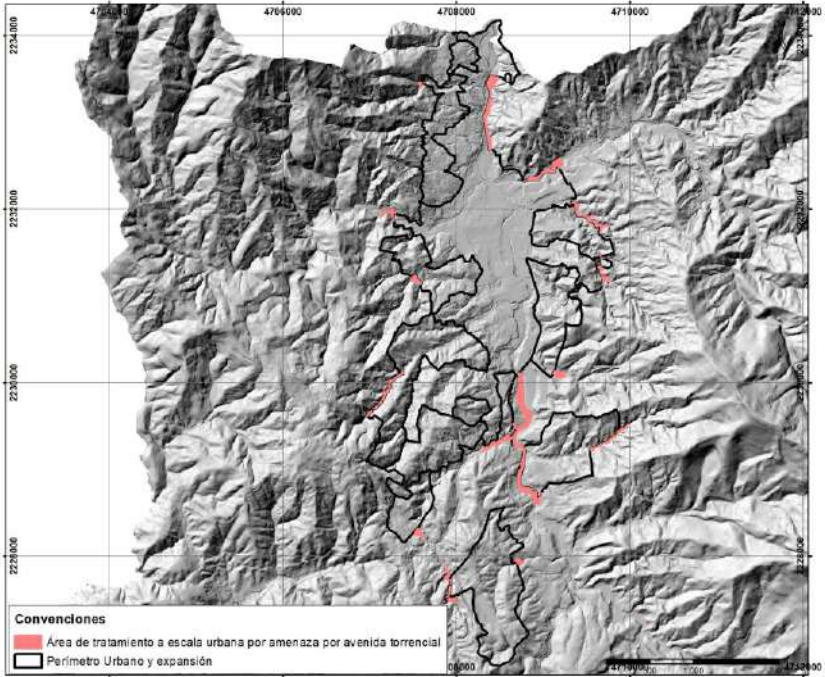


Figura 185. Mapa de áreas de población limítrofes al perímetro urbano con tratamiento a escala urbana por amenaza por avenida torrencial.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

Tabla 163. Áreas de población limítrofes al perímetro urbano con tratamiento a escala urbana por amenaza por movimiento en masa.

Tipo de Evento	Área (Ha)
Avenida torrencial	21,71
Inundación	6,53
Movimiento en masa	57,57

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2023)

8. DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO Y AMENAZA

Para la determinación de las áreas con condición de riesgo y con condición de amenaza por movimientos en masa, inundación y avenida torrencial en el municipio de Caldas, se analiza las categorías de amenaza alta y media de la zonificación resultante en el documento diagnóstico con los elementos expuestos y las áreas con proyección de desarrollo sobre el territorio. A continuación, se presentan estas áreas de acuerdo con la clasificación de suelo propuesta.

Estas áreas serán objeto de la elaboración de estudios de detalle de riesgo definido en el artículo 2.2.2.1.3.2.2.1 del decreto 1077 de 2015, para los cuales, en el numeral 2.4.4 se definen los lineamientos de elaboración los mismos.

Considerando que para la cuenca de la quebrada La Raya, límite entre Caldas y La Estrella, existe un estudio de riesgo de detalle, para los tres eventos, movimiento en masa, inundación y avenida torrencial, en los que se zonificó el riesgo (AMVA, 2019), los suelos de esta cuenca fueron excluidos de esta delimitación.

8.1 DELIMITACIÓN DE ÁREAS EN CONDICIÓN DE RIESGO (ACR)

La delimitación de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa, inundación y avenida torrencial en el municipio de Caldas analiza la categoría alta de amenaza resultante, así como las zonas de amenaza media para las cuales en la revisión del PBOT tal como lo define el artículo 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto Nacional 1077 de 2015: *“Las zonas de amenaza media para las cuales en la revisión o expedición de un nuevo POT se proponga el cambio de densidad o un cambio en los usos del suelo que pueda generar o incrementar el riesgo en la zona, se consideran como áreas con condición de riesgo”*. Estas categorías de amenaza se cruzan con los elementos expuestos, es decir, viviendas, equipamientos y demás infraestructura presente en el territorio y es transversal a todas las categorías de clasificación del suelo.

En el municipio las áreas con condición de riesgo representan un 1,5% respecto al área total del municipio, siendo la más representativa las áreas pertenecientes al perímetro urbano, donde la mayoría de los elementos expuestos están en condición de riesgo por avenida torrencial debido a la dinámica del río Aburrá y sus afluentes. Las áreas que se determinaron son priorizadas para la realización de estudios detallados.

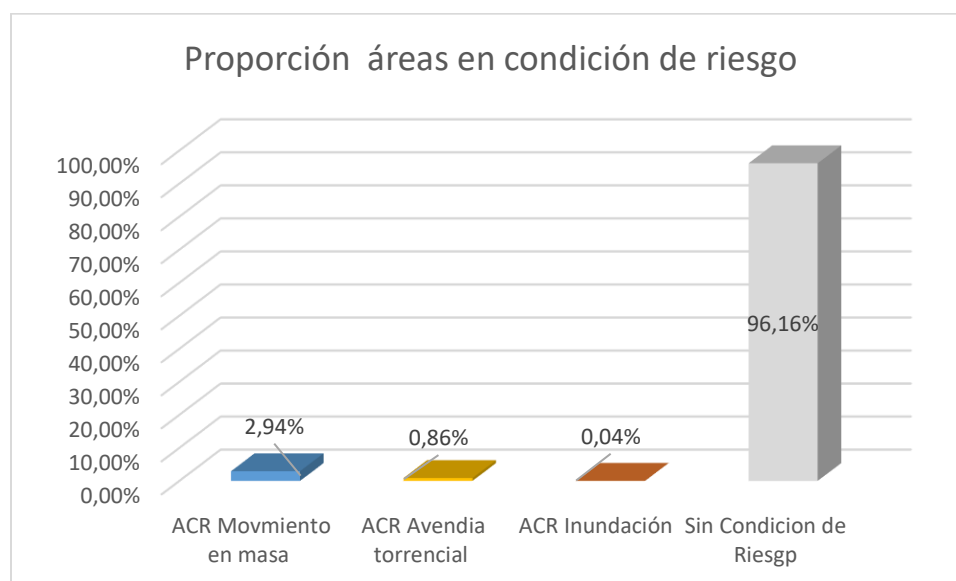


Figura 186. Proporción de áreas con condición de riesgo respecto al municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

Adicionalmente, estas áreas se categorizan de acuerdo con la prioridad en la ejecución de estudios detallados, así: prioridad alta corresponde al corto plazo, prioridad media al mediano plazo y prioridad baja al largo plazo.

El análisis realizado se da con respecto a la clasificación del suelo actual establecida por el municipio, evaluando las diferentes categorías: urbano, expansión, suburbano, centros poblados y parcelación, además la prioridad de dichas zonas se define con respecto a la ocurrencia de eventos.

8.1.1 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA

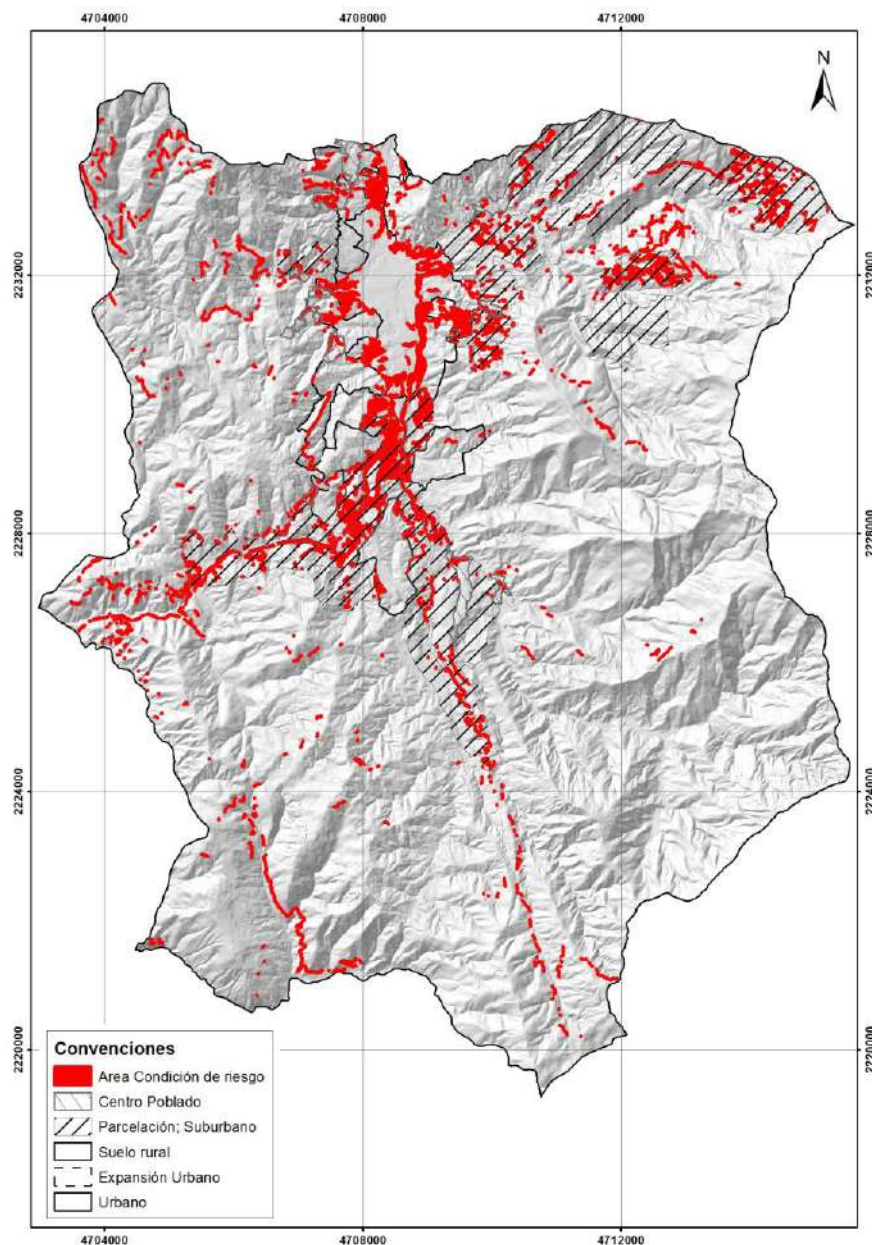


Figura 187. Áreas con condición de riesgo por movimiento en masa para el municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.1.1 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión

Las áreas con condición de riesgo por movimiento en masa representan 8,6 % del área total de este suelo. Estas se distribuyen en los límites del perímetro urbano, en donde se observan laderas de fuerte pendiente

aledañas a los afluentes del río Aburrá. Estos drenajes en épocas de lluvias, cuando sufren crecientes, aumentan la capacidad de erosión lateral y socavamiento de orillas, provocando movimientos en masa. En la zona urbana los sectores más afectados son La planta, Villacapri y la Chuscala. Que presentan procesos relacionados, asociado a sus fuertes pendientes y a antiguos procesos morfodinámicos que se evidencian por su forma cóncava y acumulación de materiales en la base. Otras zonas afectadas corresponden a los barrios Buenavista y Buena Esperanza los cuales se encuentran dispuestos en niveles de terrazas depositados por el río Aburrá. Otros barrios que se encuentran en condición de riesgo por movimientos en masa corresponden a los barrios La Planta, El Hoyo y Andalucía, los cuales, por su ubicación en la parte media de la ladera en donde predominan las fuertes pendientes y sumado al mal manejo de aguas de escorrentía ponen en riesgo a las viviendas presentes y las ubicadas laderas abajo.

En la tabla a continuación se presentan las áreas en condición de riesgo por este fenómeno en suelo urbano, clasificadas acorde a su prioridad en tres niveles, alta, media y baja, donde este criterio se define acorde a la recurrencia de los eventos y el nivel de actividad de los procesos morfodinámicos que afectan cada zona.

Tabla 164. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo urbano y expansión.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO URBANO Y EXPANSIÓN		
SECTOR LA RAYA Y EL CANO	Deslizamientos rotacionales en vertientes	MEDIA
La Planta, Villacapri La Chuscala	Amplias zonas con vertientes moderadas, en suelos de depósitos.	MEDIA
SECTOR PRIMAVERA	Procesos de remoción en masa en las laderas que contienen a la quebrada La Rápida. Estos procesos son de considerable extensión y están asociados a la inestabilidad de los suelos residuales del Miembro volcánico frente a periodos de fuertes lluvias. Se localizan centros educativos como la Institución educativa Darío Gutiérrez Rave, la cual en su parte trasera, en la ladera que la contiene, se encuentra en condición de riesgo por movimiento en masa poniendo en riesgo ladera abajo a la infraestructura y vidas humanas.	MEDIA
SECTOR DE LA CIUDADELA REAL	En el barrio de La Ciudadela Real se encuentran algunas laderas en condición de riesgo asociadas a pendientes empinadas con inclinaciones entre 30-45°.	BAJA
SUELO URBANO	Barrios Andalucía, Buenavista, Buena Esperanza, La Corrala parte baja, La Planta, El Pombal, El Hoyo, San Judas, y en algunos sectores como La Aguacatala, El Cano, La Chuscala y Mandalay parte media y baja.	BAJA
Zona de expansión Z2 DE 01	Se presentan algunas zonas localizadas en la parte noreste en la parte alta del barrio de las Margaritas y Fundadores.	BAJA

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO URBANO Y EXPANSIÓN		
Zona de expansión Z2 DE 03	Zonas con condición de riesgo (calle 116 sur), asociadas a la socavación de la quebrada La Aguacatala y al mal manejo de aguas.	BAJA
Zona de expansión Z2 DE 05	No presenta ACR.	BAJA
Zona de expansión Z2 DE 06	No presenta ACR.	BAJA
Zona de expansión Z2 DE 7	Zonas asociadas a terrenos con pendientes moderadas a altas e intervenciones de construcciones a lo largo de la vía.	BAJA
Zona de expansión Z3 DE 03	Zona pequeña asociada a intervención de una vía.	BAJA
Zona de expansión Z3 DE 04	En el tramo oriental del sector de La Chuscala en límites con el suelo urbano, se presenta una zona afectada.	BAJA
Zona de expansión Z3 DE 05	Las laderas que contienen la quebrada La Lejía se encuentran en condición de riesgo por movimientos en masa, producto de la incisión generada y el lavado de los suelos superficiales del miembro volcánico de Quebradagrande.	MEDIA
Zona de expansión Z3 DE 06	En el sector de La Chuscala se presentan procesos asociados a vías en suelos derivados de la Formación Quebradagrande.	BAJA
Zona de expansión Z3 DE 07	Se presentan cicatrices de procesos asociadas a vertientes moderadas a altas en suelos de la Formación Quebradagrande.	BAJA
Zona de expansión Z3 DE 08	Presenta cicatrices de procesos asociados a terrenos de vertientes altas y moderadas, con intervención antrópica, en el sector Primavera, en cercanías a la variante.	MEDIA
Zona de expansión Z3 DE 09	Procesos asociados a intervención en los cortes de la vía del ferrocarril, para ocupación por viviendas.	ALTA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

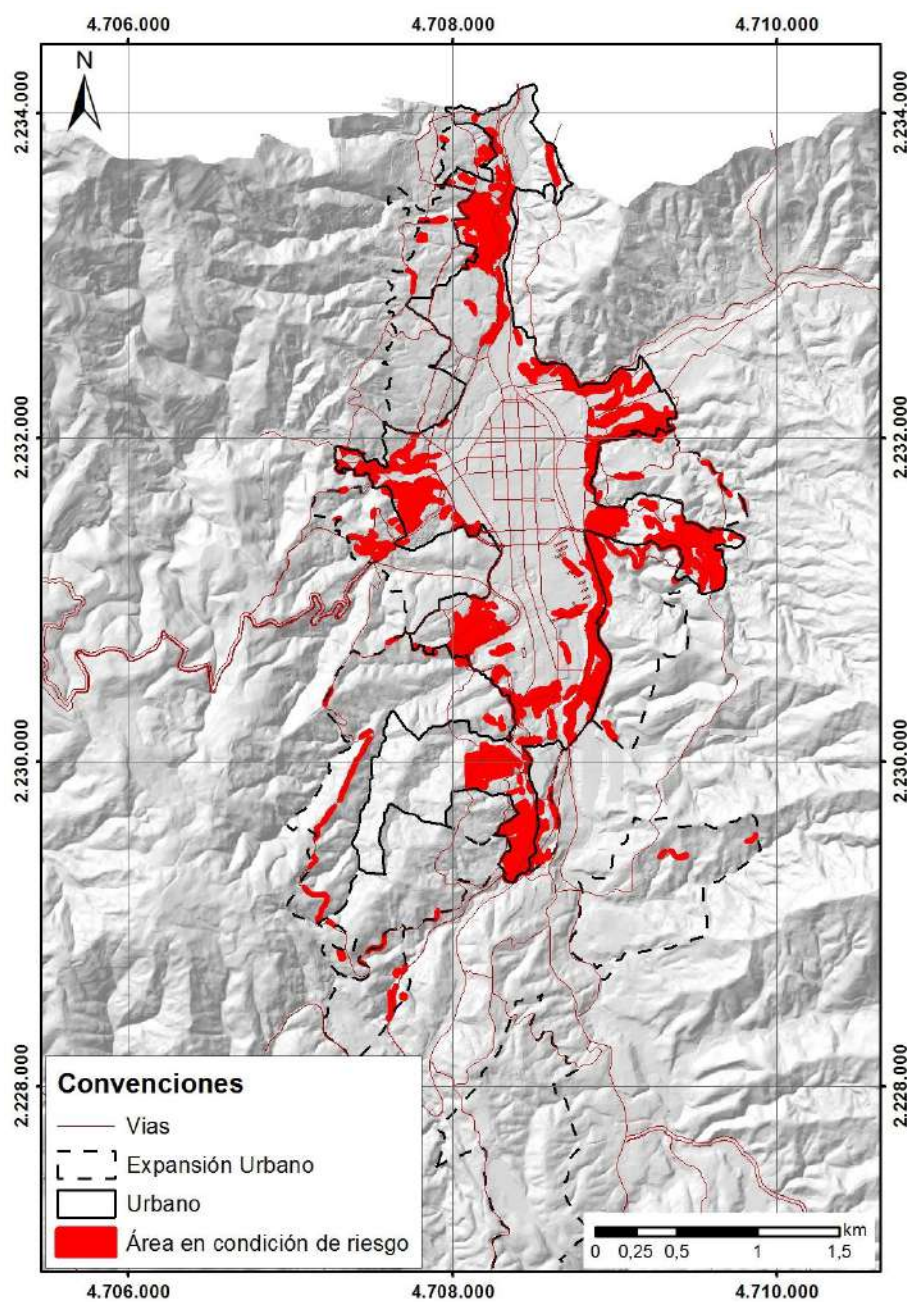


Figura 188. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo urbano y expansión.

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.1.2 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelos de desarrollo restringido

Las áreas con condición de riesgo en los suelos en categoría de desarrollo restringido, es decir, suelos suburbanos, centros poblados y vivienda campestre o parcelaciones, corresponden a zonas categorizadas como de amenaza alta y en algunos casos media que se superponga con infraestructura como equipamientos, vías o unidades habitacionales.

8.1.1.2.1 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo suburbano y parcelación

Para la categoría de suelo suburbano y parcelaciones campestres, las áreas con condición de riesgo por movimiento en masa se distribuyen en sectores de las veredas La Aguacatala, La Corrala, La Salada parte baja, Salinas, además se presentan zonas en riesgo por la vía antigua del ferrocarril y por el sector de los contenedores de la variante de Caldas. Estas áreas son categorizadas según la amenaza definida en el diagnóstico, la ubicación y a los eventos históricos que han ocurrido en las inmediaciones de cada sector.

Las zonas definidas como con condición de riesgo por movimiento en masa en suelo suburbano cubren 85,8 ha representado el 5,8% de dicho suelo, en contraste se presenta solo un sector con condición de riesgo en las zonas clasificadas como parcelación.

Tabla 165. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo suburbano.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO SUBURBANO		
LA MIEL	Vertientes moderadas a altas con intervención para construcciones y densidad moderada de uso.	MEDIA
LA CORRALA	Evidencias de procesos morfodinámicos antiguos localizados en la parte baja de la vertiente. Taludes de altas pendientes, expuestos sin la presencia de un sistema de drenaje.	MEDIA
LA SALADA PARTE BAJA	Taludes subverticales en dirección al río Aburrá producto de cortes antrópicos realizados para la construcción de botaderos, industrias y estaciones de servicio.	MEDIA
LA PINTADA	Cicatrices de procesos asociados a vertientes moderadas a altas en suelos de diferentes orígenes, igualmente amplias zonas de explanación para intervención de llenos.	MEDIA
SUROESTE	Cicatrices de procesos asociados a vertientes moderadas a altas en suelos de diferentes orígenes, igualmente amplias zonas de explanación y cortes.	MEDIA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

Tabla 166. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo de parcelación.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO DE PARCELACIÓN		
LA VALERIA	Zonas con condición de riesgo asociadas a fuertes pendientes con desarrollo de suelos de gran espesor.	BAJA

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO DE PARCELACIÓN		
PRIMAVERA	ACR asociadas a intervenciones en terrenos de pendientes moderadas a altas en suelos de gran espesor.	MEDIA
LA QUEBRA	Pequeñas zonas de ACR asociadas a cortes en suelos de gran espesor.	BAJA
LA CORRALA	Procesos asociados en suelos de gran espesor en superficies de pendiente moderada a alta.	BAJA
LA MIEL 1	ACR aisladas asociadas a cortes en terrenos de pendiente moderada.	BAJA
LA MIEL 2	Procesos a lo largo de los cauces de las corrientes, cicatrices en suelos de pendiente moderada.	MEDIA
LA MIEL 3	Cicatrices asociadas a terrenos de pendiente moderada en suelos espesos, y ACR a lo largo de cortes viales.	BAJA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

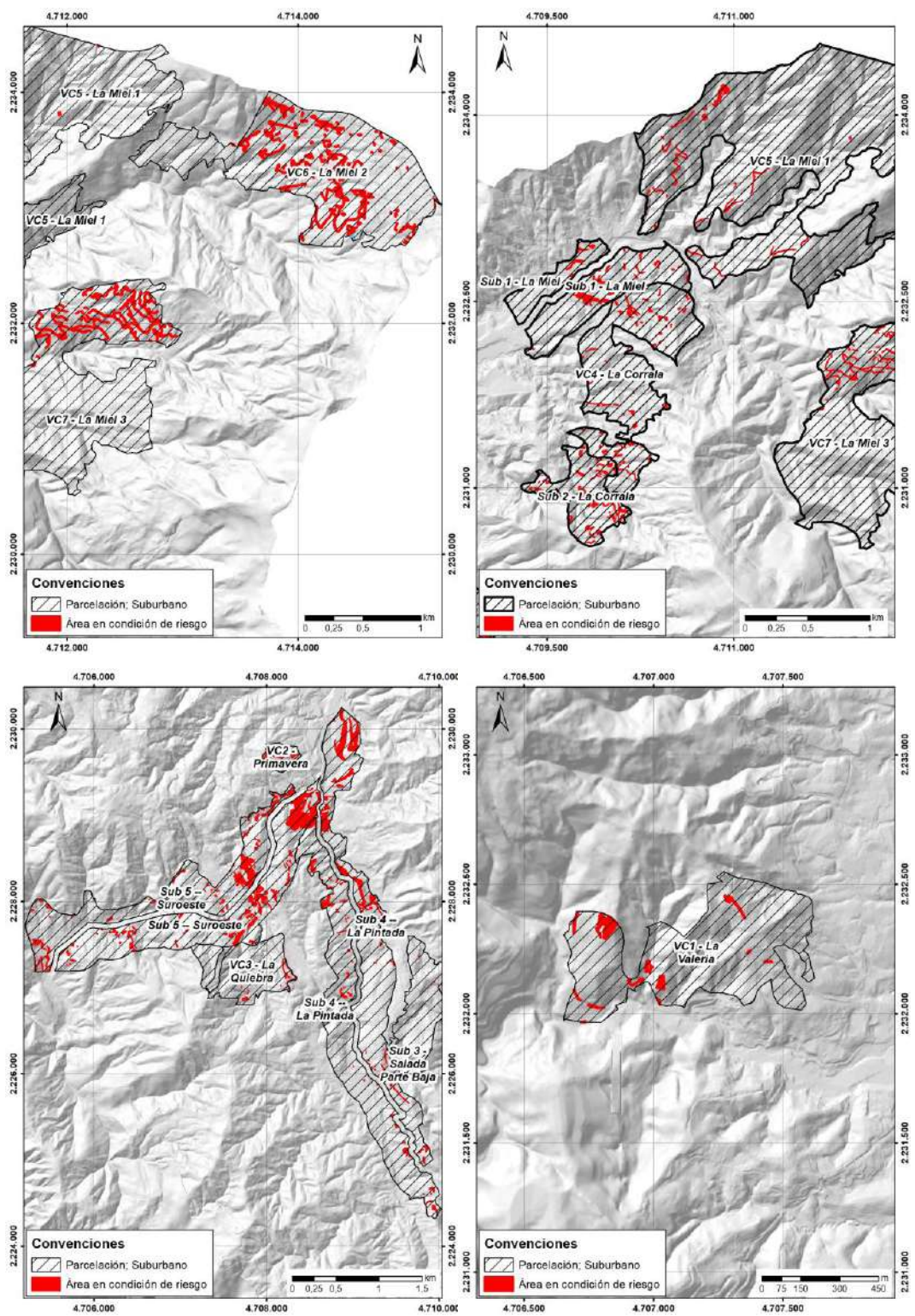


Figura 189. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo suburbano y parcelación
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

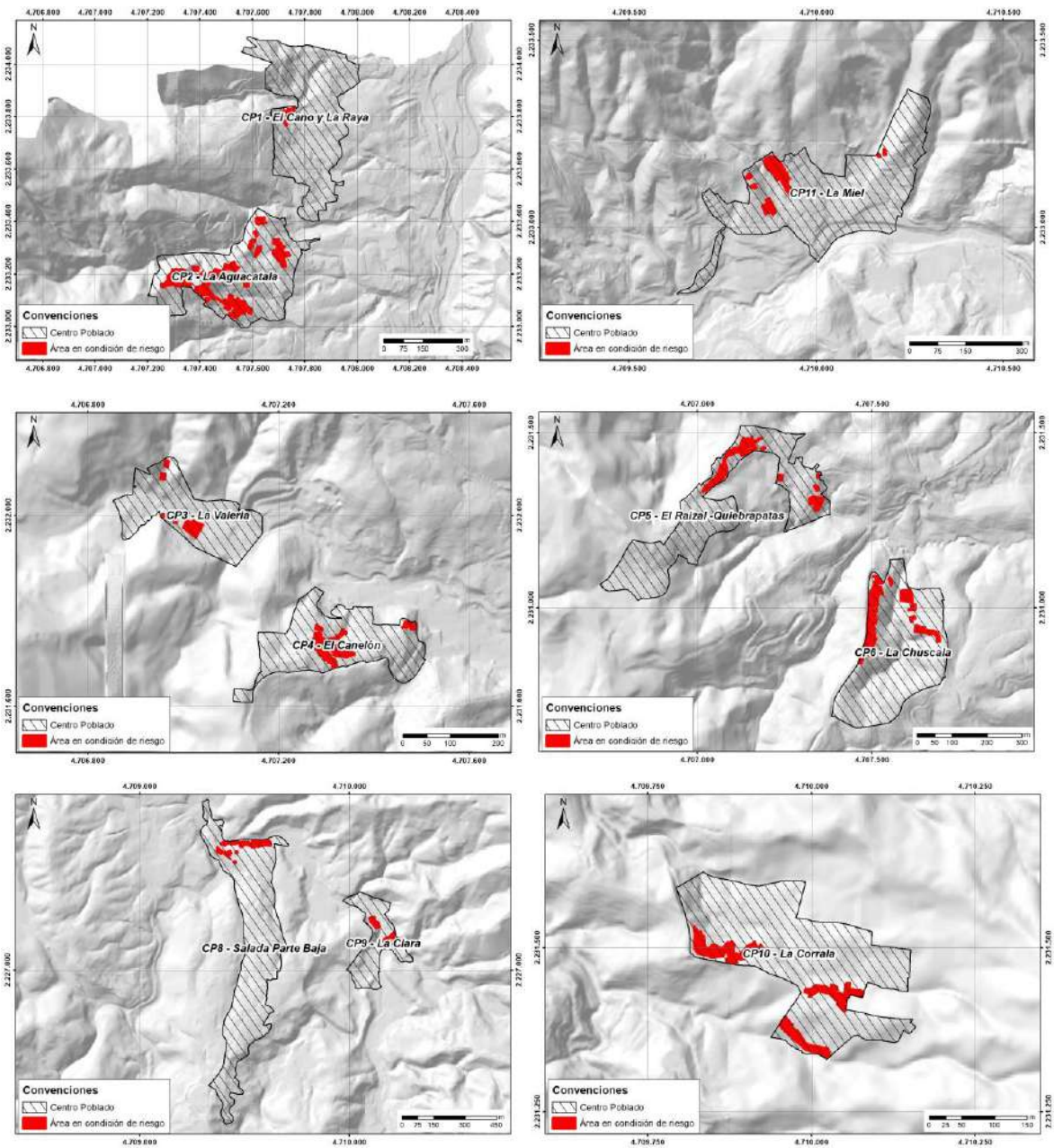
8.1.1.2.2 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en Centros Poblados

Las áreas en condición de riesgo en los centros poblados por movimiento en masa, corresponden a zonas de pendientes empinadas a moderadas, con elementos expuestos, en amenaza alta y en algunos casos media. Estos se distribuyen principalmente en la parte media y alta de las vertientes en donde han ocurrido algunos procesos de remoción en masa.

Tabla 167. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en Centros Poblados.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
Centros Poblados		
Centro Poblado El Canelón	Áreas con condición de riesgo asociadas a amenaza alta y media, debido a pendientes altas y al suelo residual presente.	BAJA
Centro Poblado La Aguacatala	Áreas con condición de riesgo asociadas a amenaza alta y media, debido a pendientes altas y al suelo residual presente.	BAJA
Centro Poblado La Chuscala	Áreas con condición de riesgo en amenaza alta, producto de fuertes pendientes y cortes en los taludes para construcción.	BAJA
Centro Poblado La Clara	Áreas localizadas en la parte norte, donde se observan laderas con pendientes moderadas a empinadas con procesos de intervención antrópica.	BAJA
Centro Poblado La Corrala	Áreas con condición de riesgo localizadas en las dos vertientes que conforman el centro poblado, con pendientes altas debido a la incisión de las quebradas presentes y con procesos de intervención antrópica.	MEDIA
Centro Poblado La Miel	Áreas de pendientes altas, localizadas en la parte media de la vertiente, con fuertes procesos de incisión, en donde ladera arriba se han presentado varios procesos de remoción en masa.	ALTA
Centro Poblado El Raizal Quebrapatas	Zonas de pendientes empinadas, donde ocurrió un evento de deslizamiento de tipo traslacional.	MEDIA
Centro Poblado La Raya	Áreas con condición de riesgo, asociados a amenaza alta, donde predominan las pendientes empinadas.	BAJA
Centro Poblado La Salada parte baja	Se observa un sector clasificado como área en condición de riesgo correspondiente a la parte norte que se encuentra en dirección al río Aburrá.	BAJA
Centro Poblado La Valeria	Áreas con condición de riesgo asociadas a amenaza alta y media, siendo las laderas las que se encuentran en constante riesgo con pendiente moderadas a empinadas. Se observan depósitos de vertiente en donde se ubica parte de la población.	MEDIA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023



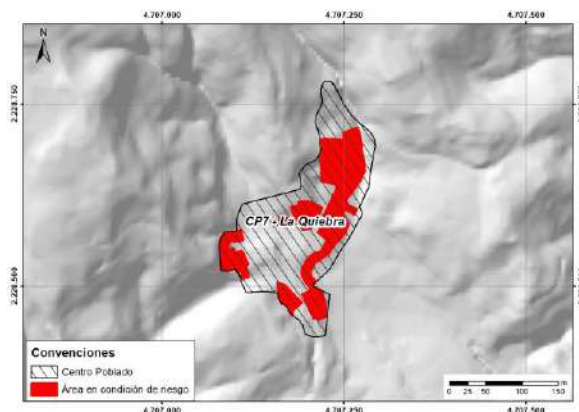


Figura 190. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en centros poblados.

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.1.3 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo rural

Estas zonas, por su alta susceptibilidad a la erosión, muestran localmente evidencias de inestabilidad, movimientos en masas y reptación. Su intervención urbanística presenta fuertes restricciones relacionadas con el control de las aguas de escorrentía y la ejecución de cortes de poca altura e inclinación moderada.

La combinación de factores geológico-geotécnicos con el proceso de intervención urbanística de suelos con condiciones rurales, además del uso de suelo para actividades pecuarias y agrícolas, explica la común ocurrencia de cicatrices, deslizamientos activos, reptación y otros fenómenos morfodinámicos que evidencian un proceso de reducción de la estabilidad acelerada. Ejemplos de esto puede observarse en las veredas Salinas, La Raya y Maní del Cardal, las cuales producto de los cortes en los taludes para intervenciones urbanísticas han generado la desestabilización de las laderas y afectaciones a las viviendas.

Otras zonas con afectaciones en las condiciones de estabilidad se observan en la vereda La Quebra, en el sector el 30, la cual, por mal manejo de aguas de escorrentía, utilizando tubos de PVC, conducen el agua que llega de la ladera aguas arriba hacia las partes más bajas, generando que los parámetros del suelo cambien al saturarse y produzca una acumulación de deslizamientos. Estas zonas se pueden clasificar como zonas con condiciones de estabilidad crítica, cuya recuperación podría implicar una fuerte inversión de recursos económicos. Bajo esta denominación se clasificaron las áreas donde se hallaron concentraciones anómalas de procesos morfodinámicos activos, ligados en su generación y evolución a las condiciones naturales y típicas de dichos territorios como lo es el sector el 30.

En términos generales, en el suelo rural del municipio se encuentran zonas de concentración de deslizamientos que afectan a la comunidades y que en periodos de intensas lluvias aumenta el riesgo a la cual están expuestos. Las áreas con condición de riesgo por movimiento en masa, algunos de estos se concentran en los sectores

del 30 y en las veredas Salinas, Sinifana, La Clara, Mani del Cardal, La Raya y La Miel en su parte baja, entre otros.

Tabla 168. Áreas con condición de riesgo por movimiento en masa en suelo rural.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO RURAL		
SECTOR EL 30 (LA QUIEBRA)	Viviendas o vías terciarias en zonas de fuertes pendientes, con mal manejo de aguas de escorrentía, con alta susceptibilidad de que se produzcan movimientos en masa.	ALTA
LA RAYA	Cortes en los taludes para la construcción de vías y viviendas, con evidencias de antiguos y actuales procesos de remoción en masa.	MEDIA
SALINAS		ALTA
MANI DEL CARDAL Y SINIFANA		ALTA
LA MIEL		MEDIA
BARRIO LA PLAYITA (LA CLARA)	Viviendas construidas en la vertiente occidental del río Aburra, susceptible a procesos de remoción en masa.	MEDIA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

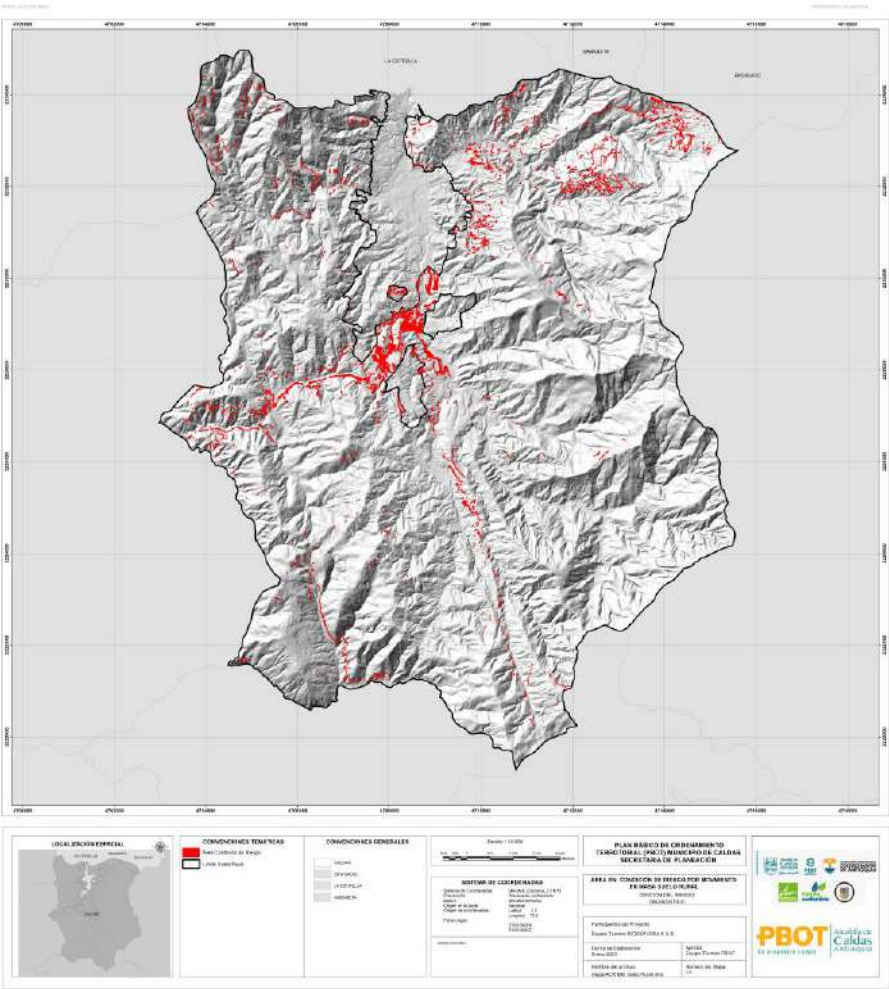


Figura 191. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en suelo rural.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.2 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN

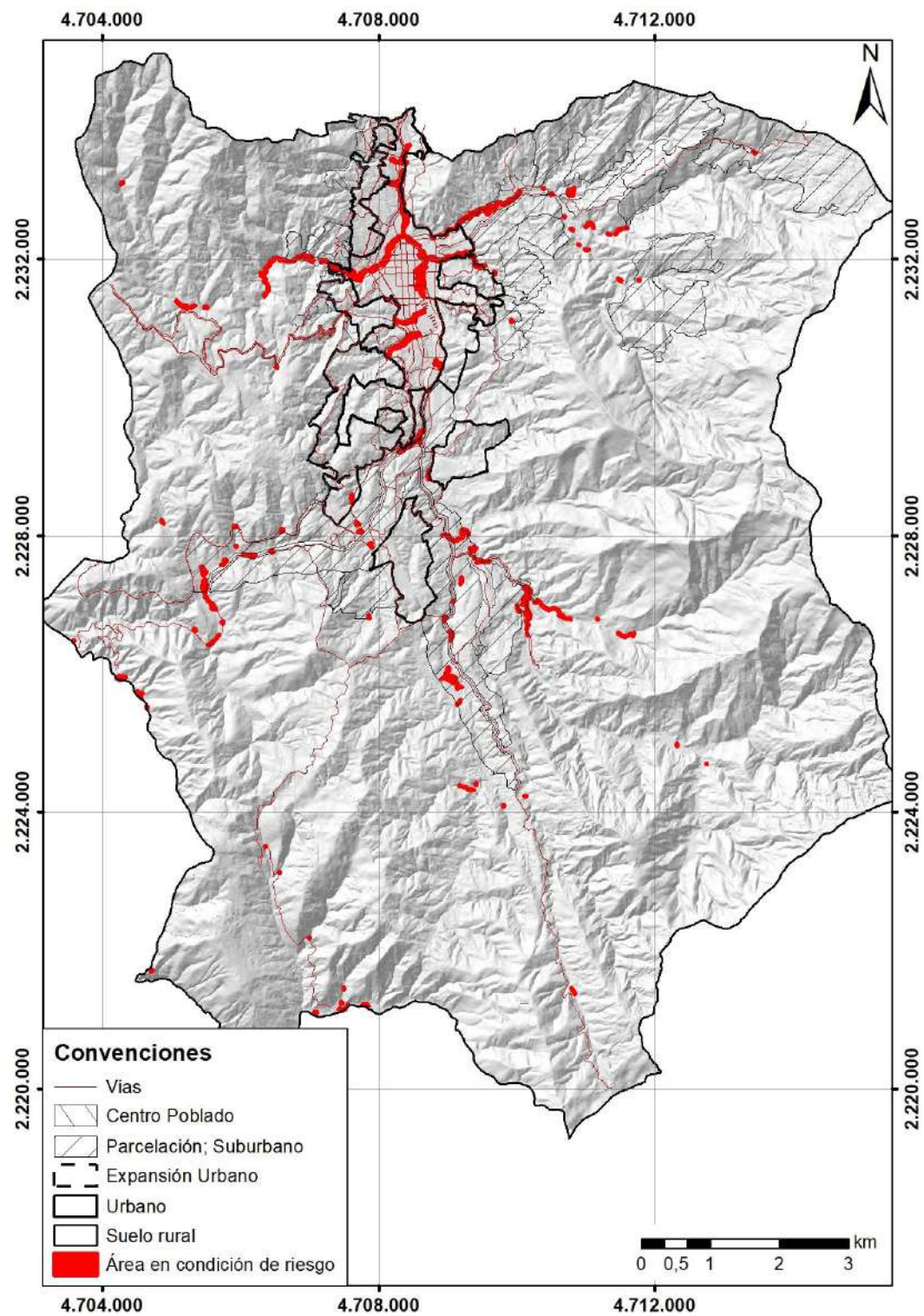


Figura 192. Áreas con condición de riesgo por inundación para el municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.2.1 Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo urbano y expansión

Las áreas con condición de riesgo por inundación en la zona urbana del municipio de Caldas vienen dadas por principalmente por el río Aburrá y por las quebradas Mandalay, la Chuscala, la Valeria, la Corralita, la Miel, el Cano. Las principales causas de inundación corresponden a desbordamiento de los cauces por fuertes lluvias y en varios casos por insuficiencia hidráulica. También se han presentado eventos de inundación en las viviendas del sector la Inmaculada asociados al cauce del río Aburrá, esto es principalmente ocasionado por invasión de la comunidad a la actual llanura de inundación del cauce y a las zonas de retiro.

Estas áreas representan con respecto al área total del suelo urbano un 1,6%, cubriendo en total 14.4 ha.

En la tabla a continuación se presentan las áreas en condición de riesgo por este fenómeno en suelo urbano, clasificadas acorde a su prioridad en tres niveles, alta, media y baja, donde este criterio se define acorde a la recurrencia de los eventos y el nivel de actividad de los procesos morfodinámicos que afectan cada zona.

Tabla 169. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo urbano y expansión.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO URBANO Y EXPANSIÓN		
RÍO ABURRÁ	Viviendas con condición de riesgo del barrio La Inmaculada. En esta zona han ocurrido inundaciones de carácter periódico, en donde la mayoría de las viviendas quedan sobrepasadas por el nivel de agua del río.	ALTA
QUEBRADA LA MIEL	Se presentan algunas viviendas con condición de riesgo, ubicadas en la llanura de inundación de la quebrada La Miel.	MEDIA
QUEBRADA LA CHUSCALA Y LA VALERIA	Áreas de condición de riesgo por desbordamientos debido a altas precipitaciones, insuficiencia hidráulica y viviendas sobre el cauce. Ocurrencia de este tipo de eventos se presenta el 26 de marzo de 2009, el cual frente a eventos de altas precipitaciones generó que la quebrada La Chuscala se desbordara y taponara las obras hidráulicas, afectando los barrios Mandalay y el 60.	ALTA
QUEBRADA LA CORRALITA	Este cauce se encuentra canalizado en la mayor parte de su trayecto en la zona urbana. Sin embargo, su dinámica fluvial sumado a las fuertes precipitaciones ocasionan que se encuentren en zonas con condición de riesgo.	BAJA
QUEBRADA MANDALAY	Áreas con condición de riesgo por desbordamientos debido a altas precipitaciones, insuficiencia hidráulica y viviendas sobre el cauce.	MEDIA
Zona de expansión Z2 DE 01	Pequeñas áreas asociadas a la quebrada en su sector oriental.	BAJA
Zona de expansión Z3 DE 04	Zonas asociadas a eventos de inundación aledañas al sector de Mandalay.	MEDIA
Zona de expansión Z3 DE 08	Zonas en el sector de primavera.	MEDIA

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
Zona de expansión Z3 DE 09	Zonas asociadas a drenajes menores e inundaciones por taponamiento de obras de la carrilera.	BAJA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

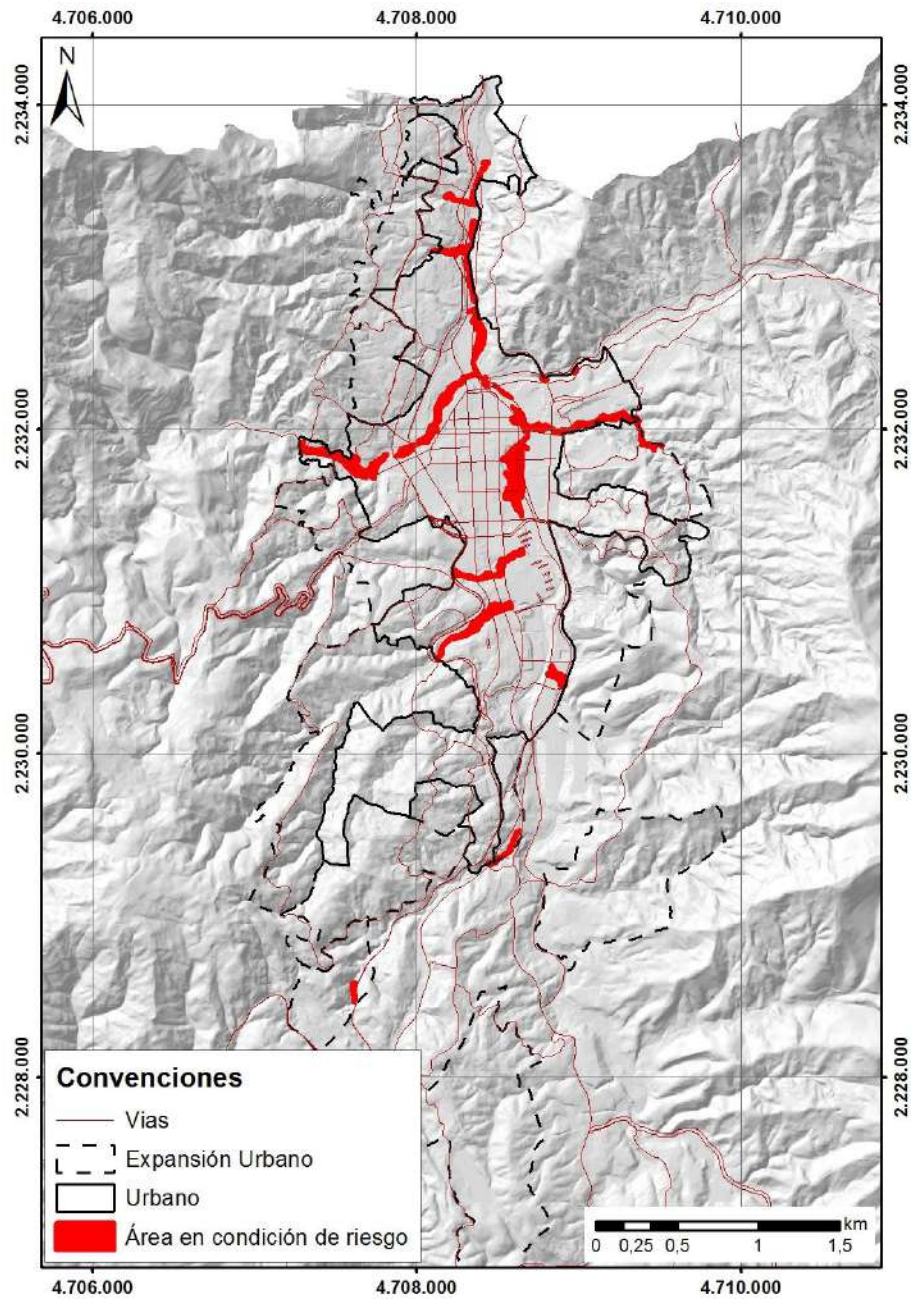


Figura 193. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo urbano y expansión.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.2.2 Áreas con condición de riesgo por inundación en suelos de desarrollo restringido

Las áreas con condición de riesgo en los suelos en categoría de desarrollo restringido, es decir, suelos suburbanos, centros poblados y vivienda campestre o parcelaciones corresponden a zonas categorizadas como de amenaza alta por eventos de inundación y en algunos casos media que se superponga con infraestructura como equipamientos, vías o unidades habitacionales.

8.1.2.2.1 Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo suburbano y parcelación

Para la categoría del suelo suburbano y parcelaciones campestres en el municipio de Caldas, se definen como áreas con condición de riesgo por inundación las asociadas con las quebradas La Lejía y al río Aburrá.

Los registros recientes de inundaciones periódicas asociadas al río Aburrá muestran una afectación a la zona industrial y residencial, principalmente en el sector del Rancho Santana y algunas estaciones de servicio localizadas a lo largo del corredor vial.

Tabla 170. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelos Suburbanos.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO SUBURBANO		
LA MIEL	Amplias zonas asociadas a la quebrada La Miel.	MEDIA
LA CORRALA	Pequeña zona asociada a afluente de La Corrala.	BAJA
LA PINTADA	Áreas dispersas asociadas a drenajes menores.	BAJA
SUROESTE	Áreas dispersas asociadas a drenajes menores.	BAJA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

Tabla 171. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelos de parcelación.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO DE PARCELACIÓN		
LA VALERIA	Asociada a la quebrada La Valeria de pequeña extensión.	BAJA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

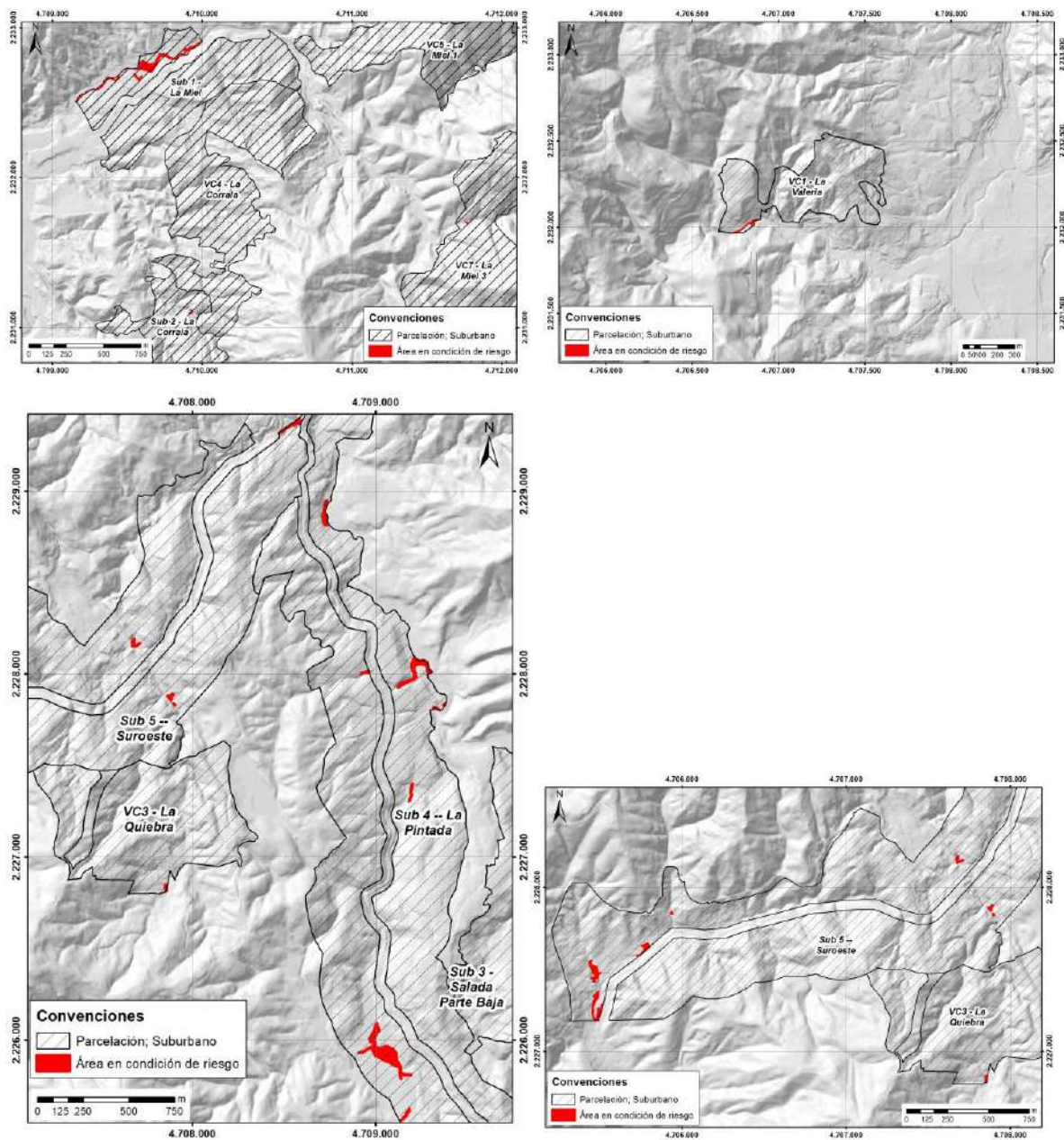


Figura 194. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelos suburbanos y de parcelación
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

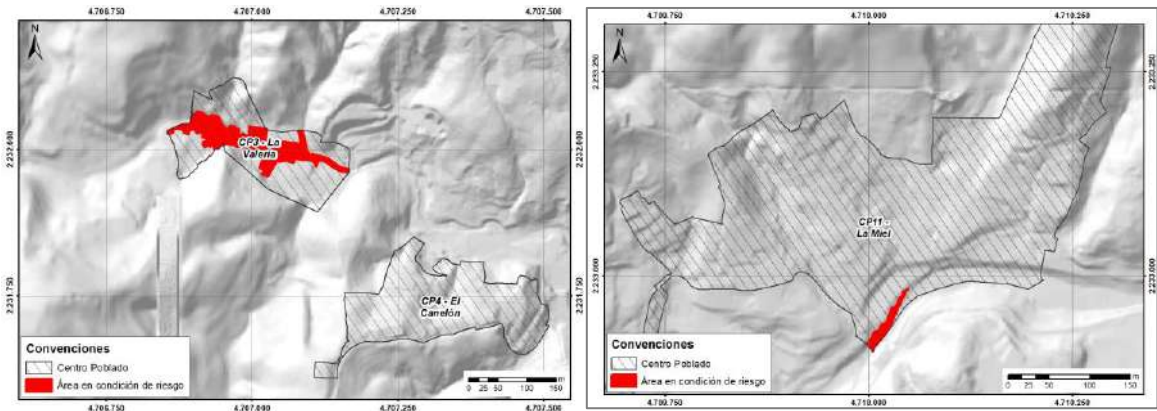
8.1.2.2.2 Áreas con condición de riesgo por inundación en centros poblados

En los Centros Poblados La Miel, La Clara y La Valeria se presenta áreas con condición de riesgo por inundación, asociada a las partes bajas de los mismos, corresponden a áreas de pendientes suaves, donde se presentan asentamientos concentrados, ubicándose sobre la llanura de inundación.

Tabla 172. Áreas con condición de riesgo por inundación en Centros Poblados.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
CENTROS POBLADOS		
CENTRO POBLADO LA MIEL	Áreas con condición de riesgo localizadas en la margen derecha de la quebrada La Miel, siendo intervenciones urbanísticas realizadas sobre la llanura de inundación del cauce.	MEDIA
CENTRO POBLADO LA CLARA	Áreas con condición de riesgo asociadas a la llanura de inundación del río Aburrá, siendo zonas planas de pendientes suaves y en donde se ubican la mayoría de las viviendas.	ALTA
CENTRO POBLADO LA VALERIA	Viviendas localizadas sobre la llanura de inundación de la quebrada La Valeria.	MEDIA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023



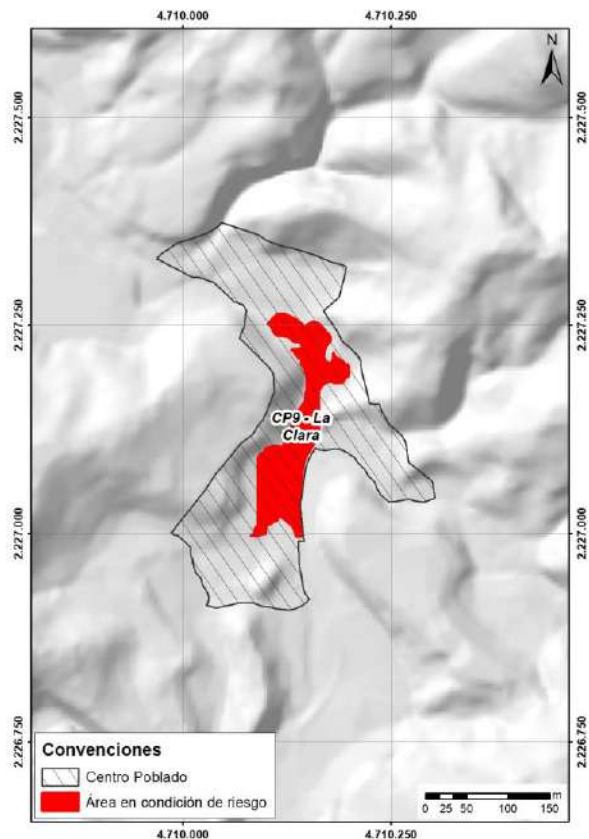


Figura 195. Áreas con condición de riesgo por inundación para centros poblados.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.2.3 Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo rural

En el suelo rural se presentan algunas áreas con condición de riesgo por inundación asociadas a las quebradas Salinas, La Miel, La Valeria, La Manuela, Maní de Cardal, El Cano y el río Aburrá, además de algunos drenajes intermitentes que en sus captaciones para el uso residencial en épocas de fuertes lluvias generan un riesgo en algunas viviendas debido a la insuficiencia hidráulica.

Zonas como en la vereda La Clara en el barrio La Playa se observan viviendas ubicadas sobre la llanura de inundación del río Aburrá, incumpliendo con el retiro mínimo establecido frente a la fuente hídrica.

Tabla 173. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo rural.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO RURAL		
SUELO RURAL	Áreas con condición de riesgo asociadas a la dinámica fluvial de las quebradas Salinas, La Clara, La Miel, La Valeria, La Manuela, Mani de Cardal, el Cano y algunos drenajes intermitentes que pueden en eventos de alta pluviosidad ponen en riesgo a las viviendas del sector el 30.	MEDIA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

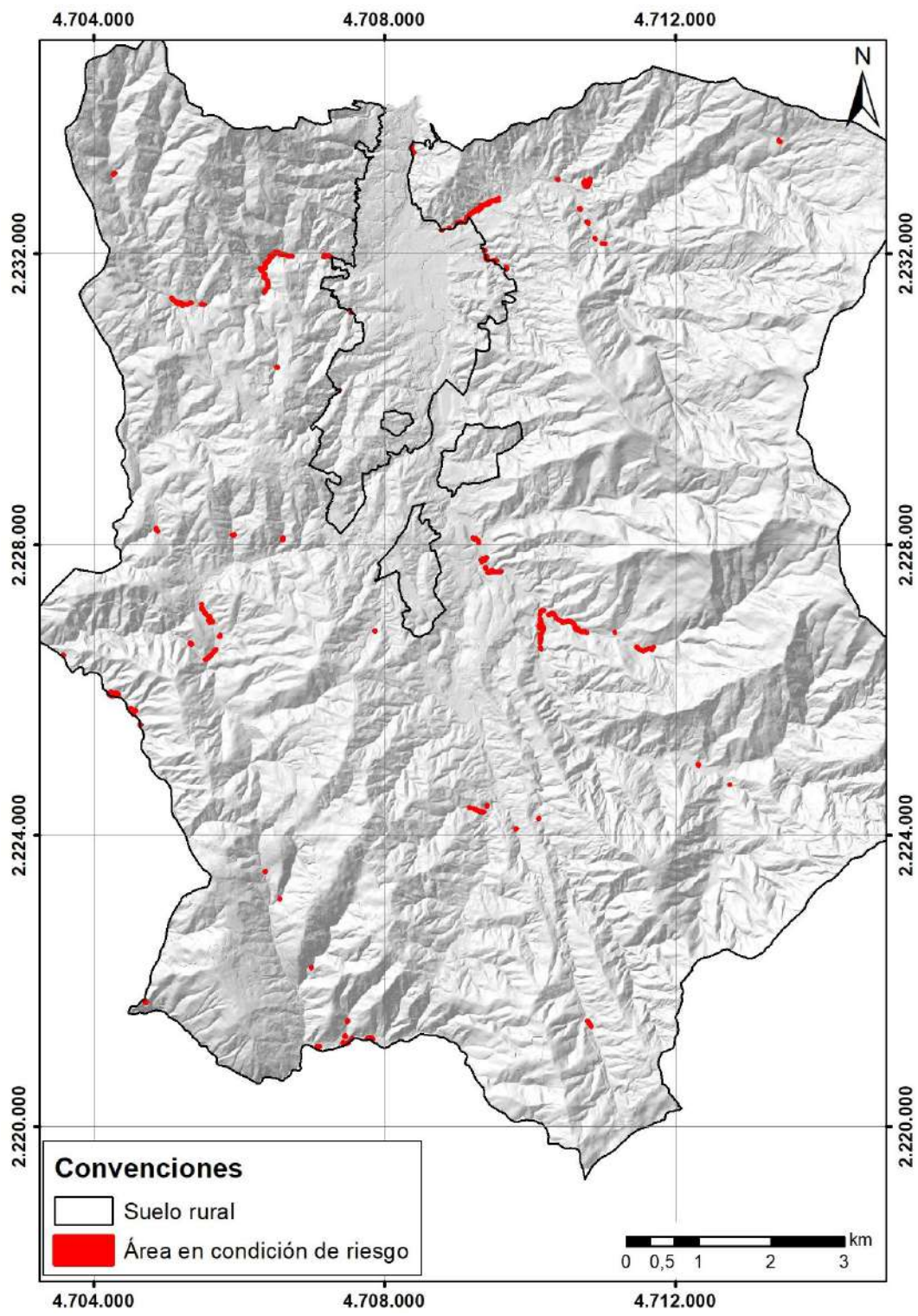


Figura 196. Áreas con condición de riesgo por inundación en suelo rural.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.3 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDA TORRENCIAL

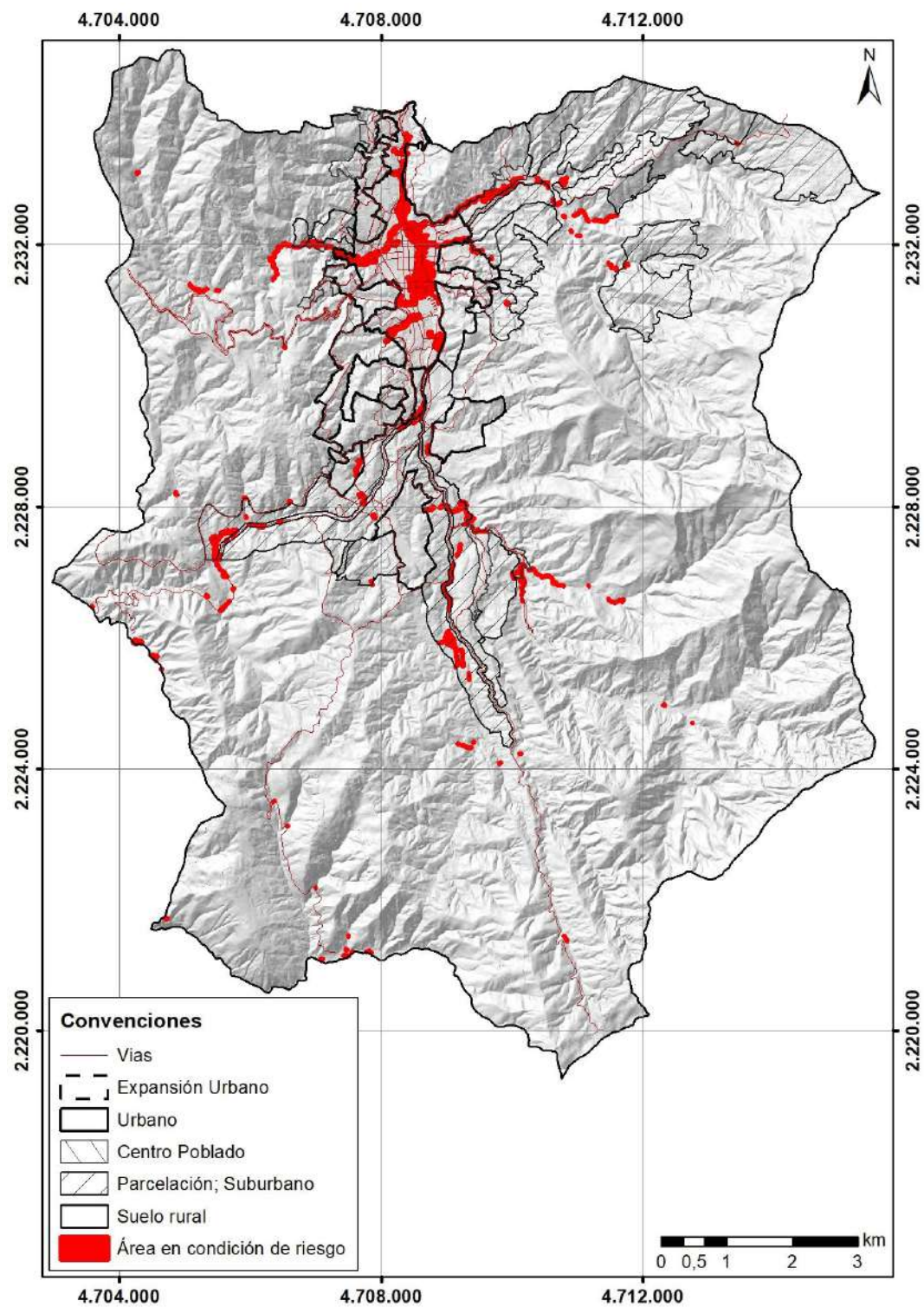


Figura 197. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial para el municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.3.1 Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo urbano y expansión

Las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales representan un 4,7% del área del suelo urbano y de expansión. Están relacionadas con el río Aburrá y las quebradas Mandalay, la Chuscala, la Valeria, La Corralita, la Miel y el Cano. Además, su formación está asociada a la ocurrencia de fenómenos de deslizamientos aguas arriba que desencadenan eventos torrenciales de alto riesgo. Las posibles afectaciones corresponden a socavación lateral y destrucción de la calzada vial. También se podría ver afectados puentes y pasos peatonales, así como instalaciones en la parte industrial y algunas viviendas.

En el sector de Santa Lucía sobre la quebrada La Aguacatala se definen áreas con condición de riesgo, siendo viviendas que se ubican en la margen derecha del cauce, definida como una zona con insuficiencia hidráulica en el caso de una avenida torrencial, llegando posiblemente a afectar dichas viviendas e infraestructura aledaña.

Las áreas con condición de riesgo en la quebrada La Corralita corresponden a zonas en suelo de expansión localizadas en el barrio Andalucía, con evidencias geomorfológicas de ocurrencia de eventos torrenciales en donde se encuentran viviendas asentadas.

En el caso de la quebrada La Lejía, su dinámica fluvial en caso de una avenida torrencial y según el modelamiento hidráulico, puede afectar una serie de viviendas y a la infraestructura vial.

Otras zonas como en la parte la parte baja de la Miel y de la quebrada La Soldada en su desembocadura con el río Aburrá, son zonas que se encuentran con condición de riesgo por este tipo de eventos, pudiendo afectar viviendas e infraestructura presentes en caso de una avenida torrencial.

En la tabla a continuación se presentan las áreas en condición de riesgo por este fenómeno en suelo urbano, clasificadas acorde a su prioridad en tres niveles, alta, media y baja, donde este criterio se define acorde a la recurrencia de los eventos y el nivel de actividad de los procesos morfodinámicos que afectan cada zona.

Tabla 174. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo urbano y expansión.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO URBANO Y EXPANSIÓN		
RÍO ABURRÁ	Áreas con condición de riesgo asociados a la ocupación del cauce a lo largo de la zona urbana, corresponden a los barrios La Inmaculada, Olaya Herrera, La Playita, Felipe Echavarría (I y II), Juan XXIII, Andalucía, La Rivera, La Acuarela Río, Los Cerezos y La Bombonera.	ALTA
QUEBRADA MANDALAY	Quebrada con depósitos aluviotorrenciales, con evidencias de un evento ocurrido en el barrio Mandalay.	ALTA
QUEBRADA LA VALERIA	Evidencias de depósitos aluviotorrenciales asociados a la quebrada La Valeria donde se ubican varias viviendas.	ALTA

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO URBANO Y EXPANSIÓN		
QUEBRADA LA MIEL	Áreas con condición de riesgo localizadas en la margen izquierda de la quebrada La Miel.	ALTA
QUEBRADA LA CHUSCALA	Áreas con condición de riesgo asociadas a la ubicación de viviendas e industrias en amenaza alta.	MEDIA
QUEBRADA LA CORRALITA	Infraestructura y viviendas en condición de riesgo asociadas a antiguos depósitos torrenciales.	BAJA
RÍO ABURRÁ (ZONA DE EXPANSIÓN 08)	Áreas con condición de riesgo asociados a la industrialización de la zona sobre la llanura de inundación del cauce.	ALTA
QUEBRADA AGUACATALA (ZONA DE EXPANSIÓN 01)	Áreas con condición de riesgo asociados a dos viviendas en amenaza alta y media por avenida torrencial, localizadas en la margen derecha de la quebrada La Aguacatala.	MEDIA
QUEBRADA LA LEJÍA (ZONA DE EXPANSIÓN 07 Y 09)	Áreas con condición de riesgo, localizadas a lo largo de la vía que comunica Amagá con Caldas.	MEDIA
QUEBRADA LA MIEL, LA CORRALITA Y LA SOLDADA (ZONA DE EXPANSIÓN 02, 04 Y 06)	Zonas planas a onduladas con condición de riesgo por avenida torrencial, con evidencias geomorfológicas.	MEDIA
RÍO ABURRÁ (ZONA DE EXPANSIÓN 08)	Áreas con condición de riesgo asociados a la industrialización de la zona sobre la llanura de inundación del cauce.	ALTA
QUEBRADA AGUACATALA (ZONA DE EXPANSIÓN 01)	Áreas con condición de riesgo asociados a dos viviendas en amenaza alta y media por avenida torrencial, localizadas en la margen derecha de la quebrada La Aguacatala.	MEDIA
QUEBRADA LA LEJÍA (ZONA DE EXPANSIÓN 07 Y 09)	Áreas con condición de riesgo, localizadas a lo largo de la vía que comunica Amagá con Caldas.	MEDIA
QUEBRADA LA MIEL, LA CORRALITA Y LA SOLDADA (ZONA DE EXPANSIÓN 02, 04 Y 06)	Zonas planas a onduladas con condición de riesgo por avenida torrencial, con evidencias geomorfológicas.	MEDIA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

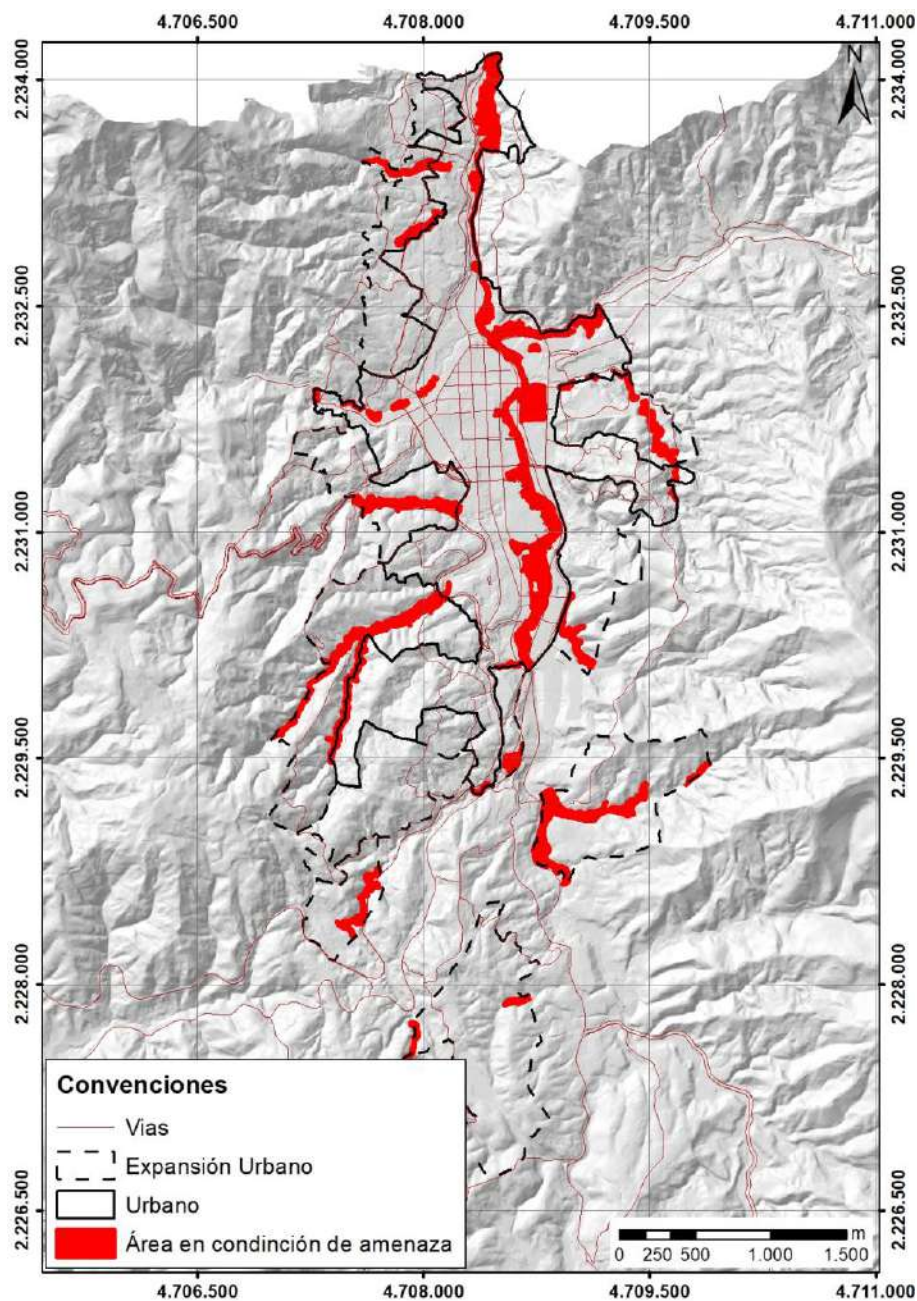


Figura 198. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo urbano y de expansión.

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.3.2 Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelos de desarrollo restringido

Las áreas con condición de riesgo en los suelos en categoría de desarrollo restringido, es decir, suelos suburbanos, centros poblados y vivienda campestre o parcelaciones corresponden a zonas categorizadas como de amenaza alta por eventos torrenciales y en algunos casos media que se superponga con infraestructura como equipamientos, vías o unidades habitacionales.

8.1.3.2.1 Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo suburbano y parcelación

Para la categoría de suelo suburbano y parcelaciones campestres, las áreas con condición de riesgo por avenida torrencial se distribuyen en sectores de las veredas Salinas, Primavera, entre otras.

Los registros recientes de crecidas del río Aburrá en periodos de fuertes lluvias muestran una afectación a la zona industrial y residencial, principalmente en el sector del Rancho Santana en la vereda Primavera, además se pueden ver afectadas algunas estaciones de servicio localizadas a lo largo del corredor vial.

Otras zonas con evidencias de episodios de desbordamiento que pueden generar potencial destructible se observan en la vereda Salinas, siendo zonas con intervención antrópica para uso industrial y residencial.

La distribución de las áreas con condición de riesgo en suelo suburbano y de parcelación cubren aproximadamente 12,74 ha y 0,9% de estos suelos.

Tabla 175. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelos suburbanos.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO SUBURBANO		
LA MIEL	Áreas con condición de riesgo asociadas a la amenaza alta a la altura del sector La Miel.	MEDIA
QUEBRADA SALINAS	Evidencia de episodios de desbordamiento con potencial destructible.	ALTA
QUEBRADA LA LEJÍA	Zonas con condición de riesgo, asociadas a la llanura de inundación de la quebrada La Lejía.	MEDIA
QUEBRADA LA VALERIA	Viviendas con condición de riesgo ubicadas en la llanura de inundación de la quebrada La Valeria.	ALTA
QUEBRADA LA CORRALITA	Evidencia de depósitos aluviotorrenciales en la parte media de la vereda La Corrala.	MEDIA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

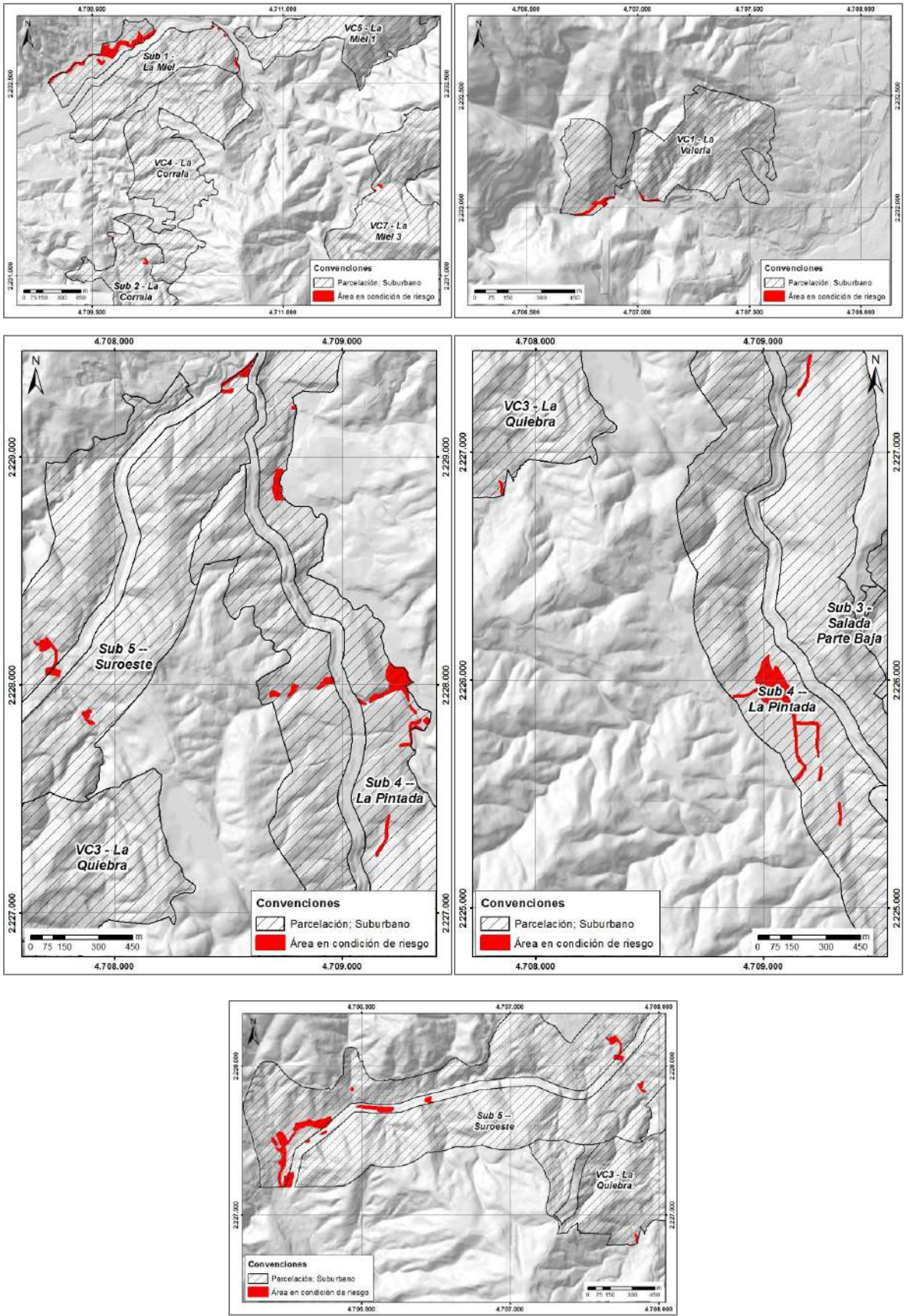


Figura 199. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo suburbano y de parcelación.

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.3.2.2 Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en centros poblados

Para la categoría de centros poblados, cruzando la amenaza alta obtenida de la modelación con los elementos expuestos mencionados anteriormente, se obtiene que hay 4 centros poblados afectados, La Clara, La Miel y La Valeria, siendo la Valeria el centro poblado con mayor área afectada.

Tabla 176. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en centros poblados.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
CENTROS POBLADOS		
CENTRO POBLADO LA CLARA	Áreas con condición de riesgo asociadas a la dinámica fluvial del río Aburrá, con evidencias geomorfológicas de depósitos torrenciales.	ALTA
CENTRO POBLADO LA VALERIA	Áreas con condición de riesgo debido a la amenaza alta por avenida torrencial de la quebrada La Valeria. La mayoría de las viviendas se ubican sobre la llanura aluviotorrencial.	ALTA
CENTRO POBLADO LA MIEL	Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial, localizadas en la parte sur, siendo las márgenes de la quebrada La Miel susceptibles a eventos torrenciales. Se presentan evidencias de bloques de diferente tamaño a lo largo del cauce.	MEDIA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

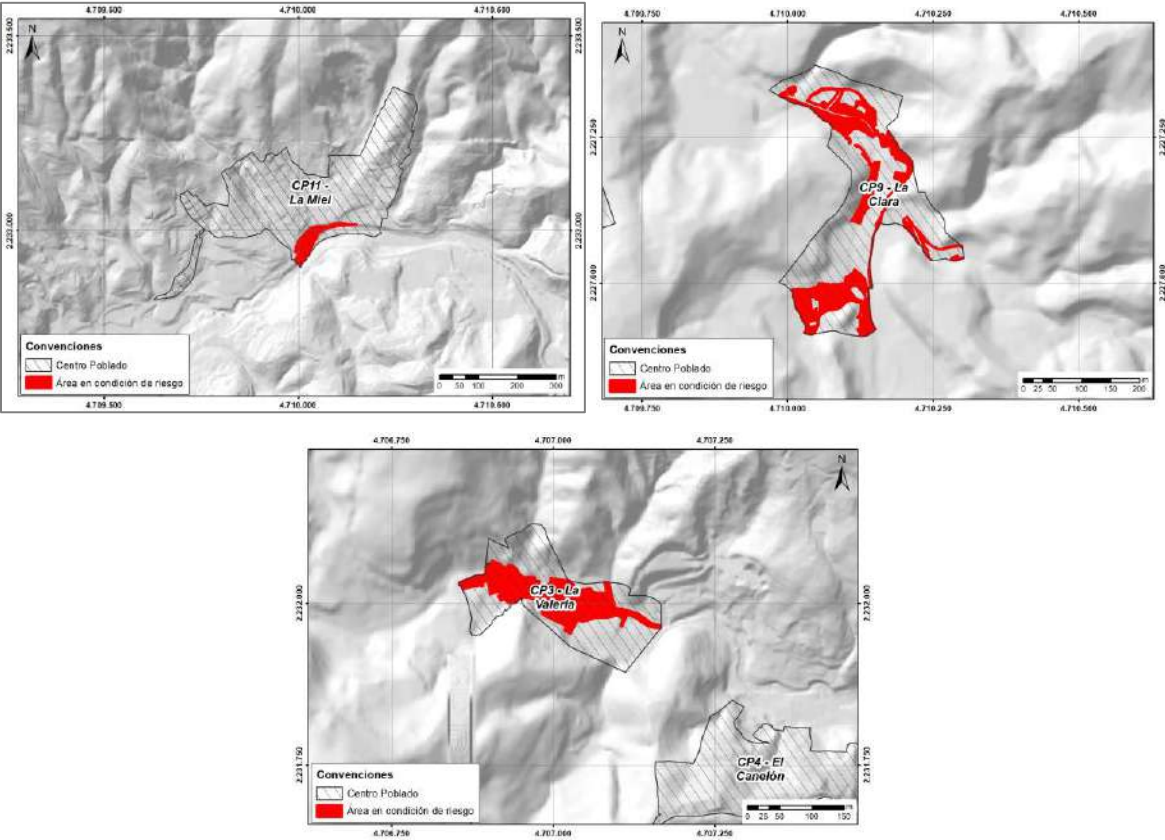


Figura 200. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en centros poblados.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.1.3.3 Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo rural

En el suelo rural las áreas con condición de riesgo por avenida torrencial corresponden a las quebradas Salinas, La Miel, La Valeria, La Manuela, Maní de Cardal, El Cano y el río Aburrá, siendo estas zonas con presencia de infraestructura ubicadas sobre la llanura de inundación de dichos cauces

En algunos sectores de las veredas La Valeria y Salinas se evidencian depósitos de origen aluviotorrencial intercalados con depósitos aluviales que indican distintos periodos de desbordamiento que han llegado a afectar a las comunidades presentes.

Tabla 177. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo rural.

ZONA	OBSERVACIONES	PRIORIDAD
SUELO RURAL		
QUEBRADA SALINAS, LA MIEL, MANI DEL CARDAL, EL CANO	Áreas con condición de riesgo asociado a amenaza alta por avenida torrencial en confluencia de los drenajes y ocupación de los mismos o intersecciones viales a lo largo de los afluentes.	MEDIA

RÍO ABURRÁ Y QUEBRADA LA VALERIA	Áreas con condición de riesgo asociado a amenaza alta por avenida torrencial, con evidencias de depósitos aluviotorrenciales donde se encuentran asentados algunas de las viviendas.	ALTA

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

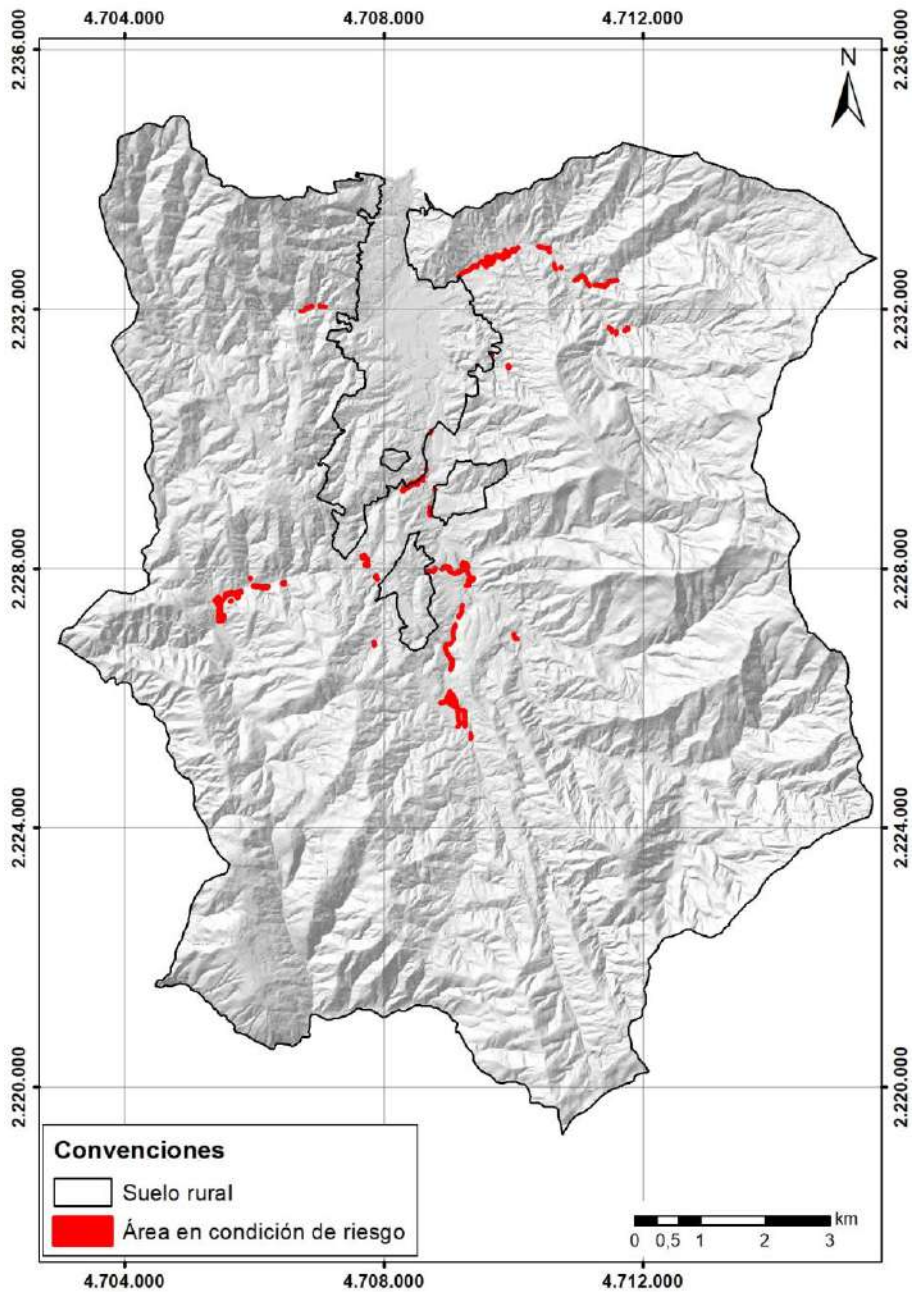


Figura 201. Áreas con condición de riesgo por avenida torrencial en suelo rural.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.2 DELIMITACIÓN DE ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA (ACA)

Las áreas con condición de amenaza, como lo define el artículo 2.2.2.1.3.1.2 del Decreto Nacional 1077 se obtienen a partir de “*las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo*”, estas categorías de amenaza se cruzan con los suelos que tengan potencial de desarrollo de acuerdo con la clasificación del suelo.

En el municipio, las áreas con condición de amenaza representan un 12,5% respecto al área total del municipio, siendo la más representativa las áreas con condición de amenaza por movimiento en masa.

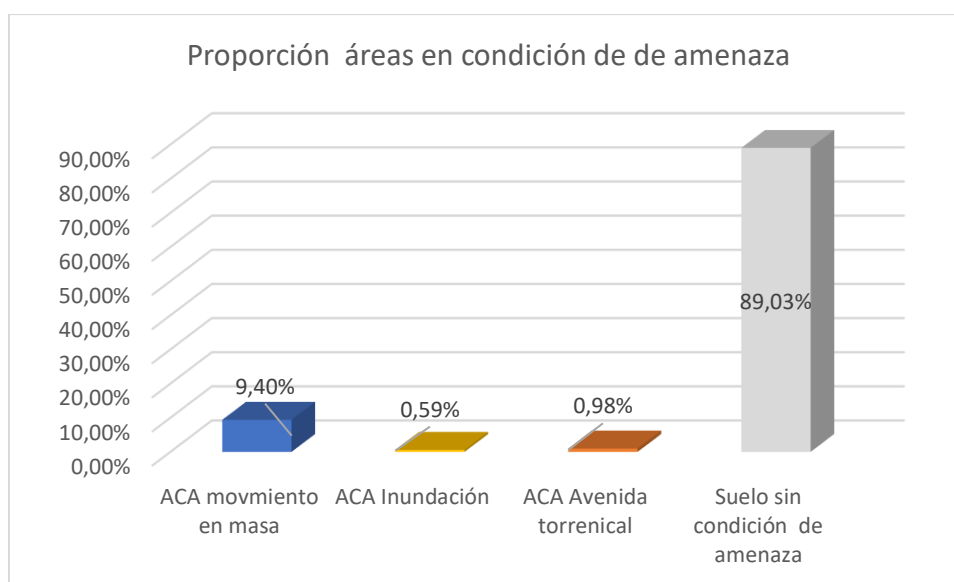


Figura 202. Proporción de áreas con condición de amenaza respecto al municipio.

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.2.1 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

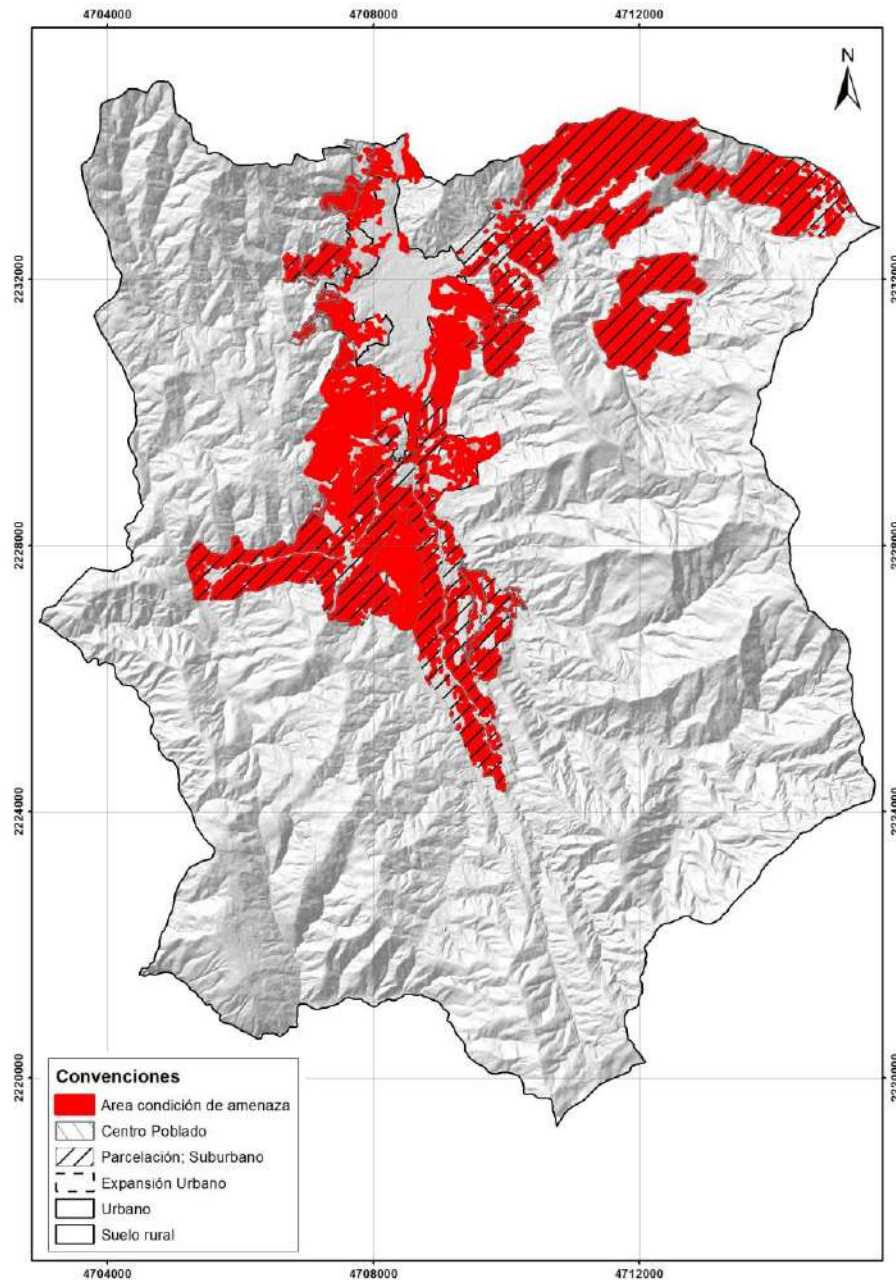


Figura 203. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa para el municipio de Caldas.

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.2.1.1 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en suelo urbano y de expansión

De acuerdo con la zonificación de la amenaza por movimiento en masa en la zona urbana, se presentan áreas con amenaza sobre zonas de pendientes moderadas a fuertes, en sectores como La Chuscala, La Aguacatala,

La Raya, La Corrala parte media, las zonas cercanas al barrio Primavera y en la vertiente con dirección al río Aburrá de la variante de Caldas.

También se encuentran en condición de amenaza por movimientos en masa en la zona urbana, las laderas que conforman a las quebradas La Rápida y la ladera oriental de la quebrada La Piedrahita, siendo zonas desocupadas con altas pendientes en donde han ocurrido varios deslizamientos de gran tamaño.

Estas zonas con condición de amenaza cubren aproximadamente 348, ha y representan el 39,1% del suelo urbano y de expansión.

La zonificación de la amenaza por movimiento en masa en suelo considerado de expansión, se presentan áreas con amenaza sobre zonas de pendientes moderadas a fuertes, en donde han ocurrido varios eventos que han afectado viviendas aguas abajo y taponamiento del cauce. Estos se ubican en sectores de la Corrala, La Aguacatala parte baja, La Valeria y en las quebradas Piedrahita, La lejía, además de las laderas de la vía que comunica Caldas con Amagá. En estas zonas se han presentado varios deslizamientos de tipo traslacional, uno de los que generó mayor impacto fue el ocurrido en la quebrada La Piedrahita, el cual afectó al barrio de Mandalay. Estas zonas representan el 62,1%, siendo la segunda categoría de suelo que presenta más sectores en condición de amenaza, cubriendo 325,23 ha.

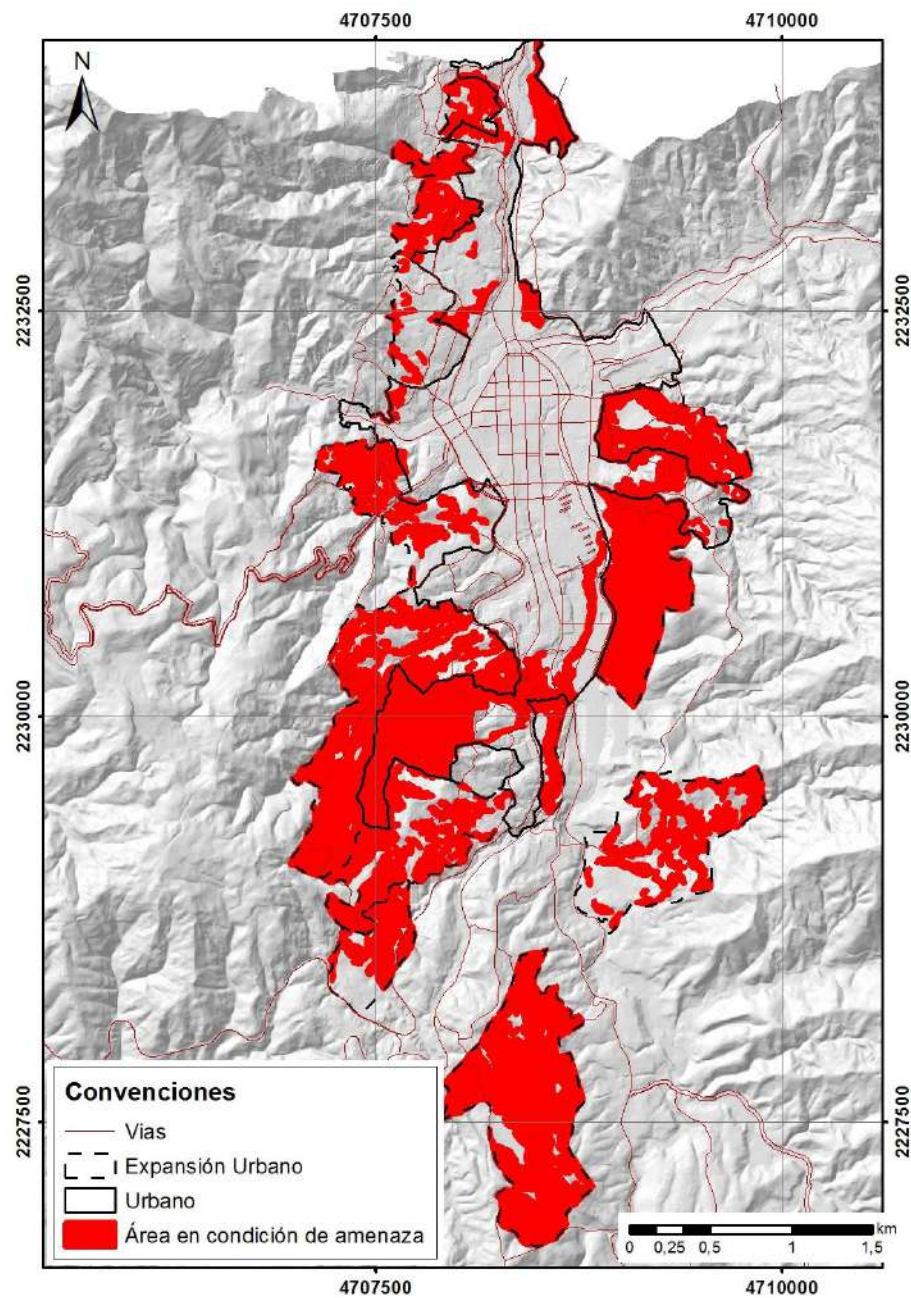


Figura 204. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en suelo urbano y expansión.

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.2.1.2 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en suelos de desarrollo restringido

Las áreas con condición de riesgo en los suelos clasificados como categoría de desarrollo restringido, es decir, suelos suburbanos, centros poblados y vivienda campestre o parcelaciones, corresponden a zonas

categorizadas como de amenaza alta y media por movimientos en masa que no se encuentren superpuestos con infraestructura como equipamientos, vías o unidades habitacionales del municipio de Caldas.

8.2.1.2.1 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en suelo suburbano y parcelación

En el siguiente mapa se muestra las áreas con condición de amenaza en el suelo suburbano propuesto en la formulación, se puede ver que estas áreas ocupan alrededor de un 60,2% del área total suburbana, esto debido a que estas zonas se han venido desarrollando sobre las laderas de las dos vertientes con pendientes moderadas a fuertes, con cambios en el uso del suelo que han aumentado en algunos casos la susceptibilidad a movimientos en masa. Las veredas más afectadas por esta condición son Salinas, La Salada parte baja y alta, La Aguacatala y la vertiente oriental de la variante de Caldas a la altura de la estación de servicio Primax, en donde se han realizado trabajos de reforzamiento para estabilizar la ladera a partir de obras como anclajes.

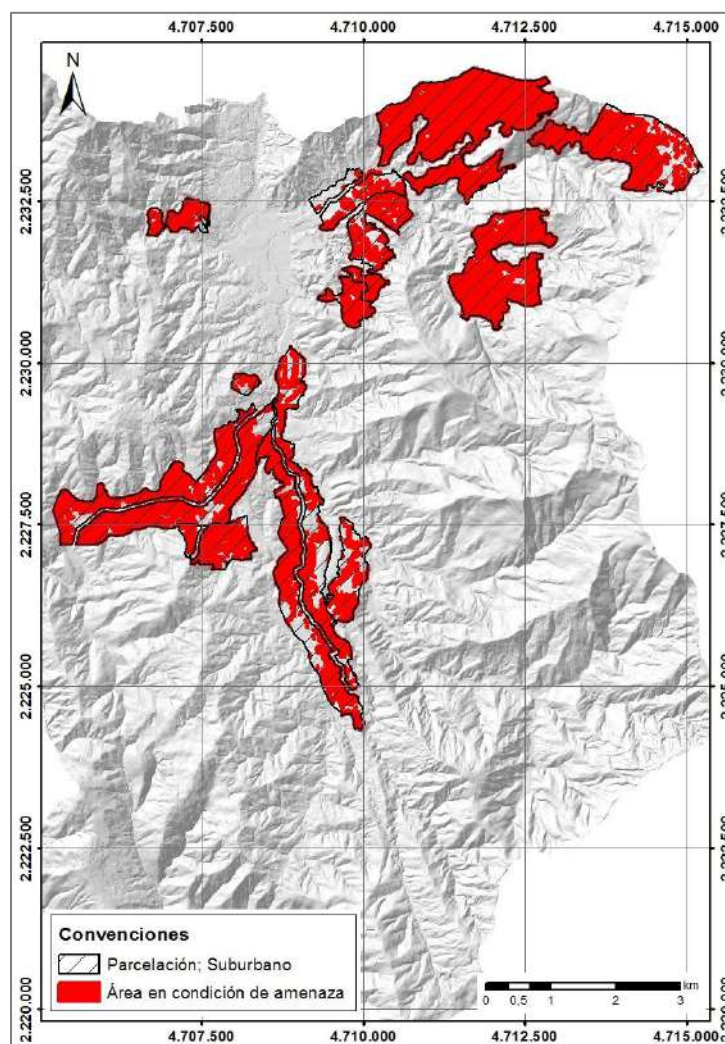
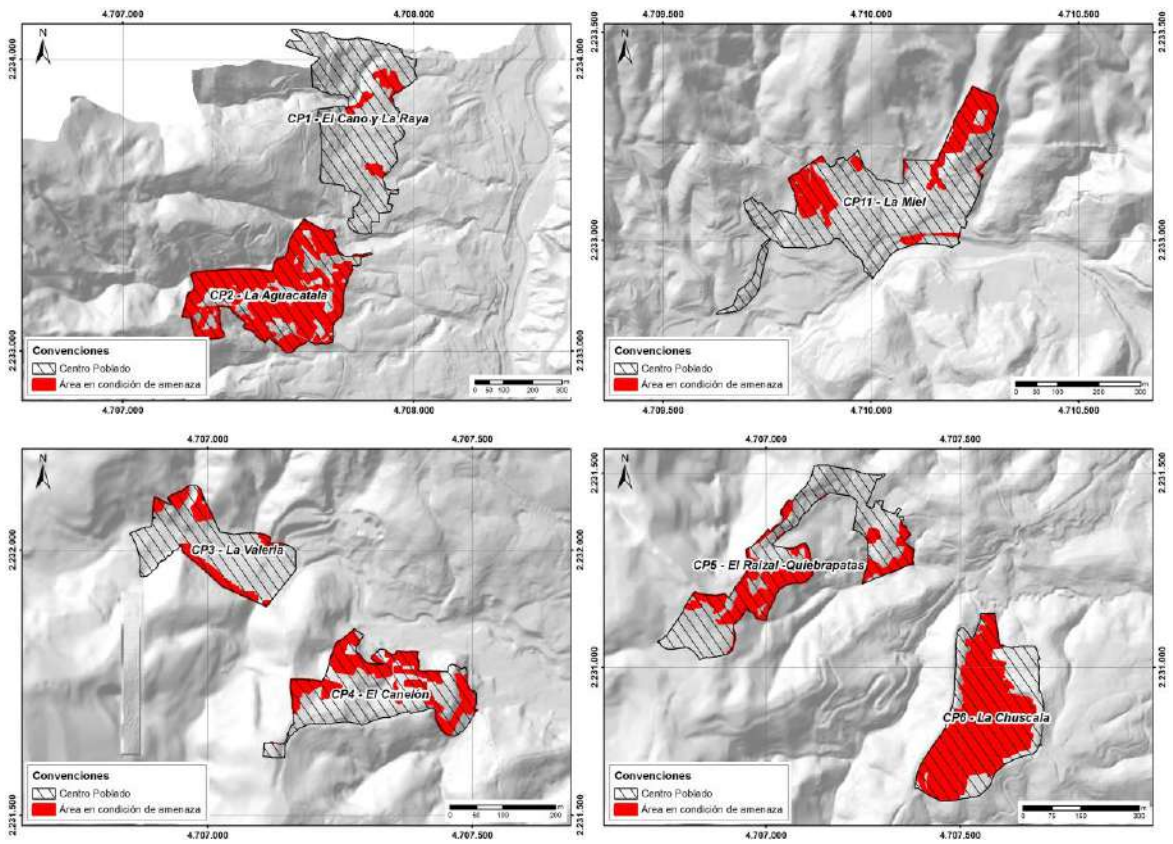


Figura 205. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en suelo suburbano y de parcelación
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023.

Por su parte, las áreas con condición de amenaza por movimiento en masa en parcelaciones representan un 78,26%, siendo la categoría del suelo que presenta la mayor cantidad de sectores en condición de amenaza, distribuyéndose principalmente en las veredas La Valeria, La Corrala y La Miel en su parte alta.

8.2.1.2.2 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en centros poblados

En los Centros Poblados, las áreas con condición de amenaza por movimiento en masa se definieron para todos los centros poblados zonas cubren aproximadamente 11,2 ha, siendo La Aguacatala, La Raya y La Chuscala los que presentan mayor cubrimiento por esta clasificación.



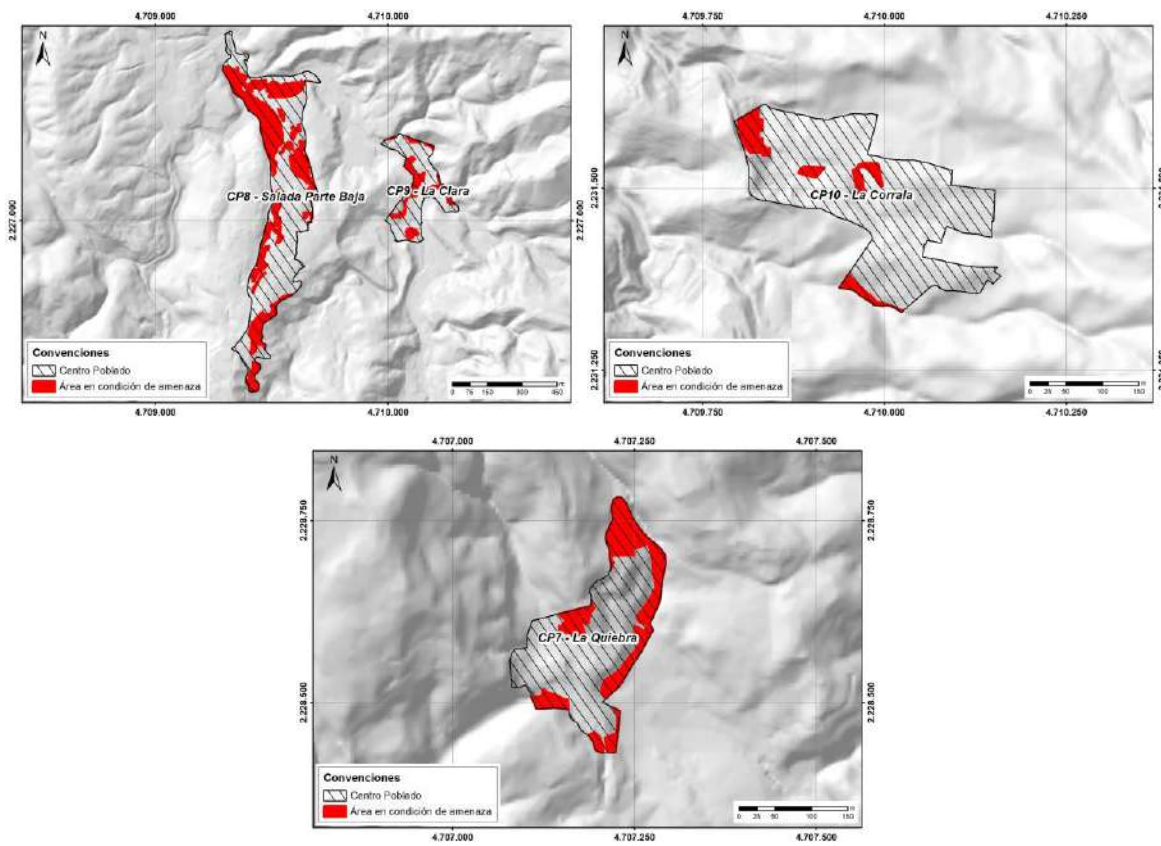


Figura 206. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en centros poblados.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.2.2 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

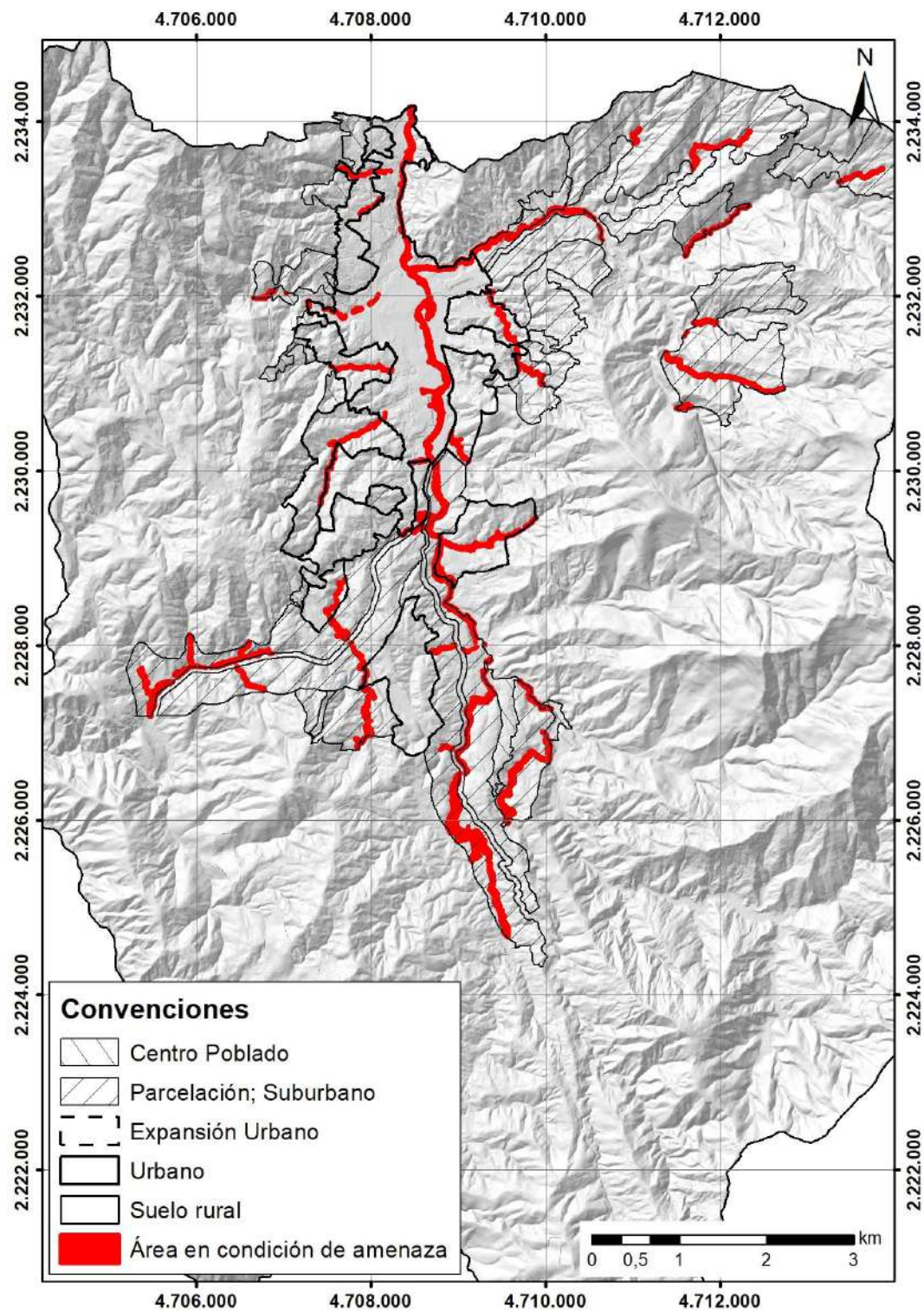


Figura 207. Áreas con condición de amenaza por inundación para el municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.2.2.1 Áreas con condición de amenaza por inundación en suelo urbano y de expansión

Las áreas clasificadas como con condición de amenaza por inundación en suelo urbano del municipio se distribuyen principalmente en 2 zonas, correspondientes a las zonas bajas de la parte norte y sur, representadas por las llanuras de inundación y terrazas aluviales asociadas al río Aburrá y las quebradas La Piedrahita y La Rápida. Estas áreas representan el 3,3 % del suelo urbano, cubriendo 29,4 ha.

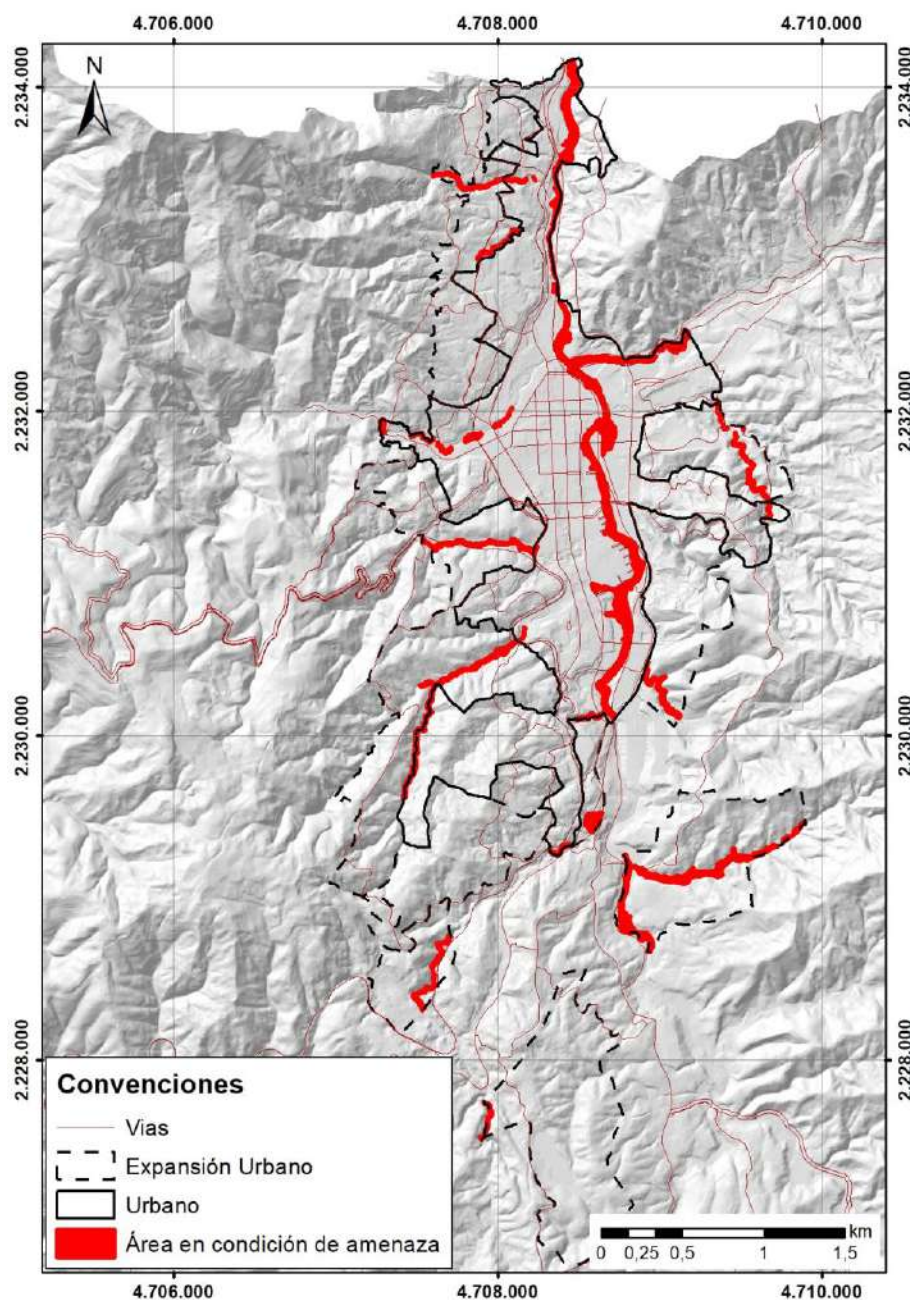


Figura 208. Áreas con condición de amenaza por inundación en suelo urbano y de expansión
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.2.2.2 Áreas con condición de amenaza por inundación en suelos de desarrollo restringido

Las áreas con condición de amenaza en los suelos clasificados como categoría de desarrollo restringido, es decir, suelos suburbanos, centros poblados y vivienda campestre o parcelaciones, corresponden a zonas categorizadas como de amenaza alta y media por inundaciones que no se encuentren superpuestos con infraestructura como equipamientos, vías o unidades habitacionales del municipio de Caldas.

8.2.2.2.1 Áreas con condición de amenaza por inundación en suelo suburbano y parcelaciones

Para los suelos suburbanos, las zonas que son clasificadas como con condición de amenaza se localizan en el río Aburrá y en las quebradas La Miel, La Salada y Salinas. Estas áreas cubren aproximadamente 57 ha y representan el 8% del área total de las zonas suburbanas. Se definen algunas zonas con condición de amenaza por inundación en parcelaciones, asociadas a la dinámica de la quebrada La Corrala, estas áreas cubren 55 ha y representan el 3,76%.

En los últimos años la vereda La Miel ha sido afectada por una fuerte intervención antrópica, modificando el cauce de la quebrada a partir de llenos estructurales y/o escombros, representando un riesgo por eventos de inundación en esas zonas bajas.

8.2.2.2.2 Áreas con condición de amenaza por inundación en centros poblados rurales

Este tipo de condición sólo se presenta en y La Miel, en el primer caso asociado.

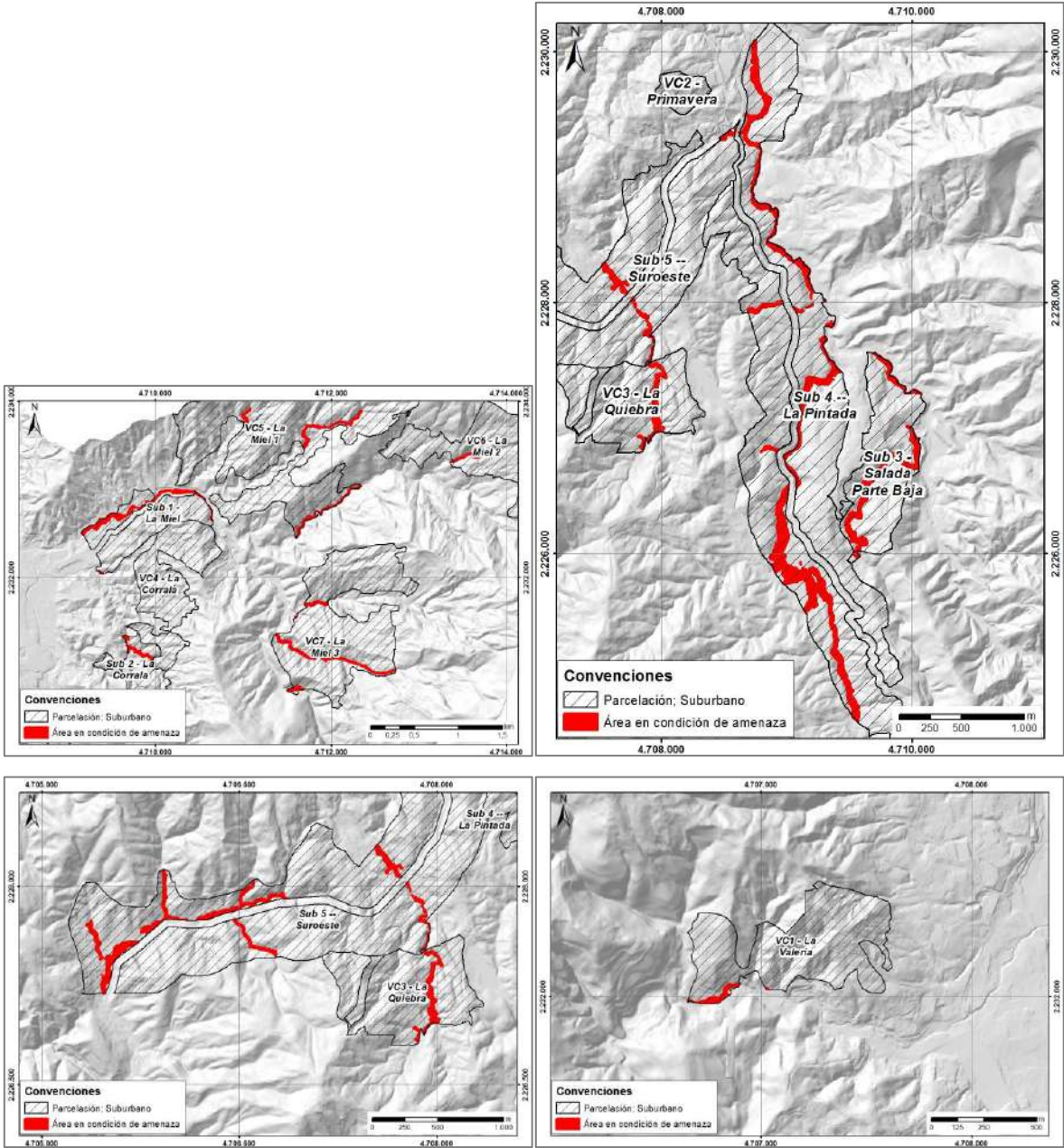


Figura 209. Áreas con condición de amenaza por inundación en suelo suburbano y de parcelación.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

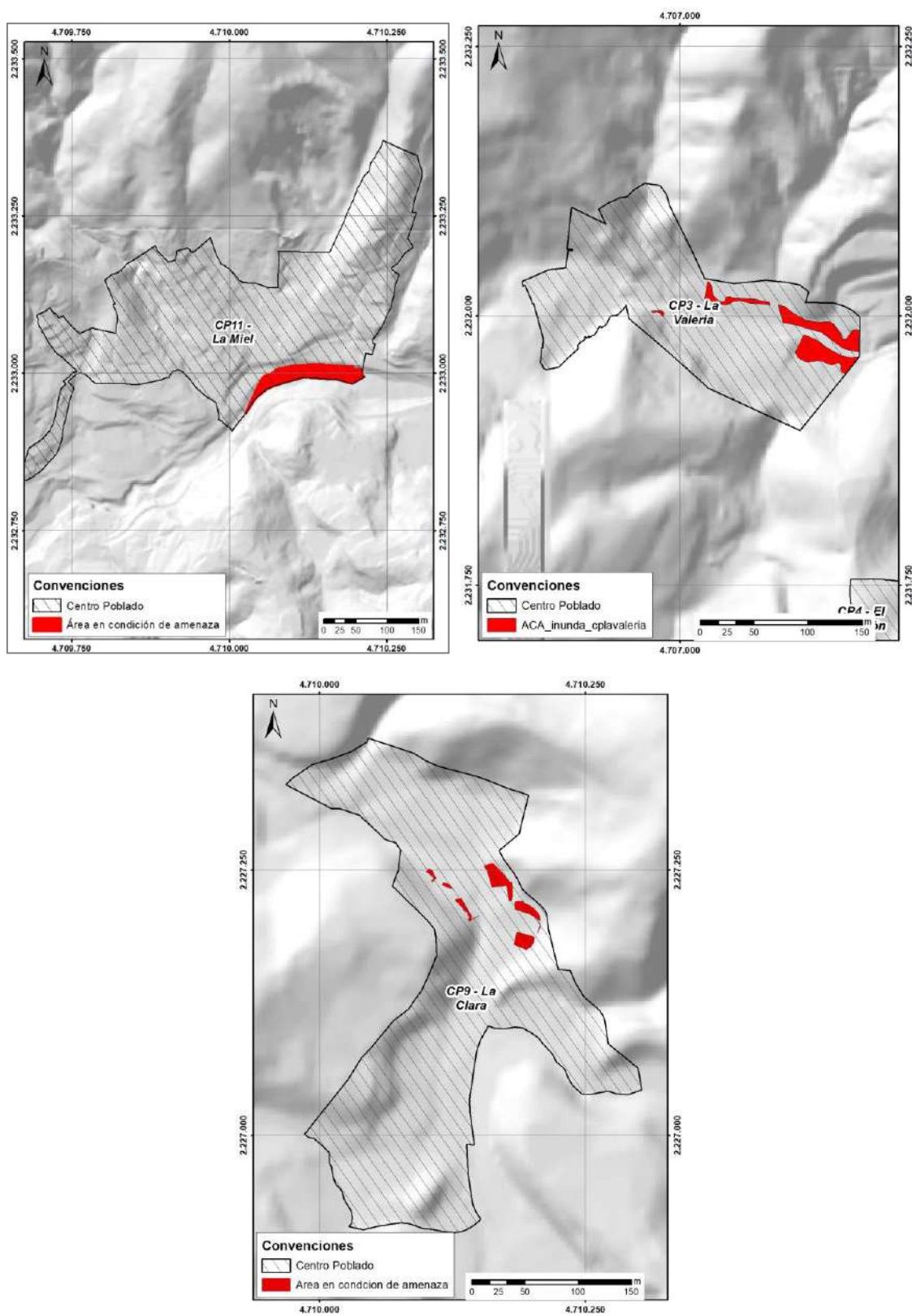


Figura 210. Áreas con condición de amenaza por inundación en centros poblados.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023.

8.2.3 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL

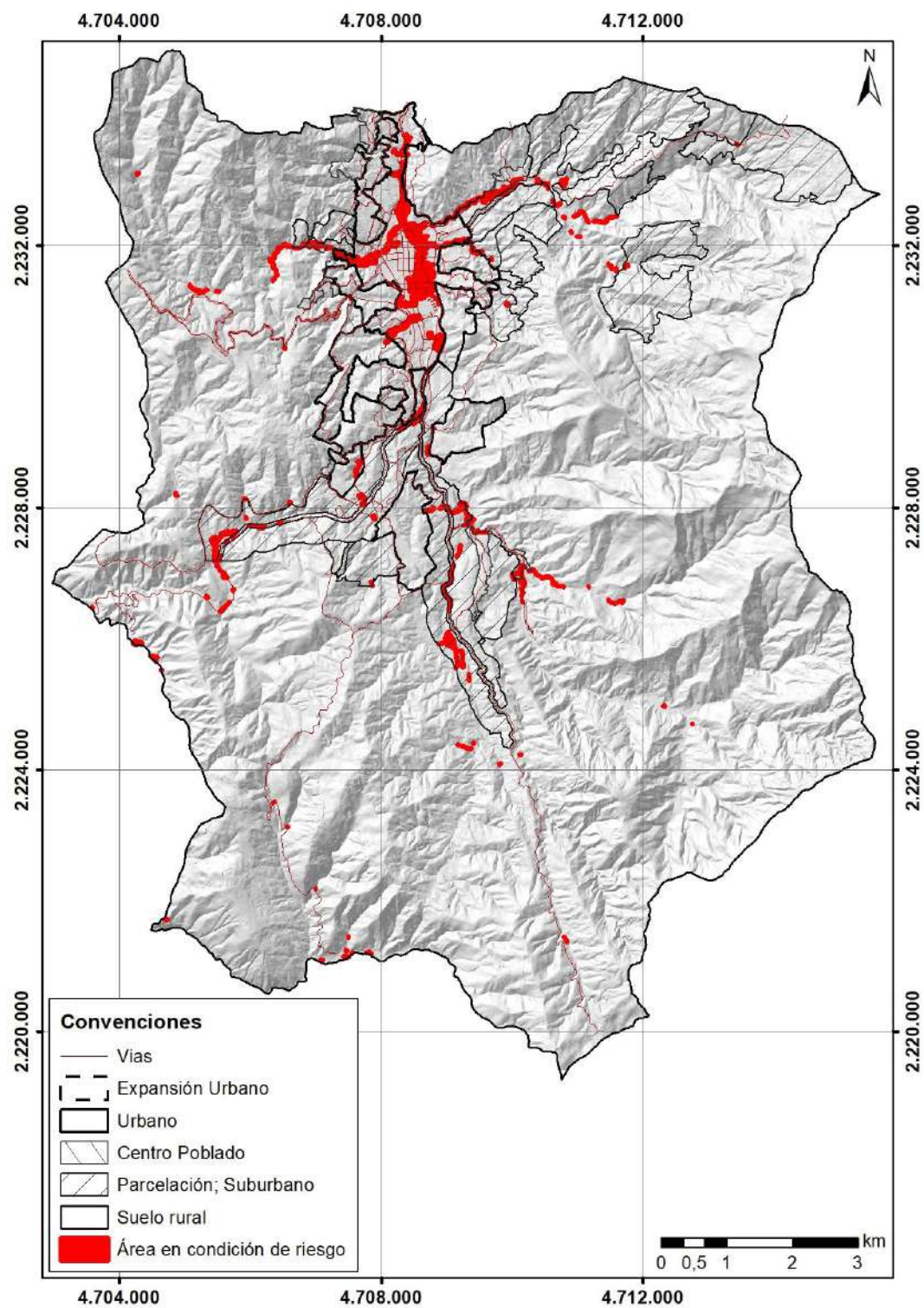


Figura 211. Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial para el municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023.

8.2.3.1 Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en suelo urbano y expansión

Las zonas afectadas por esta condición son principalmente las influenciadas por el río Aburrá a la altura de las quebradas Piedrahita y La Rápida en su desembocadura. Estas zonas representan un 6,9% del área total del suelo urbano, cubriendo 61,2 ha.

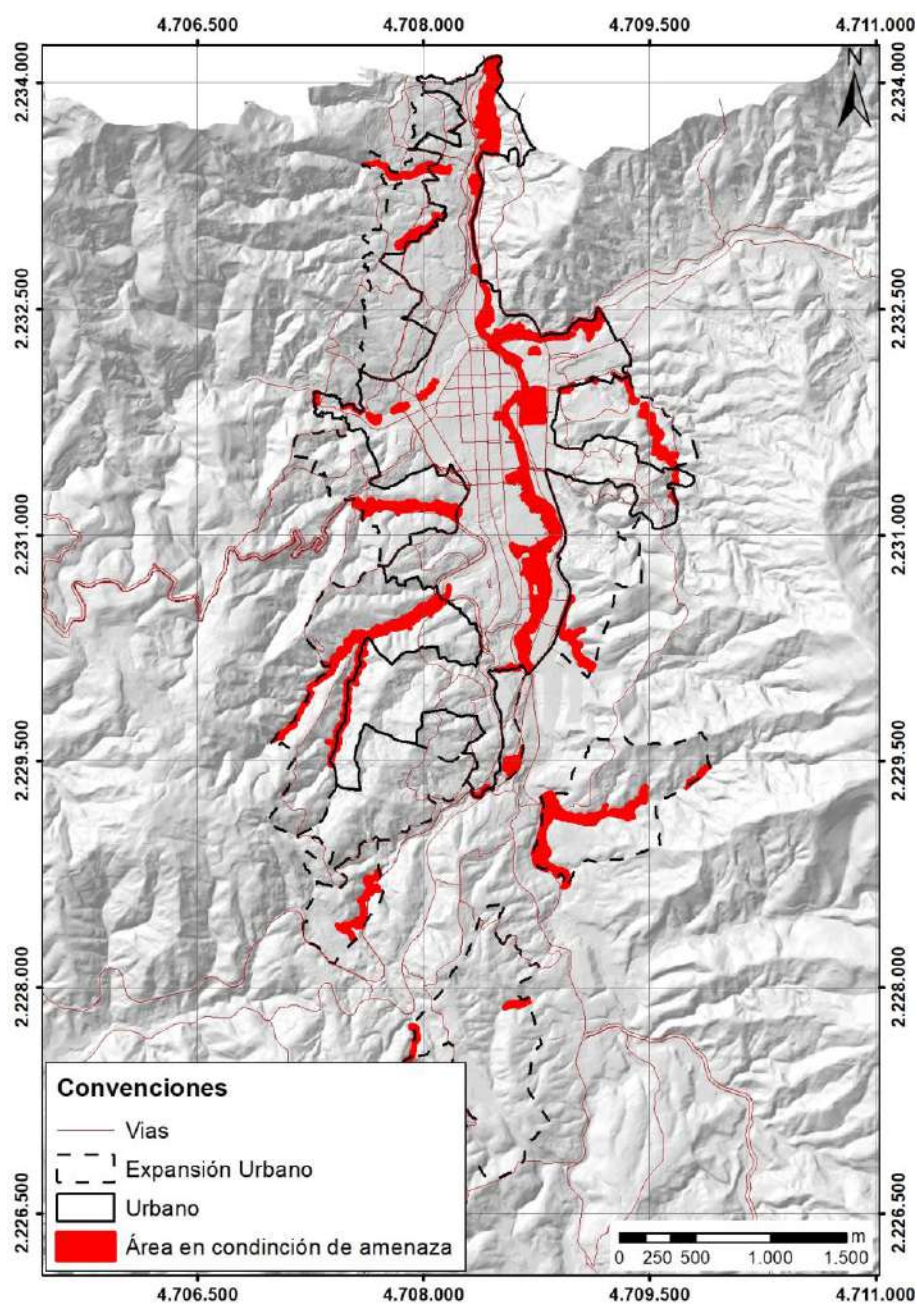


Figura 212. Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en suelo urbano y expansión.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.2.3.2 Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en suelos de desarrollo restringido

Las áreas con condición de amenaza en los suelos clasificados como categoría de desarrollo restringido, es decir, suelos suburbanos, centros poblados y vivienda campestre o parcelaciones, corresponden a zonas categorizadas como de amenaza alta y media por avenidas torrenciales que no se encuentren superpuestos con infraestructura como equipamientos, vías o unidades habitacionales del municipio de Caldas.

8.2.3.2.1 Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en suelo suburbano y parcelaciones

Se definen para este tipo de suelo zonas con condición de amenaza por avenida torrencial asociadas a las quebradas Salinas, La Salada, La Miel, La Corrala, La Lejía y el río Aburrá. Varias de estas zonas presentan insuficiencias hidráulicas que no permiten reaccionar frente a un evento de este tipo. Estos sectores cubren 95,06 ha de los suelos categorizados como suburbanos y 92,95 ha que representa el 6,3% de este suelo.

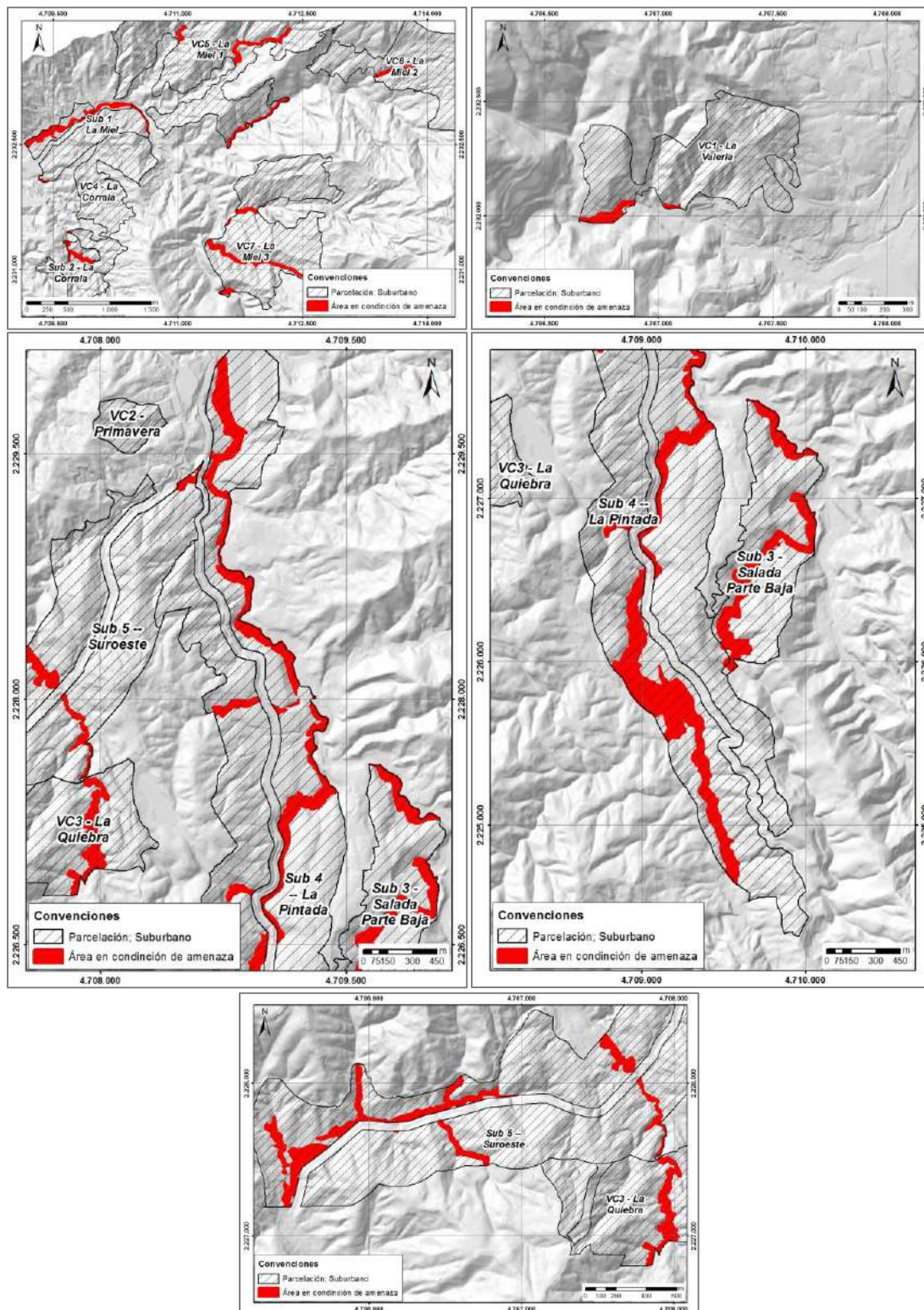


Figura 213. Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en suelo suburbano y parcelación.
Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

8.2.3.2.2 Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en centros poblados rurales

Este tipo de condición sólo se presenta en el centro poblado La Miel.

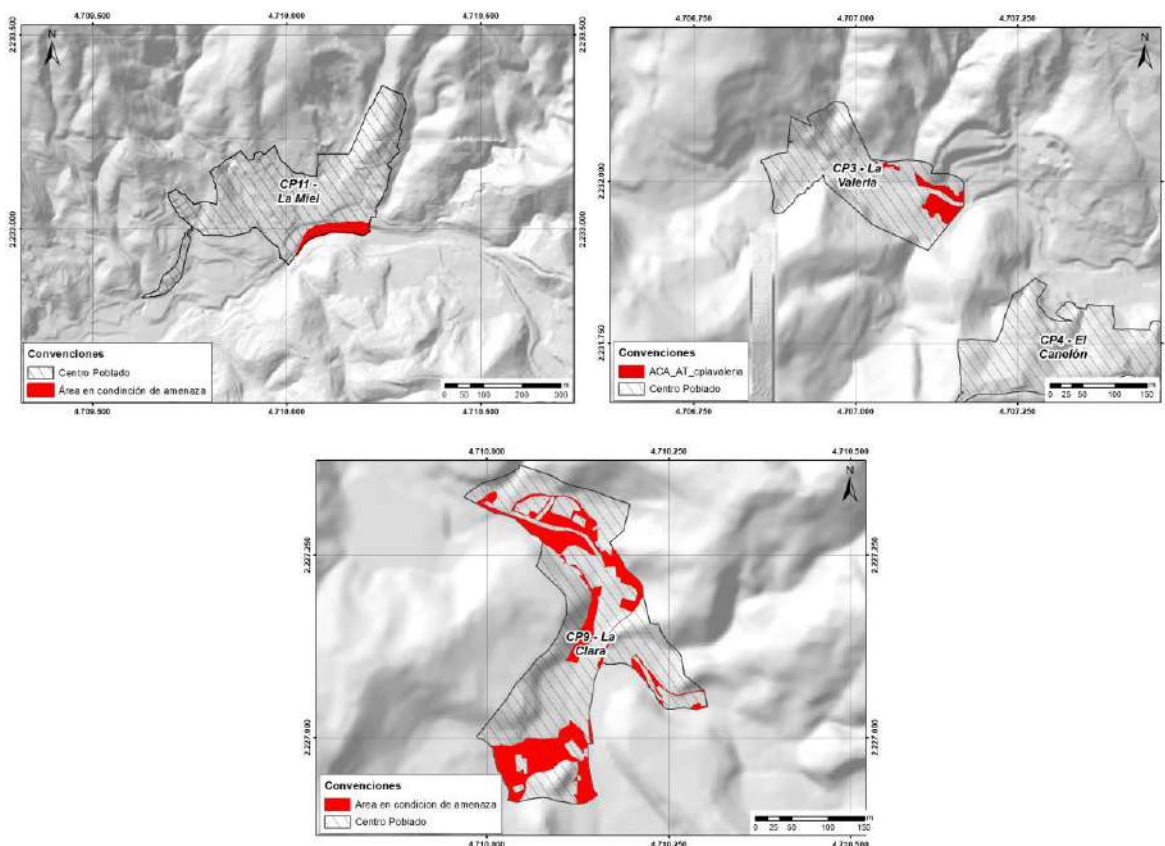


Figura 214. Áreas con condición de amenaza por avenida torrencial en centros poblados

Fuente: Estudio básico de amenazas del municipio de Caldas 2023

9. LINEAMIENTOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DETALLADOS

Las áreas con condición de riesgo y condición de amenaza están sujetas a la realización de estudios detallados los cuales determinen las medidas de intervención para mitigar la amenaza y/o riesgo, para esto, el Decreto Nacional 1077 de 2015, define los elementos a tener en cuenta en la realización de los estudios detallados para cada uno de los eventos estudiados:

1. Análisis detallado de amenaza
2. Evaluación de vulnerabilidad
3. Evaluación del riesgo
4. Determinación de medidas de mitigación

Para las áreas con condición de riesgo, estos estudios serán realizados en los plazos que determine la priorización planteada en el documento, además, serán realizados en escala 1:2000 para el suelo urbano y 1:5000 para el suelo rural.

9.1 ANÁLISIS DETALLADO DE AMENAZA

9.1.1 ANÁLISIS DETALLADO DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Para el análisis detallado de amenaza por movimientos en masa se debe tener en cuenta que las áreas de estudio correspondan con las áreas con condición de riesgo o con condición de amenaza por movimientos en masa, podrán ser precisadas con base en la geoforma de la zona objeto de análisis.

Los insumos mínimos requeridos son:

- Geología para ingeniería.
- Geomorfología a nivel de elementos.
- Hidrogeología, con énfasis en los comportamientos de los niveles freáticos.
- Evaluación de drenajes superficiales.
- Exploración del subsuelo.
- Levantamiento topográfico, incluyendo la información predial o catastral.

El análisis de la amenaza a nivel detallado se realiza empleando por lo menos métodos determinísticos, en función de la dinámica del movimiento en masa objeto de análisis.

Como parte del análisis de amenaza se debe tener en cuenta las causas de la inestabilidad del terreno, considerando dentro de los agentes detonantes los siguientes factores: agua, sismo y procesos antrópicos (cortes, excavaciones, rellenos y construcciones en general), mediante el análisis mínimo de tres eventos.

Como parte de los resultados se debe obtener la zonificación de amenaza por movimientos en masa, con un documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.

9.1.2 ANÁLISIS DETALLADO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

Se debe tener en cuenta que el área de estudio se referirá a las áreas con condición de riesgo o con condición de amenaza por inundación y articulado con el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCA.

Se debe utilizar como mínimo los siguientes insumos:

- Información de hidrología e hidráulica.

- Información topográfica y batimétrica detallada de los tramos de cauce analizados, incluyendo aquellos elementos o tramos que estén asociados con el origen de la inundación.

El alcance de los estudios a nivel detallado se debe realizar teniendo en cuenta criterios históricos, geomorfológicos, hidrológico-hidráulicos empleando métodos asistidos por sensores remotos y sistemas de información geográfica.

Como producto se debe entregar como mínimo la zonificación de la amenaza por inundación por desbordamiento, el cual delimita y caracteriza los diferentes niveles de amenaza que presenta el territorio estudiado. Se debe elaborar un documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.

9.1.3 ANÁLISIS DETALLADO DE AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL

Se debe tener en cuenta que el área de estudio se referirá a las áreas con condición de riesgo o con condición de amenaza por avenida torrencial y articulado con el POMCA. Los insumos necesarios son:

- Caracterización sedimentológica de la corriente.
- Caracterización geomorfológica.
- Información hidrológica e hidráulica.
- Información topográfica y batimétrica detallada de los tramos de cauce analizados.

El alcance de los estudios a nivel detallado se debe realizar teniendo en cuenta criterios históricos, geomorfológicos, hidrológico-hidráulicos empleando métodos asistidos por sensores remotos y sistemas de información geográfica.

Como producto se debe entregar como mínimo la zonificación de la amenaza por avenida torrencial por desbordamiento, el cual delimita y caracteriza los diferentes niveles de amenaza que presenta el territorio estudiado. Se debe elaborar un documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.

9.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Para evaluar la vulnerabilidad se consideran los siguientes aspectos:

- Se debe identificar y localizar en la cartografía correspondiente los elementos expuestos.
- Se debe establecer las características de los elementos expuestos a las amenazas identificadas, en cuanto al tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial.
- Se deben identificar los diferentes tipos de daño o efecto esperado sobre los elementos expuestos que se pueden presentar como resultado del fenómeno natural.

Esta información debe zonificarse en un mapa a la misma escala del mapa de amenazas detallados estableciendo categorías de vulnerabilidad alta, media y baja, de acuerdo con las características de los elementos expuestos.

9.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO

El riesgo se debe categorizar en alto, media y bajo, en función del nivel de afectación esperada. Para las zonas en alto riesgo se definirá la mitigabilidad o no mitigabilidad, a partir de las alternativas de intervención física para reducir y evitar el incremento de la amenaza y/o vulnerabilidad.

Para estas alternativas se deberá evaluar su viabilidad de ejecución desde el punto de vista técnico, financiero y urbanístico. Bajo estas evaluaciones se obtendrá la definición del riesgo alto mitigable o riesgo alto no mitigable.

Los estudios de evaluación del riesgo deben acompañarse de los siguientes documentos por cada fenómeno analizado:

1. Documento técnico que contenga metodología de evaluación empleada y los resultados.
2. Fichas de evaluación de vulnerabilidad.
3. Mapas de vulnerabilidad categorizada en alta, media y baja.
4. Mapa de riesgo, categorizado en alto, medio y bajo, señalando para el riesgo alto si es mitigable o no mitigable.
5. Mapas de localización y dimensionamiento de las medidas de intervención propuestas.
6. Presupuestos estimados de costos de las alternativas planteadas.
7. Inventario de viviendas en alto riesgo no mitigable.

9.4 OTRAS DISPOSICIONES

Como parte de los estudios de detalle de las amenazas por movimientos en masa se deben tener en cuenta los criterios presentados en el documento “Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera en el Valle de Aburrá” Acuerdo 009 (AMVA, 2012).

Para los estudios geológicos geotécnicos de detalle que impliquen el diseño y/o la construcción de obras civiles, se debe tener en cuenta los lineamientos de la Norma Sismo resistente colombiana de 2010 (AIS, 2010), así como las normas urbanísticas y de construcción que tengan vigentes las autoridades municipales.

De igual forma, se recomienda considerar la Guía de Integración de la Gestión del Riesgo y el Ordenamiento Territorial Municipal de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD & MADS, 2015) y demás guías metodológicas propuestas por entidades oficiales asociadas con la gestión del riesgo, como el Servicio Geológico Colombiano y el IDEAM.

10. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN

La Unidad Nacional de Gestión del Riesgo (UNGRD & MADS, 2015), define que la reducción del riesgo está asociado con la intervención prospectiva enfocada en la prevención del riesgo y la intervención correctiva asociada con la mitigación del riesgo, esto es posible bajo la implementación de medidas de intervención estructurales y no estructurales, cuya determinación y aplicación está supeditada a los lineamientos del Decreto Nacional 1077 de 2015, a continuación se establecen las medidas que deben ser tenidas en cuenta para las zonas definidas como con condición de riesgo o amenaza.

10.1.1 MEDIDAS DE INTERVENCIÓN ESTRUCTURALES

El Decreto Nacional 1077 de 2015 define las medidas de intervención estructurales como *“medidas físicas encaminadas a la realización de acciones y obras para atender las condiciones de riesgo ya existentes. Entre otras se consideran las siguientes: obras de estabilización y de reforzamiento de edificaciones e infraestructura, las cuales deben ser predimensionadas sobre la cartografía a nivel de prediseño, con el estimativo de costos correspondiente”* (Decreto 1077, 2015, pág. Art. 2.2.2.1.3.2.2.7).

Estas medidas son definidas de acuerdo con los resultados que arrojen los estudios detallados, algunas son:

- Recolección de las aguas lluvias a través de cunetas, canales o filtros de tal forma que se evite la concentración de los flujos donde puedan presentarse deslizamientos.
- Mejorar el sistema de conducción mediante mangueras de aguas crudas captadas en fuentes hídricas que generen potencial de saturación del suelo por mal estado o mal diseño en función de pérdidas de agua al suelo que atraviesen este tipo de áreas.
- Mejoramiento de vías y de drenajes de áreas comunes o públicas, que permitan tener una condición de permeabilidad ante aguas de escorrentía. E.g cunetas, andenes, drenajes conectados a fuentes hídricas.
- Ejecutarse obras de estabilidad de acuerdo con diseños geotécnicos y estructurales.
- Recuperación de áreas degradadas con erosión superficial mediante revegetalización, obras de bioingeniería y mejoramiento de coberturas vegetales.
- Revitalización de los bosques galería a través de la revegetalización de especies a lo largo de la quebrada.
- Protección y reforestación de las zonas de nacimiento de las diferentes cuencas.
- Remoción de sedimentos como mantenimiento de coberturas, canales y tuberías.
- Adecuación hidráulica de las quebradas y de las obras construidas sobre estas.

10.1.2 MEDIDAS DE INTERVENCIÓN NO ESTRUCTURALES

Las medidas de intervención no estructurales se definen como:

“[...] orientadas a regular el uso, la ocupación y el aprovechamiento del suelo mediante la determinación de normas urbanísticas, proyectos para la implementación de sistemas de alertas tempranas en los casos que aplique, así como la socialización y apropiación cultural de los principios de responsabilidad y precaución” (Presidencia de la República de Colombia, 2015, pág. Art. 2.2.2.1.3.2.2.7).

- Definir suelos de protección a partir de los resultados de mitigabilidad del riesgo de los estudios detallados y promover su conservación.
- Dar a conocer las condiciones de riesgo del territorio, así como asistencia técnica de las normas que definan los requisitos exigidos.
- Socialización con los distintos sectores y/o barrios que se encuentren con condición de riesgo por cualquiera de las amenazas, con el fin de concientizar a la población de las diferentes actividades que se deben evitar para reducir la amenaza y/o riesgo.
- Vigilancia y monitoreo en el transporte de materiales peligrosos.
- Desarrollo y fortalecimiento institucional de la Unidad Municipal de Gestión del Riesgo, así como de los equipamientos para la prevención y atención de desastres.
- Articulación con los programas y estrategias propuestas por el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias, el Plan de Desarrollo Municipal y el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas, que corresponda y apunten a la reducción de la amenaza y/o riesgo.
- Limpieza de caños y quebradas, retiro de desechos sólidos, residuos de la construcción, árboles, entre otros residuos que pueda generar obstrucciones y potenciales puntos de inundación.
- Mantener los retiros a fuentes hídricas en caso de que estos suelos se desarrollen.
- En las cuencas que tienen potencial de avenidas torrenciales, cambiar el uso del suelo por protección donde haya un potencial de generar sedimentos.

10.1.3 ESTUDIOS DE DETALLE

En la jurisdicción del municipio se cuenta con estudios de detalle como son: los estudios de riesgo de detalle de la quebrada La Raya (AMVA, 2019) y el estudio detallado de amenaza por inundación del río Medellín (AMVA, 2022), en los cuales se presentan diseños de obras para la mitigación del riesgo en el caso del estudio

de La Raya y la amenaza en el caso del estudio del río Medellín, las cuales se incorporan dentro de las medidas de intervención a adelantar, estos serán revisados, dado que pueden presentarse variaciones en la topografía de los sitios a intervenir que exijan ajuste del diseño.

11. REFERENCIAS

- AIS. (2010). *Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-10*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- AMVA & UNAL. (2022). *ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RÍO MEDELLIN*.
- AMVA. (2006). *Microzonificación Sísmica Detallada De Los Municipios De Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas Y Envigado*.
- AMVA. (2012). *Directrices Y Lineamientos Para La Elaboración De Los Estudios Geológicos Geomorfológicos, Hidrológicos, Hidráulicos, Hidrogeológicos Y Geotécnicos Para Intervenciones En Zonas De Ladera, En El Valle De Aburrá*.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2006). *Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial*. Medellín: AMVA.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2008). *Plan de Desarrollo Turístico del Valle de Aburrá 2008-2015*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, URBAM. (2011). *Plan Director BIO 2030*. Medellín: Mesa Editores.
- Aristizabal, E., Vázquez, M., & Ruiz, D. (2019). Métodos estadísticos para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa. *TecnoLógicas*, vol. 22. no. 46, pp. 39-60.
- Bennett, G., & Mulongoy, K. (2006). Review of experience with ecological networks, corridors, and buffer zones. En *CBD Technical Series No 23* (pág. 100).
- Charman, P. V., & Murphy, B. W. (2000). *Soils: their properties and management (2nd ed.)*. Melbourne y Oxford: Oxford University Press.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. En *Water Resources and Environmental Engineering*. New York: McGraw Hill Series.
- Colorado Zuluaga, G., Vásquez Muñoz, J., & Mazo Zuluaga, I. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). . *Acta biol. Colombia*(22(3)), 379-393. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>

- Congreso de la República. (30 de Diciembre de 1993). Ley 105 de 1993. *Reglamentada parcialmente por el Decreto Nacional 105 de 1995 ,Reglamentada por el Decreto Nacional 2263 de 1995 por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades.* Bogotá.
- Congreso de la República. (18 de Julio de 1997). Ley 388 de 1997. *Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones.* Bogotá.
- Congreso de la República. (31 de Julio de 2006). Ley 1083 de 2006. *Reglamentada parcialmente por el Decreto Nacional 798 de 2010 por medio de la cual se establecen algunas normas sobre planeación urbana sostenible y se dictan otras disposiciones.* Bogotá D.C.
- Congreso de la República. (16 de Julio de 2008). Ley 1228 de 2008. *Reglamentada Parcialmente por el Decreto Nacional 4550 de 2009 por la cual se determinan las fajas mínimas de retiro obligatorio o áreas de exclusión, para las carreteras del sistema vial nacional, se crea el Sistema Integral Nacional de Información de C.* Bogotá.
- Congreso de la República de Colombia. (24 de Abril de 2012). Ley 1523 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. *Diario Oficial 48411 de abril 24 de 2012.* Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Imprenta Nacional.
- Congreso de la República de Colombia. (13 de Julio de 2016). Ley 1796, Por la cual se establecen medidas enfocadas a la protección del comprador de vivienda, el incremento de la seguridad de las edificaciones y el fortalecimiento de la función pública que ejercen los curadores urbanos y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial No. 49.933.* Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslides types and processes. En A. Turner, & L. Schuster, *Landslides: Investigation and Mitigation, Transporation research Board, Spetial Report 247* (págs. 36-75). Washingron, D.C: Natonal acedemy Press.
- Grosse, E. (1926). *Terciario Carbonifero de Antioquia.* Berlin.
- Herrera, C., & DÍAZ, V. (2013). *Ecología del paisaje, conectividad ecológica y territorio. Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica.* En DOSSIER ciudades 1. Obtenido de <http://www3.uva.es/iuu/DOSSIER/Dossier%2001/Dossier%2001%20043-070%20HERRERA%20CALVO.pdf>
- Hurlimann, M., Reckenmann, D., Medina, V., & Bateman, A. (2008). Evaluation of approaches to calculate debris-flow parameters for hazard assessment. *Engineering Geology*, 152-163.
- IDEAM. (2011). *Aportes del IDEAM para la definición y aplicación de la Estructura Ecológica Nacional - Documento Sinteís.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM-. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERA.* Bogotá.
- IDEAM. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación.* Bogotá.
- Maya y Gonzalez . (1995). Unidades litodémicasde la cordillera Central de Colombia. *Boletin geologico, Ingeominas.*
- McGarigal, K., Cushman, S., & Ene, E. (2012). *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps.* Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Recuperado el 2018, de <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

- MINAMBIENTE. (1998). *Guía ambiental para el transporte de hidrocarburos por ductos*. Bogotá.
- MINAMBIENTE. (2003). *Guía de manejo seguro y gestión ambiental para 25 sustancias químicas*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- MINAMBIENTE. (2003, b). *Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos*. Bogotá: Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (1996). *Ciudades y Ciudadanía. La Política urbana del salto social*.
- Municipio de Caldas. (2015). *Fuente: Plan Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres*.
- OMM - UNESCO. (2012). *Glosario hidrológico internacional*. Ginebra.
- Presidencia de la República. (17 de Mayo de 2005). Ley 1538 de 2005. *por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 361 de 1997*. Bogotá D.C.
- Presidencia de la Republica de Colombia. (30 de Diciembre de 2005). Decreto 4741 de 2005. *Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o*. (M. d. Territorial, Ed.) Bogotá: Colombia.
- Presidencia de la República de Colombia. (26 de Mayo de 2015). Decreto 1077. *"Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional.
- Presidencia de la República de Colombia. (26 de Mayo de 2015). Decreto 1077 de 2015. *"Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. Bogotá D.C.
- Rickenmann, D. (1991). HYPERCONCENTRATED FLOW AND SEDIMENT. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1419-1439.
- SCS. (1972). Hidrology. En USDA, *National Engineering Han-Book* (pág. 544). Washington, D.C.: U.S Government Printing Office.
- SGC. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2021). *Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales*. Bogotá.
- Snyder, W. M. (1972). Fitting Of Distribution Functions By Nonlinear Least Squares. *Water Resources Research*, 1423-1432.
- Suarez Niño, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: División Publicaciones UIS.
- Suarez, J. (2001). Capitulo 5. EROSIÓN EN MASA – FLUJOS Y AVALANCHAS. En *Control de erosión en zonas tropicales* (págs. 170-190). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos, análisis geotécnico, Volumen, 1*. Bucaramanga: División Publicaciones UIS.
- Turner, M., Gardner, R., & O'Neill, R. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice*. New York: Springer-Verlag.
- UNAL & AMVA. (2018). *Estudios básicos de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales en los municipios de Caldas, La Estrella, Envigado, Itagüí, Bello, Copacabana y Barbosa, para la incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial*. Medellín: AMVA.
- UNGRD & MADS. (2015). *Guía de Integración de la Gestión del Riesgo y el Ordenamiento Territorial Municipal*. Unidad Nacional Para La Gestión Del Riesgo De Desastres & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá: UNGRD.

- Williams, J., & Hann, W. (1973). HYMO: problem-oriented computer language for hydrologic modeling, users manual, ARS-09. (U. D. Agriculture, Ed.) *Agricultural Research Service*, 76.
- Xing, Z., G. Tarboton, D., R. Maidment, D., Y. Liu, Y., & Passalacqua, P. (2018). River Channel Geometry and Rating Curve Estimation Using. *JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION*, 1-22.