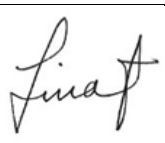
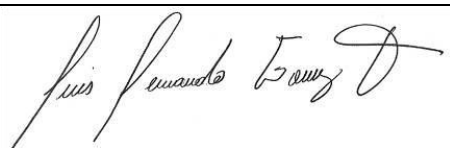
Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

REPORTE DE AVANCES EN LA PROGRAMACIÓN DEL PROCESO DE REVISIÓN Y AJUSTE AL PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE CALDAS, ANTIOQUIA

INFORME

ACTUALIZACIÓN DE LA RED HÍDRICA DEL MUNICIPIO DE CALDAS

	
Lina María Tamayo Herrera **Representante Legal** **Bioexplora S.A.S.**	**Luis Fernando Gómez Arroyave** **Director de proyectos** **Bioexplora S.A.S.**

MEDELLÍN 2023

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 11
2 LOCALIZACIÓN 12
3 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS 14
3.1 MORFOMETRÍA BASE DEL TERRITORIO 16
3.1.1 Modelo de elevación digital 16
3.1.2 Modelo de sombras 18
3.1.3 Pendientes 19
3.1.4 Curvatura 21
3.1.5 Aspectos 22
3.1.6 Rugosidad 23
3.2 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS-HIDROLÓGICOS 25
3.2.1 Índice de compacidad o índice de Gravelius 25
3.2.2 Índice de forma (Kf) 25
3.2.3 Índice asimétrico 26
3.2.4 Afluentes 27
4 ACTUALIZACIÓN DE LA RED HÍDRICA 29
4.1 OBJETIVOS Y ALCANCE 29
4.1.1 Objetivos Específicos 29
4.2 METODOLOGÍA 29
4.2.1 Recopilación de información básica 30
4.2.2 Definición Modelo elevación digital del territorio 33
4.2.3 Definición manchas hidráulicas (Estudio Hidrológico) 33
4.2.4 Estudio Hidráulico 49
4.3 REVISIÓN Y CORRECCIÓN DE LA RED DE DRENAJE DEL MUNICIPIO 56
4.3.1 Visitas de campo 64
5 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS 72
5.1 GEOLOGÍA 72
5.1.1 Anfibolita del Alto de Minas (PZaAM) 73
5.1.2 Anfibolita Granatífera del Caldas (PZagC) 73
5.1.3 Depósitos aluviales (Qal) 74
5.1.4 Depósitos aluviotorrenciales (Qat) 75
5.1.5 Depósitos antrópicos-Llenos (Qll) 75
5.1.6 Depósitos de deslizamiento (Qd) 76
5.1.7 Depósitos de flujo de lodo y de escombros (NQFII – NFI - NFpreI) 77
5.1.8 Esquistos de Caldas (PZeC) 78
5.1.9 Esquistos de Cajamarca (TReC) 79
5.1.10 Miembro Volcánico de Quebradagrande (KvQG) 80
5.1.11 Miembro volcano-sedimentario (KvsQG) 80
5.1.12 Stock de Amagá (TRgA) 81
5.1.13 Río Aburrá 82
5.2 GEOMORFOLOGÍA 83
5.2.1 Cauce aluvial (Fca) 84

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.2.2 Colina residual (Dcr) 84
5.2.3 Cono de flujo de lodos y escombros (Dfles) 84
5.2.4 Cono o lóbulo de deslizamiento (Dd) 85
5.2.5 Cimas amplias (Dca) 86
5.2.6 Cimas estrechas (Dce) 86
5.2.7 Escarpe de erosión menor (Deeme) 86
5.2.8 Espolón bajo de longitud media (Sesbm) 86
5.2.9 Espolón moderado de longitud media (Sesmm) 87
5.2.10 Espolones estructurales (Spe) 87
5.2.11 Geoforma Antrópica (GAn) 88
5.2.12 Llanura aluvial (Fpal) 88
5.2.13 Llanuras y/o terrazas aluviotorrenciales (Fptalv) 89
5.2.14 Lomeríos poco disectados (Dldi) 90
5.2.15 Lomo de falla (Slf) 90
5.2.16 Lomos denudados bajos de longitud corta (Dldecc) 91
5.2.17 Lomos denudados bajos de longitud media (Dldebm) 91
5.2.18 Lomo denudado moderado de longitud media (Dldemm) 92
5.2.19 Lomos denudados bajos de longitud media a corta (Dldebmc) 92
5.2.20 Lomos denudados moderados de longitud larga (Dldeml) 93
5.2.21 Lomo residual (Dlres) 93
5.2.22 Lomos denudados (Dld) 93
5.2.23 Lomos disectados (Dldi) 94
5.2.24 Sierra residual (Dsr) 94
5.2.25 Superficies irregulares de alta pendiente (Dsiap) 94
5.2.26 Superficies moderadas en depósitos poco incisados (Dsmdpi) 94
5.2.27 Superficies suaves en depósitos poco incisados (Dssdpi) 95
5.2.28 Superficies suaves en suelo residual (Dsssr) 95
5.2.29 Superficies moderadas en suelo residual (Dsmsr) 95
5.2.30 Superficies suaves irregulares (Dssi) 95
5.2.31 Vertiente moderada poco incisada (Dvmpi) 96
5.2.32 Vertiente poco incisada (Dvpi) 96
5.2.33 Vertientes empinadas (Dve) 96
5.2.34 Vertiente sobre depósitos poco incisados (Dvdpi) 97
5.3 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA 97
5.3.1 QUEBRADA LA RAYA 97
5.3.2 QUEBRADA LA AGUACATALA 100
5.3.3 QUEBRADA LA CHUSCALA 103
5.3.4 QUEBRADA EL CANO 106
5.3.5 QUEBRADA EL ZARZO 109
5.3.6 QUEBRADA LA CHAPOLA 112
5.3.7 QUEBRADA SIN NOMBRE (SN1) 115
5.3.8 QUEBRADA LA RAPIDA 118
5.3.9 QUEBRADA LA VALERIA 121
5.3.10 QUEBRADA MANDALAY 124
5.3.11 QUEBRADA LA SALADA 127

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.3.12 QUEBRADA LA MINA 130
5.3.13 QUEBRADA LA MIEL 133
5.3.14 QUEBRADA LA LEJIA 136
5.3.15 QUEBRADA LA CORRALITA 139
5.3.16 QUEBRADA LA CLARA 142
5.3.17 QUEBRADA LA BRUNERA 145
5.3.18 QUEBRADA SINIFANÁ 148
5.3.19 AFLUENTES DIRECTOS AL RÍO CAUCA 151
5.3.20 RÍO ABURRÁ PARTE ALTA 154
5.3.21 RÍO ABURRÁ Y AFLUENTES DIRECTOS 157
6 ANÁLISIS DE SUFICIENCIA HIDRÁULICA 160
6.1 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS ESTRUCTURAS 160
6.1.1 Estructuras de alcantarilla circulares y de cajón 160
6.1.2 Estructuras tipo puente 163
6.2 ESTUDIO HDIROLÓGICO 165
6.2.1 Análisis de susceptibilidad y determinación de corrientes a estudiar 165
6.2.2 Caracterización de la red de drenaje 167
6.2.3 Tormenta de diseño 172
6.3 DIAGNÓSTICO SUFICIENCIA HIDRÁULICA 193
6.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 197
7 IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CRITICOS 198
8 IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO ASOCIADOS A LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MUNICIPIO SEGÚN CRITERIO DE ACTIVIDADES ECONÓMICAS, SOCIALES Y AMBIENTALES 201
8.1 CAUSAS EVIDENCIADAS EN CAMPO 203
8.2 EFECTOS EVIDENCIADOS 204
8.3 FENÓMENOS DE DIFERENTES ORÍGENES: 205
8.3.1 Hidrometeorológicos: 205
8.3.2 Geológicos: 212
8.4 FORMULACIÓN DE ACCIONES 216
8.4.1 Proyectos 216
9 REFERENCIAS 223

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1-1. Mapa de localización del Municipio de Caldas 13
Figura 3.1-1.Cuencas principales que hacen parte del municipio de Caldas 15
Figura 3.1-1. Modelo digital de elevación del terreno en el Municipio de Caldas 17
Figura 3.1-2. Modelo de sombras del Municipio de Caldas 18
Figura 3.1-3. Mapa de pendientes del Municipio de Caldas 20
Figura 3.1-4. Mapa de Curvatura del Municipio de Caldas 21
Figura 3.1-5. Mapa de dirección de flujo del municipio de Caldas. 22
Figura 3.1-6. Mapa de rugosidad del Municipio de Caldas 24
Figura 4.2-1. Esquematización del proceso de estimación de caudales máximos 35
Figura 4.2-2. Estaciones con información de IDF de la lluvia. 37
Figura 4.2-3. Curvas de IDF en la estación Chorrillos en condiciones actuales [Izquierda] y considerando los efectos del cambio climático [Derecha]. 38

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Figura 4.2-4. Curvas de factir de reducción de la lluvia por área. 39
Figura 4.2-5. Hietograma de precipitación con base en la metodología de bloques alternantes 39
Figura 4.2-6. Hidrograma unitario sintético de Snyder 44
Figura 4.2-7. Hidrógrafa unitaria del SCS y su hidrógrafa triangular equivalente....45
Figura 4.2-8. Hidrógrafa unitaria de Williams y Hann 46
Figura 4.2-9. Relación entre B y n para 1,27 < n <= 12 y relación entre B y n para n < 1,27....47
Figura 4.2-10. Deconvolución matricial de la hidrógrafa de respuesta....48
Figura 4.2-11. Tipos de flujo con control en la entrada....52
Figura 4.2-12. Tipos de flujo con control en la salida. 53
Figura 4.2-13. Esquematización del mapa de inundaciones asociado al DEM y niveles máximos. 55
Figura 4.2-14. Definición de manchas de inundación a partir del HAND. 55
Figura 4.2-15. Curva de calibración nivel-caudal en el tramo de descarga de la quebrada La Correa 56
Figura 4.3-1. Complementación de la red de drenaje afluentes Q. La Chaparrala....57
Figura 4.3-2. Complementación de la red de drenaje Subcuenca La Valeria....58
Figura 4.3-3 Complementación de la red de drenaje – Descarga de afluentes a la Q. La Miel....59
Figura 4.3-4. Complementación de la red de drenaje en cruces viales– Afluentes menores Río Aburrá....60
Figura 4.3-5. Representación en cartografía de la red hídrica, el circulo azul esta correcto y el rojo incorrecto, las flechas indican el lugar por donde debe estar representado 61
Figura 4.3-6. Visita para comprobar existencia de cauce....62
Figura 4.3-7. Red de drenaje corregida. 63
Figura 4.3-8. Modelo de elevación digital generado. 64
Figura 4.3-9. Visitas inventario red Hídrica. 65
Figura 4.3-10. Ejemplo de obra de cruce sobre quebrada. 66
Figura 4.3-11. Sitio sin obra de cruce ni cauce....67
Figura 4.3-12. Levantamiento topográfico del punto 7 - Puente. 71
Figura 5.1-1. Unidades geológicas con las cuencas del municipio de Caldas. 72
Figura 5.1-2. Depósitos aluviales ubicados en las zonas bajas de la quebrada la Miel. 74
Figura 5.1-3. Lleno antrópico ubicado en la zona urbana, en la margen izquierda de la variante de Caldas....76
Figura 5.1-4. Secuencia de depósito de vertiente con fragmentos de esquistos frescos, observada en la cuenca de la quebrada La Miel. 77
Figura 5.1-5. Fragmento de esquistos localizados en la cuenca de la quebrada La Miel. 79
Figura 5.1-6. Afloramiento de Lutitas en la quebrada La Valeria....81
Figura 5.1-7. Perfil de meteorización del Stock de Amagá, vereda Salinas. 82
Figura 5.2-1. Unidades geomorfológicas con las cuencas definidas para el municipio de Caldas. 83
Figura 5.2-2. Llanura aluvial en la quebrada La Miel y el río Aburrá. 89
Figura 5.2-3. Lomos denudados bajos de longitud corta. Localizados por la carretera que va de Caldas hacia el Alto de Minas. 91
Figura 5.3-1. Mapa de ubicación de la cuenca La Raya....98
Figura 5.3-2. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Raya.99
Figura 5.3-3. Mapa de ubicación de la cuenca de La Aguacatala. 101
Figura 5.3-4. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Aguacatala....102
Figura 5.3-5. Mapa de ubicación de la cuenca de La Chuscala. 104
Figura 5.3-6. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Chuscala 105

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Figura 5.3-7. Mapa de ubicación de la cuenca de El Cano. 107
Figura 5.3-8. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada El Cano. 108
Figura 5.3-9. Mapa de ubicación de la cuenca de El Cano. 110
Figura 5.3-10. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada El Zarzo. 111
Figura 5.3-11. Mapa de ubicación de la cuenca La Chapola. 113
Figura 5.3-12. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Chapola. 114
Figura 5.3-13 Mapa de ubicación de la cuenca SN1. 116
Figura 5.3-14. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada SN1. 117
Figura 5.3-15. Mapa de ubicación de la cuenca La Rápida. 119
Figura 5.3-16. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Rapida. 120
Figura 5.3-17. Mapa de ubicación de la cuenca La Valeria. 122
Figura 5.3-18. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Valeria 123
Figura 5.3-19. Mapa de ubicación de la cuenca Mandalay. 125
Figura 5.3-20. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada Mandalay 126
Figura 5.3-21. Mapa de ubicación de la cuenca La Salada. 128
Figura 5.3-22. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Salada 129
Figura 5.3-23. Mapa de ubicación de la cuenca La Mina. 131
Figura 5.3-24. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Mina 132
Figura 5.3-25. Mapa de ubicación de la cuenca La Miel. 134
Figura 5.3-26. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Miel 135
Figura 5.3-27. Mapa de ubicación de la cuenca La Lejía. 137
Figura 5.3-28. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Lejía 138
Figura 5.3-29. Mapa de ubicación de la cuenca La Corralita. 140
Figura 5.3-30. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Corralita. 141
Figura 5.3-31. Mapa de ubicación de la cuenca La Clara. 143
Figura 5.3-32. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Clara. 144
Figura 5.3-33. Mapa de ubicación de la cuenca La Brunera. 146
Figura 5.3-34. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Brunera 147
Figura 5.3-35. Mapa de ubicación de la cuenca Sinifaná. 149
Figura 5.3-36. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada Sinifaná. 150
Figura 5.3-37. Mapa de ubicación de la cuenca del Río Amagá. 152
Figura 5.3-38. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de los afluentes del río Cauca 153
Figura 5.3-39. Mapa de ubicación de la cuenca del Río Medellín parte alta. 155
Figura 5.3-40. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura del río Aburrá parte alta. 156
Figura 5.3-41. Mapa de ubicación de la cuenca Directos al Río Medellín. 158

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Figura 5.3-42. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de los afluentes directos al río Medellín. 159
Figura 6.1-1. Implementación de estructuras hidráulicas en el HEC-RAS, vista en sección - Obra 41.....163
Figura 6.1-2. Implementación de estructuras en el HEC-RAS, vista en perfil Obra – 41 164
Figura 6.2-1. Red de drenaje municipal y corrientes susceptibles a eventos de inundación.....166
Figura 6.2-2. Cuencas hidrográficas definidas para el municipio de Caldas. 168
Figura 6.2-3. Distribución temporal de la precipitación con un período de retorno de 100 años en la Q. La Valeria 178
Figura 6.2-4. Clasificación agrológica de los suelos en el municipio de Caldas.....180
Figura 6.2-5. Cobertura vegetal en el municipio de Caldas.....181
Figura 6.2-6. Número de Curva NRCS en el municipio de Caldas.....182
Figura 6.2-7. Deconvolución matricial de la hidrógrafa de respuesta. 184
Figura 6.2-8. 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. 184
Figura 6.3-1. Análisis de suficiencia hidráulica realizado para las estructuras visitadas 196
Figura 6.4-1. Mapa de Procesos morfodinámicos asociados a la red Hídrica.....199
Figura 6.4-1. Puntos críticos obras hidráulicas municipio de Caldas 201
Figura 8.2-1. Zonas con condición de riesgo por inundación sector urbano del municipio de Caldas - Sector La Inmaculada, evidencias de una lámina de agua hasta de 1 m de altura. 204
Figura 8.2-2. Sector La Playita 205
Figura 8.3-1. Determinación amenaza avenida torrencial 209
Figura 8.3-2. Determinación amenaza por inundación 210
Figura 8.3-3. Determinación Amenaza por movimiento en masa – Suelo urbano.....214
Figura 8.3-4. Histograma de frecuencia de la amenaza por movimiento en masa en suelo urbano 215
Figura 8.3-5. Determinación de amenaza por movimiento en masa – suelo Rural 215
Figura 8.3-6. Histograma de frecuencia de la amenaza por movimiento en masa en suelo rural 216

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1.Clasificación del terreno de acuerdo a los distintos rangos de pendientes. 19
Tabla 3-2. Parámetros morfométricos para las cuencas 26
Tabla 3-3. Cuencas hidrográficas del Municipio de Caldas.....27
Tabla 4-1 Informes y documentos de la revisión bibliográfica 30
Tabla 4-2 Metodologías para la estimación del tiempo de concentración (Tc).....36
Tabla 4-3 Número de curva para escorrentía con humedad antecedente AMC II.....41
Tabla 4-4 Conversión de humedad antecedente.....42
Tabla 4-5. Ecuaciones para el tipo de flujo en la entrada.....50
Tabla 4-6. Obras hidráulicas en el Municipio de Caldas.....67
Tabla 5-1. Distribución de la Anfibolita del Alto de Minas en las diferentes cuencas. 73
Tabla 5-2. Distribución de la Anfibolita Granatífera de Caldas en las diferentes cuencas. 73
Tabla 5-3. Distribución de los depósitos aluviales en las diferentes cuencas. 74
Tabla 5-4. Distribución de los depósitos aluviotorrenciales en las diferentes cuencas. 75
Tabla 5-5. Distribución de los llenos antrópicos en las diferentes cuencas.....76
Tabla 5-6. Distribución de los depósitos de deslizamiento en las diferentes cuencas. 77

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 5-7. Distribución de los depósitos de flujo de lodos y escombros en las diferentes cuencas. 78
Tabla 5-8. Distribución de los esquistos de Caldas en las diferentes cuencas. 79
Tabla 5-9. Distribución de los esquistos de Cajamarca en las diferentes cuencas. 80
Tabla 5-10. Distribución del Miembro Volcánico de Quebradagrande en las diferentes cuencas. 80
Tabla 5-11. Distribución del Miembro volcano-sedimentario de Quebradagrande en las diferentes cuencas. .81
Tabla 5-12. Distribución del Stock de Amagá en las diferentes cuencas. 82
Tabla 5-13. Distribución del río Aburrá en las diferentes cuencas. 82
Tabla 5-14. Distribución de la unidad geomorfológica cauce aluvial en las diferentes cuencas. 84
Tabla 5-15. Distribución de la unidad geomorfológica colina residual en las diferentes cuencas. 84
Tabla 5-16. Distribución de la unidad geomorfológica cono de flujo de lodos y escombros en las diferentes cuencas. 84
Tabla 5-17. Distribución de la unidad geomorfológica cono o lóbulo de deslizamiento en las diferentes cuencas. 85
Tabla 5-18. Distribución de la unidad geomorfológica cimas amplias en las diferentes cuencas. 86
Tabla 5-19. Distribución de la unidad geomorfológica cimas estrechas en las diferentes cuencas. 86
Tabla 5-20. Distribución de la unidad geomorfológica escarpe de erosión menor en las diferentes cuencas...86
Tabla 5-21. Distribución de la unidad geomorfológica Espolón bajo de longitud media en las diferentes cuencas. 87
Tabla 5-22. Distribución de la unidad geomorfológica Espolón moderado de longitud media en las diferentes cuencas. 87
Tabla 5-23. Distribución de la unidad geomorfológica Espolones estructurales en las diferentes cuencas. 87
Tabla 5-24. Distribución de la unidad geomorfológica Geoforma Antrópica en las diferentes cuencas. 88
Tabla 5-25. Distribución de la unidad geomorfológica Llanura aluvial en las diferentes cuencas. 89
Tabla 5-26. Distribución de la unidad geomorfológica Llanuras y/o terraza aluviotorrenciales en las diferentes cuencas. 89
Tabla 5-27. Distribución de la unidad geomorfológica Lomeríos poco disectados en las diferentes cuencas. .90
Tabla 5-28. Distribución de la unidad geomorfológica Lomo de falla en las diferentes cuencas. 90
Tabla 5-29. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados bajos de longitud corta en las diferentes cuencas. 91
Tabla 5-30. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados bajos de longitud media en las diferentes cuencas. 91
Tabla 5-31. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados moderados de longitud media en las diferentes cuencas. 92
Tabla 5-32. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados bajos de longitud media corta en las diferentes cuencas. 92
Tabla 5-33. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados moderados de longitud larga en las diferentes cuencas. 93
Tabla 5-34. Distribución de la unidad geomorfológica Lomo residual en las diferentes cuencas. 93
Tabla 5-35. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados en las diferentes cuencas. 93
Tabla 5-36. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos disectados en las diferentes cuencas. 94
Tabla 5-37. Distribución de la unidad geomorfológica Sierra residual en las diferentes cuencas. 94
Tabla 5-38. Distribución de la unidad Superficies irregulares de alta pendiente en las diferentes cuencas. 94
Tabla 5-39. Distribución de la unidad Superficies moderadas en depósitos poco incisados en las diferentes cuencas. 95

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 5-40. Distribución de la unidad Superficies suaves en depósitos poco incisados en las diferentes cuencas. 95
Tabla 5-41. Distribución de la unidad Superficies suaves en suelo residual en las diferentes cuencas.....95
Tabla 5-42. Distribución de la unidad Superficies moderadas en suelo residual en las diferentes cuencas. 95
Tabla 5-43. Distribución de la unidad Superficies suaves irregulares en las diferentes cuencas.....96
Tabla 5-44.Distribución de la unidad Vertiente moderada poco incisada en las diferentes cuencas. 96
Tabla 5-45. Distribución de la unidad Vertiente poco incisada en las diferentes cuencas. 96
Tabla 5-46. Distribución de la unidad Vertientes empinadas en las diferentes cuencas. 97
Tabla 5-47. Distribución de la unidad Vertiente sobre depósitos poco incisados en las diferentes cuencas. ...97
Tabla 5-48. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Raya.....100
Tabla 5-49. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Aguacatala. 103
Tabla 5-50. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Chuscala. 106
Tabla 5-51. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada El Cano. 109
Tabla 5-52. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada El Zarzo.....112
Tabla 5-53. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Chapola.....115
Tabla 5-54. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada SN1. 118
Tabla 5-55. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Rápida.....121
Tabla 5-56. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Valeria. 124
Tabla 5-57. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada Mandalay 127
Tabla 5-58. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Salada.....130
Tabla 5-59. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Mina. 133
Tabla 5-60. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Miel. 136
Tabla 5-61. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Lejía. 139
Tabla 5-62. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Corralita. 142
Tabla 5-63. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Clara. 145
Tabla 5-64. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Brunera. 148
Tabla 5-65. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada Sinifaná.....151
Tabla 5-66. Parámetros morfométricos de la cuenca Rio Medellín parte alta. 157
Tabla 6-1. Estimación de la capacidad hidráulica de las estructuras tipo puente.....164
Tabla 6-2. Caracterización de la red de drenajes.....169
Tabla 6-3. Caracterización de la red de drenajes, continuación.....170
Tabla 6-4. Caracterización de la red de drenajes, continuación.....171
Tabla 6-5. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales.....173
Tabla 6-6. Tiempos de concentración de las cuencas principales, continuación 174
Tabla 6-7. Tiempos de concentración de las cuencas principales, continuación 175
Tabla 6-8. Porcentaje de superposición entre cuencas y polígonos de Thiessen de las estaciones IDF.....176
Tabla 6-9. Intensidad de la lluvia asociada a cada período de retorno para las cuencas principales 176
Tabla 6-10. Factor de reducción de la lluvia en función del área y el tiempo de concentración.....177
Tabla 6-11. Coeficiente de escorrentia (CN) asociado a cada cobertura identificada en el POT y su relación con las coberturas definidas por el NRCS.....178
Tabla 6-12. Grupo hidrológico asociado a cada tipo de suelo.....179
Tabla 6-13. Número de Curva NRCS para las principales cuencas.....183
Tabla 6-14. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m3/s) – W & H.....185

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-15. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m3/s) – Snyder 186
Tabla 6-16. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m3/s) – NRCS 187
Tabla 6-17. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m3/s)– Racional 188
Tabla 6-18. Selección de metodologías utilizadas para estimar los caudales de diseño 188
Tabla 6-19. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m3/s)– Valores seleccionados 189
Tabla 6-20. Caudales máximos estimación en los sitios con estructuras tipo alcantarilla circular y de cajón – m3/s 190
Tabla 6-21. Caudales máximos estimación en los sitios con estructuras tipo Puente – m3/s 192
Tabla 6-22. Suficiencia hidráulica en los sitios con estructuras tipo alcantarilla circular y de cajón 193
Tabla 6-23. Suficiencia hidráulica en los sitios con estructuras tipo puente 195
Tabla 7-1.Listado de proceso morfodinámicos asociados a la red Hídrica 198
Tabla 7-2. Listado Ejemplos Sitios Críticos 200
Tabla 8-1. Puntos críticos obras hidráulicas municipio de Caldas 202
Tabla 8-2. Distribución de área de la amenaza por movimiento en masa en suelo urbano 214
Tabla 8-3. Distribución de área de la amenaza por movimiento en masa en suelo rural 216

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1-1. Perfil del territorio municipal, occidente a oriente, a la altura de Primavera, La línea marca la divisoria de aguas, Aburrá Cauca 14
Gráfica 3.1-2. Perfil longitudinal del río Aburrá., La línea marca el inicio de la cabecera municipal 14

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

1 INTRODUCCIÓN

La actualización de la red hídrica del Municipio de Caldas, se realizó a partir de la información disponible en el POMCA vigente, realizado por la Universidad de Nacional de Colombia – Sede Medellín (2005 – 2007), complementado con información geofísica, hidrológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica, disponible en diferentes estudios realizados en el área, por entidades como el AMVA, quienes en convenio con la Universidad de Antioquia, ejecutaron el proyecto de RedRío (Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburrá). Con el fin de identificar y caracterizar las unidades geológicas y geomorfológicas que componen la red de drenaje del municipio, se hizo una evaluación, basada en la información presentada en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del año 2021.

Este sistema hídrico estaba desactualizado ya que no contaba con información clara sobre los siguientes aspectos:

- No estaban dibujadas en forma continua desde su nacimiento hasta su desembocadura.
- Recopilación completa sobre las distintas estructuras como tanques, muros de contención, vertimientos, afloramientos, captaciones, procesos erosivos, puntos críticos, tanques, puentes, etc.
- Las quebradas no poseen información sobre el tipo, dimensiones, características hidráulicas, etc.
- No se cuenta con información georreferenciada de las distintas problemáticas presentes en las quebradas, lo cual es una herramienta imprescindible a la hora de intervenir un cauce o tomar medidas correctivas para la mitigación de los impactos ambientales y sociales.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

2 LOCALIZACIÓN

El municipio de Caldas, tiene una extensión de 133,35 km2, ubicándose en el extremo sur del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, cuya cabecera está a 14,5 km de Medellín. La superficie del municipio comprende dos cuencas mayores de los ríos Aburrá y Cauca y se subdivide en veintiún (21) microcuencas, correspondientes a las quebradas principales. La zona de estudio se caracteriza por contener vertientes amplias de pendientes empinadas, con desarrollo de algunas zonas de relieve bajo, en sus bases, y cauces encañonados, donde 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.

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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

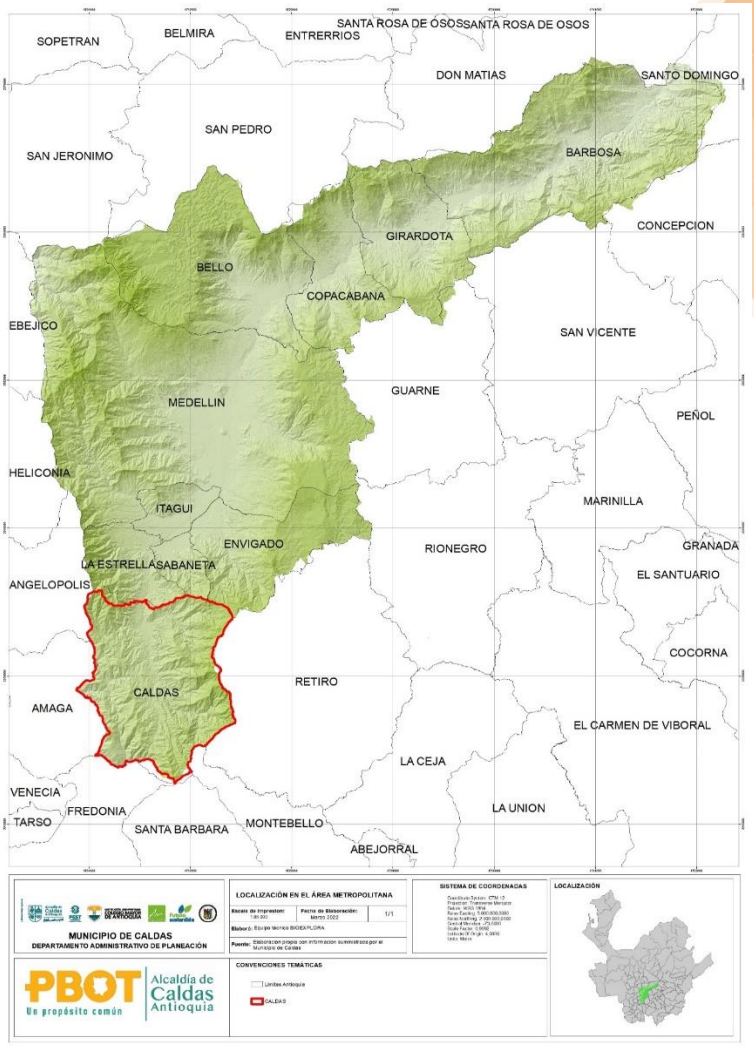
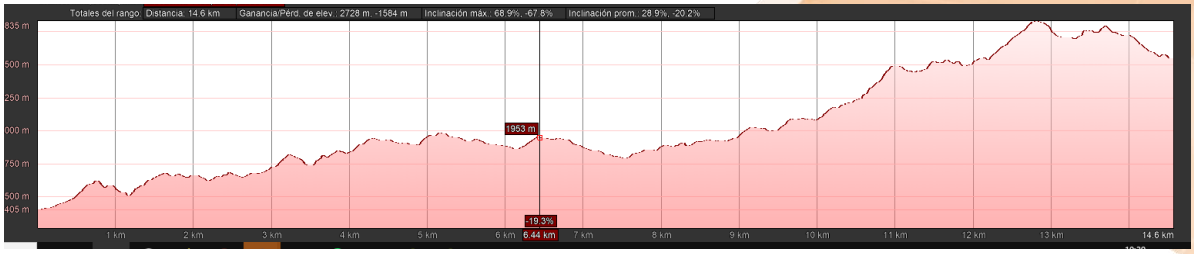


Figura 3.1-1. Mapa de localización del Municipio de Caldas
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

3 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS

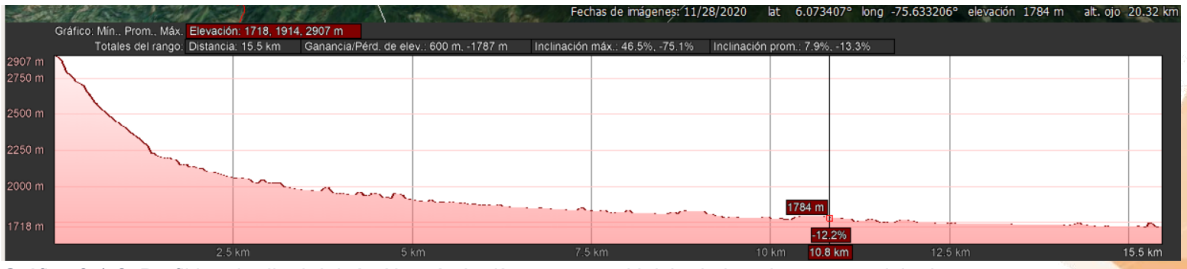
El territorio del municipio de Caldas drena a dos cuencas principales como son el río Aburrá o Medellín, y el río Cauca.



Gráfica 3.1-1. Perfil del territorio municipal, occidente a oriente, a la altura de Primavera, La línea marca la divisoria de aguas, Aburrá Cauca

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

El territorio de Caldas, constituye el nacimiento del río Aburrá, en el denominado Alto de San Miguel, ubicado en el extremo sur del Municipio, así por tratarse de las cabeceras de la cuenca, el terreno es en general abrupto, con vertientes de alta pendiente y corrientes cortas con alta incisión. A oriente del sector de La Clara, el cauce del río presenta un gradiente menor, y se empieza a abrir el valle, presentándose pequeñas zonas de depósitos, a ambos márgenes del río, transcurriendo así hasta llegar a la cabecera municipal, donde el valle se amplía, y formado llanuras de depósitos de origen aluvial con relieve moderado a bajo.



Gráfica 3.1-2. Perfil longitudinal del río Aburrá., La línea marca el inicio de la cabecera municipal

Alto San Miguel		Cabecera municipal

La porción del territorio perteneciente a la cuenca del río Cauca está en la parte sur occidental del municipio, hace parte de las cuencas menores de la quebrada Sinifaná y el río Amagá, y en general está conformado por vertientes de relieve moderado a alto, que se disponen con tendencia general hacia el occidente, con altura menor que las vertientes del Valle de Aburrá, con cauces en general encañonados y con desarrollo muy leve de zonas aluviales.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

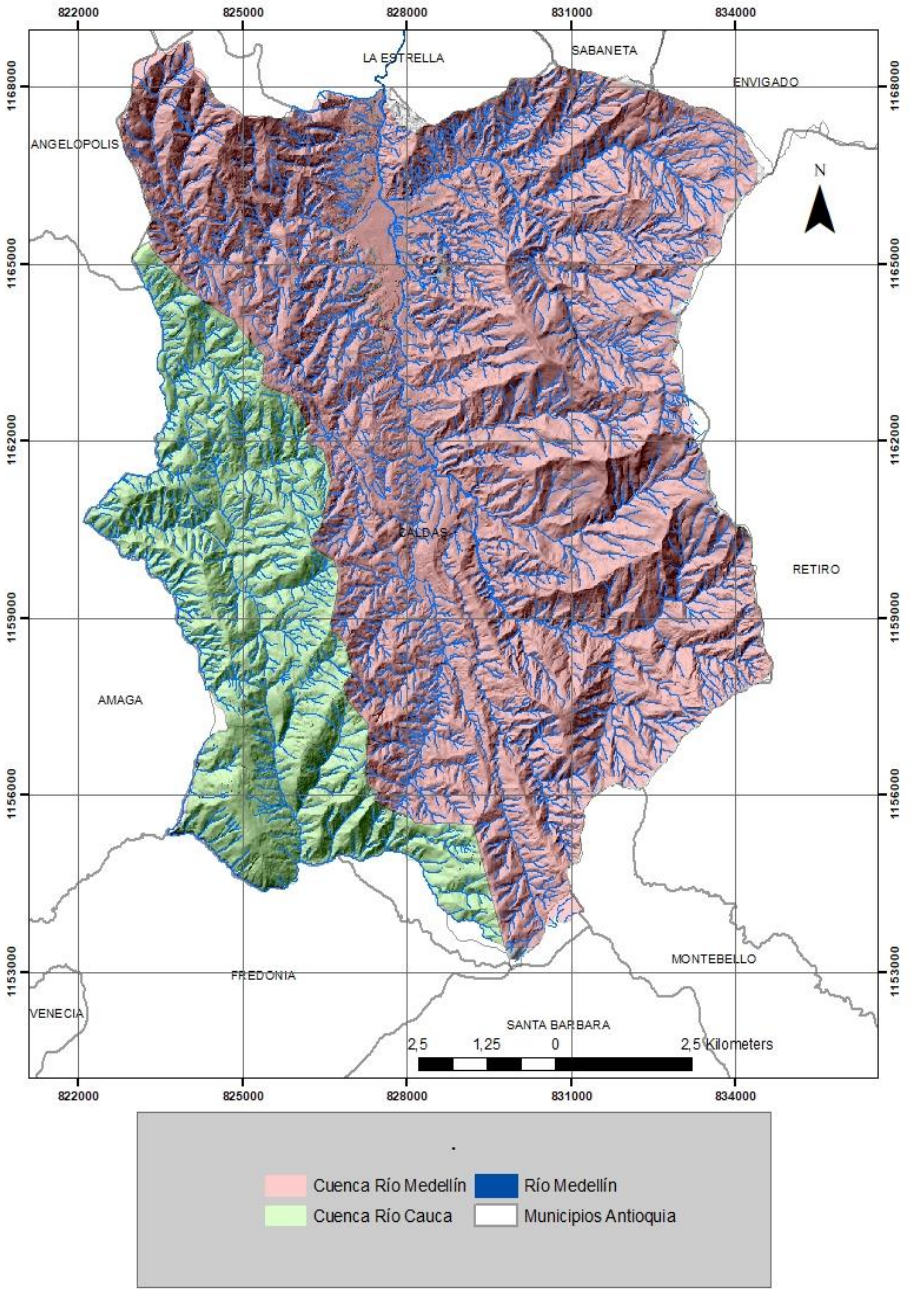


Figura 3.1-1.Cuencas principales que hacen parte del municipio de Caldas
Fuente: Alcaldía de Caldas (2021)

El río Aburrá atraviesa el territorio municipal de sur a norte y fragmenta el valle, consolidando las dos laderas oriental y occidental comprendiendo un área de 101,7 km^2 correspondiente al 76,5% de la superficie del municipio. La divisoria de agua entre las dos cuencas se dispone en dirección sureste noroeste, donde los terrenos pertenecientes a la cuenca del río Cauca, tienen una disposición general de una vertiente que tiene vergencia hacia el occidente y cubren 32,5 km2, correspondientes al 23,5 % del municipio.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

El territorio le municipio de Caldas, está compuesto por 21 microcuencas: El Cano, El Zarzo, SN1, La Chapola, La Chuscala, La Aguacatala, La Salada, La Rapida, La Raya, Mandalay, La Mina, La Miel, La Lejía, La Corralita, La Clara, La Brunera, La Valeria, Sinifaná, Afluentes del río Cauca (Amagá), Río Aburrá parte alta y Directos al río Medellín definiendo dentro estas aquellas cuencas cuya área es mayor que 0,4 km2.

3.1 MORFOMETRÍA BASE DEL TERRITORIO

La morfometría del terreno es un elemento básico en su caracterización, ya que esta define la disposición de los diferentes elementos del paisaje, entre ellos la red hídrica, a continuación, se presentan algunos de los elementos morfométricos básicos del Municipio de Caldas, definidos a partir de la información cartográfica contenida en el PBOT del 2010.

3.1.1 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, aspectos, rugosidad, 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 generado un modelo de elevación, que consiste en una malla continua de celdas o pixeles (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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

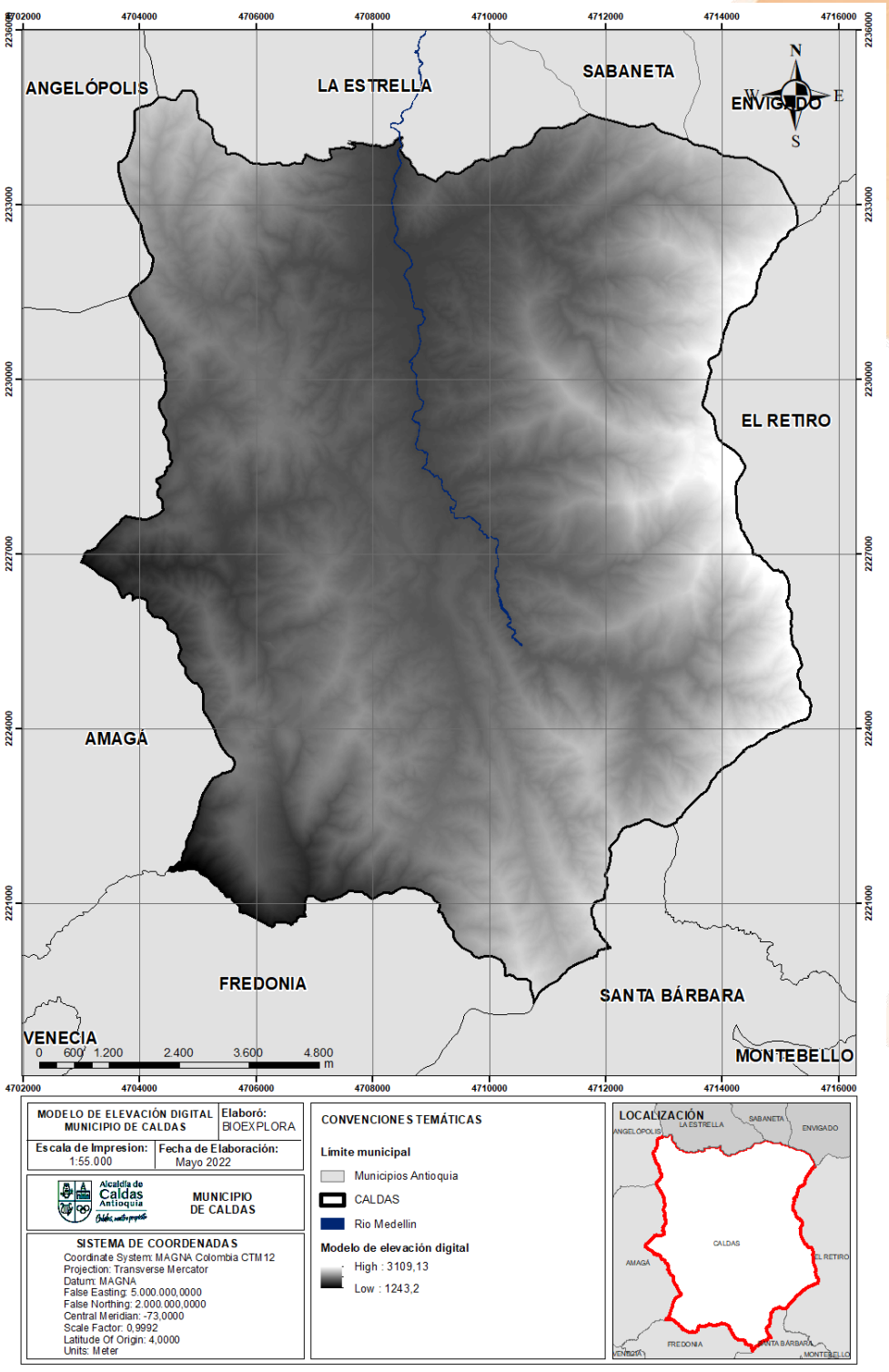


Figura 3.1-1. Modelo digital de elevación del terreno en el Municipio de Caldas
Fuente: Alcaldía de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

3.1.2 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.

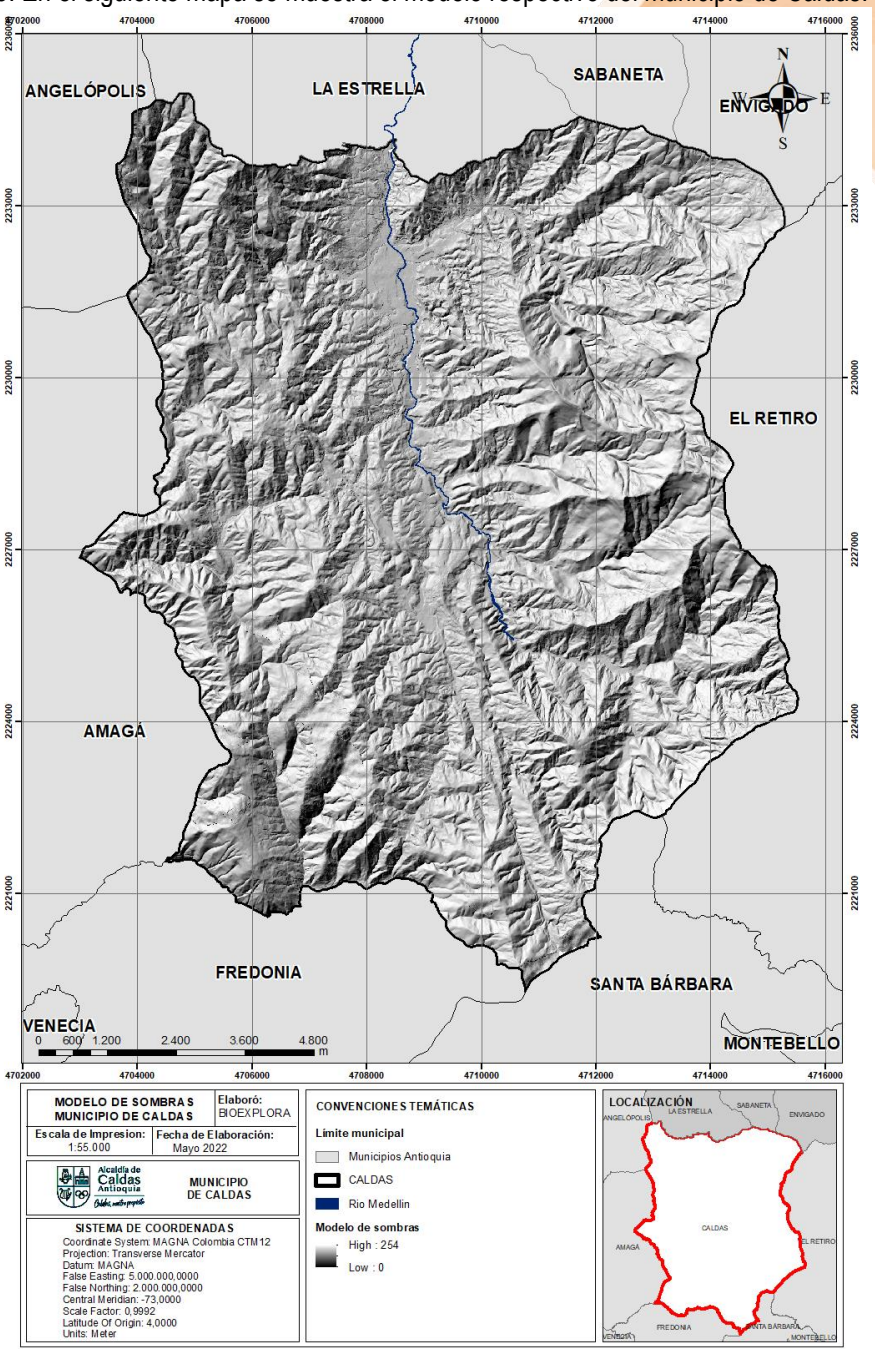


Figura 3.1-2. Modelo de sombras del Municipio de Caldas
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

3.1.3 Pendientes

La pendiente del terreno corresponde a la representación de las inclinaciones en grados, mostrando las zonas planas a suavemente inclinadas, como las de pendiente fuerte a escarpadas. Para el municipio de Caldas se evidencia el predominio de pendientes moderadas, asociadas con depósitos de origen aluvial, las pendientes suaves a moderadas se encuentran en la mayor parte de las zonas ocupadas por el desarrollo urbanístico y donde se conforman los suelos de expansión. Por su parte, en suelo rural presenta condiciones de pendiente predominantemente fuertes, se suaviza en la parte más baja, donde confluyen las corrientes de agua hacia el valle aluvial del río Aburrá. En la Figura 3.1-3 se muestran las características descritas y en la Tabla 3-1 se presenta la clasificación usada para los distintos rangos de pendientes.

Tabla 3-1.Clasificación del terreno de acuerdo a los distintos rangos de pendientes.

Pendiente	Rango
Planicie	0 - 5°
Vertiente suave	5- 15°
Vertiente moderada	15 - 30°
Vertiente empinada	30 - 45°
Escarpe	> 45°

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

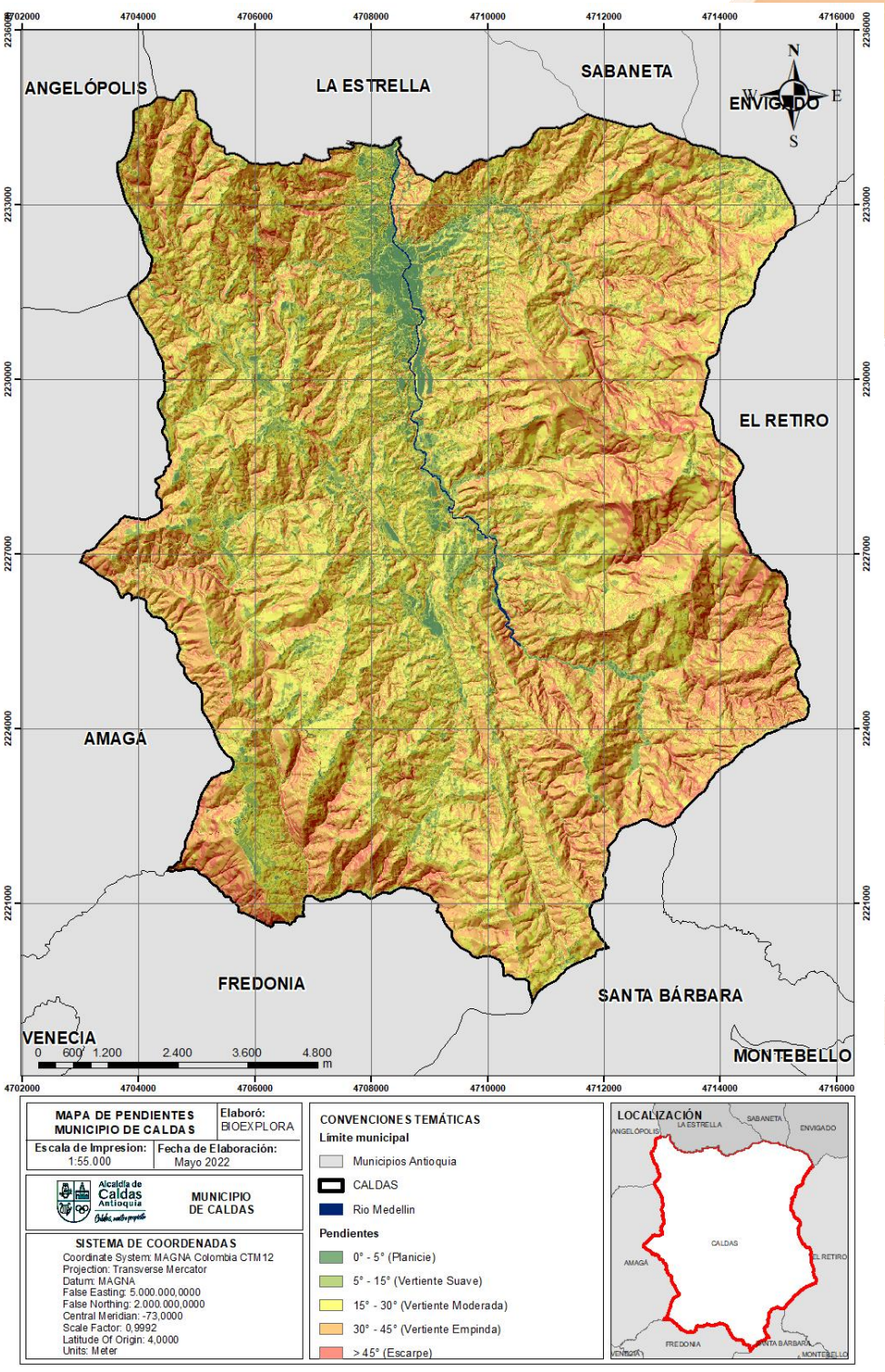


Figura 3.1-3. Mapa de pendientes del Municipio de Caldas
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

3.1.4 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. 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.

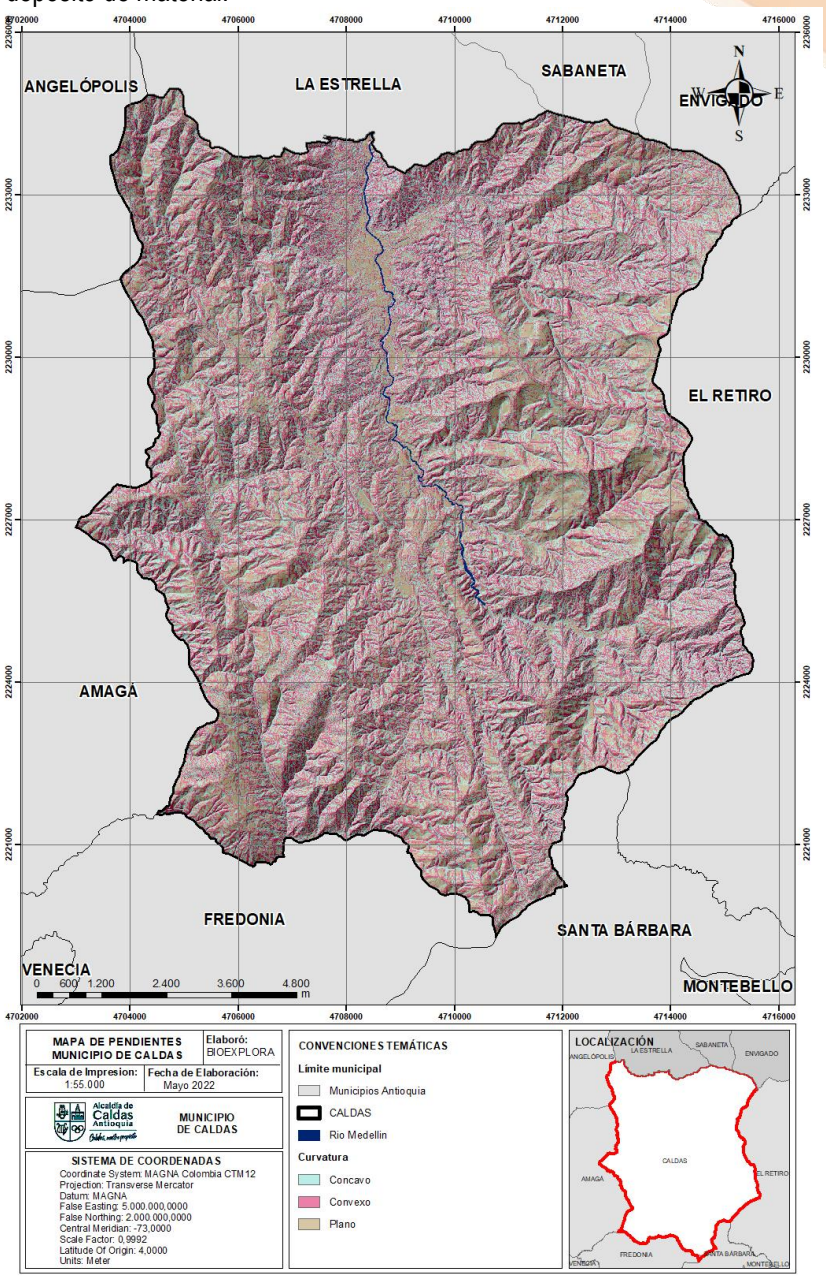


Figura 3.1-4. Mapa de Curvatura del Municipio de Caldas
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

3.1.5 Aspectos

El mapa de aspectos indica la dirección de flujo sobre la superficie del terreno. Considerando una gota que cae por precipitación sobre una ladera, indicaría la dirección de esta hacia las partes bajas, siendo los drenajes la zona preferencial en donde se concentran.

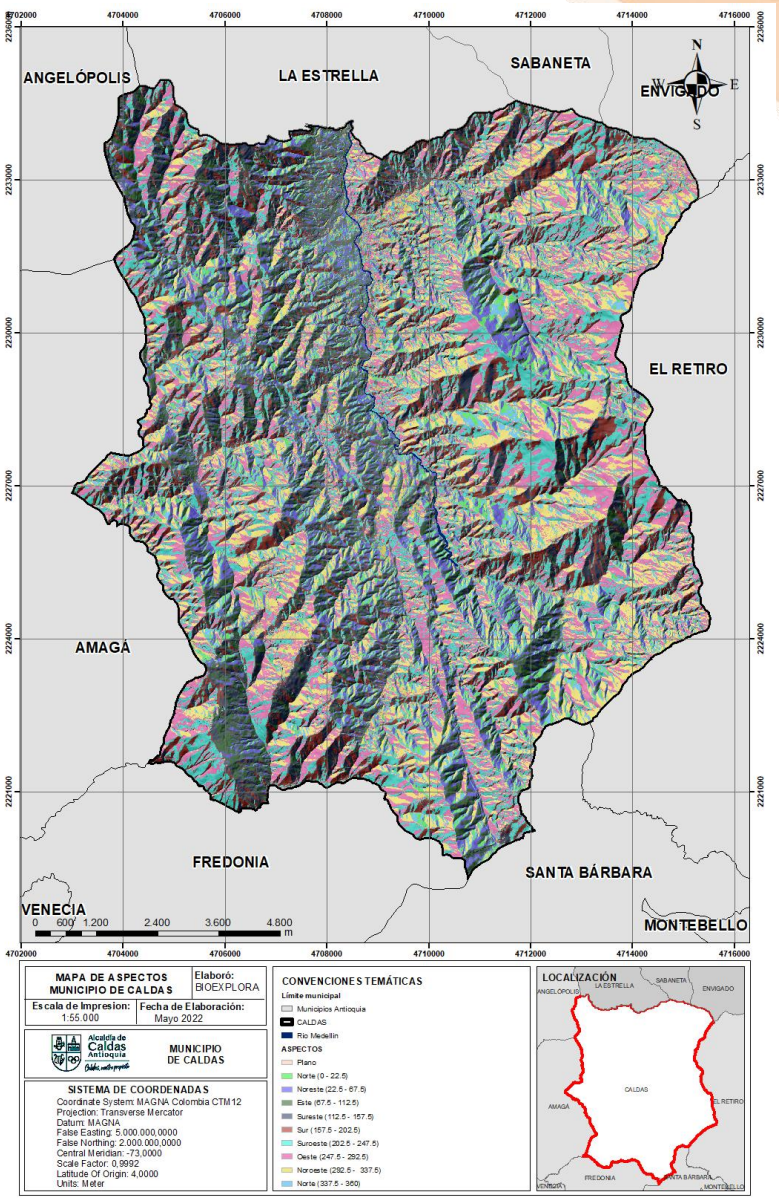


Figura 3.1-5. Mapa de dirección de flujo del municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

3.1.6 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 pixel es comparada con el pixel 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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

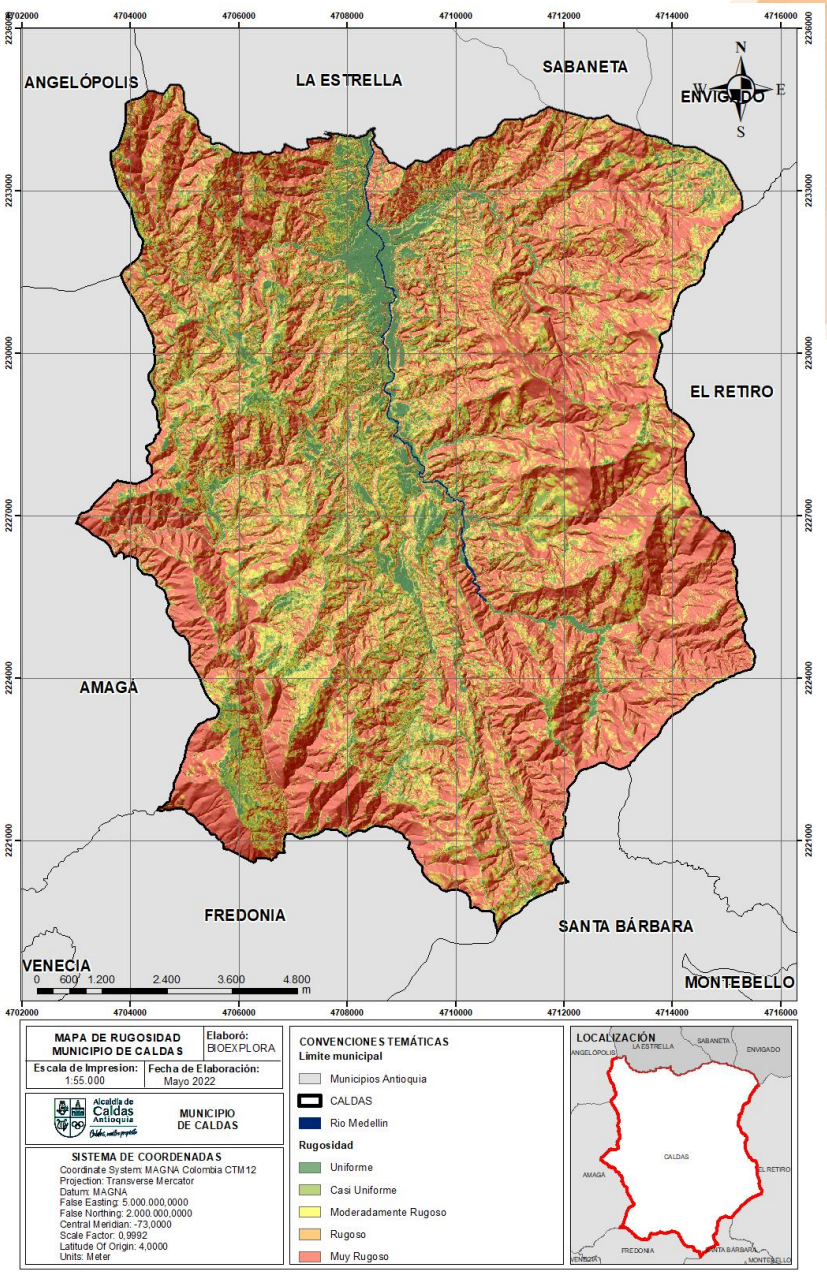


Figura 3.1-6. Mapa de rugosidad del Municipio de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021).

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

3.2 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS-HIDROLÓGICOS

El comportamiento hidrológico de una cuenca hidrográfica está en función de numerosos factores, entre los cuales predominan el clima y la forma del territorio. Las formas de la superficie terrestre y su relación con el comportamiento hidrológico de una determinada cuenca, pueden establecerse por medio de índices morfométricos, en donde dichos índices describen las características de paisajes complejos por medio de valores constantes.

En forma adicional, el comportamiento hidrológico de las cuencas está influenciado por las intervenciones derivadas de los procesos de expansión, que conllevan a rectificaciones de cursos de las quebradas y ríos, a la profundización y desviación de cauces, impermeabilización de suelos, al igual que el trasvase de cuenca, entre otros factores que modifican o afectan la hidrología de la cuenca

A partir de la morfometría base (Modelo de Elevación Digital-DEM), la red de drenaje y la delimitación de las cuencas, se calculan los índices morfométricos, para cada una de las 21 microcuencas definidas. Estos parámetros son de gran utilidad en los estudios hidrológicos e hidráulicos que se desarrollen en las cuencas, con el fin de proponer dimensiones adecuadas de estructuras.

3.2.1 Índice de compacidad o índice de Gravelius

Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área de la cuenca. Este parámetro describe la geometría de la cuenca y se asocia con el tiempo de concentración del sistema hidrológico (POMCA, 2017).

$$K_c = \frac{P_{cuenca}}{2\pi\left(\frac{A_{cuenca}}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:
P: Perímetro de la cuenca (km)
A: Área de la cuenca (km2)

CLASE	RANGO	DESCRIPCIÓN
Kc1	1 a1,25	Forma casi redonda a ovalada
Kc2	1,25 a 1,5	Forma ovalada - oblonga
Kc3	> 1,5	Forma ovalada- oblonga a rectangular

3.2.2 Índice de forma (Kf)

Este índice relaciona entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado máximo del recorrido (L). Este parámetro se encuentra asociado a la tendencia a las crecientes, rápidas, muy intensas o lentas, en donde los valores menores a 1, tienden a ser cuencas alargadas, con poco tiempo de concentración y valores mayores a uno, tienden a ser cuencas achatadas, con alto potencial inundable (POMCA, 2017).

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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

K_f	DESCRIPCIÓN
< 1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a inundaciones
1	Forma ovalada - oblonga
> 1	Forma ovalada- oblonga a rectangular, alta susceptibilidad a inundaciones

3.2.3 Índice asimétrico

Este índice relaciona la separación de las vertientes con respecto al cauce principal. En donde los valores mayores a uno se observarán que en la cuenca el río principal esta recargado sobre una vertiente, lo cual implica una heterogeneidad en la distribución de la red de drenaje, aumentando la descarga hídrica sobre una de las vertientes (POMCA, 2017).

$$I_{AS} = \frac{A_{mayor}}{A_{menor}}$$

Donde
I_{AS}= Índice asimétrico
A_{Mayor} = Vertiente mayor (km2)
A_{Menor} = Vertiente menor (km2)

I_{AS}	CARACTERISTICA
> 1	Cauce principal bastante recargado sobre una de las vertientes
= 1	Distribución uniforme del cauce principal

A continuación, se muestra en la Tabla 3-2 los principales parámetros morfométricos calculados de las cuencas principales como Área de la cuenca, cotas de nacimiento y pendiente, entre otros. Estos parámetros son de gran utilidad en los estudios hidrológicos e hidráulicos que se desarrollen en las cuencas, con el fin de proponer dimensiones adecuadas de estructuras.

Tabla 3-2. Parámetros morfométricos para las cuencas

Cuencas	Perímetro (km)	Área (km2)	Elevmedia (m)	Elevmax (m)	Pendmedia (%)
La Aguacatala	6,006397	0,6358945	1911,804	2240,511	50,28%
El Cano	6,231887	0,8301185	2004,26	2399,998	65,65%
El Zarzo	7,440402	1,508002	2009,91	2434,46	58,38%
SN1	6,755898987	1,515495	1918,359	2359,57	55,82%
La Chapola	5,269613	0,61079	1982,09	2255,03	54,69%
La Chuscala	7,281670	1,2568145	1863,889	2037,14	43,86%
La Rapida	4,3850937	0,5355785	1863,183	1958,274	39,82%
La Raya	4,500343	0,4015	1947,74	2207,99	66,12%
La Salada	21,716193	11,0274653	2031,978	2394,48389	46,47%
Mandalay	10,6034808	1,94695346	1916,126	2111,62573	49,09%
La Mina	23,8857196	8,01783953	2295,9	2704,24414	61,04%
La Miel	31,8350759	22,353034	2252,147	3109,12622	59,88%
La Lejía	13,8554875	3,17243703	1924,183	2158,0564	43,05%

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Cuencas	Perímetro (km)	Área (km2)	Elevmedia (m)	Elevmax (m)	Pendmedia (%)
La Corralita	9,70905916	2,19211039	1900,869	2289,02759	50,73%
La Clara	15,2127397	6,34373352	2298,179	3085,25806	63,33%
La Brunera	13,3251166	4,46280205	2218,834	2839,26123	64,00%
La Valeria	22,9762673	11,5337145	2120,012	2624,14941	55,36%
Sinifaná	13,8174233	6,1464305	1973,924	2259,448	58,8%
Afluentes del río Amagá	27,735964	18,301155	1907,1880	2189,58	56,80%
Río Aburrá parte Alta	22,9276627	16,2951679	3063,49609	2329,29496	70,52%
Directos río Medellín	39,630409	7,357033	1842,2863	2257,64599	36,70%

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

3.2.4 Afluentes

En la Tabla 3-3 se muestra cada una de las cuencas y quebradas principales que las conforman, acá se indica los cauces principales y los barrios y veredas que cubre cada una de ellas. En total se definen 21 cuencas y 48 quebradas.

Tabla 3-3. Cuencas hidrográficas del Municipio de Caldas

CUENCA	CORRIENTES	BARRIOS Y VEREDAS
La Aguacatala	Qda La Aguacatala	Vereda La Aguacatala
El Cano	Qda El Cano	Vereda El Cano
La Chuscala	Qda La Chuscala	Vereda La Chuscala
El Zarzo	Qda. El Zarzo	Vereda La Primeravera
SN1	Qda. SN1 (Quebrada Sin Nombre)	Vereda La Corrala parte baja
La Chapola	Qda. La Chapola	Vereda La Clara
La Rapida	Qda. La Rapida	Vereda La Chuscala
La Raya	Qda. La Raya	Vereda La Raya
	Qda. La Manuela	
Sinifaná	Qda. Sinifaná	Vereda Sinifaná
	Qda La Chaparrala	
	Qda La Galvis	
	Qda. El Hoyo	
La Valeria	Qda La Gazapera	Veredas La Chuscala y La Valeria.
	Qda La Reventona	
	Qda La Valeria	
	Qda La Solita	
	Qda La Piscina	
	Qda Las Mercedes	
Afluentes del río Amagá	Qda La Cardala	Veredas Salinas, Mani del Cardal, Cardalito, La Sinifaná, y en el Potrerillo.
	Qda Salinas	
	Qda La Mani	
	Qda La Paja	
	Qda La Tablacita	
	Qda La Peñola	

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

CUENCA	CORRIENTES	BARRIOS Y VEREDAS
	Qda La Cuzumba	
	Qda Potrerillo	
La Corralita	Qda La Corrala	Vereda La Corrala
La Brunera	Qda La Brunera	Vereda La Clara
La Clara	Qda La Clara	Vereda La Clara
La Lejía	Qda San Francisco	Vereda La Chuscala
	Qda La Lejía	
La Miel	Qda La Romera	Vereda La Miel
	Qda La Miel	
	Qda El Cebadero	
	Qda La Ahumada	
	Qda La Gorrona	
La Mina	Qda La Mina	Veredas El Cardalito y La Salada parte alta
	Qda Santa Barbara	
La Salada	Qda La Salada	Vereda La Salada parte alta
Mandalay	Qda La Reventona	Vereda La Chuscala
	Qda La Chuscala	
	Qda La Piedrahita	
Río Aburrá parte alta	Qda La Vieja	Veredas La Clara y el 60
	Qda La Moladora	
	Qda Santa Isabel	
	Qda La Sultana	
Río Aburrá	Río Aburrá	

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

4 ACTUALIZACIÓN DE LA RED HÍDRICA

La información geoespacial de los cuerpos de agua superficiales es un elemento clave en la planeación del territorio. Los municipios del área metropolitana, entre ellos el municipio de Caldas, tienen una cartografía base en tres diferentes escalas; 1:10.000 y 1:5.000 para el área rural, y escala 1:2.000 para el área urbana. Normalmente este tipo de información al ser combinada genera una problemática en los límites donde se presentan los cambios de escala; por otra parte, se tienen otros problemas, tales como la modificación en los alineamientos de los cauces debido a la expansión antrópica y el desarrollo de infraestructura urbana a lo largo del territorio, dado que la fecha de generación de la información data de más de 10 años atrás.

Según lo expuesto anteriormente, se recalca la necesidad de tener un único producto cartográfico que permita realizar una planeación eficiente, en función de las escalas de la información disponible, especialmente la información topográfica a partir de la cual se genera información de planeación tan relevante como Zonas Forestales Protectoras, Zonas con Condición de Amenaza por Inundación y Avenida Torrencial y, en casos específicos, se redefinen suelos de protección.

4.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

Generar un producto geoespacial unificado y corregido que combine la información espacial de los cuerpos de agua superficiales a escala 1:2.000, 1:5.000 y 1:10.000.
Analizar la funcionalidad general de las estructuras hidráulicas asociadas a los cruces de los cuerpos de agua con la infraestructura (análisis de suficiencia hidráulica).

4.1.1 Objetivos Específicos

- Revisar de forma manual la red de drenaje a escala 1:10.000 y garantizar su compatibilidad con la información de curvas de nivel disponibles.
- Revisar de forma manual la red de drenaje a escala 1:5.000 y garantizar su compatibilidad con la información de curvas de nivel disponibles.
- Revisar de forma manual la red de drenaje a escala 1:2.000 y garantizar su compatibilidad con la información de curvas de nivel e imágenes satelitales disponibles.
- Realizar un inventario general de estructuras hidráulicas asociadas a la red de drenaje, estimando dimensiones básicas de las mismas mediante medición directa.
- Estimar los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno para cada una de las obras inventariadas.
- Estimar la capacidad hidráulica de las estructuras mediante la implementación de modelos hidráulicos validados.

4.2 METODOLOGÍA

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 del estado de la red.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- Análisis detallado de las diferentes bases cartográficas
- Definición de Modelo de elevación Digital del territorio
- Evaluación de la amenaza hidrológica mediante los diferentes modelos
- Analisis del comportamiento hidráulico de los cauces y capacidad de las obras hidráulicas
- Revisión y corrección de la red de drenaje del municipio
- Análisis de resultados, redacción de conclusiones y recomendaciones en el informe final, anexando los documentos y archivos que soporten los resultados obtenidos.

4.2.1 Recopilación de información básica

En la construcción de la línea base del proyecto se ha indagado por información que sirva de herramienta para un mejor análisis y definición de la red hídrica en el municipio de Caldas. En ese proceso de recolección de información secundaria se han analizado hasta la fecha 23 documentos relacionados de alguna u otra forma con el tema en cuestión. En la Tabla 4-1 se resume los documentos encontrados y analizados:

.

Tabla 4-1 Informes y documentos de la revisión bibliográfica

DOCUMENTO	FECHA	FORMATO	OBSERVACIONES
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)	2016	Digital	Trazado del a red hídrica de la cuenca del río Aburrá, que comprende aproximadamente el 76% del territorio del municipio
POMCA del rio Amagá	2016	Digital	Trazado del a red hídrica de la cuenca del río Amagá, que comprende aproximadamente el 34% del territorio del municipio
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.
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 lm2, y contiene elementos de caracterización de la red hídrica del territorio

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

DOCUMENTO	FECHA	FORMATO	OBSERVACIONES
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	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 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
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 recopilo información de la caracterización de los materiales del subsuelo e más de 30 estudios desarrollados acorde a la norma NSR 10, para permisos de construcción.
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)	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.
POMCA del rio 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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

DOCUMENTO	FECHA	FORMATO	OBSERVACIONES
			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.
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 lm2, 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 Municipios De Caldas, La Estrella, Envigado, Itagüí, Bello, Copacabana Y Barbosa, Para La Incorporación De La Gestión Del Riesgo En La Planificación Territorial	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 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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

DOCUMENTO	FECHA	FORMATO	OBSERVACIONES
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
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 recopilo información de la caracterización de los materiales del subsuelo e más de 30 estudios desarrollados acorde a la norma NSR 10, para permisos de construcción.

Fuente: Estudios Básicos de Amenaza, Municipio de Caldas, 2021

Adicional a la información ya recopilada, se ha hecho solicitud de información cartográfica base y especifica del territorio como son, trazados de redes para definir la disposición de las corrientes con cauces ampliamente antropizados que no han sido recibido aún.

4.2.2 Definición Modelo elevación digital del territorio

Los modelos de elevación digital (DEM), son productos cartográficos digitales que definen la altura o relieve del terreno a partir de pixeles, en el que cada píxel tiene una elevación que representa la altura del terreno equivalente a ese píxel.

El nivel de detalle de los DEM, está dada por su resolución, entendida esta como el tamaño de los pixeles los cuales son cuadrados, así dentro de un territorio se pueden tener modelos cuya resolución varía ampliamente, por ejemplo, 10 m, 5 m y 2m, donde los de menor distancia en el pixel tiene mayor resolución o detalle.

Considerando que no todos los Modelos de elevación cubren todo el territorio, se debe proceder a realizar empalmes entre estos, y a lo largo de las zonas de unión se presentan variaciones de altura muy contrastantes que se interpretarían como resaltos desde el punto de vista hidrológico y deben ser corregidos para que, a lo largo de estos empalmes, el modelo represente de forma adecuada el terreno, y así obtener el modelo de elevación digital del territorio con el que se va a trabajar.

4.2.3 Definición manchas hidráulicas (Estudio Hidrológico)

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.

Esta evaluación hidrológica caracteriza los siguientes parámetros:

- Delimitación de las cuencas hidrográficas para diferentes puntos de la red hidrográfica.
- Estimación de parámetros morfométricos de cada una de las cuencas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- Estimación de tiempos de concentración de cada una de las cuencas.
- Caracterización espaciotemporal de los eventos de precipitación extrema (IDF).
- Cálculo de la tormenta de diseño.
- Estimación de pérdidas hidrológicas mediante el método del *Soil Conservation Service (SCS).*
- Implementación de modelo 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).
- Modelo hidráulico, el cual calcula variables de flujo como velocidad y profundidad, las cuales delimitan las manchas de inundación.

A continuación, se presenta el marco metodológico utilizado para el desarrollo del estudio de amenaza por inundación.

4.2.3.1 Estimación de Caudales Máximos

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 4.2-1.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

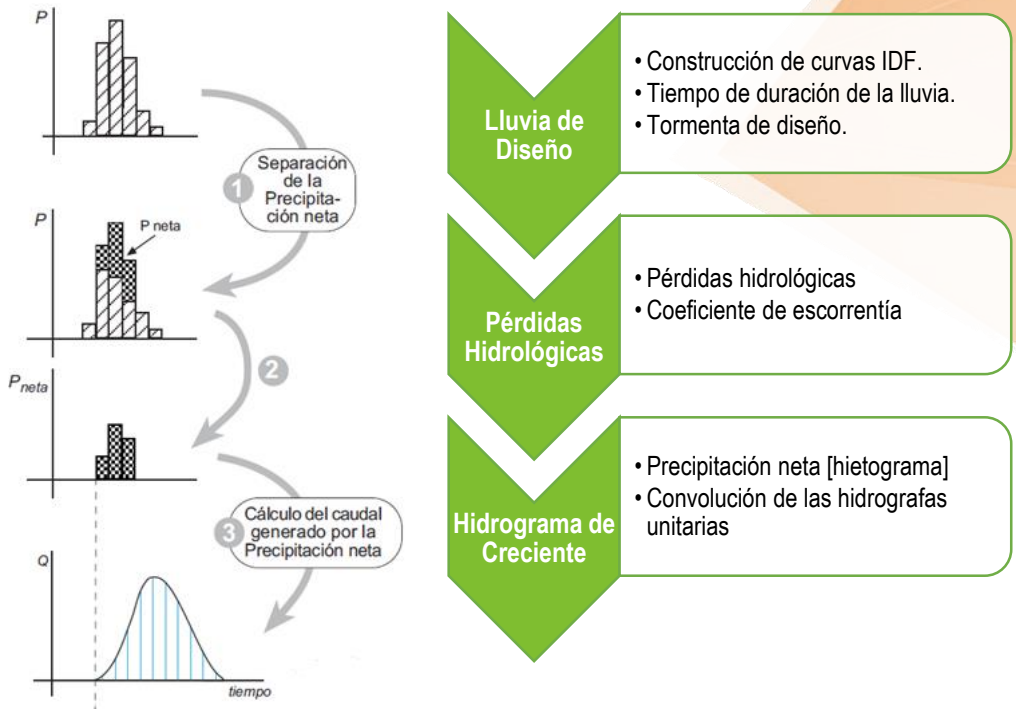


Figura 4.2-1. Esquematización del proceso de estimación de caudales máximos

Fuente: (Sánchez San Román, 2017)

4.2.3.2 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.

4.2.3.2.1 Duración de la Lluvia

Para determinar la duración de la lluvia a partir de los parámetros 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, Giandiotti, 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:

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 4-2 Metodologías para la estimación del tiempo de concentración (Tc)

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 km^2.
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 km^2. 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 km^2. L : Longitud del cauce principal en km. F : 58,5 si el área está dada en km^2. S_0 : diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L, en m/m.

4.2.3.2.2 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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

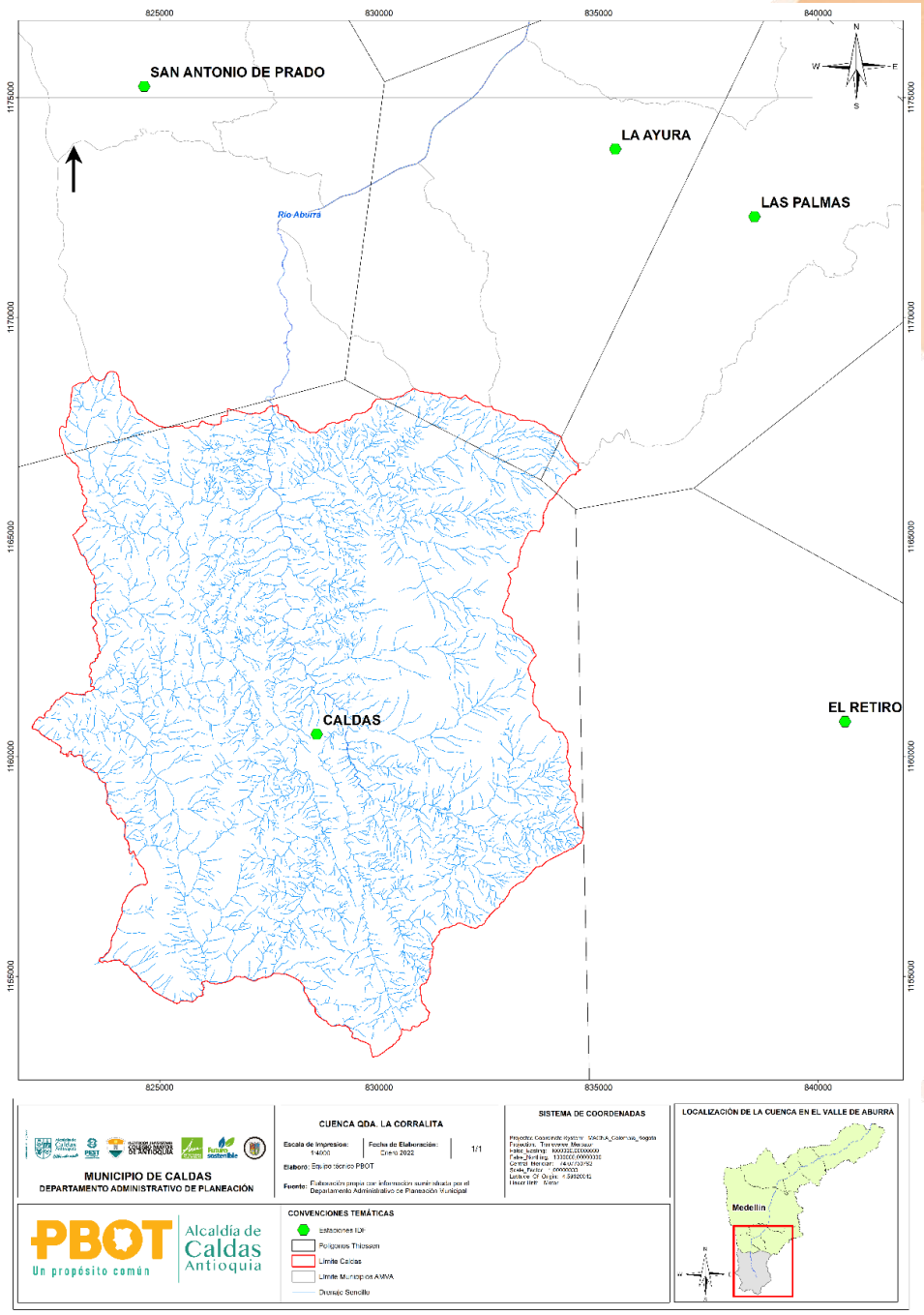


Figura 4.2-2. Estaciones con información de IDF de la lluvia.
Fuente: PBOT Caldas, 2022

Para esto, se tuvieron en cuenta las estaciones con curvas IDF del IDEAM y (EPM, 2005), ya que las estaciones del SIATA solo cuentan con una longitud de registro de 10 años, la cual no se considera suficiente para la construcción de series climatológicas estadísticamente confiables.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

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.

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:

$$I = C \cdot (h + d)^m$$

donde:
I es la intensidad de la lluvia en mm/h
d es la duración de la lluvia en minutos
C, h y m son parámetros de calibración asociados a diferentes períodos de retorno Tr

Los valores de intensidad de la lluvia utilizados corresponden a los desarrollados por el (AMVA, 2018) considerando los efectos del cambio climático sobre el Valle de Aburrá y sus efectos sobre la intensidad de las lluvias, así como las propuestas por (EPM, 2005) (Figura 4.2-3)

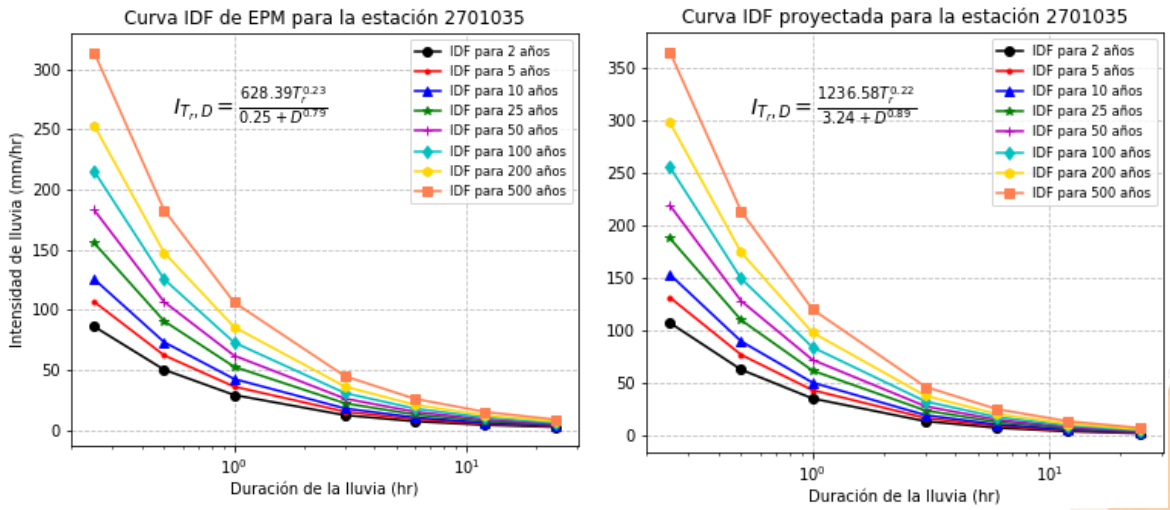


Figura 4.2-3. Curvas de IDF en la estación Chorrillos en condiciones actuales [Izquierda] y considerando los efectos del cambio climático [Derecha].
Fuente: (EPM, 2005)

4.2.3.2.3 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

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).

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

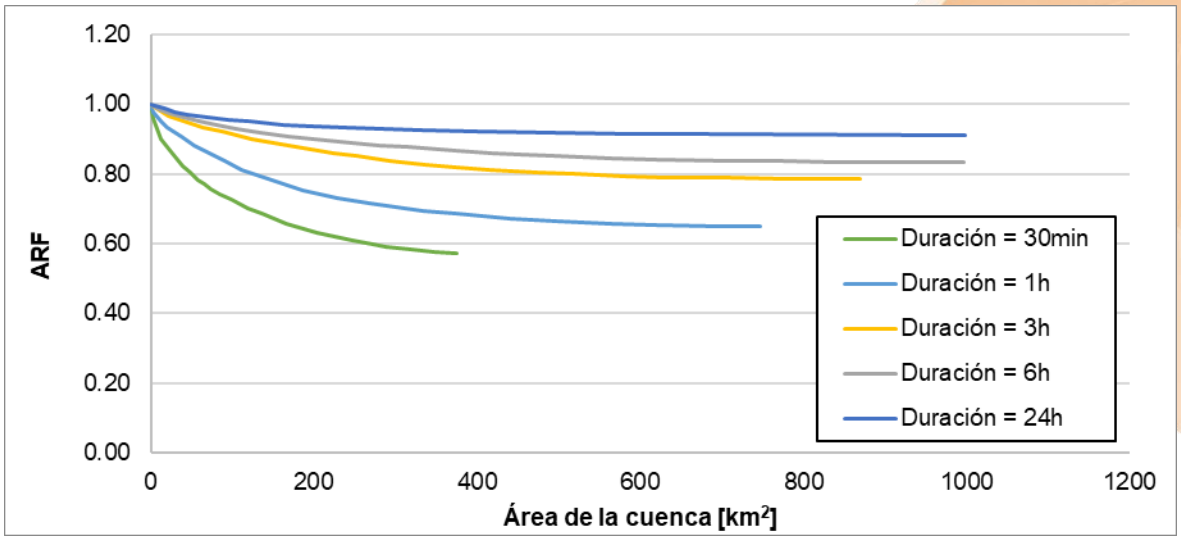


Figura 4.2-4. Curvas de factir de reducción de la lluvia por área.
Fuente: Chow et al. (1994)

4.2.3.2.4 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 4.2-5.

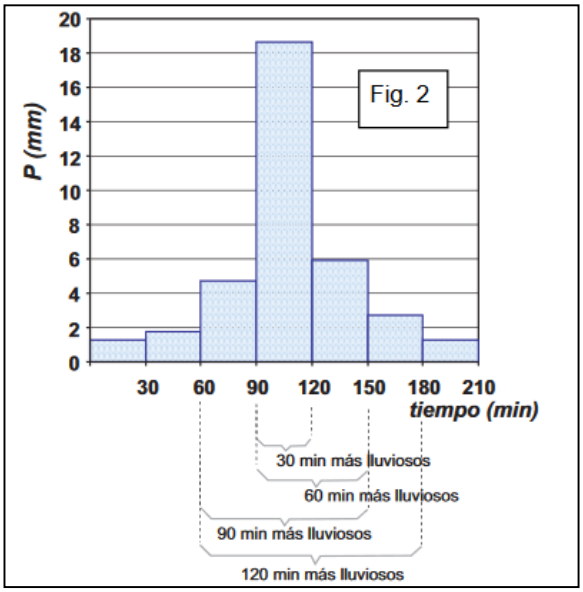


Figura 4.2-5. Hietograma de precipitación con base en la metodología de bloques alternantes
Fuente: (Sánchez San Román, 2017)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

4.2.3.2.5 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:

$$P_e = \frac{(P_{tacum} - I_a)^2}{P_{tacum} - I_a + S} \qquad \text{Ecuación 4.1}$$

$$I_a = 0{,}2 \cdot S \qquad \text{Ecuación 4.2}$$

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \qquad \text{Ecuación 4.3}$$

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 %.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

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 4-3 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 4-3 Número de curva para escorrentía con humedad antecedente AMC II

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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

DESCRIPCIÓN DE USOS DEL SUELO	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Regular (rozado, pero sin quema, algunos rastrojos)	36	60	73	79
Bueno (sin rozado, cobertura de suelo rastrojo)	30	55	70	77
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 m², cerca del 65 % impermeable	77	85	90	92
Lotes de 1.011 m², cerca del 38 % impermeable	61	75	83	87
Lotes de 2.023 m², cerca del 25 % impermeable	54	70	80	85
Lotes de 4.046 m², cerca del 20 % impermeable	51	68	79	84

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

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 4-4 para la conversión a la condición AMC-III.

Tabla 4-4 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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III
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
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)

4.2.3.2.6 Hietograma de lluvias

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.

4.2.3.3 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 períodos de retorno. De esta manera se generan los hidrogramas de escorrentía directa que se asumirán como las crecientes de diseño.

4.2.3.3.1 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 4.2-6) (Ramírez, 2000).

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

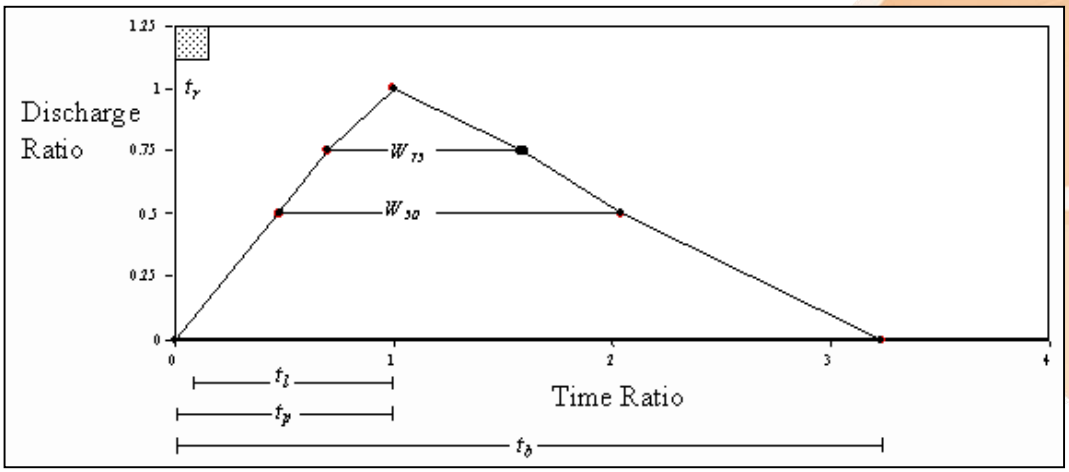


Figura 4.2-6. Hidrograma unitario sintético de Snyder
Fuente: (Ramírez, 2000).

El modelo propone calcular el caudal pico por km², Q_p, mediante la siguiente expresión:

$$Q_p = C_p \cdot \frac{2{,}75 \cdot A}{t_l} \qquad \text{Ecuación 4.4}$$

$$t_l = 0{,}75 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_C)^{0{,}3} \qquad \text{Ecuación 4.5}$$

donde:

Q_p : caudal pico del hidrograma unitario, en m³/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 km².
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:

$$t_l = 5{,}5 \cdot t_r \qquad \text{Ecuación 4.6}$$

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

$$Q_p = C_p \cdot \frac{2{,}75 \cdot A}{t_l{}'} \qquad \text{Ecuación 4.7}$$

$$t_l{}' = t_l + \frac{t_R - t_r}{4} \qquad \text{Ecuación 4.8}$$

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 $t_l = 5{,}5 \cdot t_r$.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

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:

$$t_b = 5{,}56 \cdot \frac{A}{Q_p} \qquad \text{Ecuación 4.9}$$

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:

$$W_{\%} = C_W \left(\frac{Q_p}{A}\right)^{-1{,}08} \qquad \text{Ecuación 4.10}$$

donde:

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

4.2.3.3.2 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 4.2-7.

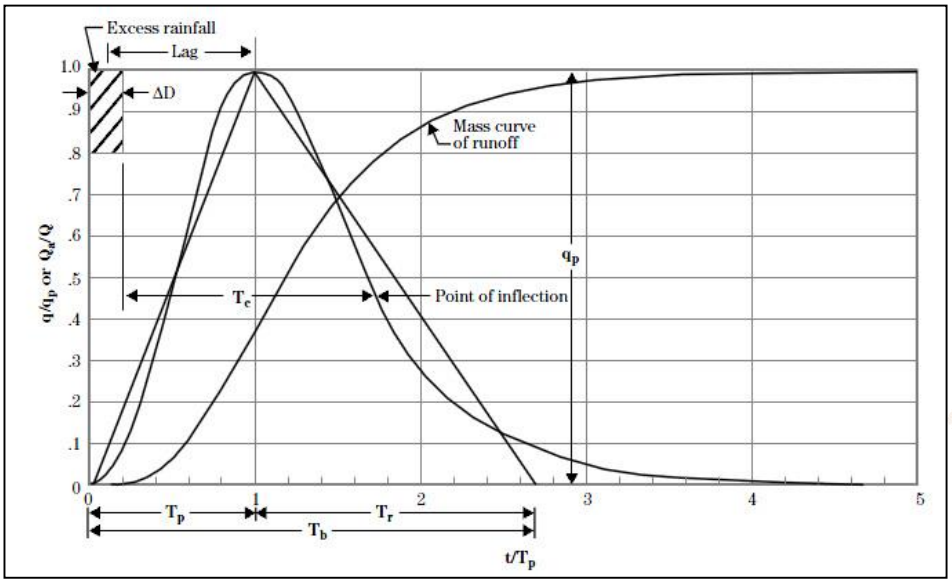


Figura 4.2-7. Hidrógrafa unitaria del SCS y su hidrógrafa triangular equivalente
Fuente: (Patel & Thorvat, 2016)

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

$$Q_p = \frac{0{,}028 \cdot A}{t_p} \qquad \text{Ecuación 4.11}$$

$$t_p = \frac{t_r}{2} + t_l \qquad \text{Ecuación 4.12}$$

$$t_l = 0{,}6 \cdot t_C \qquad \text{Ecuación 4.13}$$

donde:

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

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.

4.2.3.3.3 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:

$$K = 27A_c^{0,231}S_{cp}^{-0,777}\left(\frac{L_c}{W_c}\right)^{0,124} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$$T_p = 4{,}63A_c^{0,422}S_{cp}^{-0,48}\left(\frac{L_c}{W_c}\right)^{0,133} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

donde:
A_c : área de la cuenca en mi².
S_{cp} : pendiente media del canal principal, en pies.
$\frac{L_c}{W_c}$: relación largo ancho de la cuenca.

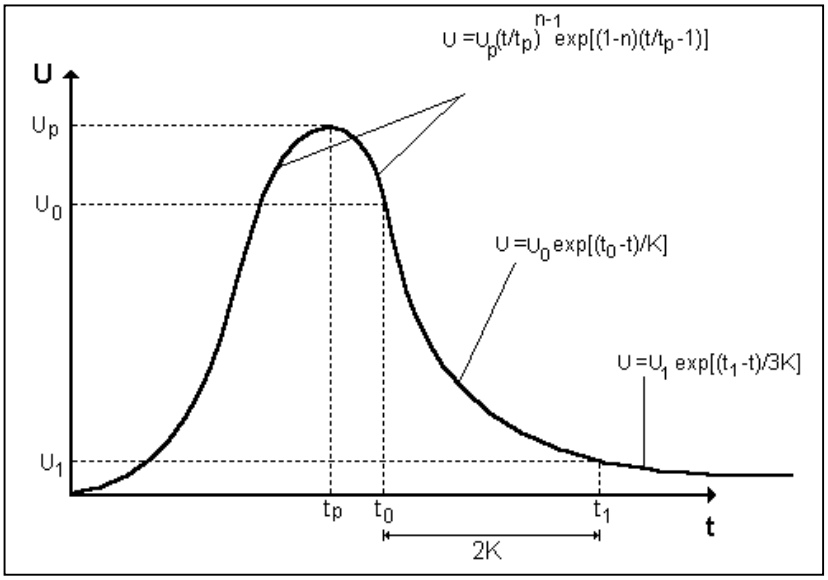


Figura 4.2-8. Hidrógrafa unitaria de Williams y Hann
Fuente: (Rojo, Algunas metodologías para cuantificar la evapotranspiración media multianual en Colombia, 2000)

En la Figura 4.2-8 se muestra el esquema del hidrograma unitario sintético de (Williams & Hann, 1973). Mientras que en las ecuaciones siguientes se muestra su formulación matemática:

$$U_p = \frac{B \cdot A_c}{T_p} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

$$U = U_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{n-1} exp\left[(1-n)\left(\frac{1}{T_p} - 1\right)\right] \rightarrow t \leq t_0 \qquad \text{Ecuación 4.17}$$

$$U = U_0 exp\left(\frac{t_0 - t}{K}\right) \rightarrow t_0 \leq t \leq t_1 \qquad \text{Ecuación 4.18}$$

$$U = U_1 exp\left(\frac{t_1 - t}{3K}\right) \qquad \text{Ecuación 4.19}$$

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

$$t_0 = T_p\left[1 + (n-1)^{1/2}\right] \qquad \text{Ecuación 4.20}$$

$$t_1 = t_0 + 2K \qquad \text{Ecuación 4.21}$$

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:

$$n = 1 + \left\{\frac{1}{2\left(K/T_p\right)} + \left[\frac{1}{4\left(K/T_p\right)^2} + \frac{1}{\left(K/T_p\right)}\right]^{1/2}\right\}^2 \qquad \text{Ecuación 4.22}$$

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 4.2-9.

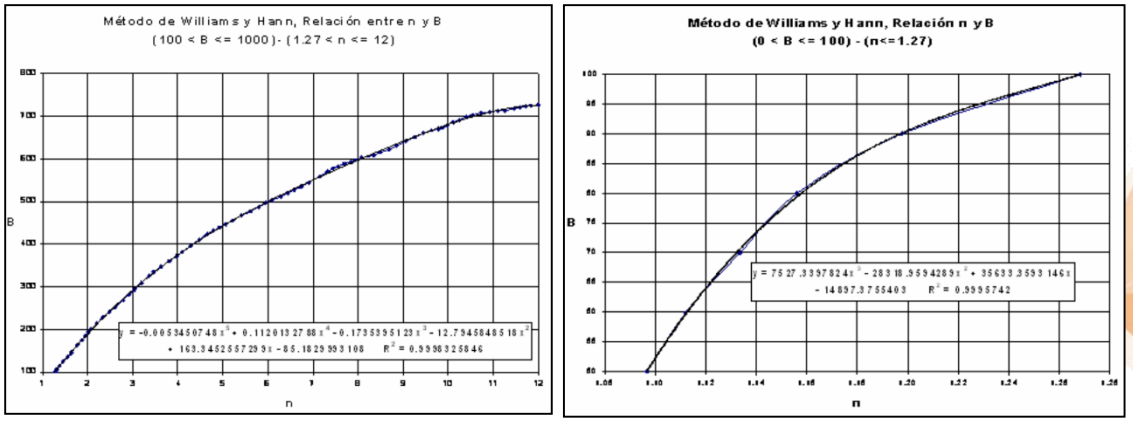


Figura 4.2-9. Relación entre B y n para 1,27 < n <= 12 y relación entre B y n para n < 1,27
Fuente: (Rojo, 2016)

4.2.3.3.4 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).

$$[P][U] = [Q] \qquad \text{Ecuación 4.23}$$

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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Esta ecuación puede representarse gráficamente de la siguiente manera.

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

Figura 4.2-10. 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.

4.2.3.4 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:

$$Q_{Tr} = C \cdot I_{TR} \cdot A \cdot \frac{100}{36} \qquad \text{Ecuación 4.24}$$

donde:

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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Esta metodología se empleó para cuencas con áreas menores que 1 km^2.

4.2.3.4.1 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.

$$Q = C \cdot P \qquad \text{Ecuación 4.25}$$

$$Q = \frac{(P - I_\alpha)^2}{(P - I_\alpha) + S} \qquad \text{Ecuación 4.26}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \qquad \text{Ecuación 4.27}$$

4.2.4 Estudio Hidráulico

El estudio hidráulico tiene por objeto definir las velocidades y los niveles de flujo que alcanzan las corrientes que cruzan el eje de la vía, asociados al caudal de diseño estimado. Con este análisis se pretende evaluar el comportamiento hidráulico de los cauces, verificar la capacidad hidráulica de las obras existentes y a diseñar, proponer las obras de disipación de energía necesarias para evitar problemas erosivos y de socavación de las estructuras civiles y taludes adyacentes.

Para determinar las condiciones hidráulicas de las diferentes obras a implementar se emplearon los métodos de cálculo consistentes con el tipo de flujo que se desarrolla en cada estructura. A continuación, se describen los tipos de obras a implementar y su metodología de cálculo hidráulico.

4.2.4.1 Alcantarillas circulares y en cajón

Las alcantarillas son obras hidráulicas proyectadas en los cruces de quebradas, sitios de desagüe de cunetas y puntos bajos cuando el drenaje confluye hacia la vía, las cuales sirven para conducir el agua por debajo de la vía. Se componen de las estructuras de entrada y salida, el conducto o tubería de cruce propiamente y las obras complementarias de encoles y descoles que conducen el agua hacia o desde la alcantarilla, respectivamente.

Para realizar el análisis hidráulico de las obras transversales tipo alcantarilla (circular y rectangular) se utilizó el procedimiento que se relaciona a continuación:

- Se definieron las condiciones de flujo y el tipo de control hidráulico en las estructuras para evaluar posteriormente su capacidad respecto a los caudales estimados para diferentes períodos de retorno.
- La sección de control se encuentra a la entrada de la alcantarilla pues la descarga no se hace a canales con flujo base o con cotas restrictivas, la carga a la entrada de la alcantarilla (H_{wi}) es como máximo 1,2 veces el diámetro o altura del conducto (D) para evitar condiciones de sumergencia.
- La velocidad de flujo debe ser menor a la máxima permisible, para conductos de concreto de 210 kg/cm² (10 m/s), como lo plantea la Tabla 4.2 del Manual de Drenajes del INVIAS.
- Se calculó la capacidad hidráulica de cada obra de drenaje y se compararon con los caudales de diseño de la modelación hidrológica.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- Se establece una relación entre la capacidad hidráulica y un caudal asociado a determinado período de retorno, con el objetivo de evaluar el nivel de amenaza para el cual estaría diseñada la obra.

El dimensionamiento hidráulico de las alcantarillas se realizó teniendo en cuenta las condiciones de flujo y la localización del control hidráulico. Para lo anterior se empleó la metodología propuesta en el Manual de Drenajes de Carreteras del INVIAS del año 2009.
El flujo en una alcantarilla es usualmente no uniforme, presentando zonas con flujo gradualmente variado y zonas con flujo rápidamente variado, por lo que su análisis teórico es complejo y se ha desarrollado con ayuda de experimentación en laboratorio.
De acuerdo con el punto donde se encuentre la sección de control en la alcantarilla, el flujo puede tener control a la entrada o control a la salida y dependiendo de la sumergencia o no de los extremos del conducto y la condición de flujo (tubo lleno o parcialmente lleno), se presentan diferentes tipos de flujo, descritos a continuación:

4.2.4.1.1 Flujo de control en la entrada

En esta condición, el flujo sufre una contracción severa en la entrada, por lo que la capacidad de la tubería es mayor que la capacidad de la estructura de entrada, siendo las características de la entrada (tipo y forma) y no las de la tubería (sección, rugosidad, área, longitud, pendiente) las que determinan la capacidad de la alcantarilla. La alcantarilla se comporta como un vertedero si no existe sumergencia en la entrada y como un orificio si se presenta sumergencia, existiendo una zona de transición pobremente definida entre ambos tipos de comportamiento, por lo que se emplean ecuaciones de regresión. El funcionamiento de la alcantarilla se describe con las siguientes ecuaciones, las cuales se encuentran descritas en al Manual de Drenajes del INVIAS del año 2009:

Tabla 4-5. Ecuaciones para el tipo de flujo en la entrada

Rango	Ecuación		Descripción
$\frac{H_{wi}}{D} < \frac{1}{2}$	$\frac{H_{wi}}{D} = d_c + (1 + K_e) \cdot \frac{{V_c}^2}{2g}$	Ecuación 4-28	Ecuación de mínima energía de canales abiertos
	$si\ Q < 0{,}15 \cdot Q_{0,5}$ $\frac{H_{wi}}{D} = d_c + (1 + C_{vh}) \cdot \frac{{V_{corr}}^2}{2g}$	Ecuación 4-29	Ecuación de mínima energía asumiendo un canal muy ancho
$\frac{1}{2} \leq \frac{H_{wi}}{D} \leq 3{,}0$	$\frac{H_{wi}}{D} = a + (bzF) + c(zF)^2 + d(zF)^3 + e(zF)^4 + f(zF)^5 + 0{,}5s$	Ecuación 4-30	Ecuación de regresión
$\frac{H_{wi}}{D} > 3{,}0$	$H_{wi} = \left(\frac{Q}{k}\right)^2 + 0{,}5 \cdot D$	Ecuación 4-31	Ecuación de orificio

Fuente: Manual de Drenajes de Carreteras del INVIAS, 2009

donde:

H_{wi}: Carga a la entrada, en metros (m).

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

D: Diámetro, altura o flecha de la alcantarilla, en metros (m).

d_c: Profundidad crítica, en metros (m).

K_e: Coeficiente de pérdidas en la entrada.

Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m³/s).

$Q_{0,5}$: Caudal correspondiente a un valor de $H_{wi} = 0{,}5 \cdot D$, en metros cúbicos por segundo (m³/s) (calculado con la ecuación de regresión para su límite inferior)

A_c: Área de la sección transversal con el caudal crítico, en metros cuadrados (m²).

V_c: Velocidad a la profundidad crítica, en metros por segundo (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (g = 9.81 m/s²).

C_{vh}: Coeficiente de la cabeza de velocidad, calculado como:

V_c: Velocidad media, en metros por segundo (m/s).

V_{corr}: Velocidad corregida, en metros por segundo (m/s).}

a, b, c, d, e, f: Coeficientes de regresión para cada tipo de alcantarilla.

F: es un factor que se calcula como $Q/D \cdot 2{,}5$ para alcantarillas circulares y $Q/D \cdot 1{,}5$ para alcantarillas de cajón o arco.

B: Luz de la alcantarilla, en metros (m) (para alcantarillas circulares $B = D$).

S: Pendiente del conducto de la alcantarilla, en metros por metro (m/m).

Z: Factor de conversión a unidades métricas, $Z = 1{,}81130889$

K: Coeficiente basado en el caudal y la altura o flecha de la alcantarilla.

$Q3{,}0$: Caudal correspondiente a un valor de $H_{wi} = 3{,}0D$, en metros cúbicos por segundo (m³/s) (calculado con la ecuación de regresión para su límite superior).

En la Figura 4.2-11 se presenta el comportamiento del flujo con control a la entrada para 4 situaciones diferentes.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

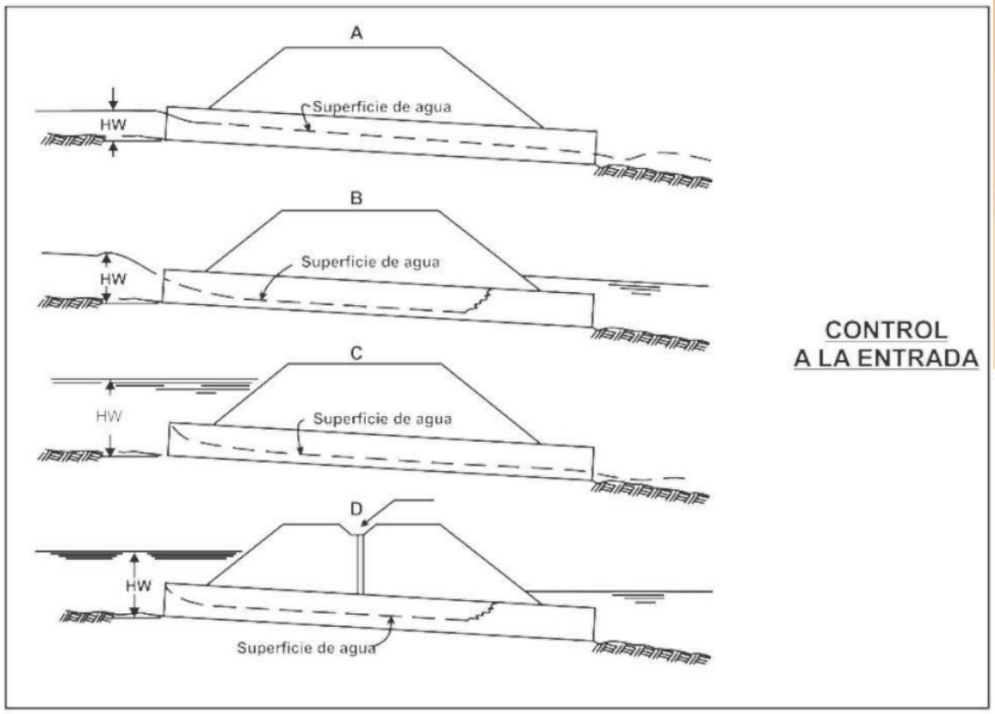


Figura 4.2-11. Tipos de flujo con control en la entrada.
Fuente: Manual de Drenajes de Carreteras del INVIAS, 2009

4.2.4.1.2 Flujo de control a la salida

Para esta condición, la capacidad de la tubería es inferior a la de la estructura de entrada, por lo que las características del conducto determinan la capacidad de la alcantarilla. La carga a la entrada (Hw) se obtiene calculando la curva de remanso a través de la tubería, asumiendo flujo gradualmente variado y partiendo de una condición de control o lámina de agua en la salida igual al valor máximo entre la profundidad crítica en la tubería (dc) y la profundidad del agua en el canal de salida (TW). Cuando Hw/D ≥ 0.75, es posible evitar el cálculo del perfil de flujo y emplear los resultados obtenidos por Norman et al., los cuales son presentados en FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1985).
La ecuación para obtener de la carga en la entrada (Hw), expresada como profundidad, es:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$ Ecuación 4-32

Donde:

ho: Profundidad del agua en la salida con respecto a la cota de batea de la alcantarilla en la salida, en metros (m).

L: Longitud del conducto conteniendo el flujo a tubo lleno, en metros (m).

S0: Pendiente de la alcantarilla, en metros por metro (m/m).

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

He: Pérdida a la entrada, en metros (m).

Hs: Pérdida a la salida, en metros (m).

Como una aproximación, el valor ho está dado por la siguiente expresión:

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S}$$ Ecuación 4-33

Donde:

TW: Profundidad del agua en el canal de salida, en metros (m) (se obtiene con la ecuación de Manning aplicada al canal de salida o a partir de un análisis de flujo gradualmente variado).

D: Diámetro, altura o flecha de la alcantarilla, en metros (m).

dc: Profundidad crítica, en metros (m).

Hf: Pérdida por fricción o energía requerida para vencer la rugosidad de la alcantarilla, en metros (m).

En la Figura 4.2-12 se presentan los diferentes perfiles de flujo que se pueden presentar para flujo con control a la salida.

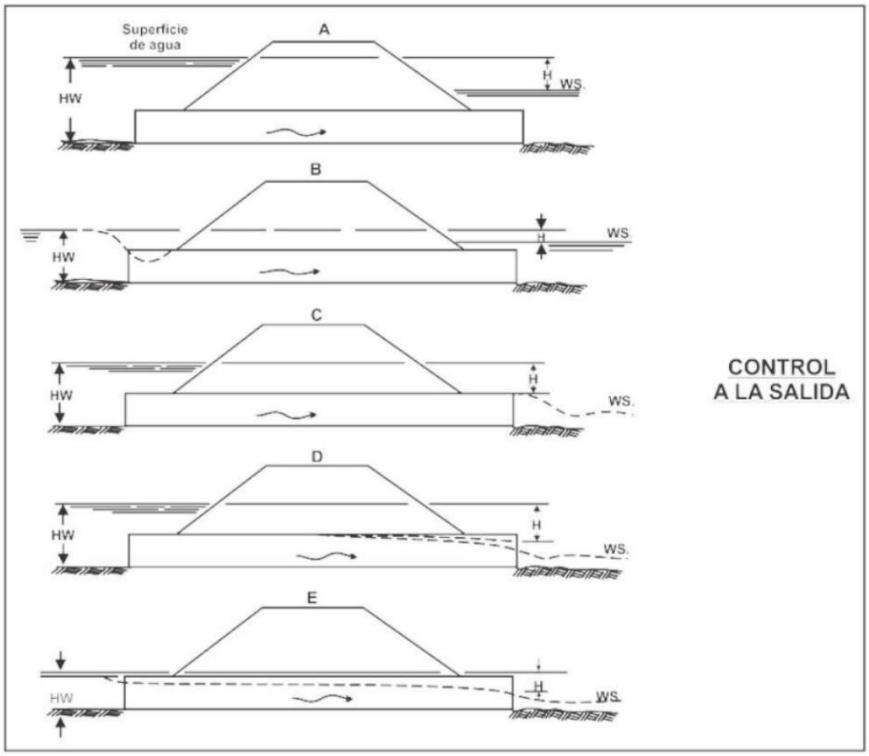


Figura 4.2-12. Tipos de flujo con control en la salida.
Fuente: Manual de Drenajes de Carreteras del INVIAS, 2009

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Considerando lo anterior, se empleó el programa HY-8 recomendado por el Manual de Drenaje del INVIAS del año 2009 para realizar los análisis respectivos, el cual incorpora la cual solución numérica de las ecuaciones de energía mínima, de orificio o regresión, planteadas en la metodología de cálculo de Norman, la cual es ampliamente difundida y aceptada a nivel internacional. Se presentan las memorias de cálculo con los parámetros de diseño y los resultados obtenidos.

4.2.4.2 Puentes

Para los puentes o coberturas especiales (grandes secciones o coberturas muy largas) se desarrolló un modelo unidimensional simplificado en el software HEC-RAS 6.3, el cual se construyó a partir de la topografía de detalle levantada en estos sitios.

4.2.4.2.1 Modelo bidimensional (2D)

Paras las áreas 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 6.3:

- 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.

4.2.4.2.2 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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

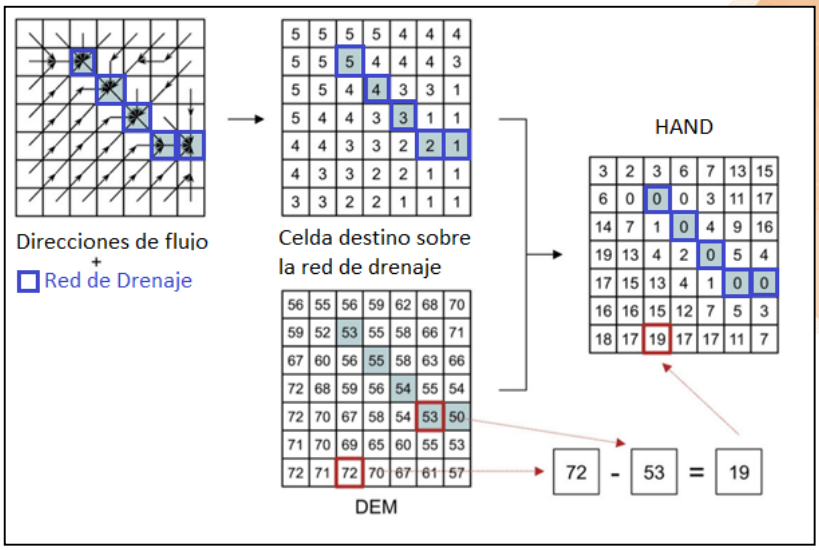


Figura 4.2-13. Esquematización del mapa de inundaciones asociado al DEM y niveles máximos.
Fuente: (AMVA, 2018)

Según (AMVA, 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 4.2-14.

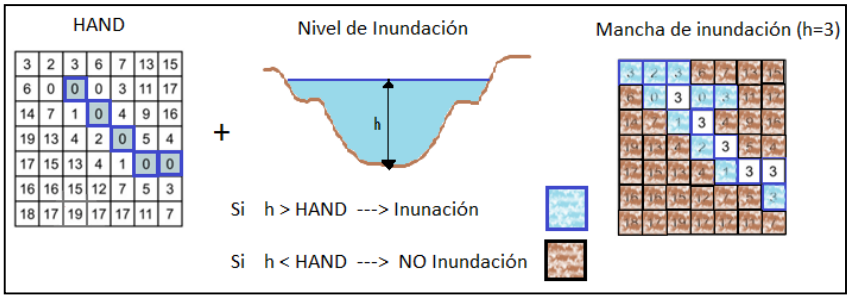


Figura 4.2-14. Definición de manchas de inundación a partir del HAND.
Fuente: (AMVA, 2018)

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 (Zheng, Tarboton, Maidment, 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 como se muestra en la Figura 4.2-15; la ecuación de estas curvas de calibración permite obtener los niveles asociados para cada uno de los caudales estimados.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

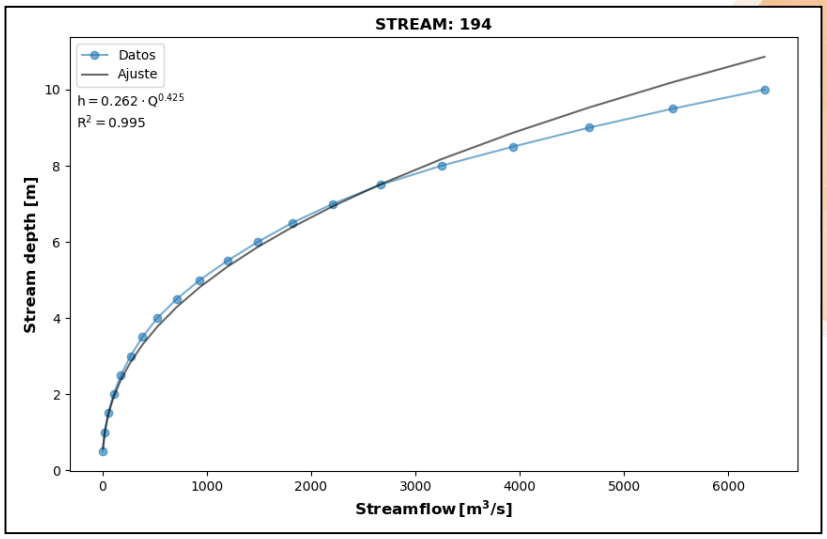


Figura 4.2-15. Curva de calibración nivel-caudal en el tramo de descarga de la quebrada La Correa
Fuente: Revisión y ajuste del PBOT Municipio de Girardota 2020

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.

4.3 REVISIÓN Y CORRECCIÓN DE LA RED DE DRENAJE DEL MUNICIPIO

Se realiza la revisión de la red hídrica del municipio obtenida de la base de SIG del Acuerdo 014 de 2010 y del informe de "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" con el fin de verificar el estado de la red para la implementación de los modelos hidráulicos necesarios para el cálculo de las manchas de inundación.

Al revisar la red de drenaje se evidenciaron algunas inconsistencias como: truncamiento de cauces tanto permanentes como intermitentes, alineamiento de drenajes cruzando divisorias, lo que generaría asignación de área de una cuenca a otra, definición de cauces inexistentes, entre otras. Lo anterior se determinó con base en información cartográfica existente (curvas de nivel escalas 1:5.000 y 1:2.000), imágenes satelitales y visitas de campo.
Por lo anterior, se realizó la corrección de los drenajes identificados como errados. Los cambios realizados se listan a continuación.

- Se da continuidad a la red de drenaje en zonas donde se localizan cruces viales
- Complementación de la red de drenaje en las zonas de descarga de afluentes a cauces principales
- Definición de cauces en zonas con insuficiente información cartográfica, esto se realiza con base en fotografías aéreas y visitas de campo
- Se completa la red de drenaje en las zonas donde se superpone información cartográfica de diferentes escalas

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- Se eliminan tramos de la red de drenaje que no corresponden a las características topográficas
- Se redefine el alineamiento de cauces principales, de acuerdo con la información base disponible

A continuación, se presentan algunos casos en los que la red de drenaje tuvo que ser corregida. Representando en color amarillo la red de drenaje existente y en azul la red de drenaje corregida.
En la Figura 4.3-1 y Figura 4.3-2 puede evidenciarse el identificarse las zonas donde fue necesario completar el drenaje, donde se da continuidad a la red de drenaje en las zonas con escasez de información topográfica.

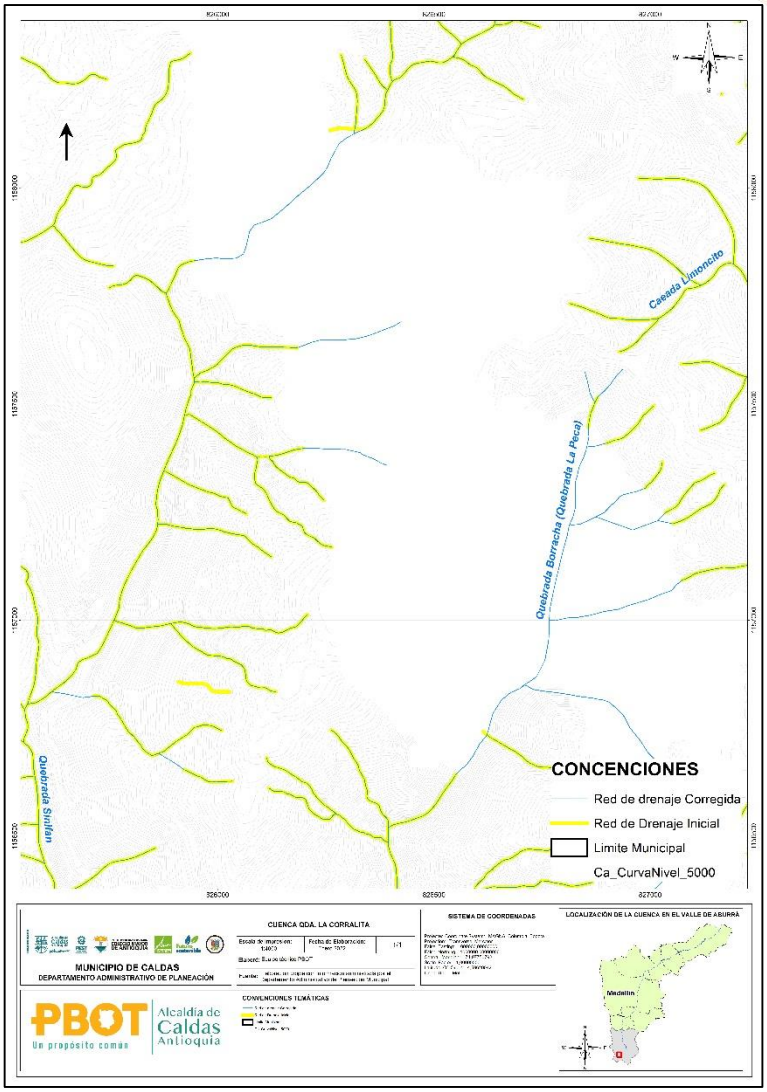


Figura 4.3-1. Complementación de la red de drenaje afluentes Q. La Chaparrala

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

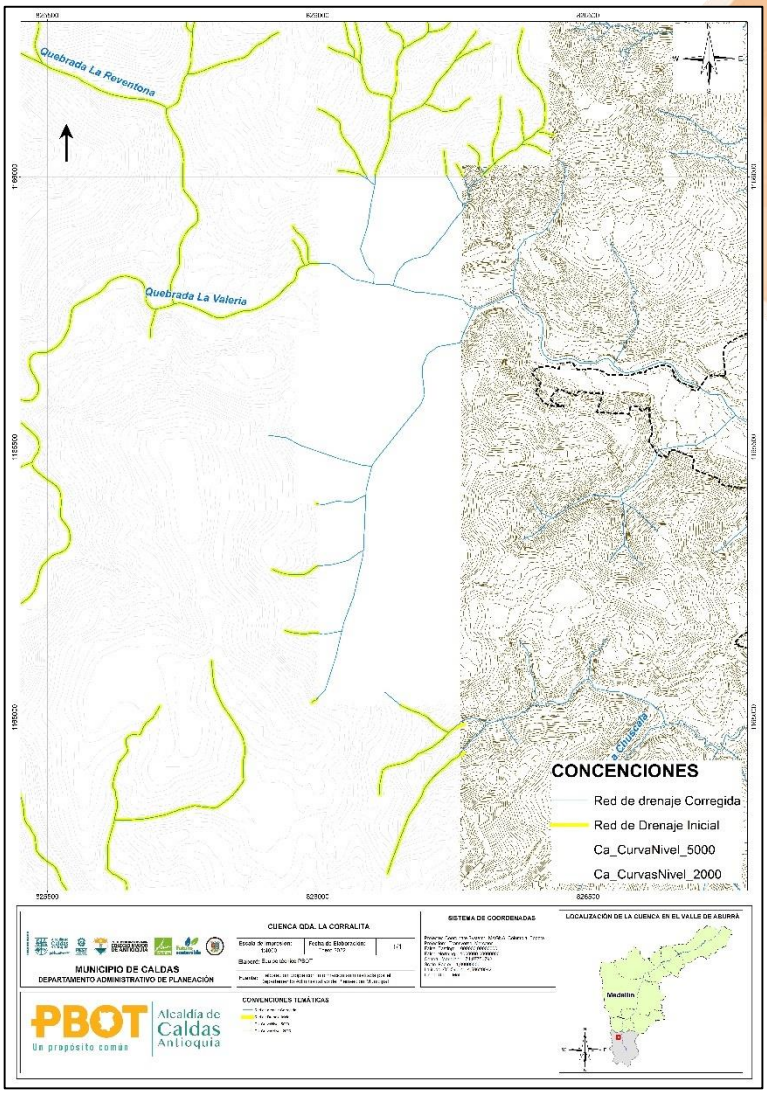


Figura 4.3-2. Complementación de la red de drenaje Subcuenca La Valeria

En la Figura 4.3-3 se presenta un tramo de la quebrada La Miel, donde la descarga de sus afluentes es interrumpida (red de drenaje en amarillo). En este caso se da continuidad a la red hídrica realizando las conexiones pertinentes.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

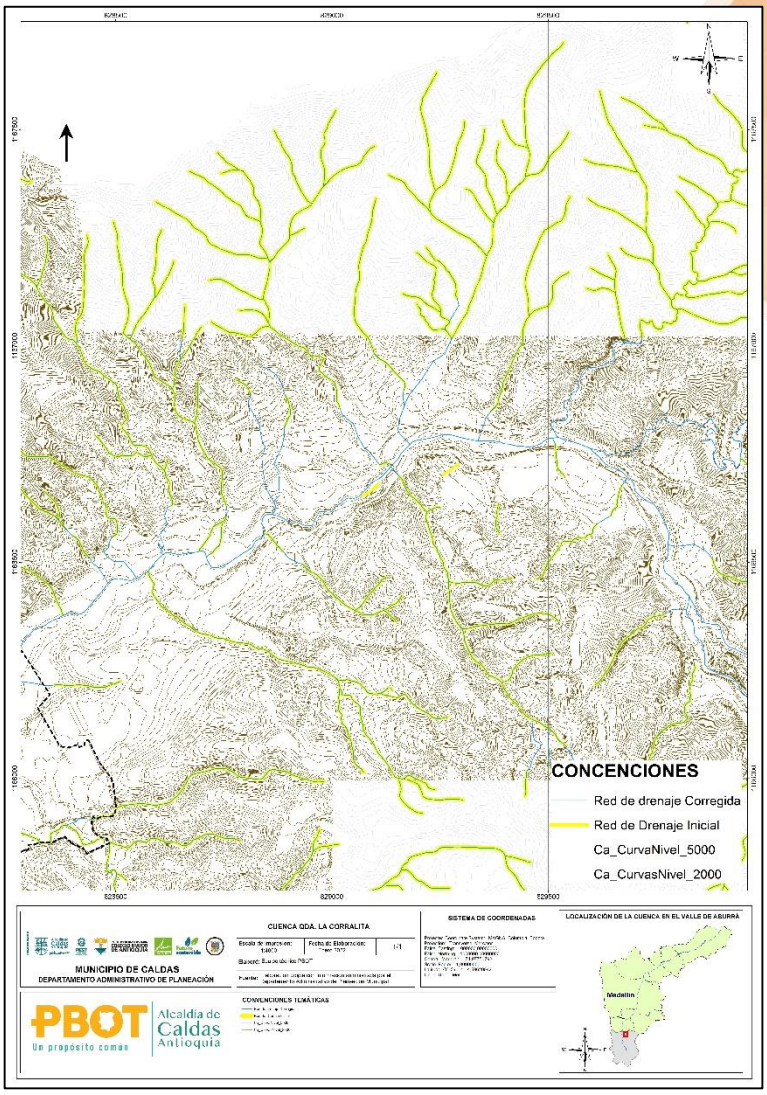


Figura 4.3-3 Complementación de la red de drenaje – Descarga de afluentes a la Q. La Miel

En algunos cruces viales, se tronca la red de drenaje (ver Figura 4.3-4). En estos sitios se representaron las obras hidráulicas como parte del alineamiento del cauce con el objetivo de dar continuidad a la red.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

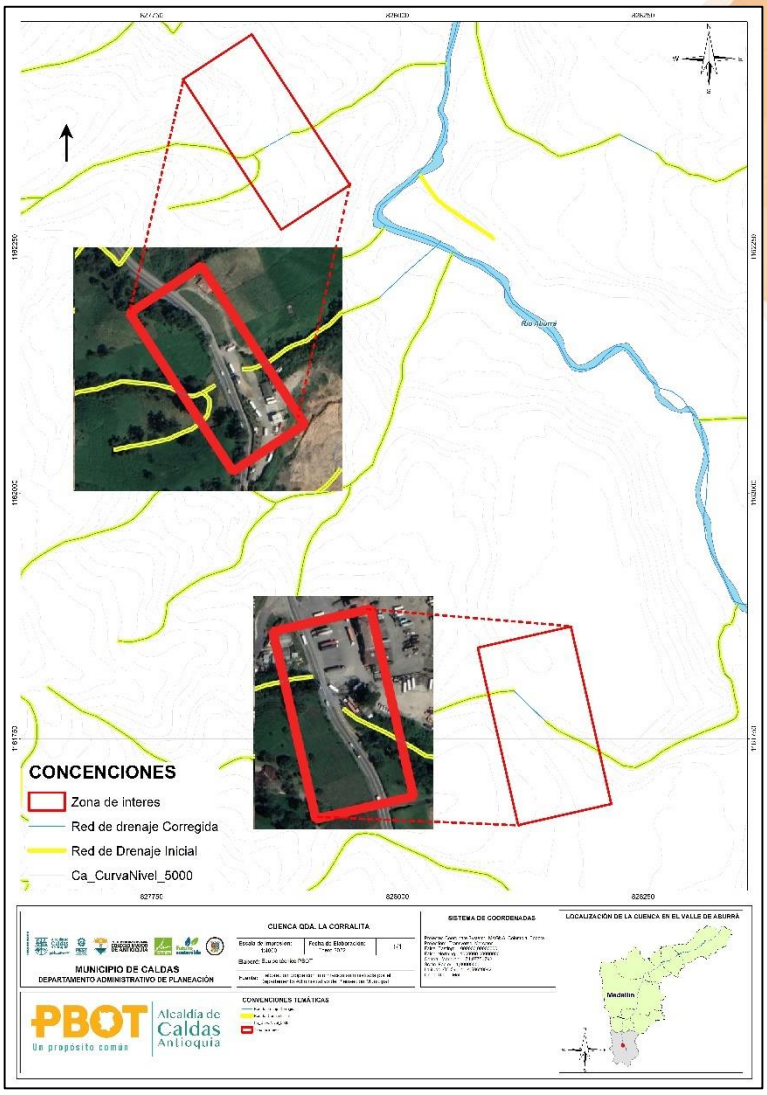


Figura 4.3-4. Complementación de la red de drenaje en cruces viales– Afluentes menores Río Aburrá

Una inconstancia frecuente dentro de la representación cartográfica de la red hídrica es que el trazo de las corrientes no se ajusta a la disposición de las curvas de nivel, es decir el drenaje no se representa por la parte más baja del terreno, como se muestra en la figura a continuación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

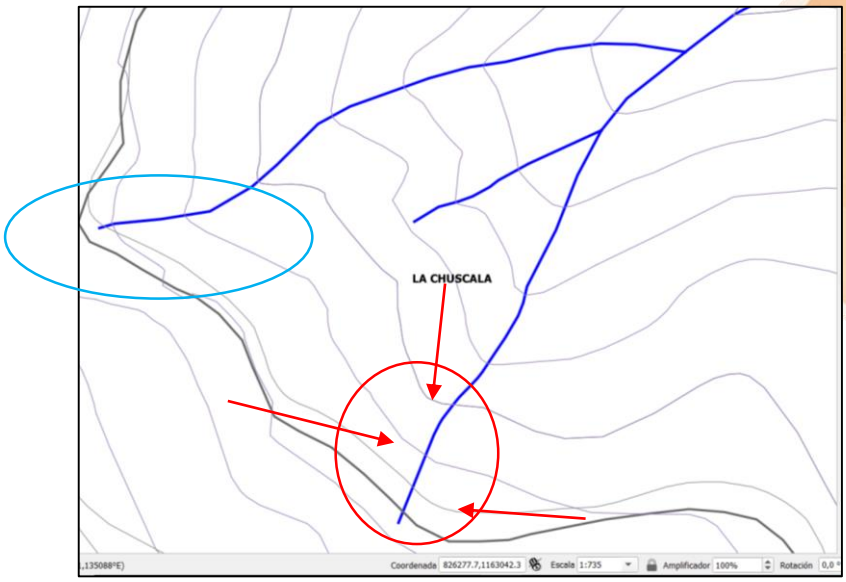


Figura 4.3-5. Representación en cartografía de la red hídrica, el circulo azul esta correcto y el rojo incorrecto, las flechas indican el lugar por donde debe estar representado
Fuente: PBOT 2010

Adicionalmente, gracias a las visitas de campo se determinaron algunos sitios en los que no se presenta cauce ni indicios de que el agua escurra durante eventos de precipitación, sin embargo, en la cartografía se tenían definidos como cauces. Un ejemplo de esto se presenta en las siguientes fotografías en la cual se observa un sitio visitado que muestra un cruce de cauce con una vía, sin embargo, al llegar al sitio se observa un potrero sin rastros de paso de agua de escorrentía y una obra taponada. Los tramos de cauce que presentan situaciones similares fueron eliminados después de realizar las respectivas verificaciones.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co



Figura 4.3-6. Visita para comprobar existencia de cauce
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

En la Figura 4.3-7 se presenta la red de drenaje obtenida después de realizar las correcciones mencionadas. Con la red corregida y con las curvas de nivel del municipio fue posible generar el modelo de elevación digital utilizado para trazar las cuencas y obtener los parámetros morfométricos, así como para los modelos hidráulicos.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

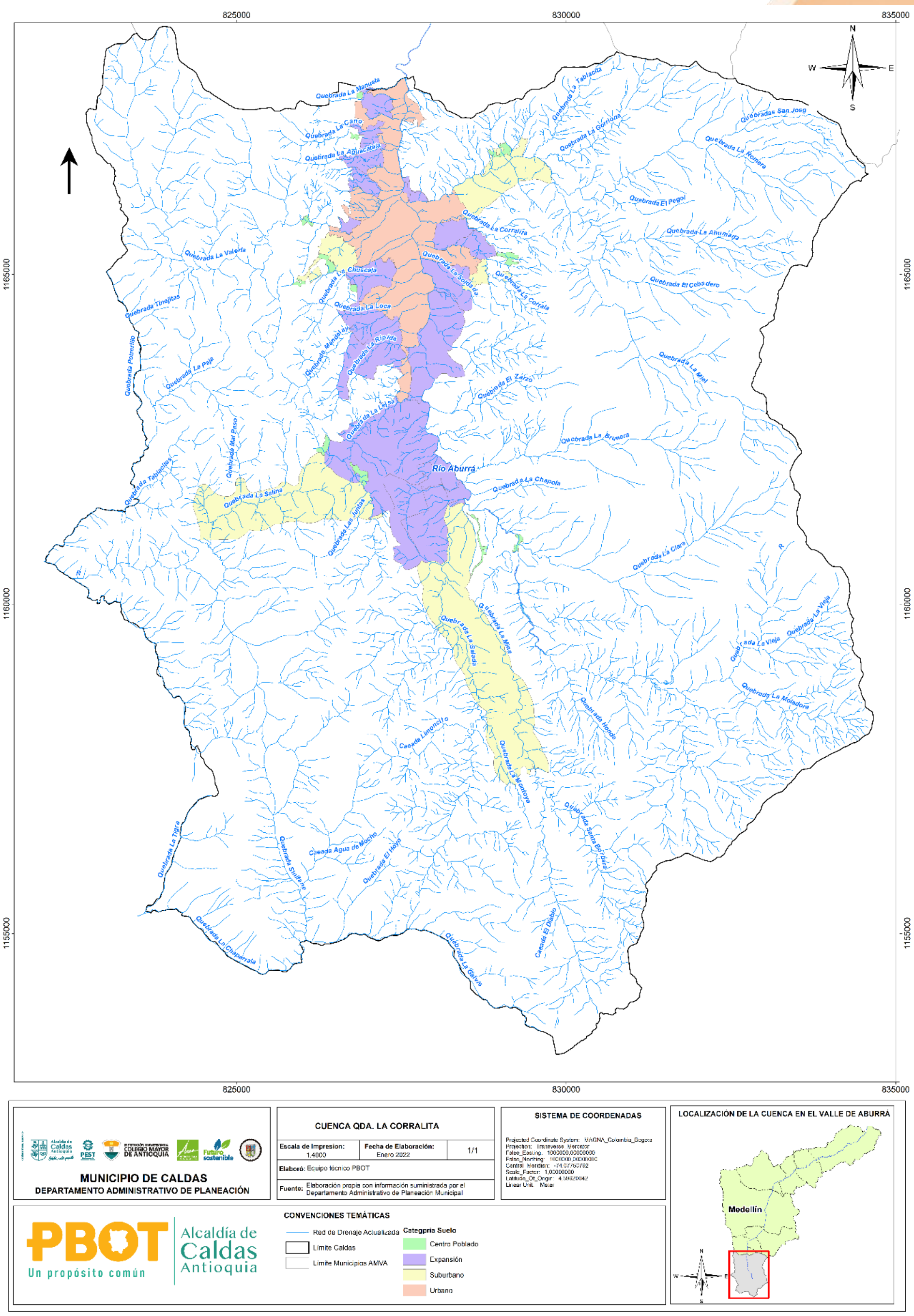


Figura 4.3-7. Red de drenaje corregida.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

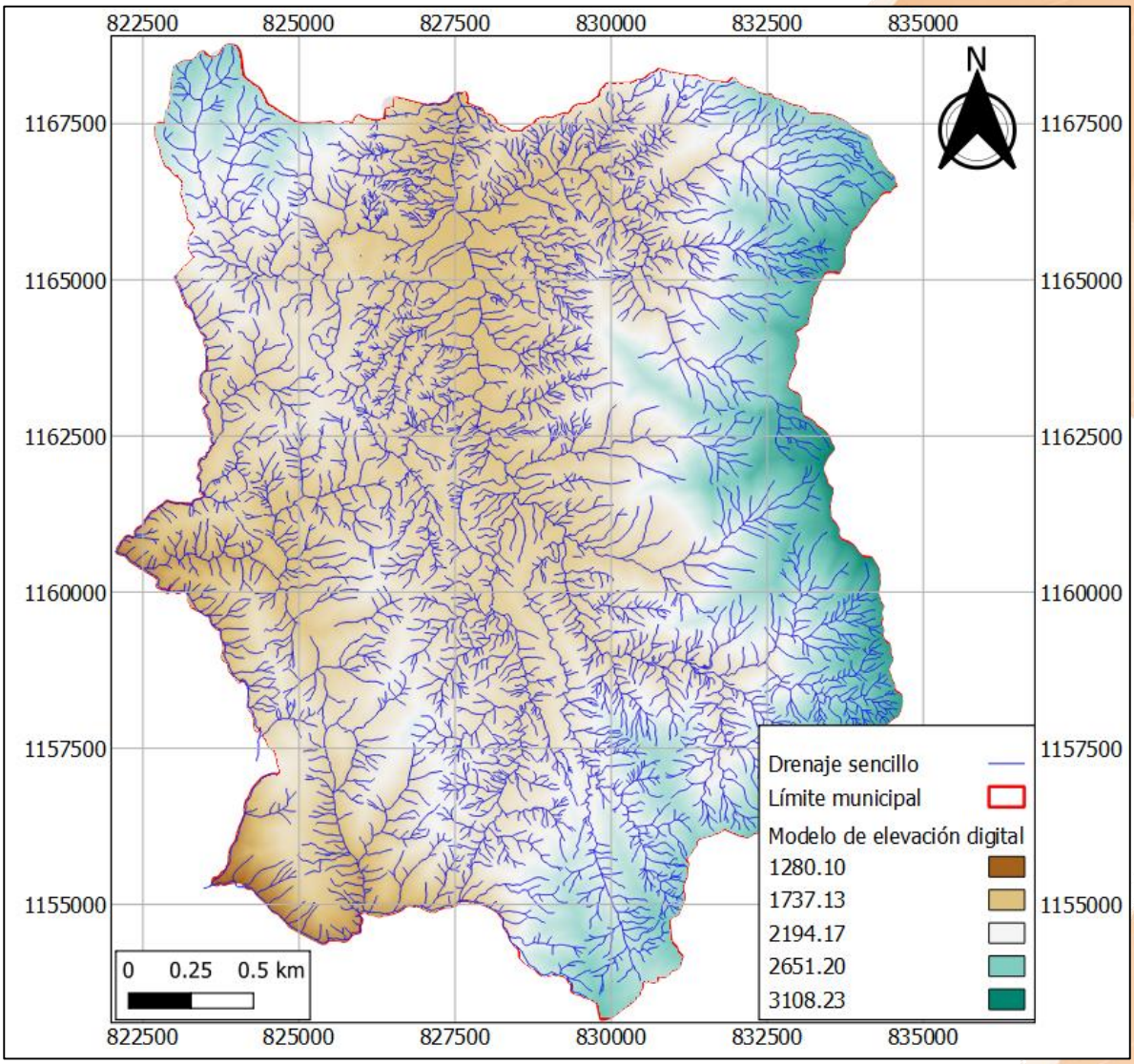


Figura 4.3-8. Modelo de elevación digital generado.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

4.3.1 Visitas de campo

Se realizaron visitas de reconocimiento a 121 puntos de cruce de vías y centros poblados con drenajes tanto permanentes como intermitentes. Estos puntos fueron seleccionados según la cartografía del municipio en la cual se tenían demarcadas las vías primarias, secundarias y terciarias del municipio, así como los polígonos de los centros poblados y la red de drenaje corregida para el proyecto. En la Figura 4.3-9 se presenta la localización de los sitios visitados durante los recorridos realizados tanto en la zona urbana como en la zona rural.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

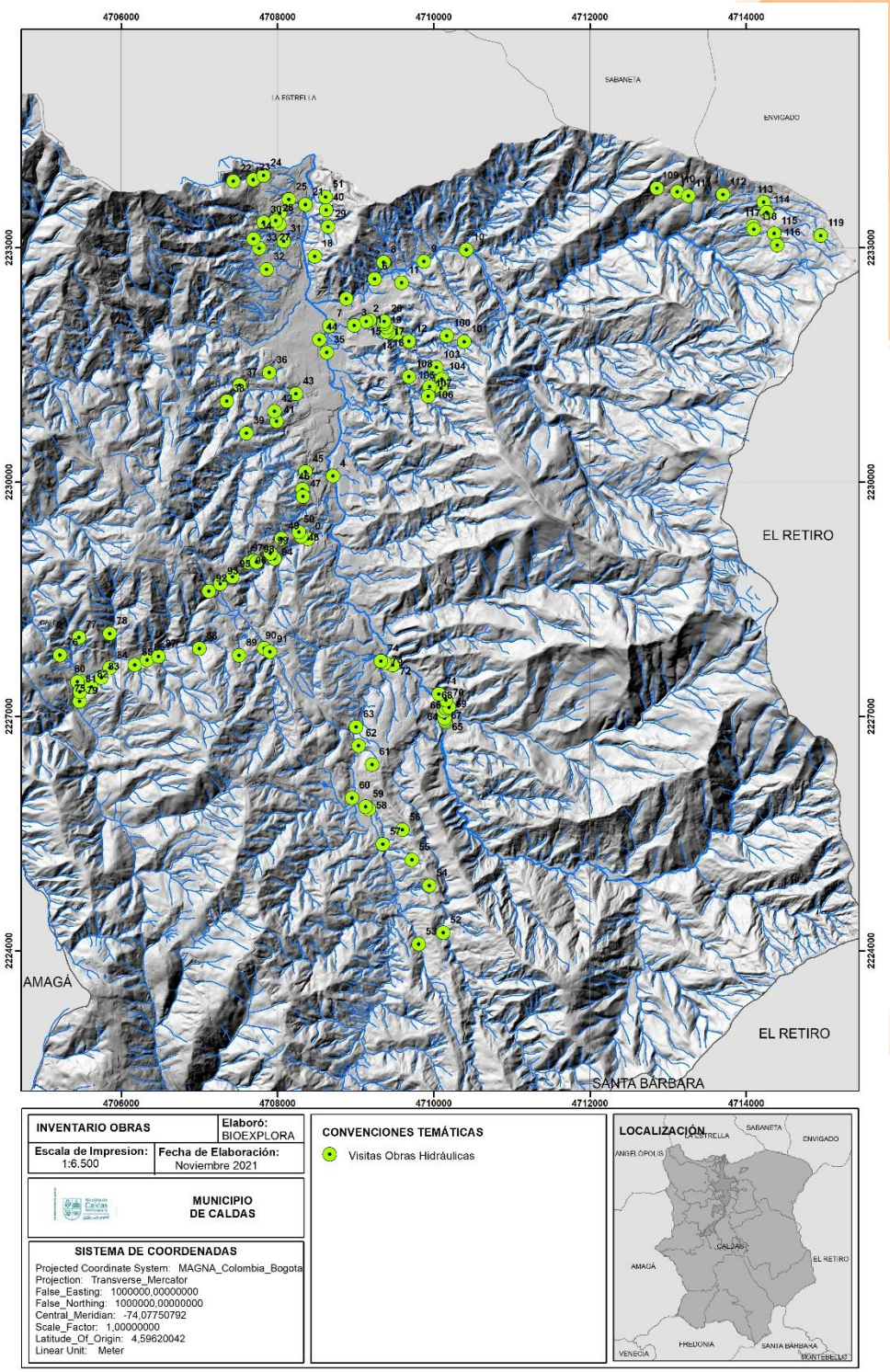


Figura 4.3-9. Visitas inventario red Hídrica.
Fuente: Actualización red Hídrica (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

En las visitas realizadas se verificó el tipo de obra existente en el cruce, aunque esto no fue posible en todos los puntos debido a la vegetación abundante de algunos lugares o la dificultad para acceder a la obra. Se determinaron las dimensiones de las obras visitadas; diámetro para alcantarillas u obras circulares y ancho y alto para otro tipo de obras. En la Figura 4.3-10 se presenta una de las obras visitadas.



Figura 4.3-10. Ejemplo de obra de cruce sobre quebrada.
Fuente: PBOT Caldas, 2022

Se hacen observaciones a partir de lo observado en la visita, estas observaciones incluyen información sobre el estado de la obra, presencia o no de vegetación, se especifica si las obras se encuentran obstruidas entre otros.

En las visitas realizadas fue posible también determinar si el cauce realmente existía (en el caso de los cauces permanentes) o si se presentaban las condiciones de terreno para que se presentara escorrentía en eventos de precipitación. Así, se encontraron algunos sitios donde se tenían registrados cruces entre vías y cauces para los cuales no existían obras de cruce ni el terreno presentaba señales de ser una zona preferente para el flujo de escorrentía. En la Figura 4.3-10 se encuentra un ejemplo de uno de los sitios visitados en los que se tiene un cruce entre cauce y vía según la cartografía, pero al momento de la visita no se encuentra ninguna obra hidráulica ni cauces arriba ni abajo del punto.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

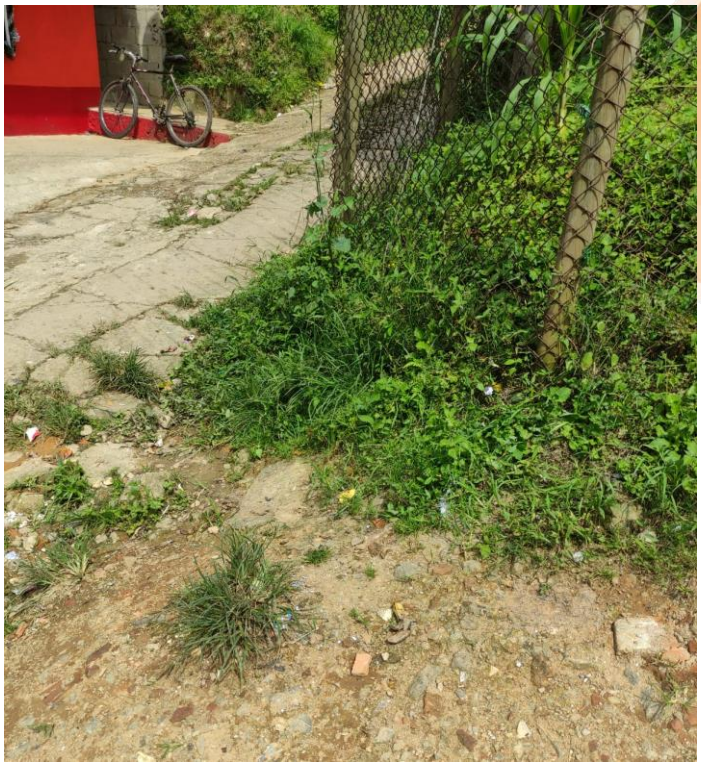


Figura 4.3-11. Sitio sin obra de cruce ni cauce.
Fuente: PBOT Caldas, 2022

En los anexos del informe se presenta un formato para cada punto visitado con la información correspondiente y el registro fotográfico, adicional se incluye el shape de puntos de estos sitios y observaciones de cada uno.

4.3.1.1 Actualización de inventario de quebradas, tramos y obras hidráulicas

En la Tabla 4-6 se presenta el inventario de infraestructuras hidráulicas detallado dentro de las cuencas, referido a su ubicación, usos, funcionamiento y estado actual y grado de afectación en el municipio. Este inventario se hizo a partir de visitas a campo, en donde se tomaron las dimensiones y las coordenadas de cada infraestructura.

Tabla 4-6. Obras hidráulicas en el Municipio de Caldas

Obras Hidráulicas					
Nombre	**Quebrada**	**Est_Drenaj**	**Coord_X**	**Coord_Y**	**Tipo_de_ob**
Punto 001	Sin Nombre	Intermitente	827735,1	1167444,4	Alcantarilla
Punto 002	Sin Nombre	Intermitente	827740,2	1167277,2	
Punto 003	Sin Nombre	Intermitente	827767,9	1167062,1	Alcantarilla
Punto 004	Sin Nombre	Intermitente	827597,5	1166684,7	Alcantarilla
Punto 005	Rio Medellin	Permanente	827787,6	1165789,8	Puente
Punto 006	Qda. La Corralita	Permanente	828103,3	1165798,2	Puente
Punto 007	Qda. La Corralita	Permanente	828255,8	1165851,5	Puente
Punto 008	Qda. La Corralita	Permanente	828301,6	1165869,9	Cobertura
Punto 009	Qda. La Lejía	Permanente	827516,1	1163064,8	

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Obras Hidráulicas					
Nombre	Quebrada	Est_Drenaj	Coord_X	Coord_Y	Tipo_de_ob
Punto 010	Sin Nombre	Intermitente	827402,9	1163151,9	Alcantarilla
Punto 011	Sin Nombre	Intermitente	827176,4	1163069,3	Batea
Punto 012	Sin Nombre	Intermitente	827429,2	1163095,5	
Punto 013	Sin Nombre	Intermitente	827452,8	1163607,7	Alcantarilla
Punto 014	Sin Nombre	Intermitente	827444,9	1163697,9	Alcantarilla
Punto 015	Qda. La Rapida	Permanente	827484,6	1163927,5	Alcantarilla
Punto 016	Rio Medellin	Permanente	827658,8	1165615,1	Puente
Punto 017	Qda. LaChuscala	Permanente	827358,8	1164921,2	Puente
Punto 018	Sin Nombre	Intermitente	827085,7	1164699,7	Alcantarilla
Punto 019	Sin Nombre	Intermitente	827112,8	1164570,8	Alcantarilla
Punto 020	Qda. La Loca	Permanente	826727,2	1164417,6	Alcantarilla
Punto 021	Sin Nombre	Intermitente	826473,1	1164828,4	Alcantarilla
Punto 022	Sin Nombre	Intermitente	826636,7	1165033,6	
Punto 023	Sin Nombre	Intermitente	827018,2	1165194,2	Alcantarilla
Punto 024	Rio Medellin	Permanente	827753,2	1165453,9	
Punto 025	Sin Nombre	Intermitente	826813,3	1166905,1	Alcantarilla
Punto 026	Qda. La Aguacatala	Permanente	826886,8	1166786,8	Alcantarilla
Punto 027	Qda. Bellavista	Permanente	826981,7	1166514,3	Alcantarilla
Punto 028	Qda. La Aguacatala	Permanente	827197,7	1166872,7	Cajon
Punto 029	Sin Nombre	Intermitente	826941,4	1167116,9	
Punto 030	Sin Nombre	Intermitente	827093,7	1167140,3	Alcantarilla
Punto 031	Sin Nombre	Intermitente	827141,7	1167088,8	
Punto 032	Qda. La Cano	Permanente	827150,8	1167232,6	Ponton
Punto 033	Sin Nombre	Intermitente	827264,8	1167410,9	Alcantarilla
Punto 034	Qda. La Manuela	Permanente	826939,0	1167716,7	Ponton
Punto 035	Qda. La Manuela	Permanente	826807,0	1167662,7	Batea
Punto 036	Qda. La Manuela	Permanente	826552,7	1167641,8	Alcantarilla
Punto 037	Sin Nombre	Intermitente	827476,3	1167344,4	Alcantarilla
Punto 038	Qda. La Corralita	Permanente	828486,2	1165852,3	Puente
Punto 039	Qda. La Corralita	Permanente	828480,8	1165817,7	Alcantarilla
Punto 040	Qda. La Corralita	Permanente	828517,8	1165775,9	Alcantarilla
Punto 041	Qda. La Corralita	Permanente	828510,9	1165719,8	Puente
Punto 042	Qda. La Corralita	Permanente	828546,9	1165708,1	Puente
Punto 043	Qda. La Corralita	Permanente	828645,6	1165697,1	Alcantarilla
Punto 044	Qda. La Corralita	Permanente	828645,9	1165681,1	Alcantarilla
Punto 045	Qda. La Corralita	Permanente	828806,2	1165596,5	Puente
Punto 046	Qda. La Miel	Permanente	828710,1	1166348,0	Alcantarilla
Punto 047	Qda. La Miel	Permanente	829539,1	1166769,7	Alcantarilla
Punto 048	Qda. La Miel	Permanente	828995,6	1166618,5	Puente
Punto 049	Sin Nombre	Intermitente	828479,3	1166606,8	
Punto 050	Qda. La Miel	Permanente	828365,4	1166396,6	
Punto 051	Qda. La Miel	Permanente	828002,3	1166139,0	Alcantarilla
Punto 052	Rio Medellín	Permanente	827835,4	1163872,7	Puente
Punto 053	Qda La Mina	Permanente	829259,3	1158025,2	Puente

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Obras Hidráulicas					
Nombre	Quebrada	Est_Drenaj	Coord_X	Coord_Y	Tipo_de_ob
Punto 054	Qda La Montoya	Permanente	828946,0	1157880,1	No se ve
Punto 055	Sin Nombre	Intermitente	829081,5	1158627,1	Alcantarilla circular
Punto 056	Sin Nombre	Intermitente	828858,1	1158959,5	Alcantarilla circular
Punto 057	Sin Nombre	Intermitente	828734,7	1159342,2	Alcantarilla circular
Punto 058	Sin Nombre	Intermitente	828483,5	1159156,2	Alcantarilla circular
Punto 059	Sin Nombre	Intermitente	828303,5	1159604,7	Alcantarilla circular
Punto 060	Qda La Salada	Permanente	828263,2	1159637,2	Puente
Punto 061	Qda La Salada	Permanente	828089,0	1159749,9	Puente
Punto 062	Sin Nombre	Intermitente	828344,0	1160179,1	
Punto 063	Qda La Salada	Permanente	828170,1	1160417,1	Puente
Punto 064	Rio Medellín	Permanente	828138,4	1160656,3	Alcantarilla circular
Punto 065	Rio Medellín	Permanente	829284,8	1160720,2	Puente
Punto 066	Rio Medellín	Permanente	829274,1	1160740,6	Puente
Punto 067	Rio Medellín	Permanente	829269,3	1160771,1	Puente
Punto 068	Rio Medellín	Permanente	829261,9	1160862,6	Puente
Punto 069	Qda La Clara	Permanente	829285,5	1160899,7	Puente
Punto 070	Sin Nombre	Intermitente	829325,0	1160911,8	Batea
Punto 071	Rio Medellín	Permanente	829287,5	1161005,3	Puente
Punto 072	Rio Medellín	Permanente	829196,8	1161081,6	Alcantarilla circular
Punto 073	Qda La Chapola	Permanente	828608,2	1161449,9	Puente
Punto 074	Rio Medellín	Permanente	828504,0	1161476,7	Puente
Punto 075	Qda La Salada	Permanente	828453,9	1161502,8	Puente
Punto 076	Qda La Salina	Permanente	824597,1	1160980,4	Puente
Punto 077	Sin Nombre	Intermitente	824344,5	1161569,4	Alcantarilla de cajón
Punto 078	Qda La Montoya	Permanente	824586,7	1161796,2	Sumidero y canal
Punto 079	Sin Nombre	Intermitente	824980,3	1161846,0	Alcantarilla de cajón
Punto 080	Qda La Montoya	Permanente	824599,3	1161241,5	Puente
Punto 081	Sin Nombre	Intermitente	824570,1	1161229,2	Alcantarilla circular
Punto 082	Qda La Salina	Permanente	824599,0	1161101,0	Alcantarilla circular
Punto 083	Sin Nombre	Intermitente	824745,6	1161163,0	Alcantarilla circular
Punto 084	Sin Nombre	Intermitente	824874,7	1161280,7	Alcantarilla circular
Punto 085	Sin Nombre	Intermitente	824984,2	1161408,4	Alcantarilla circular
Punto 086	Qda El Rosal	Permanente	825302,8	1161448,3	Puente

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Obras Hidráulicas					
Nombre	**Quebrada**	**Est_Drenaj**	**Coord_X**	**Coord_Y**	**Tipo_de_ob**
Punto 087	Qda La Salina	Permanente	825458,6	1161510,8	Alcantarilla de cajón
Punto 088	Qda San Francisco	Permanente	825607,7	1161555,8	No se ve
Punto 089	Sin Nombre	Intermitente	826128,5	1161656,2	Puente
Punto 090	Sin Nombre	Intermitente	826637,8	1161572,9	Alcantarilla circular
Punto 091	Sin Nombre	Intermitente	826957,0	1161662,8	Alcantarilla circular
Punto 092	Qda La Lejía	Permanente	827031,6	1161618,5	No se ve
Punto 093	Sin Nombre	Intermitente	826250,4	1162391,9	Alcantarilla circular
Punto 094	Sin Nombre	Intermitente	826394,9	1162487,8	Puente
Punto 095	Sin Nombre	Intermitente	827089,9	1162810,8	Puente
Punto 096	Sin Nombre	Intermitente	826551,7	1162578,4	No hay
Punto 097	Sin Nombre	Intermitente	826759,5	1162760,8	Canal natural
Punto 098	Sin Nombre	Intermitente	826820,8	1162786,7	Alcantarilla circular
Punto 099	Sin Nombre	Intermitente	826860,1	1162766,0	Alcantarilla circular
Punto 100	Sin Nombre	Intermitente	827035,9	1162878,3	Tuberia sanitaria
Punto 101	Sin Nombre	Intermitente	829287,5	1165667,5	No se ve
Punto 102	Qda La Corralita	Permanente	829511,8	1165591,2	Alcantarilla circular
Punto 103	Sin Nombre	Intermitente	829133,6	1165252,3	Ninguno
Punto 104	Sin Nombre	Intermitente	829157,9	1165262,8	Ninguna
Punto 105	Sin Nombre	Intermitente	829226,9	1165114,3	Alcantarilla circular
Punto 106	Sin Nombre	Intermitente	829218,6	1164995,6	Alcantarilla circular
Punto 107	Sin Nombre	Intermitente	829070,2	1165017,0	Alcantarilla circular
Punto 108	Qda La Corrala	Permanente	829052,1	1164893,4	Ponton
Punto 109	Qda La Corrala	Permanente	828804,3	1165143,5	Puente
Punto 110	Sin Nombre	Intermitente	831976,2	1167563,7	Nada
Punto 111	Sin Nombre	Intermitente	832238,1	1167519,3	Batea
Punto 112	Sin Nombre	Intermitente	832381,5	1167468,1	Batea
Punto 113	Sin Nombre	Intermitente	832823,9	1167485,3	Batea
Punto 114	Qda San Jose	Permanente	833344,1	1167389,2	Alcantarilla circular
Punto 115	Qda Santa Gertrudiz	Permanente	833380,2	1167259,6	Batea
Punto 116	Sin Nombre	Intermitente	833477,8	1166986,9	Alcantarilla circular
Punto 117	Sin Nombre	Intermitente	833516,5	1166836,3	Alcantarilla circular
Punto 118	Sin Nombre	Intermitente	833207,0	1167083,2	Alcantarilla circular

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Obras Hidráulicas					
Nombre	**Quebrada**	**Est_Drenaj**	**Coord_X**	**Coord_Y**	**Tipo_de_ob**
Punto 119	Sin Nombre	Intermitente	833216,6	1167038,0	Alcantarilla circular
Punto 120	Sin Nombre	Intermitente	834074,5	1166961,3	

Fuente: Actualización Red Hídrica (2021)

La toma de dimensiones de estas estructuras se realizó utilizando únicamente lienza. Para las estructuras donde no fue posible tomar dimensiones (puentes o box con coberturas largas), se realizó un levantamiento topográfico detallado.

4.3.1.1.1 Levantamiento topográfico

Para las estructuras tipo puente (31 de 34) se realizó levantamiento topográfico detallado, mediante el cual fue posible generar las secciones hidráulicas para su implementación en un modelo hidráulico unidimensional.

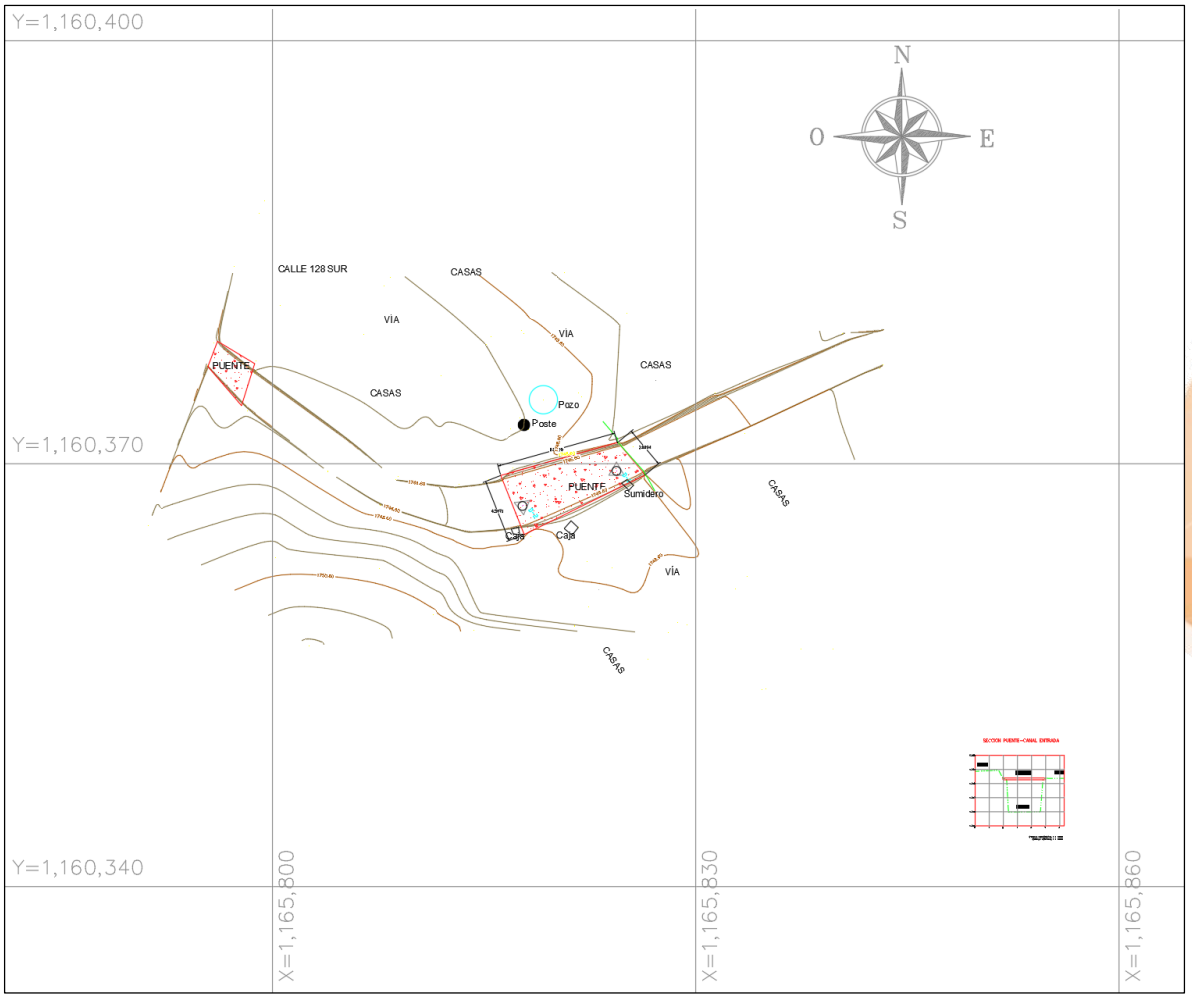


Figura 4.3-12. Levantamiento topográfico del punto 7 - Puente.
Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

A continuación, se presenta una descripción de las unidades geológicas y geomorfológicas presentes en las cuencas definidas y su representación en porcentaje. Además, se realiza una descripción morfométrica de cada cuenca definida, en las que se incluyen las mayores de 0.5 km2, y las restantes se consideran como una sola unidad hidrográfica definida para este estudio como río Aburrá y afluentes directos.

5.1 GEOLOGÍA

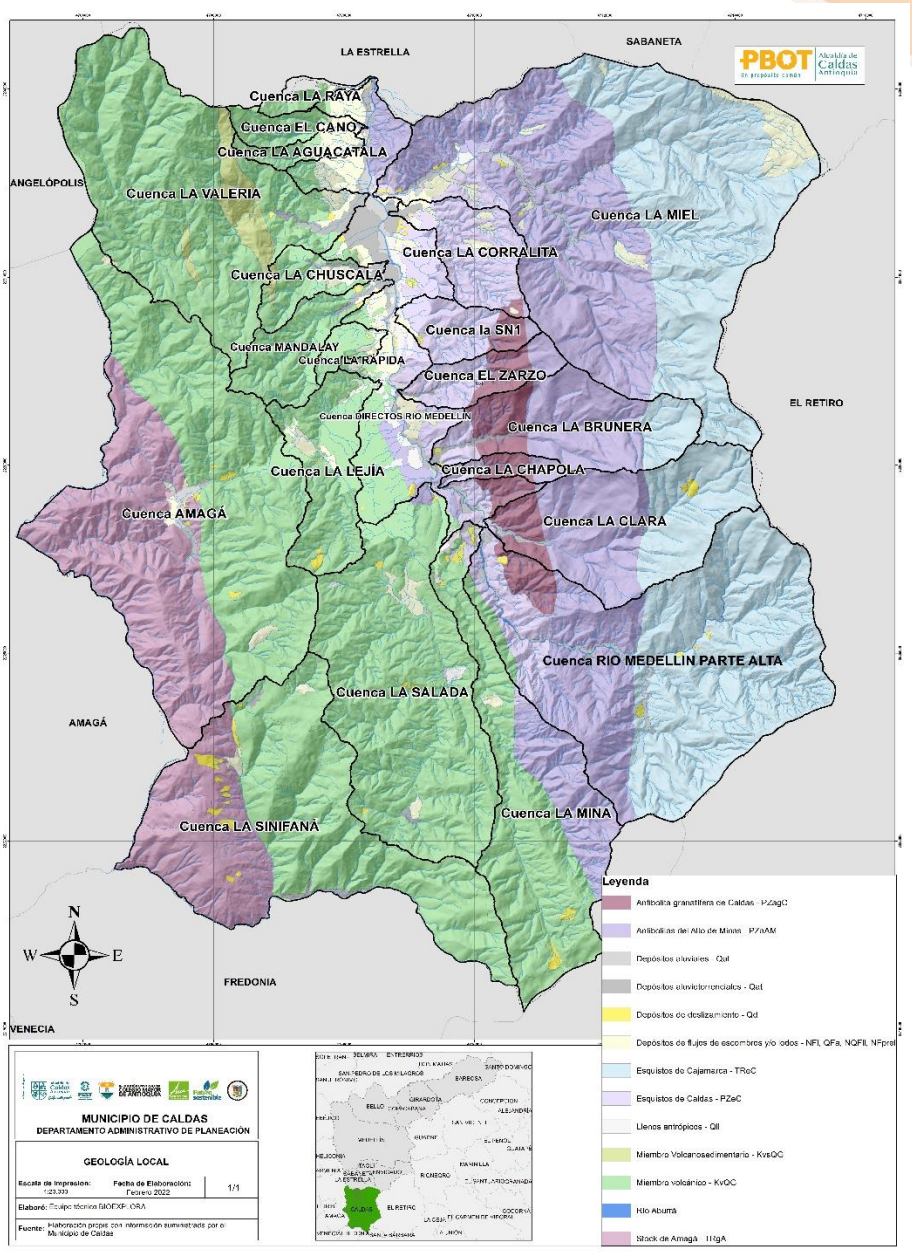


Figura 5.1-1. Unidades geológicas con las cuencas del municipio de Caldas.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.1.1 Anfibolita del Alto de Minas (PZaAM)

Este cuerpo metamórfico se localiza sobre la margen derecha del río Aburrá. 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.

Tabla 5-1. Distribución de la Anfibolita del Alto de Minas en las diferentes cuencas.

Anfibolitas del alto de Minas	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	4,3
La Corralita	0,2
La Miel	41,6
El Zarzo	1,3
La Brunera	11
La Chapola	0,9
La Clara	13,2
La Mina	9,8
La Salada	0,4
La Sn1	0,3
Río Medellín parte alta	17,1

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.2 Anfibolita Granatífera del Caldas (PZagC)

Aflorara como un cuerpo alargado en sentido Norte Sur, sobre la margen derecha del río Aburrá en las cuencas La Corralita, SN1, El Zarzo, La Brunera, La Chapola, La Clara y el río Medellín. 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 porfidoblastos de granates.

Tabla 5-2. Distribución de la Anfibolita Granatífera de Caldas en las diferentes cuencas.

Anfibolitas Granatífera de Caldas	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	8,7
La Corralita	1,8
El Zarzo	14,3
La Brunera	23,8
La Chapola	8,9
La Sn1	8,2
La Clara	17,8
Río Medellín parte alta	16,6

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.1.3 Depósitos aluviales (Qal)

Unidad asociada al depósito de materiales por parte del río Aburrá y sus afluentes, en sus eventos de desborde, esta unidad es estrecha y se encuentra restringida en las zonas medias y bajas de las cuencas (Figura 5.1-2); están conformados por arenas y limos y su espesor es variable.



Figura 5.1-2. Depósitos aluviales ubicados en las zonas bajas de la quebrada la Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

Tabla 5-3. Distribución de los depósitos aluviales en las diferentes cuencas.

Depósitos aluviales	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	37,3
El Cano	0,03
La Chuscala	0,01
La Raya	0,01
SN1	0,6
Río Medellín parte alta	18,9
La Clara	4,3
La Chapola	0,003
El Zarzo	0,1
La Brunera	0,2
La Mina	2
La Miel	24,00
La Mandalay	0,1
La Salada	1
La Rapida	0,002
La Lejía	0,1
La Aguacatala	0,01
La Valeria	0,2
Amagá	11,2

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.1.4 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.

Están asociados a numerosas corrientes como; La Miel, La Valeria, La Chuscala, La Raya y el propio rio 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.

Tabla 5-4. Distribución de los depósitos aluviotorrenciales en las diferentes cuencas.

Depósitos aluviotorrenciales	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	40,93
El Cano	1,72
Río Medellín parte alta	2,79
El Zarzo	2,33
La Brunera	6,35
La Corralita	3,62
Mandalay	6,60
La Salada	2,50
La Chuscala	7,74
La Aguacatala	0,72
La Valeria	14,58
La Raya	1,50
El Cano	1,72
Sinifaná	8,62

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.5 Depósitos antrópicos-Llenos (Qll)

Son unidades formadas por la acumulación de materiales producto de actividades humanas (Figura 5.1-3). 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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co



Figura 5.1-3. Lleno antrópico ubicado en la zona urbana, en la margen izquierda de la variante de Caldas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

Tabla 5-5. Distribución de los llenos antrópicos en las diferentes cuencas.

Llenos antrópicos	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	64,1
SN1	2,18
La Mina	7,01
La Miel	13,24
La Corralita	3,18
Mandalay	1,05
La Salada	7,79
La Lejía	0,60
La Chuscala	0,72
Amagá	0,04

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.6 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 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 5.1-4), 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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co



Figura 5.1-4. 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 (2021)

Tabla 5-6. Distribución de los depósitos de deslizamiento en las diferentes cuencas.

Depósitos de deslizamiento	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	11
La Amagá	7,7
SN1	0,8
Río Medellín parte alta	6,9
La Clara	6,2
La Brunera	1,7
La Mina	19,8
La Miel	4,9
La Corralita	1
Mandalay	1,7
La Salada	6
La Rapida	0,4
La Lejía	5,7
La Valeria	1,9
Sinifaná	24,2

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.7 Depósitos de flujo de lodo y de escombros (NQFII – NFI - NFprel)

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 todo el municipio.

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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

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.

Tabla 5-7. Distribución de los depósitos de flujo de lodos y escombros en las diferentes cuencas.

Depósitos de flujo de lodo y de escombros	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	30,6
SN1	1,0
Río Medellín parte alta	0,1
El Zarzo	0,3
La Mina	1,1
La Miel	26,4
La Corralita	4,1
Mandalay	0,5
La Salada	5,4
La Rapida	2,0
La Lejía	5,5
La Chuscala	4,0
La Aguacatala	5,7
La Valeria	4,2
Amagá	4,0
La Raya	0,7
El Cano	2,6
Sinifaná	2,2

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.8 Esquistos de Caldas (PZeC)

Esta unidad se localiza en el flanco oriental del municipio, en las cuencas La Miel, La Corrala, SN1, El Zarzo, La Brunera, La Chapola y el río Medellín. 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 5.1-5).

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co



Figura 5.1-5. Fragmento de esquistos localizados en la cuenca de la quebrada La Miel.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

Tabla 5-8. Distribución de los esquistos de Caldas en las diferentes cuencas.

Esquistos de Caldas	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	19,2
SN1	14,2
Río Medellín parte alta	16,0
La Clara	0,2
La Chapola	1,5
El Zarzo	8,8
La Brunera	4,0
La Mina	1,7
La Miel	10,9
La Corralita	23,6

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.9 Esquistos de Cajamarca (TReC)

Esta unidad aflora 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 granatiferas 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 lagunas 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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 5-9. Distribución de los esquistos de Cajamarca en las diferentes cuencas.

Esquistos de Cajamarca	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Río Medellín parte alta	41,6
La Clara	11,3
La Brunera	3,5
La Miel	43,7

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.10 Miembro Volcánico de Quebradagrande (KvQG)

Esta unidad se localiza en la margen izquierda del municipio, aflorando en las cuencas La Valeria, Mandalay, Amagá, La Lejía, La Salada, La Mina, Sinifaná, La Rapida, La Raya, La Aguacatala, El Cano, La Chuscala y en los afluentes del río Aburrá. 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.

Tabla 5-10. Distribución del Miembro Volcánico de Quebradagrande en las diferentes cuencas.

Miembro Volcánico de Quebradagrande	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	3,2
Río Medellín parte alta	0,6
La Mina	10,7
Mandalay	3,4
La Salada	19,9
La Rapida	0,8
La Lejía	5,2
La Chuscala	1,7
La Aguacatala	0,7
La Valeria	18,8
Amagá	18,5
La Raya	0,5
El Cano	1,3
Sinifaná	14,6

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.11 Miembro volcano-sedimentario (KvsQG)

Esta unidad aflora sobre la vertiente oriental del municipio, aflorando en las cuencas La Valeria, El Cano, La Aguacatala y La Chuscala; son cuerpos pequeños con orientación norte-sur, cuya amplitud máxima no supera

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

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 5.1-6).



Figura 5.1-6. Afloramiento de Lutitas en la quebrada La Valeria.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

Tabla 5-11. Distribución del Miembro volcano-sedimentario de Quebradagrande en las diferentes cuencas.

Miembro volcano-sedimentario de Quebradagrande	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Chuscala	6,1
La Aguacatala	0,3
La Valeria	93,5
El Cano	0,2

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.12 Stock de Amagá (TRgA)

Este cuerpo aflora en el extremo occidental del municipio, en la cuenca del río Amagá y la quebrada Sinifana. 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 arenosos tipo Gruss, con muy poco contenido de finos (Figura 5.1-7).

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co



Figura 5.1-7. Perfil de meteorización del Stock de Amagá, vereda Salinas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

Tabla 5-12. Distribución del Stock de Amagá en las diferentes cuencas.

Stock de Amagá	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Amagá	65
Sinifaná	35

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.1.13 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.

Tabla 5-13. Distribución del río Aburrá en las diferentes cuencas.

Río Aburrá	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	49
Río Medellín parte alta	51

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.2 GEOMORFOLOGÍA

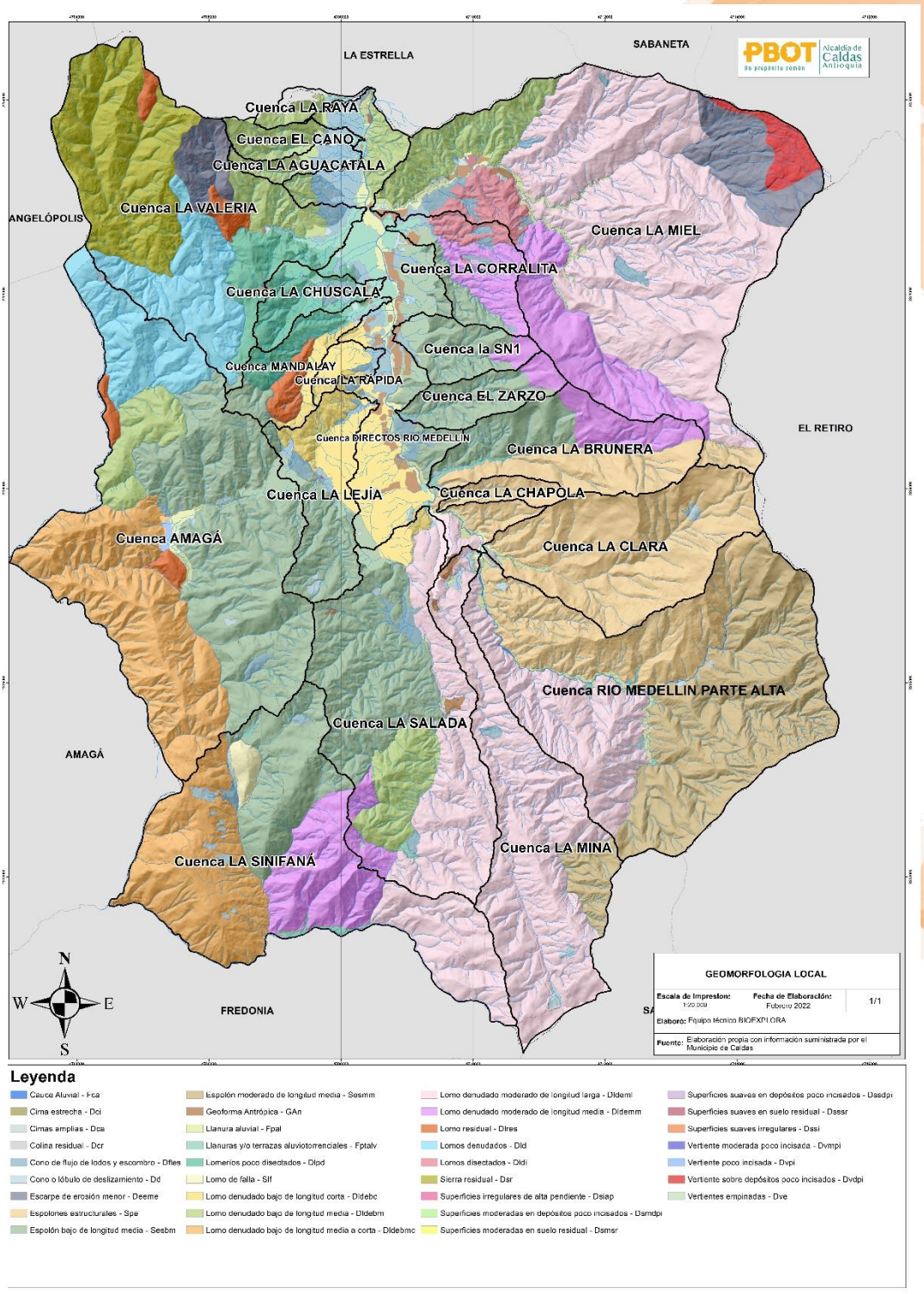


Figura 5.2-1. Unidades geomorfológicas con las cuencas definidas para el municipio de Caldas.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.2.1 Cauce aluvial (Fca)

Superficie de agua, uniforme, con pendientes suaves, la cual se encuentra asociado a los afluentes del río Aburrá. 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 5-14. Distribución de la unidad geomorfológica cauce aluvial en las diferentes cuencas.

Cauce aluvial	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	49,0
Río Medellín parte alta	51,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.2 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 5-15. Distribución de la unidad geomorfológica colina residual en las diferentes cuencas.

Colina residual	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	5,0
Río Medellín parte alta	42,0
La Clara	53,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.3 Cono de flujo de lodos y escombros (Dfles)

Estructuras en forma de cono o lóbulo, localmente aterrazados de longitudes cortas a muy largas, 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 se caracterizan por una rugosidad uniforme, con pendientes suaves a moderadas, con inclinaciones en promedio de 15°. Se encuentran a lo largo del municipio 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 5-16. Distribución de la unidad geomorfológica cono de flujo de lodos y escombros en las diferentes cuencas.

Cono de flujo de lodos y escombros	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	37,1
SN1	1,2
Río Medellín parte alta	0,1
El Zarzo	0,4
La Mina	1,4

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Cono de flujo de lodos y escombros	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Miel	12,4
La Corralita	4,6
Mandalay	0,6
La Salada	6,6
La Rapida	2,4
La Lejía	6,6
La Chuscala	4,6
La Aguacatala	6,9
La Valeria	5,1
La Amagá	3,4
La Raya	0,8
El Cano	3,1
Sinifaná	2,7

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.4 Cono o lóbulo de deslizamiento (Dd)

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 a lo largo de la zona urbana y su origen es relacionado a la acumulación de suelo y bloques, producto del desprendimiento del material en la parte alta como resultado de la saturación del suelo.

.

Tabla 5-17. Distribución de la unidad geomorfológica cono o lóbulo de deslizamiento en las diferentes cuencas.

Cono o lóbulo de deslizamiento	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	11
SN1	0,8
Río Medellín parte alta	6,9
La Clara	6,3
La Brunera	1,7
La Mina	19,8
La Miel	5,0
La Corralita	1,0
Mandalay	1,8
La Salada	6
La Rapida	0,4
La Lejía	5,7
La Valeria	1,9
La Amagá	7,7
Sinifaná	24,2

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.5 Cimas amplias (Dca)

Superficies elevadas de perfil transversal amplio, de morfología plana, y curvatura convexa, con pendientes que varían entre 5-15°, levemente disectada con un patrón subdendrítico, con tipo de relieve bajo y limitada por laderas moderadamente empinadas a suaves.

Tabla 5-18. Distribución de la unidad geomorfológica cimas amplias en las diferentes cuencas.

Cimas amplias	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Miel	100

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.6 Cimas estrechas (Dce)

Superficies elevadas, estrechas, de morfología plana, con pendientes que varían entre 5-15°, de unos 25 m de ancho en promedio, levemente disectadas por drenajes con un patrón subdendrítico, con tipo de relieve muy alto y limitada por laderas moderadamente empinadas.

Tabla 5-19. Distribución de la unidad geomorfológica cimas estrechas en las diferentes cuencas.

Cimas estrechas	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Corralita	100

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.7 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 5-20. Distribución de la unidad geomorfológica escarpe de erosión menor en las diferentes cuencas.

Escarpe de erosión menor	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Miel	66,3
La Aguacatala	0,3
La Valeria	33,2
El Cano	0,2

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.8 Espolón bajo de longitud media (Sesbm)

Elemento localizado en la parte oriental del municipio, caracterizado por presentar morfología alomada, con longitud del eje principal variable, laderas de longitudes cortas, pendientes que van desde suaves a empinadas dependiendo del grado de incisión, y se encuentran limitados por drenajes subparalelos. Se encuentran dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general N-S de la región, y están desarrollados sobre rocas ígneas volcánicas y metamórficas que han sufrido procesos fuertes de meteorización.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 5-21. Distribución de la unidad geomorfológica Espolón bajo de longitud media en las diferentes cuencas.

Espolón bajo de longitud media	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	5,7
SN1	5,5
El Zarzo	5,4
La Brunera	5,7
La Corralita	2,4
Mandalay	1,4
La Salada	19,3
La Lejía	7,1
La Valeria	0,2
La Amagá	35,4
Sinifaná	12,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.9 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 5-22. Distribución de la unidad geomorfológica Espolón moderado de longitud media en las diferentes cuencas.

Espolón moderado de longitud media	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Río Medellín parte alta	91
La Mina	9

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.10 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 5-23. Distribución de la unidad geomorfológica Espolones estructurales en las diferentes cuencas.

Espolones estructurales	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	4,0
Río Medellín parte alta	30,0

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Espolones estructurales	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Clara	45,0
La Chapola	4,0
La Brunera	15,0
La Miel	2,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.11 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 5-24. Distribución de la unidad geomorfológica Geoforma Antrópica en las diferentes cuencas.

Geoforma Antrópica	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	62,43
SN1	2,12
La Mina	6,82
La Miel	15,13
La Corralita	3,10
Mandalay	1,02
La Salada	7,58
La Lejía	0,58
La Chuscala	0,69
La Valeria	0,48
La Maní	0,03

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.12 Llanura aluvial (Fpal)

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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co



Figura 5.2-2. Llanura aluvial en la quebrada La Miel y el río Aburrá.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

Tabla 5-25. Distribución de la unidad geomorfológica Llanura aluvial en las diferentes cuencas.

Llanura Aluvial	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	36,8
SN1	0,6
Río Medellín parte alta	19
La Clara	4,3
El Zarzo	0,1
La Brunera	0,2
La Mina	2
La Miel	24,2
Mandalay	0,1
La Salada	1,0
La Lejía	0,1
La Valeria	0,2
La Amagá	11,4

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.13 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 5-26. Distribución de la unidad geomorfológica Llanuras y/o terraza aluviotorrenciales en las diferentes cuencas.

Llanuras y/o terrazas aluviotorrenciales	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	42,0

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Llanuras y/o terrazas aluviotorrenciales	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Río Medellín parte alta	2,8
El Zarzo	2,3
La Brunera	6,4
La Corralita	3,6
Mandalay	6,6
La Salada	2,5
La Chuscala	7,8
La Aguacatala	0,7
La Valeria	14,7
La Raya	0,1
El Cano	1,8
Sinifaná	8,5

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.14 Lomeríos poco disectados (Dldi)

Prominencias topográficas de morfología alomada, con topes 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.

Tabla 5-27. Distribución de la unidad geomorfológica Lomeríos poco disectados en las diferentes cuencas.

Lomeríos poco disectados	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	3,0
Mandalay	24,0
La Chuscala	32,0
La Valeria	41,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.15 Lomo de falla (Slf)

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.

Tabla 5-28. Distribución de la unidad geomorfológica Lomo de falla en las diferentes cuencas.

Lomo de falla	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Sinifaná	100

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.2.16 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.

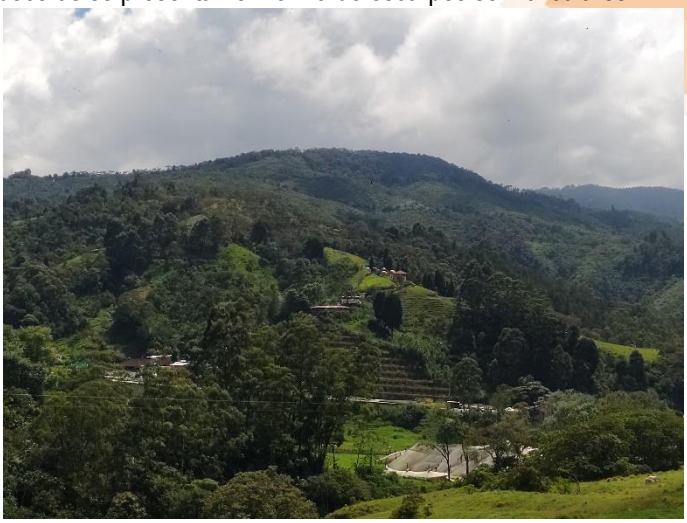


Figura 5.2-3. Lomos denudados bajos de longitud corta. Localizados por la carretera que va de Caldas hacia el Alto de Minas.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

Tabla 5-29. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados bajos de longitud corta en las diferentes cuencas.

Lomos denudados bajos de longitud corta	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Mandalay	9
La Salada	8
La Rápida	12
Directos Rio Medellin	40
La Lejía	31

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.17 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 5-30. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados bajos de longitud media en las diferentes cuencas.

Lomos denudados bajos de longitud media	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	10,0
La Miel	24,0

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Lomos denudados bajos de longitud media	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Salada	19,0
La Aguacatala	5,0
La Valeria	11,0
La Aguacatala	17,0
La Raya	4,0
El Cano	9,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.18 Lomo denudado moderado de longitud media (Dldemm)

Son filos 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 5-31. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados moderados de longitud media en las diferentes cuencas.

Lomo denudado moderado de longitud media	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
SN1	3,0
El Zarzo	3,0
La Brunera	13,0
La Miel	33,0
La Corralita	12,0
La Salada	6,0
Sinifaná	30,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.19 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 con 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 5-32. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados bajos de longitud media corta en las diferentes cuencas.

Lomos denudados bajos de longitud media a corta	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Amagá	59,0
Sinifaná	41,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.2.20 Lomos denudados moderados de longitud larga (Dldeml)

Son filos 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 5-33. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados moderados de longitud larga en las diferentes cuencas.

Lomos denudados moderados de longitud larga	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Afluentes Directos al Río Medellín	1,0
Río Medellín parte alta	12,0
La Miel	42,0
La Salada	13,0
La Mina	24,0
Sinifaná	7,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.21 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 5-34. Distribución de la unidad geomorfológica Lomo residual en las diferentes cuencas.

Lomo residual	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
Mandalay	34,0
La Valeria	37,0
La Amagá	29,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.22 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 5-35. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos denudados en las diferentes cuencas.

Lomos denudados	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Valeria	55,0
La Amaga	45,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

5.2.23 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 5-36. Distribución de la unidad geomorfológica Lomos disectados en las diferentes cuencas.

Lomos disectados	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Miel	67,0
La Corralita	33,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.24 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 5-37. Distribución de la unidad geomorfológica Sierra residual en las diferentes cuencas.

Sierra residual	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Valeria	100

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.25 Superficies irregulares de alta pendiente (Dsiap)

Superficie de morfología inclinada con vertientes empinadas, convexas, rugosas, con inclinaciones entre 30°-45°. Esta geoforma es producto de la incisión generada por la escorrentía superficial y por las quebradas adyacentes, lavando los suelos superficiales y generando zonas de alta pendiente.

Tabla 5-38. Distribución de la unidad Superficies irregulares de alta pendiente en las diferentes cuencas.

Superficies irregulares de alta pendiente	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Corralita	100

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.26 Superficies moderadas en depósitos poco incisados (Dsmdpi)

Superficie de morfología ondulada a quebrada, caracterizándose por presentar vertientes moderadas con inclinaciones entre 15°-30°, con superficies moderadamente rugosas y convexas; esta unidad se encuentra desarrollada sobre depósitos de flujo de lodo poco incisados, además presenta un uso destinado a la ganadería.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 5-39. Distribución de la unidad Superficies moderadas en depósitos poco incisados en las diferentes cuencas.

Superficies moderadas en depósitos poco incisados	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Chuscala	100

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.27 Superficies suaves en depósitos poco incisados (Dssdpi)

Superficie de morfología plana a ondulada, con vertientes suaves, uniformes, convexas, con inclinaciones entre 5°-15°. En esta geoforma se han realizado procesos antrópicos de explanación para la construcción de viviendas e industrias.

Tabla 5-40. Distribución de la unidad Superficies suaves en depósitos poco incisados en las diferentes cuencas.

Superficies suaves en depósitos poco incisados	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Corralita	67,0
La Chuscala	33,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.28 Superficies suaves en suelo residual (Dsssr)

Superficie de morfología plana a ondulada, de vertientes suaves con inclinaciones principalmente entre 5-15°, convexas y de rugosidad uniforme. Esta unidad se desarrolla sobre los suelos residuales de las anfibolitas del alto de minas y se localiza en la cuenca de la quebrada La Miel.

Tabla 5-41. Distribución de la unidad Superficies suaves en suelo residual en las diferentes cuencas.

Superficies suaves en suelo residual	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Miel	92,0
La Lejía	8,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.29 Superficies moderadas en suelo residual (Dsmsr)

Superficie de morfología ondulada a quebrada, de vertientes moderadas con inclinaciones principalmente entre 15-30°°, convexas y de rugosidad moderada. Esta unidad se desarrolla sobre los suelos residuales de las anfibolitas del alto de minas y se localiza en la cuenca de la quebrada La Miel.

Tabla 5-42. Distribución de la unidad Superficies moderadas en suelo residual en las diferentes cuencas.

Superficies moderadas en suelo residual	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Miel	100

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.30 Superficies suaves irregulares (Dssi)

Superficie de morfología suave a ondulada, de rugosidad uniforme a casi uniforme, convexas, con inclinaciones en promedio de 5°. Esta unidad se encuentra desarrollada en su mayoría sobre el miembro Volcano-

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

sedimentario de Quebradagrande, principalmente es afectada por aguas de escorrentía y es localizada en las cuencas La Valeria y La Chuscala.

Tabla 5-43. Distribución de la unidad Superficies suaves irregulares en las diferentes cuencas.

Superficies suaves irregulares	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Chuscala	26,0
La Valeria	74,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.31 Vertiente moderada poco incisada (Dvmpi)

Superficie de morfología alomada que se caracteriza por presentar pendientes y una rugosidad moderada, de forma convexa, con inclinaciones entre 15°-30°. 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 la quebrada La Corrala.

Tabla 5-44.Distribución de la unidad Vertiente moderada poco incisada en las diferentes cuencas.

Vertiente moderada poco incisada	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Corralita	85,0
La Chuscala	2,0
La Valeria	13,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.32 Vertiente poco incisada (Dvpi)

Corresponde a una superficie con pendientes empinadas a moderada, con inclinaciones en su mayoría entre 30-45°, con algunos sectores de 15°-30°, de longitud corta, de relieve convexo, con pequeñas ondulaciones asociadas a los depósitos presentes.

Tabla 5-45. Distribución de la unidad Vertiente poco incisada en las diferentes cuencas.

Vertiente poco incisada	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Lejía	12,0
La Amagá	88,0

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.33 Vertientes empinadas (Dve)

Superficies inclinadas, con pendientes moderadas a empinadas, convexas, rugosas a moderadamente rugosas, con inclinaciones en promedio mayores que 30°. El grado de evolución de estas geoformas está asociado a la fuerte incisión por parte de las quebradas adyacentes, lavando los suelos residuales.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 5-46. Distribución de la unidad Vertientes empinadas en las diferentes cuencas.

Vertientes empinadas	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Miel	100

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.2.34 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 cuenca La Miel.

Tabla 5-47. Distribución de la unidad Vertiente sobre depósitos poco incisados en las diferentes cuencas.

Vertiente sobre depósitos poco incisados	
Cuencas	**Porcentaje (%)**
La Miel	100

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

5.3.1 QUEBRADA LA RAYA

La cuenca de la quebrada La Raya se localiza en la parte Norte del municipio de Caldas en la vereda La Raya. La cuenca tiene una superficie de 1,06 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1711 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2208 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 67%, siendo una zona moderadamente empinada que llega al valle. La cuenca tiene una forma alargada, su forma alargada indica un grado alto de evolución, siendo más susceptible a procesos de avenida torrencial que a inundaciones. El cauce principal consiste en un canal natural recto que va desde su nacimiento hasta la desembocadura con el río Aburrá, con una longitud aproximada de 1,5 km y con una pendiente media de 26% considerada como moderada lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

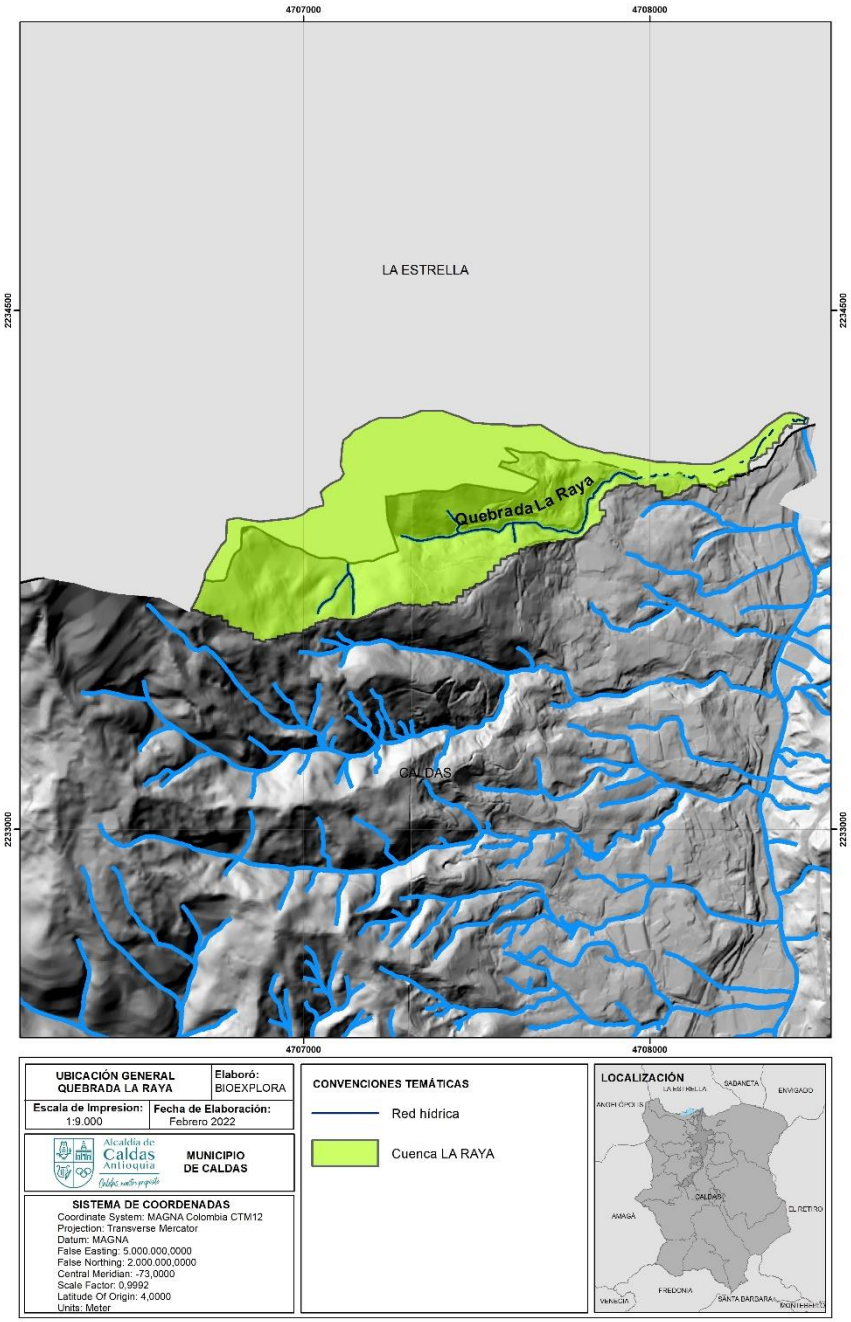


Figura 5.3-1. Mapa de ubicación de la cuenca La Raya.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Raya, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad, y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

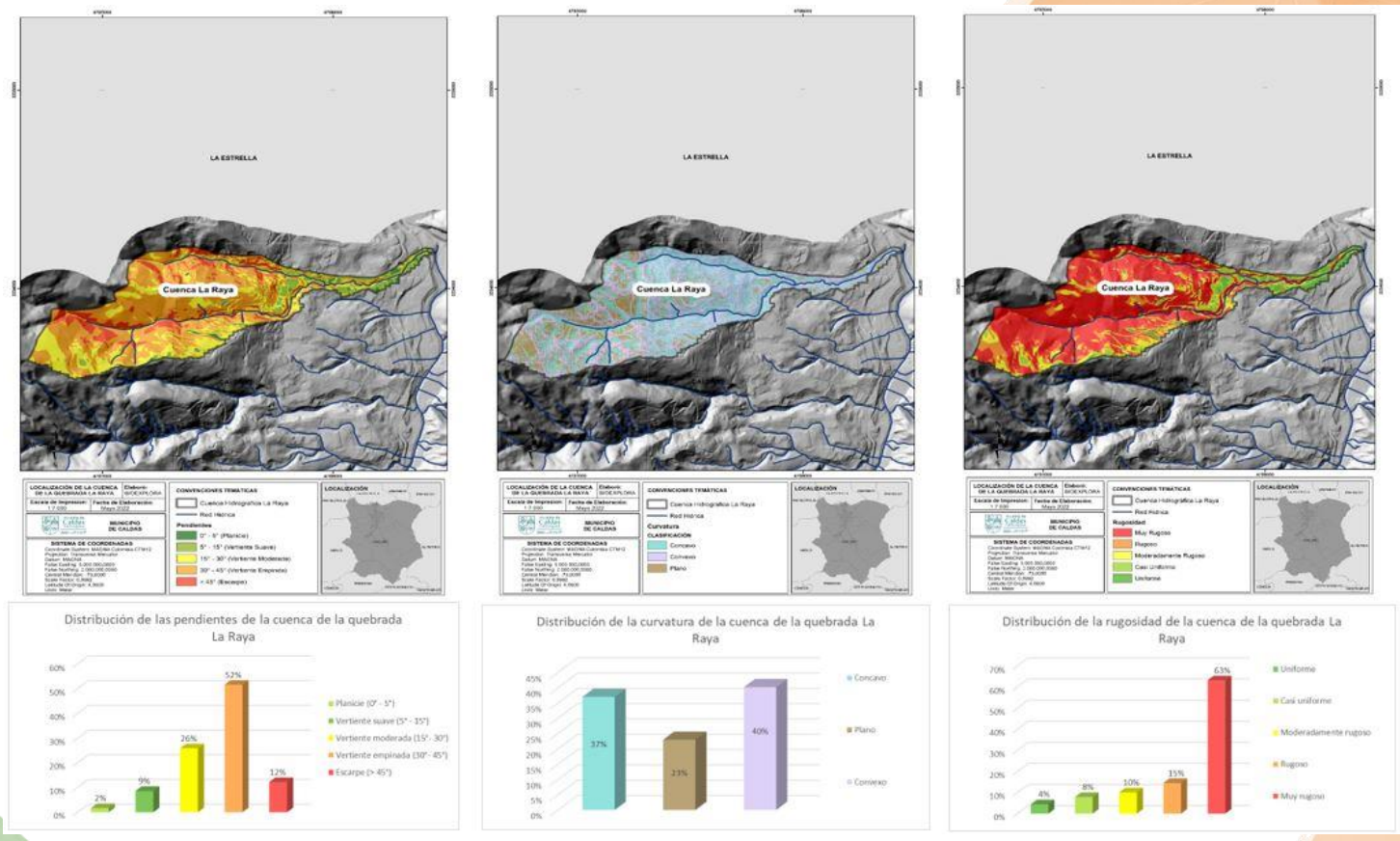


Figura 5.3-2. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Raya.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca La Raya, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La Raya, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada en su nacimiento y moderadamente incisada hacia su desembocadura, tiene una forma alargada, indicando que es propensa a presentar eventos de avenida torrencial. La quebrada principal (La Raya) presenta una longitud de 1,5 km aproximadamente y una distribución simétrica de sus vertientes, lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la vertiente derecha. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes empinadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 1,06 km 2, con una altura máxima de 2208 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1711 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son altamente susceptibles a procesos morfodinámicos, esto es por la forma irregular que caracteriza este terreno, estas áreas en donde se generan altos eventos de pluviosidad, el agua tiende a escurrir facilitando la erosión del suelo superficial. En esta cuenca se han identificado 7 procesos de remoción en masa, en donde 2 son de tipo rotacional latente, 1 rotacional activo, 3 activos traslacionales y 1 traslacional latente, ubicados en ambas márgenes de la quebrada La Raya.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Raya se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-48. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Raya.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	1,06
Perímetro (km)	6,78
Elevación máxima (msnm)	2208
Elevación mínima (msnm)	1711
Elevación promedio (msnm)	1934
Pendiente media (%)	68,03%

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.2 QUEBRADA LA AGUACATALA

La cuenca de la quebrada La Aguacatala se localiza en la parte Noroeste del municipio de Caldas en la vereda La Aguacatala. La cuenca tiene una superficie de 0,63km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1726 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2240 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 50,28%, siendo una zona de va desde la media montaña al valle. La cuenca tiene una forma alargada, su forma alargada indica un grado alto de evolución, siendo más susceptible a procesos de avenida torrencial que a inundaciones. El cauce principal consiste en un canal natural recto que va desde su nacimiento hasta la desembocadura con el río Aburrá, con una longitud aproximada de 2,21 km y con una pendiente media de 16,6% considerada como moderada lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

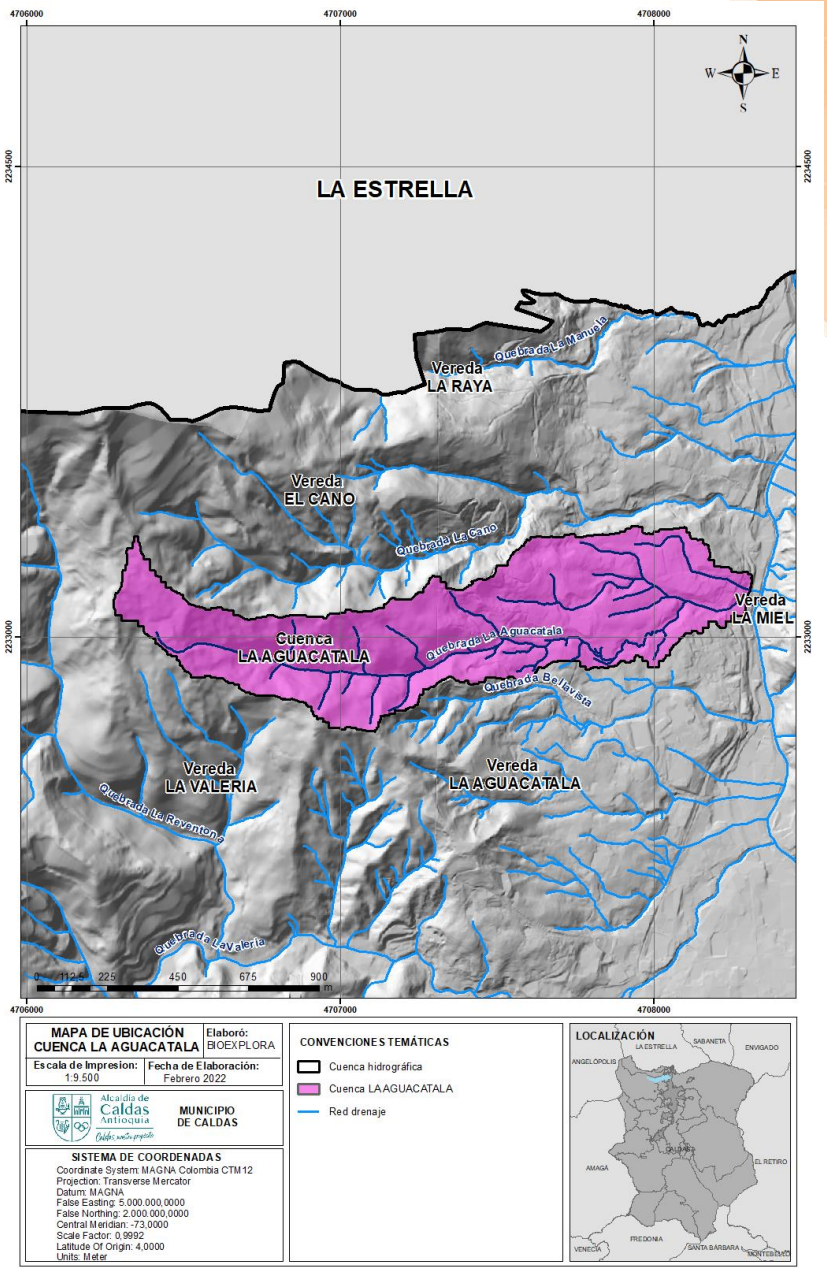


Figura 5.3-3. Mapa de ubicación de la cuenca de La Aguacatala.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Aguacatala, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad, y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

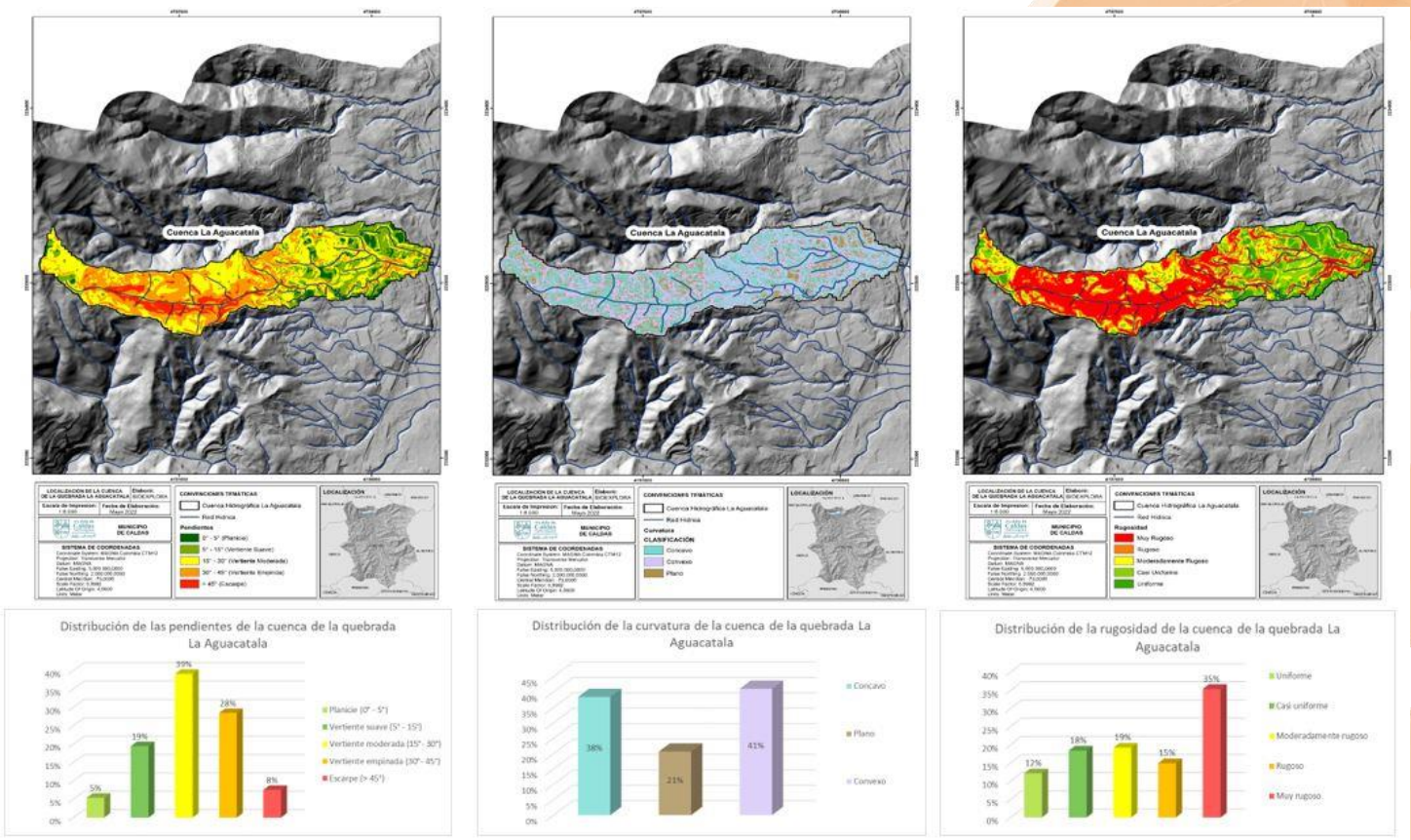


Figura 5.3-4. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Aguacatala.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca La Aguacatala, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La Aguacatala, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada en su nacimiento y levemente incisada hacia su desembocadura, asociada a un factor de forma de 0,08, indicando que esta cuenca al ser alargada, es más propensa a presentar eventos de avenidas torrenciales. La quebrada principal (La Aguacatala) presenta una longitud de 2,2 km aproximadamente y una distribución asimétrica (2,16), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la margen derecha. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes escarpadas a empinadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones >30°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 0,63km^2, con una altura máxima de 2240 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1726 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son altamente susceptibles a procesos morfodinámicos, esto es por la forma irregular que caracteriza este terreno, estas áreas en donde se generan altos eventos de pluviosidad, el agua tiende a escurrir facilitando la erosión del suelo superficial. En esta cuenca se han identificado 6 procesos de remoción en masa, en donde 1 es de tipo rotacional latente, 1 traslacional latente y 4 activos traslacionales, ubicados en la parte central de la cuenca.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Aguacatala se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-49. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Aguacatala.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	0,63
Perímetro (km)	6,00
Elevación máxima (msnm)	2240
Elevación mínima (msnm)	1726
Elevación promedio (msnm)	1911,8
Pendiente media (%)	50,28%
Factor de forma (Kf)	0,08
Coeficiente de asimetría	2,16
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	2,10

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.3 QUEBRADA LA CHUSCALA

La cuenca de la quebrada La Chuscala se localiza en la parte centro del municipio de Caldas en la vereda La Chuscala. La cuenca tiene una superficie de 1,25km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1742 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2037 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 43,86%, siendo una zona de media montaña que llega al valle. La cuenca tiene una forma alargada, su forma alargada indica un grado alto de evolución, siendo más susceptible a procesos de avenida torrencial que a inundaciones. El cauce principal consiste en un canal natural recto que va desde su nacimiento hasta la desembocadura con el río Aburrá, con una longitud aproximada de 2,21 km y con una pendiente media de 16,6% considerada como moderada lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

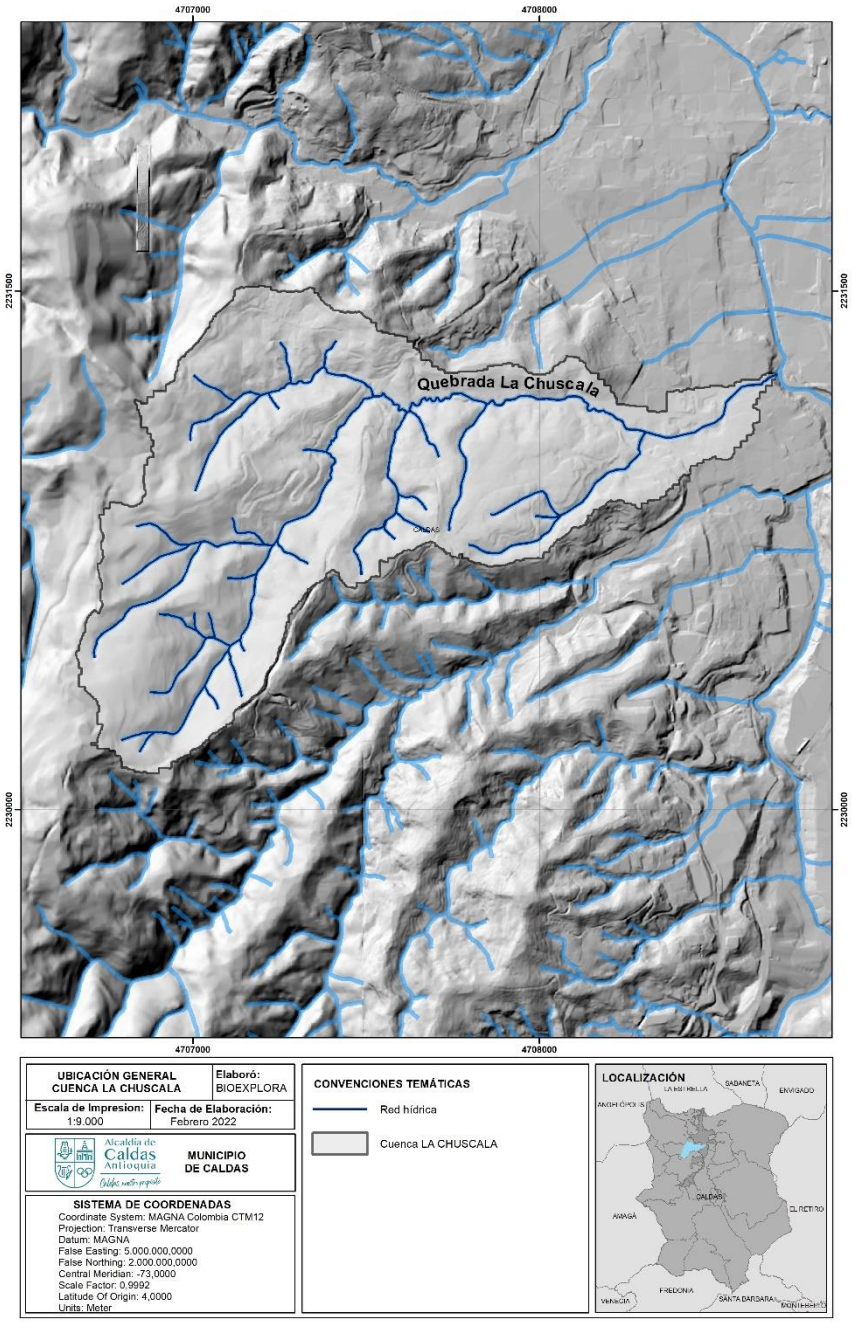


Figura 5.3-5. Mapa de ubicación de la cuenca de La Chuscala.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Chuscala, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad, y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

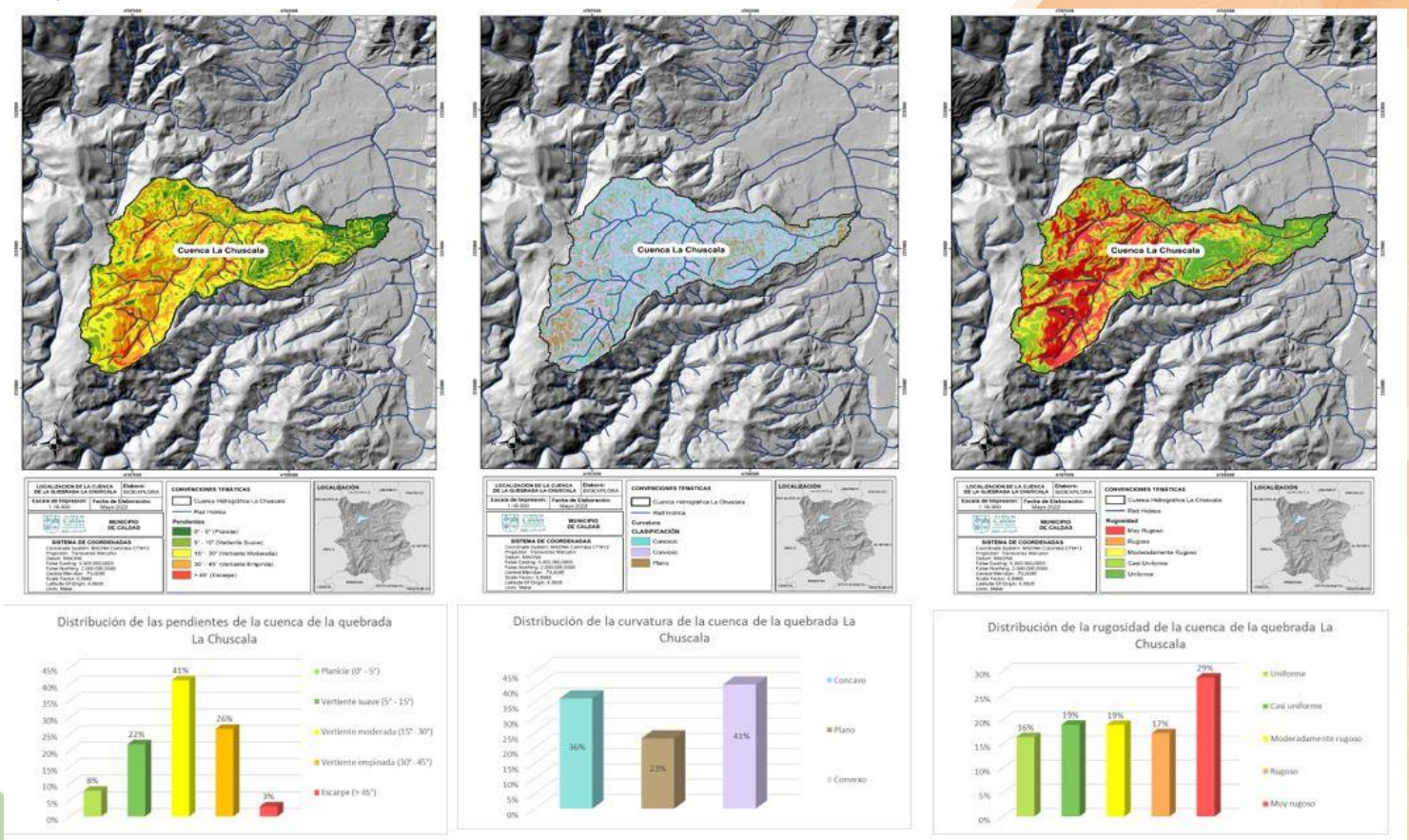


Figura 5.3-6. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Chuscala
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca La Chuscala, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La Chuscala, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada en su nacimiento y moderadamente incisada hacia su desembocadura, asociada a un factor de forma de 0,12, indicando que esta cuenca al ser alargada, es más propensa a presentar eventos de avenidas torrenciales. La quebrada principal (La Chuscala) presenta una longitud de 2,8 km aproximadamente y una distribución asimétrica (1,32), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la margen izquierda. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes empinadas a moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 1,25km^2, con una altura máxima de 2037 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1742 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son susceptibles a procesos de remoción en masa, esto es producto del lavado superficial de los suelos que la componen, generando una alta incisión y socovación por parte del cauce. En esta cuenca se han identificado 3 procesos de remoción en masa, en donde 2 son de tipo activos traslacionales y 1 es traslacional inactivo.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Chuscala se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-50. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Chuscala.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	1,25
Perímetro (km)	7,28
Elevación máxima (msnm)	2037
Elevación mínima (msnm)	1742
Elevación promedio (msnm)	1863
Pendiente media (%)	43,86%
Factor de forma (Kf)	0,12
Coeficiente de asimetría	1,32
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,81

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.4 QUEBRADA EL CANO

La cuenca de la quebrada El Cano se localiza en la parte centro del municipio de Caldas en la vereda La Chuscala. La cuenca tiene una superficie de 0,83km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1720 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2400 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 65,65%, siendo una zona de media montaña que llega al valle. La cuenca tiene una forma alargada, su forma alargada indica un grado alto de evolución, siendo más susceptible a procesos de avenida torrencial que a inundaciones. El cauce principal consiste en un canal natural recto con poca sinuosidad que va desde su nacimiento hasta la desembocadura con el río Aburrá, con una longitud aproximada de 2,39 km y con una pendiente media de 17,23% considerada como moderada lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

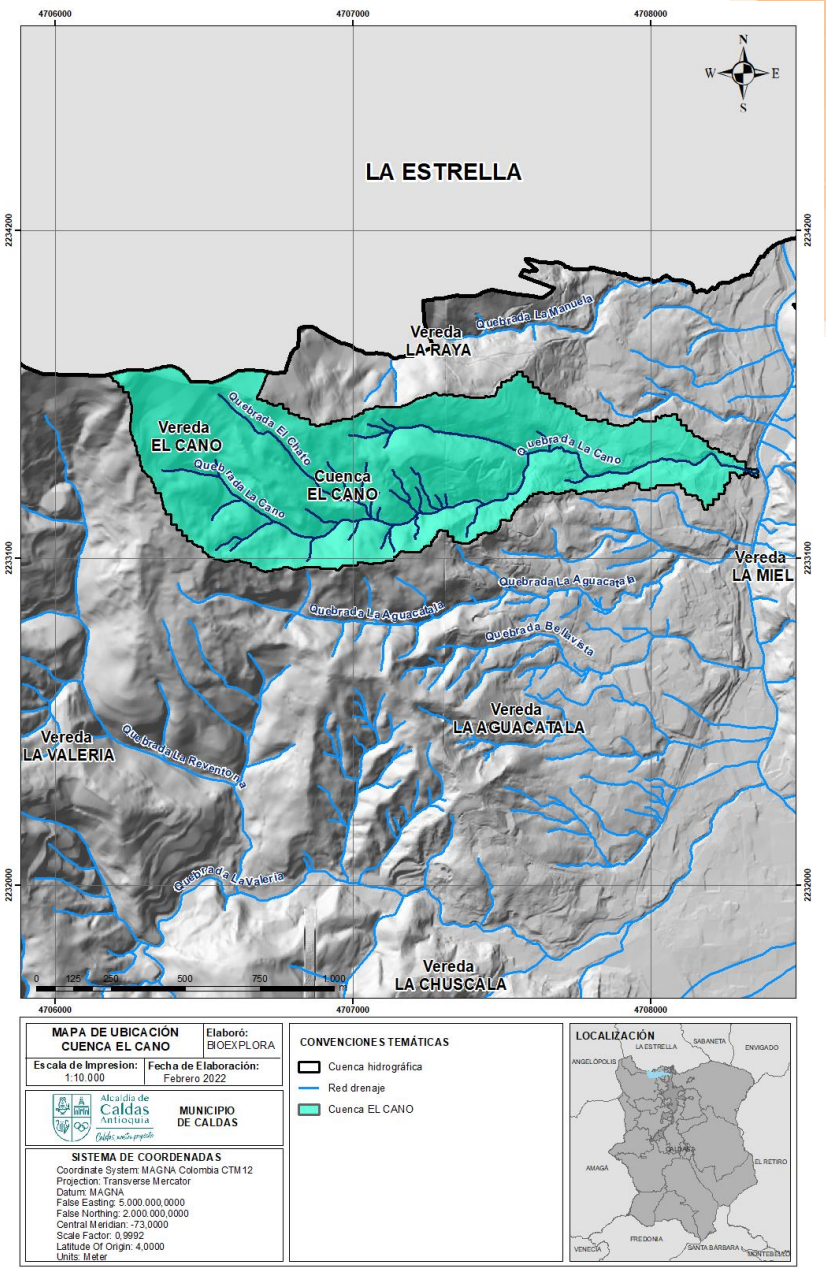


Figura 5.3-7. Mapa de ubicación de la cuenca de El Cano.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca El Cano, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad, y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

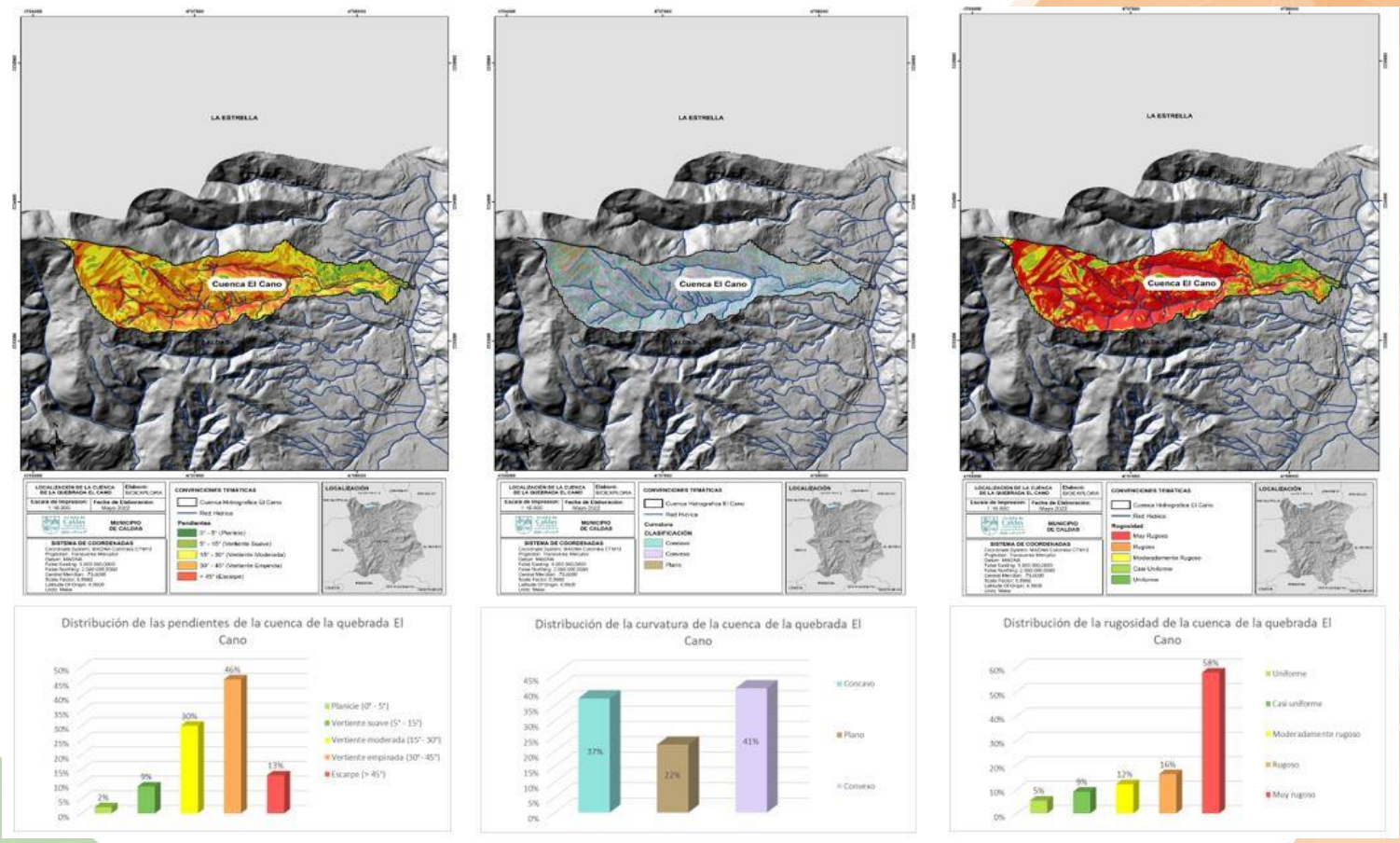


Figura 5.3-8. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada El Cano.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca El Cano, se tiene que:

La cuenca de la quebrada El Cano, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada en la parte alta y media y suavemente hacia su desembocadura, asociada a un factor de forma de 0,10, indicando que esta cuenca al ser alargada, es más propensa a presentar eventos de avenidas torrenciales. La quebrada principal (El Cano) presenta una longitud de 2,39 km aproximadamente y una distribución asimétrica (1,43), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la margen derecha. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes empinadas a moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 0,83km^2, con una altura máxima de 2400 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1720 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son susceptibles a procesos de remoción en masa, esto es producto del lavado superficial de los suelos que la componen, generando una alta incisión y socovación por parte del cauce. En esta cuenca se han identificado 7 procesos de remoción en masa, en donde 6 son de tipo traslacional y 1 es relicto.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca El Cano se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-51. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada El Cano.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	0,83
Perímetro (km)	6,23
Elevación máxima (msnm)	2400
Elevación mínima (msnm)	1720
Elevación promedio (msnm)	2298
Pendiente media (%)	63,33%
Factor de forma (Kf)	0,10
Coeficiente de asimetría	1,43
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,91

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.5 QUEBRADA EL ZARZO

La cuenca de la quebrada El Zarzo se localiza en la margen derecha del municipio de Caldas en la vereda La Primavera. La cuenca tiene una superficie de 1,51km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1721 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2434 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 58,38%, siendo una zona de media montaña que llega al valle. La cuenca tiene una forma alargada, su forma alargada indica un grado alto de evolución, siendo más susceptible a procesos de avenida torrencial que a inundaciones. El cauce principal consiste en un canal natural recto con poca sinuosidad que va desde su nacimiento hasta la desembocadura con el río Aburrá, con una longitud aproximada de 2,91 km y con una pendiente media del 15% considerada como moderada lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

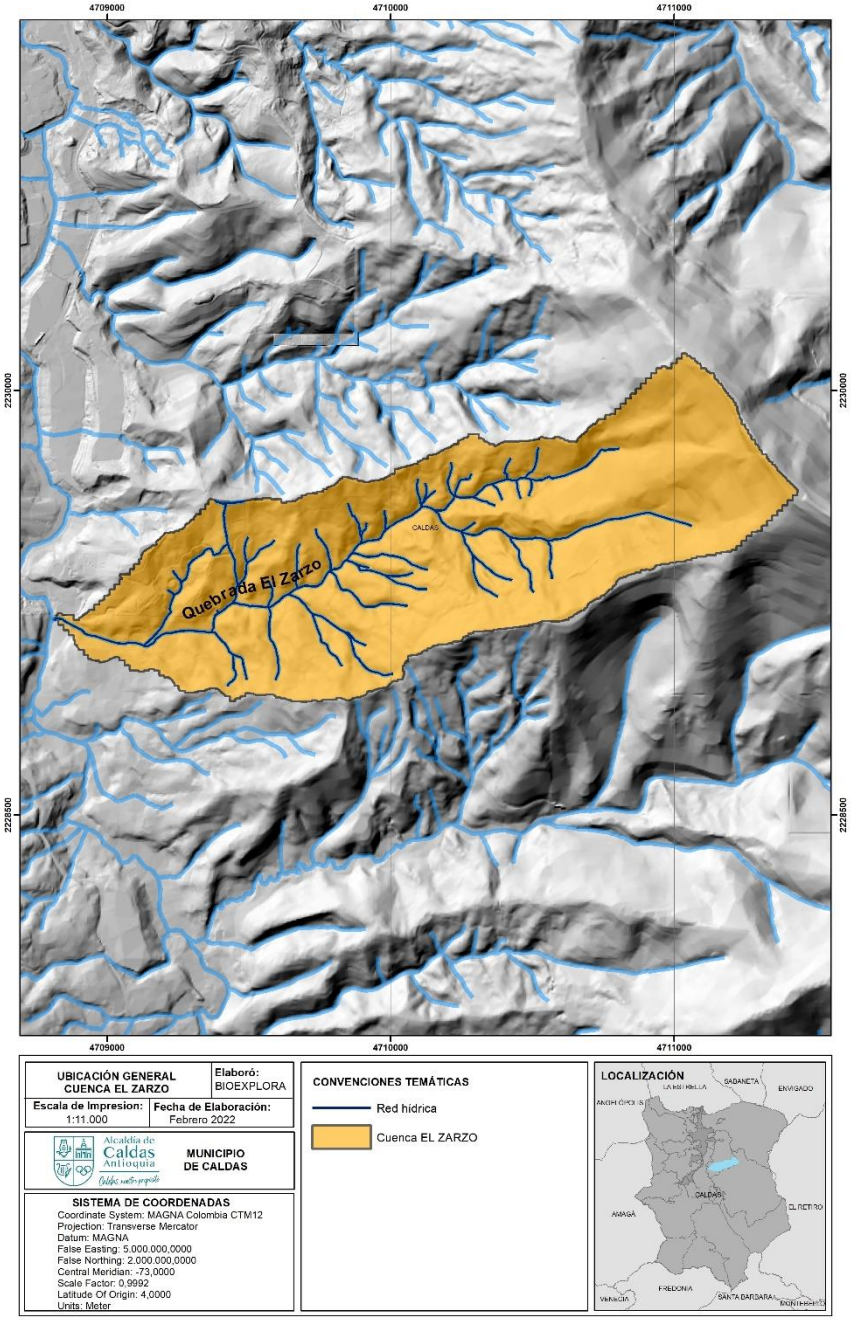


Figura 5.3-9. Mapa de ubicación de la cuenca de El Cano.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca El Zarzo, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad, y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

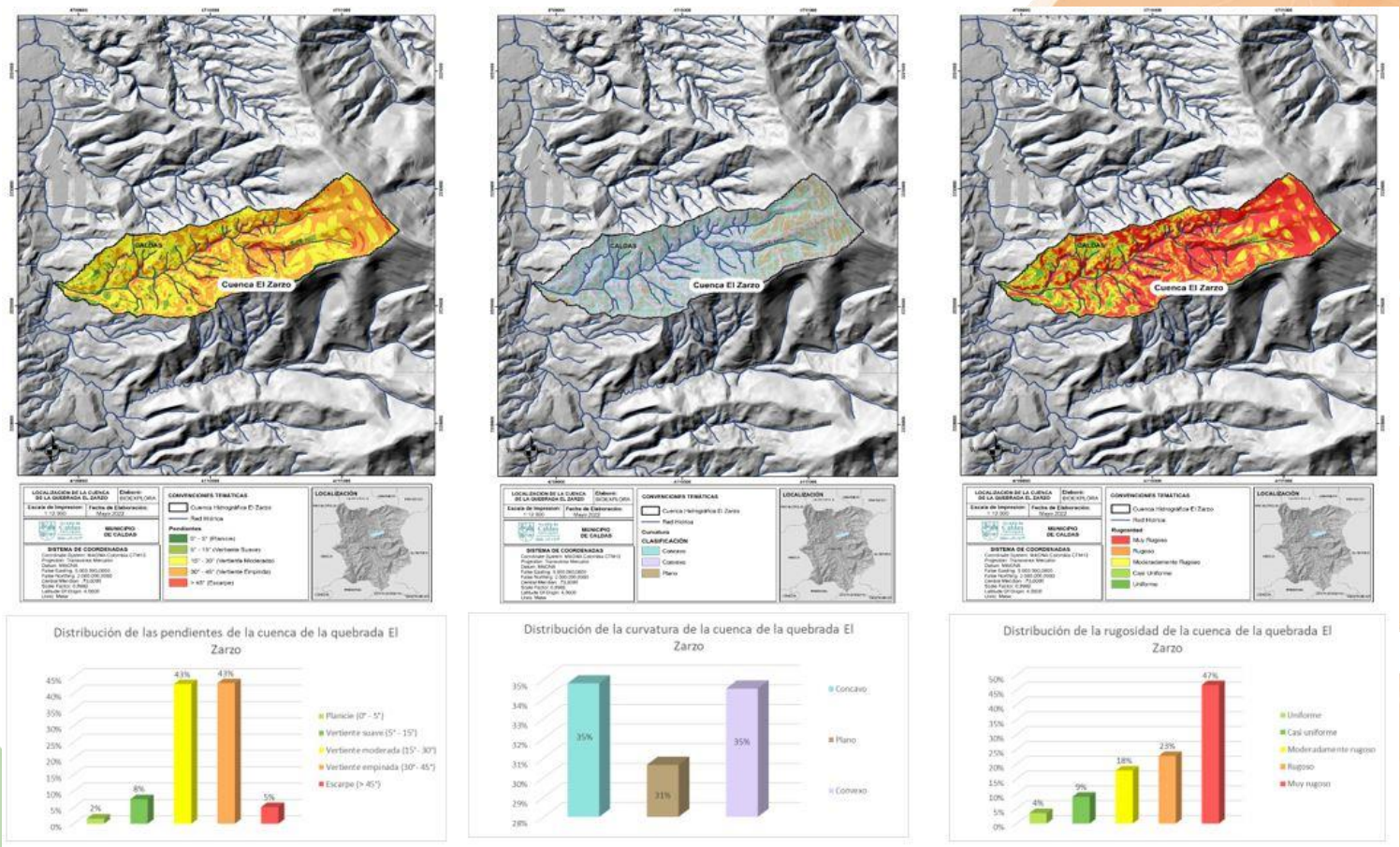


Figura 5.3-10. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada El Zarzo.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca El Zarzo, se tiene que:

La cuenca de la quebrada El Zarzo, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada en la parte alta y media y suavemente hacia su desembocadura, asociada a un factor de forma de 0,13, indicando que esta cuenca al ser alargada, es más propensa a presentar eventos de avenidas torrenciales. La quebrada principal (El Zarzo) presenta una longitud de 2,91 km aproximadamente y una distribución asimétrica hacia una de las vertientes, recostandose sobre la margen derecha de la quebrada. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes empinadas a moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 1,51km^2, con una altura máxima de 2434 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1721 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son susceptibles a procesos de remoción en masa, esto es producto de las fuertes lluvias y del lavado superficial de los suelos que la componen, generando una alta incisión y socavación por parte del cauce. En esta cuenca se han identificado solo 2 procesos de remoción en masa, los cuales son de tipo rotacional activo y traslacional inactivo.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca El Zarzo se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-52. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada El Zarzo.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	1,51
Perímetro (km)	7,44
Elevación máxima (msnm)	2434
Elevación mínima (msnm)	1721
Elevación promedio (msnm)	2010
Pendiente media (%)	57,5%
Factor de forma (Kf)	0,13
Coeficiente de asimetría	1,18
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,69

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.6 QUEBRADA LA CHAPOLA

La cuenca de la quebrada La Chapola se localiza en la parte margen derecha del municipio de Caldas en la vereda La Clara. La cuenca tiene una superficie de 0,61km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1807 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2255 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 53,8%, siendo una zona de media montaña que llega al valle. La cuenca tiene una forma alargada, su forma alargada indica un grado alto de evolución, siendo más susceptible a procesos de avenida torrencial que a inundaciones. El cauce principal consiste en un canal natural recto con poca sinuosidad que va desde su nacimiento hasta la desembocadura con el río Aburrá, con una longitud aproximada de 2,07 km y con una pendiente media del 13,5% considerada como suave lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

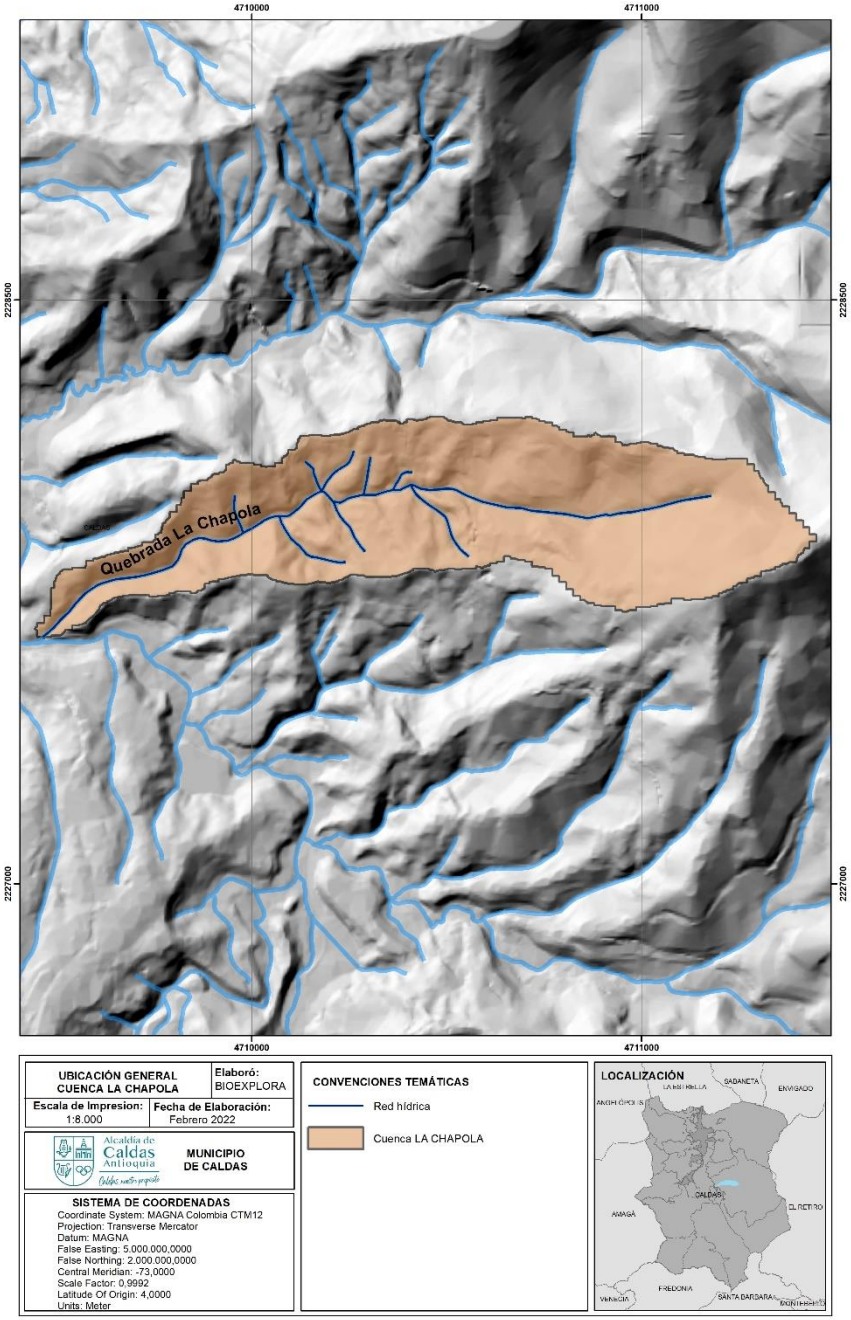


Figura 5.3-11. Mapa de ubicación de la cuenca La Chapola.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Chapola, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad, y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

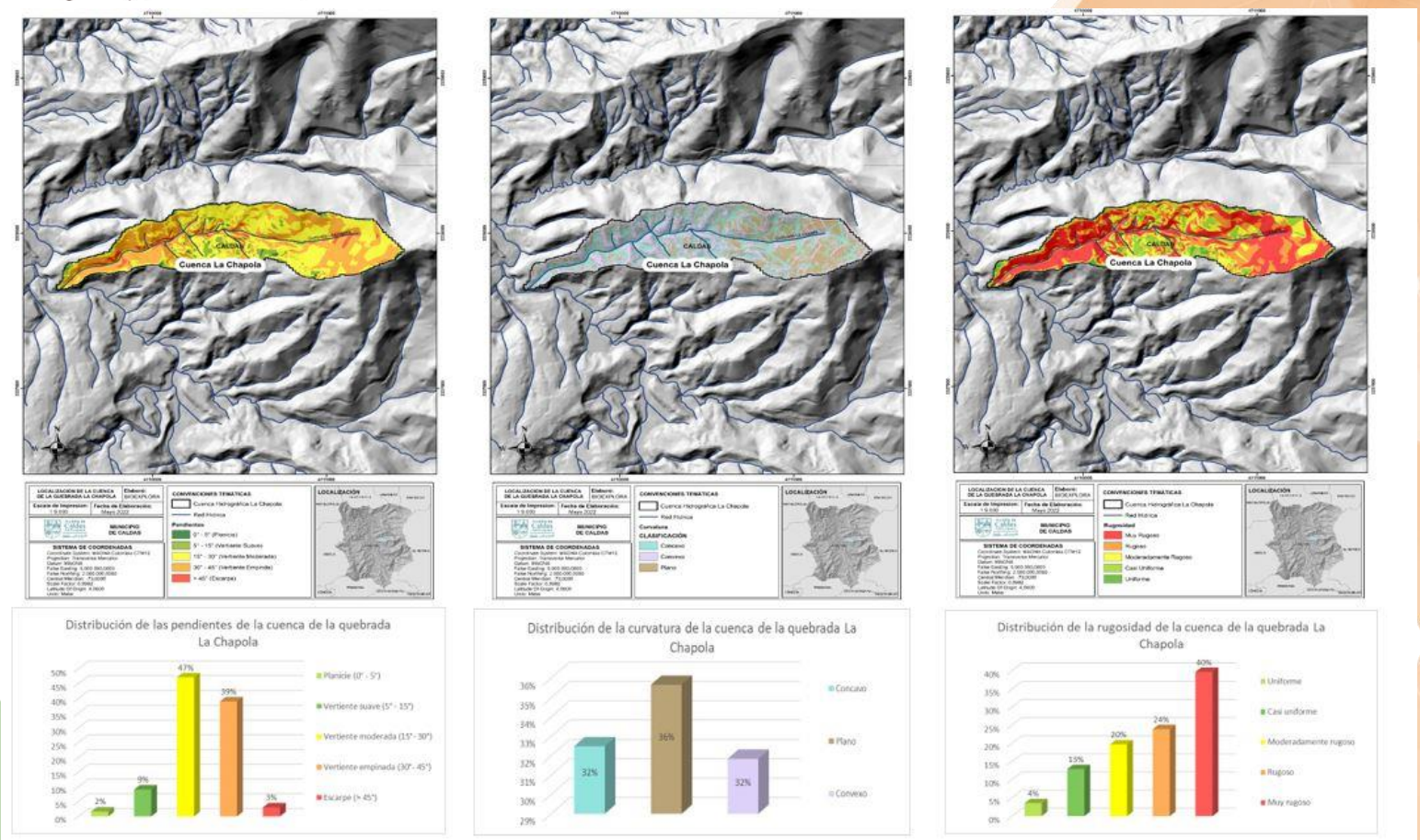


Figura 5.3-12. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Chapola.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca La Chapola, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La Chapola, se caracteriza por tener una morfología alargada moderamente incisada, asociada a un factor de forma de 0,1, indicando que esta cuenca al ser alargada, es más propensa a presentar eventos de avenidas torrenciales. La quebrada principal (La Chapola) presenta una longitud de 2,07 km aproximadamente y una distribución simétrica, presentando una descarga similar en cada una de sus vertientes. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes empinadas a moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 0,61km^2, con una altura máxima de 2255 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1807 msnm.

En esta cuenca no se han presentado procesos de remoción en masa en las últimas décadas, sin embargo, sus laderas son susceptibles a este tipo de eventos.

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Chapola se resumen en la siguiente tabla:

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 5-53. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Chapola.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	0.61
Perímetro (km)	5,26
Elevación máxima (msnm)	2255
Elevación mínima (msnm)	1807
Elevación promedio (msnm)	1982
Pendiente media (%)	53,7%
Factor de forma (Kf)	0,10
Coeficiente de asimetría	1,10
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,88

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.7 QUEBRADA SIN NOMBRE (SN1)

La cuenca de la quebrada Sin Nombre (SN1) se localiza en la parte margen derecha del municipio de Caldas en la vereda La Corrala. La cuenca tiene una superficie de 1,51km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1751 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2359 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 55,8%, siendo una zona de media montaña que llega al valle. La cuenca tiene una forma alargada, su forma alargada indica un grado alto de evolución, siendo más susceptible a procesos de avenida torrencial que a inundaciones. El cauce principal consiste en un canal natural recto con poca sinuosidad que va desde su nacimiento hasta la desembocadura con el río Aburrá, con una longitud aproximada de 2,55 km y con una pendiente media del 14%.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

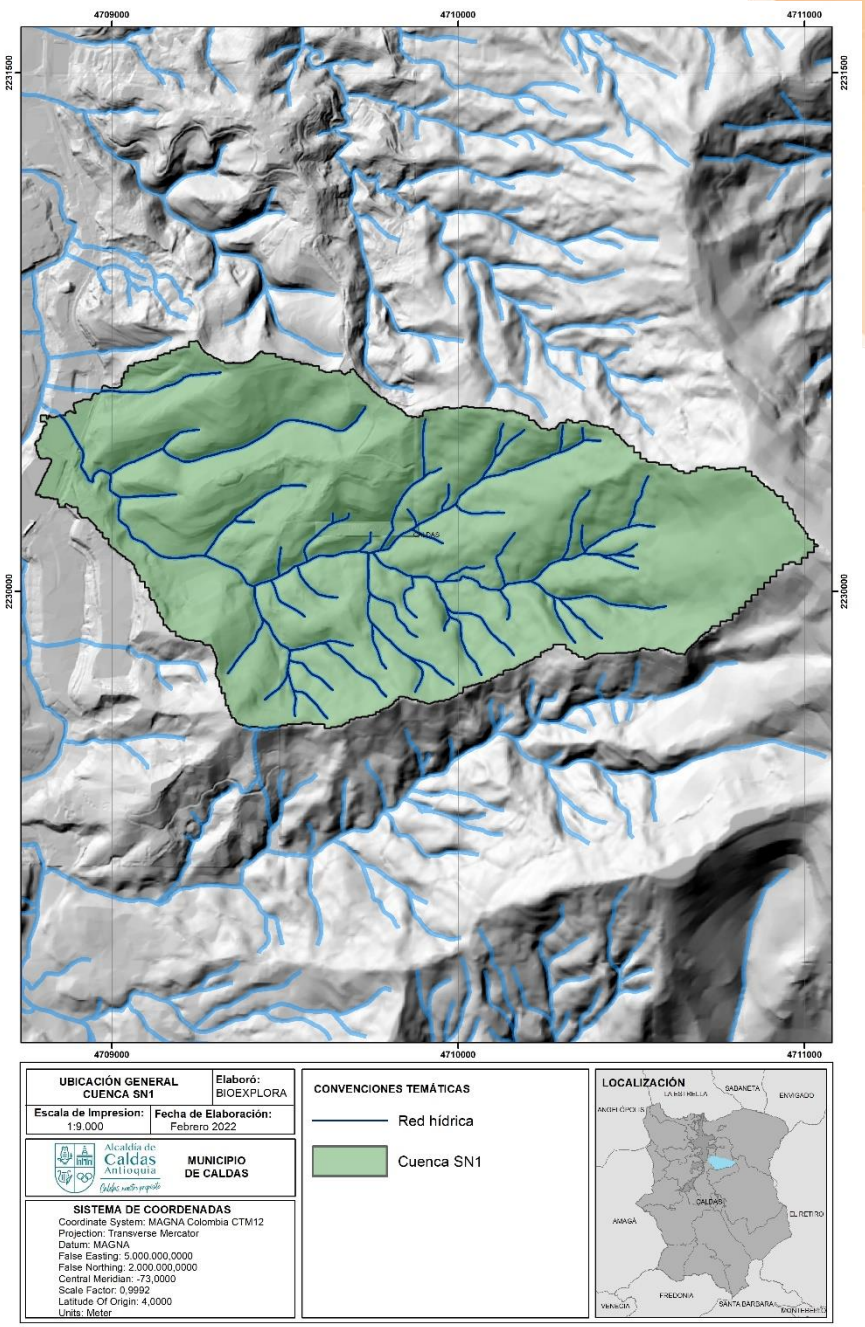


Figura 5.3-13 Mapa de ubicación de la cuenca SN1.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca Sin Nombre (SN1), fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad, y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

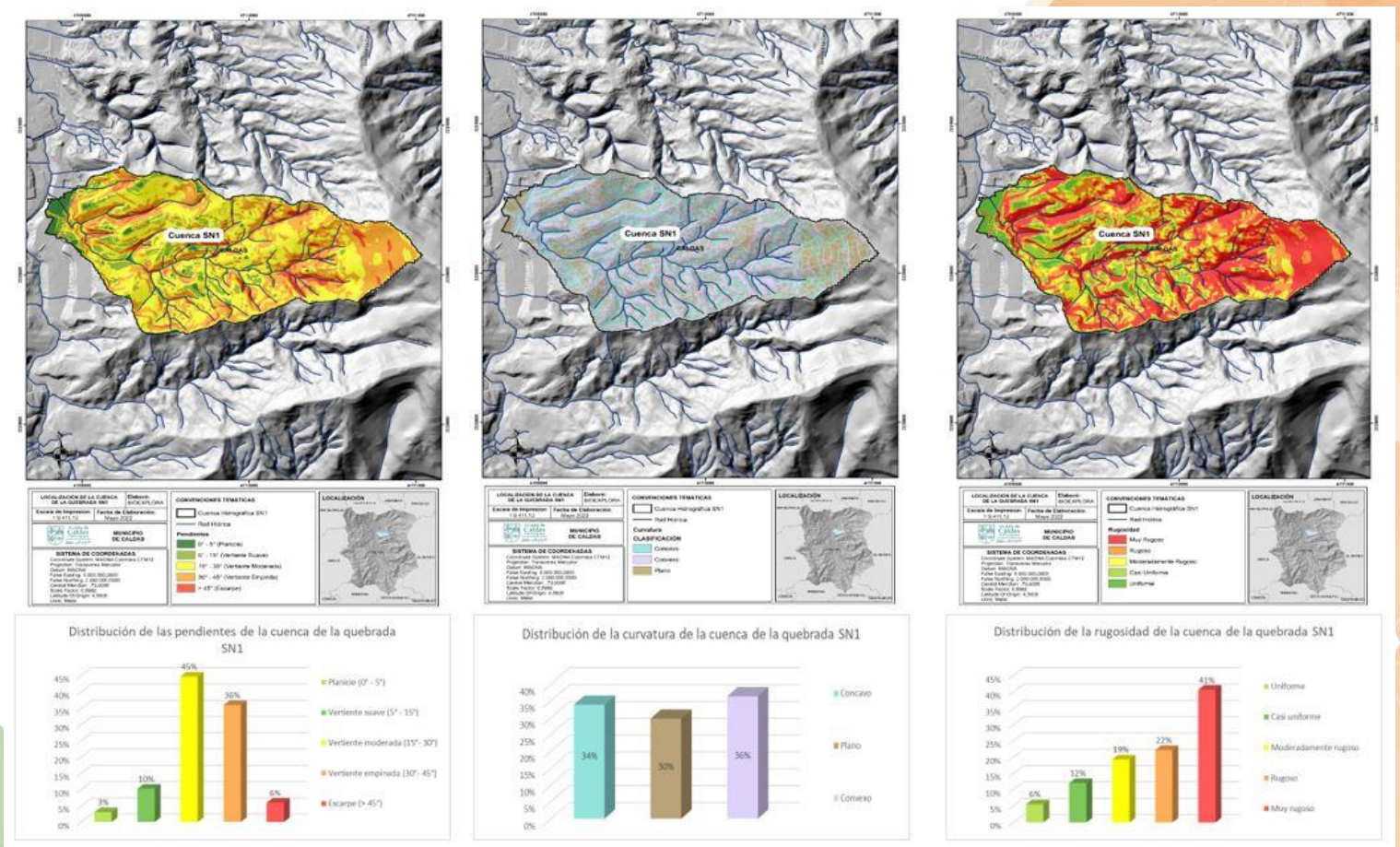


Figura 5.3-14. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada SN1.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca SN1, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La SN1, se caracteriza por tener una morfología alargada moderamente incisada, asociada a un factor de forma de 0,15, indicando que esta cuenca al ser alargada, es más propensa a presentar eventos de avenidas torrenciales. La quebrada principal (Sin Nombre) presenta una longitud de 2,55 km aproximadamente y una distribución asimétrica, recostándose sobre la margen izquierda. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes empinadas a moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 1,51km^2, con una altura máxima de 2359 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1751 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son susceptibles a procesos de remoción en masa, esto es producto de las fuertes lluvias y del lavado superficial de los suelos que la componen, generando una alta incisión y socovación por parte del cauce. En esta cuenca se identificó 1 proceso de remoción en masa antiguo, en el cual se observa la cicatriz del evento en la parte alta de la corona.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca SN1 se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-54. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada SN1.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	1,51
Perímetro (km)	6,75
Elevación máxima (msnm)	2359
Elevación mínima (msnm)	1751
Elevación promedio (msnm)	1918
Pendiente media (%)	55,8%
Factor de forma (Kf)	0,15
Coeficiente de asimetría	1,23
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,53

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.8 QUEBRADA LA RAPIDA

La cuenca de la quebrada La Rápida se localiza en la parte margen izquierda del municipio de Caldas en las veredas La Chuscala y Primavera. La cuenca tiene una superficie de 0,53km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1756 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 1958 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 55,8%, siendo una zona de media montaña que llega al valle. La cuenca tiene una forma alargada, su forma alargada indica un grado alto de evolución, siendo más susceptible a procesos de avenida torrencial que a inundaciones. El cauce principal consiste en un canal natural recto con poca sinuosidad que va desde su nacimiento hasta la desembocadura con el río Aburrá, con una longitud aproximada de 1,54 km y con una pendiente media del 8,51%.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

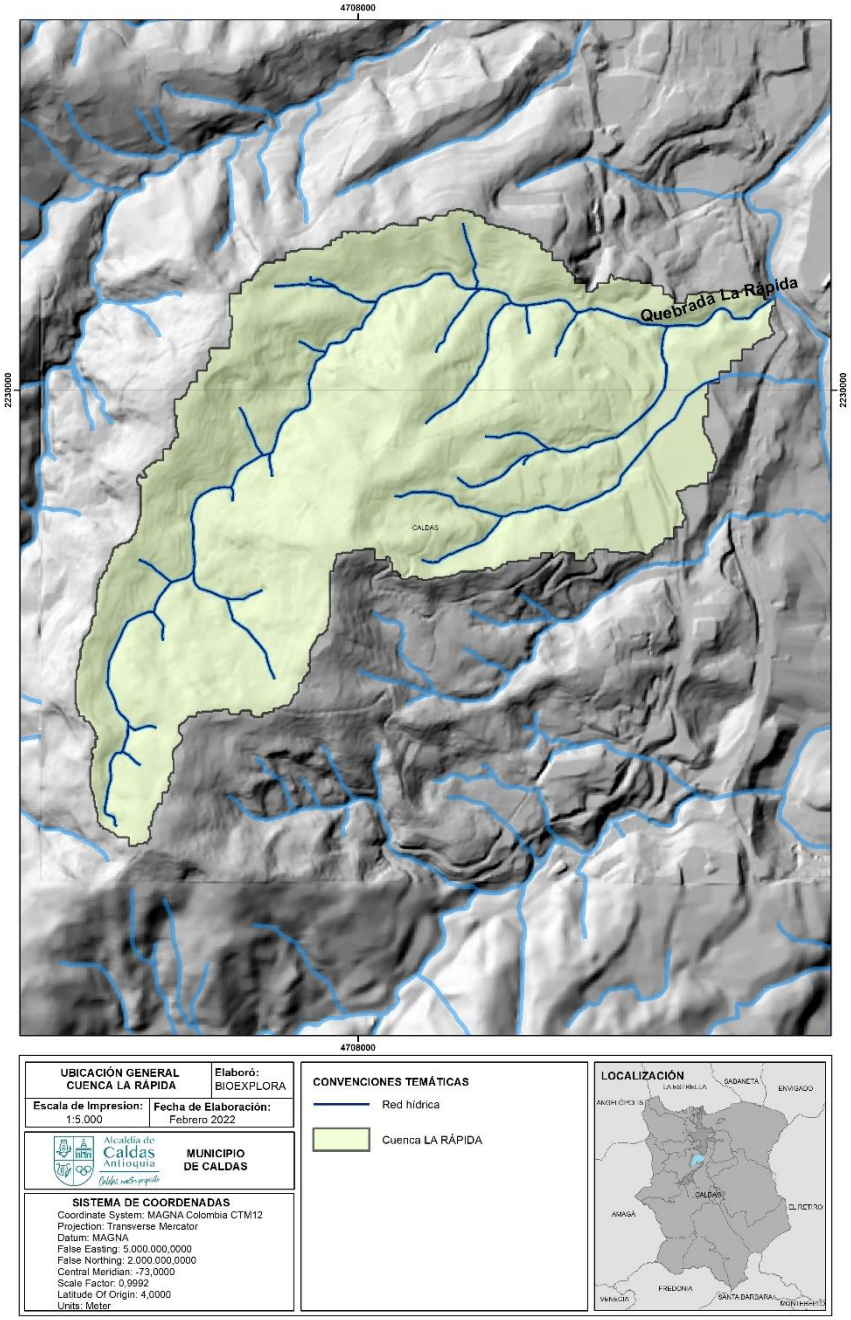


Figura 5.3-15. Mapa de ubicación de la cuenca La Rápida.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Rápida, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad, y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

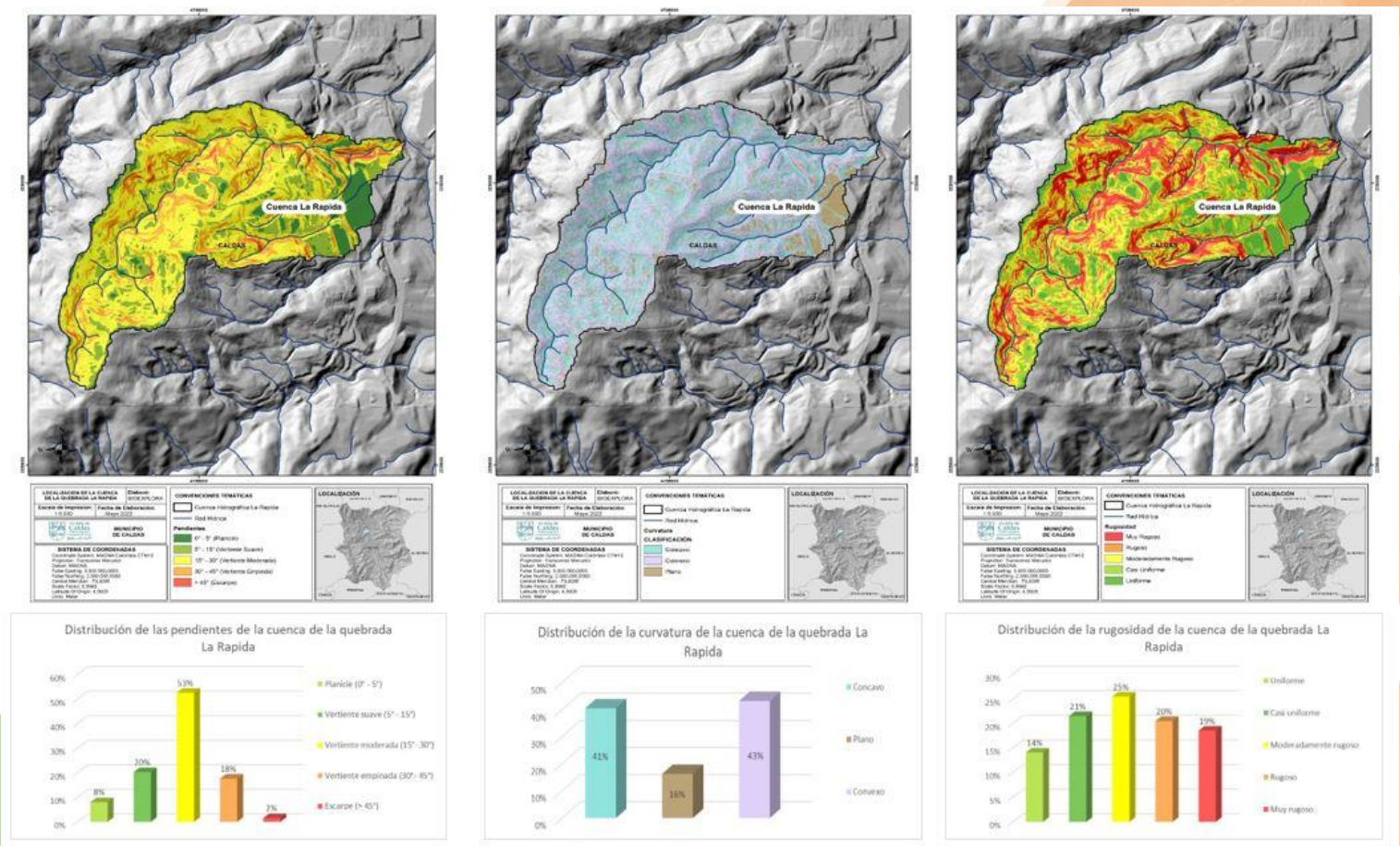


Figura 5.3-16. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Rapida.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca La Rápida, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La Rápida, se caracteriza por tener una morfología alargada moderamente incisada, asociada a un factor de forma de 0,13, indicando que esta cuenca al ser alargada, es más propensa a presentar eventos de avenidas torrenciales. La quebrada principal (La Rápida) presenta una longitud de 1,54 km aproximadamente y una distribución asimétrica, recostándose sobre la margen izquierda. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 15-30°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 0,53km^2, con una altura máxima de 1958 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1751 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son susceptibles a procesos de remoción en masa, esto es producto de las fuertes lluvias y del lavado superficial de los suelos que la componen, generando una alta incisión y socavación por parte del cauce. En esta cuenca se identificaron movimientos en masa de gran extensión, siendo clasificados como movimientos rotacionales inactivos y traslacionales activos.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Rápida se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-55. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Rápida.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	0,53
Perímetro (km)	4,38
Elevación máxima (msnm)	1958
Elevación mínima (msnm)	1751
Elevación promedio (msnm)	1863
Pendiente media (%)	39,82%
Factor de forma (Kf)	0,13
Coeficiente de asimetría	2,42
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,67

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.9 QUEBRADA LA VALERIA

La cuenca de la quebrada La Valeria se localiza al Noroeste del municipio de Caldas en las veredas Valeria, Raizal, Chuscala, Potrerillo, La Aguacatala y El Cano principalmente. La cuenca tiene una superficie de 11,53 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1729,21 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2624,1 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 27,2% por lo que su morfología se considera de alta montaña característica de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural desde su nacimiento hasta el casco urbano del municipio de Caldas donde presenta diferentes tipos de coberturas en concreto hasta su descarga en el río. El cauce principal de la quebrada La Valeria tiene una longitud aproximada de 9,1 km con una pendiente media de 9,25 % considerada como moderada lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

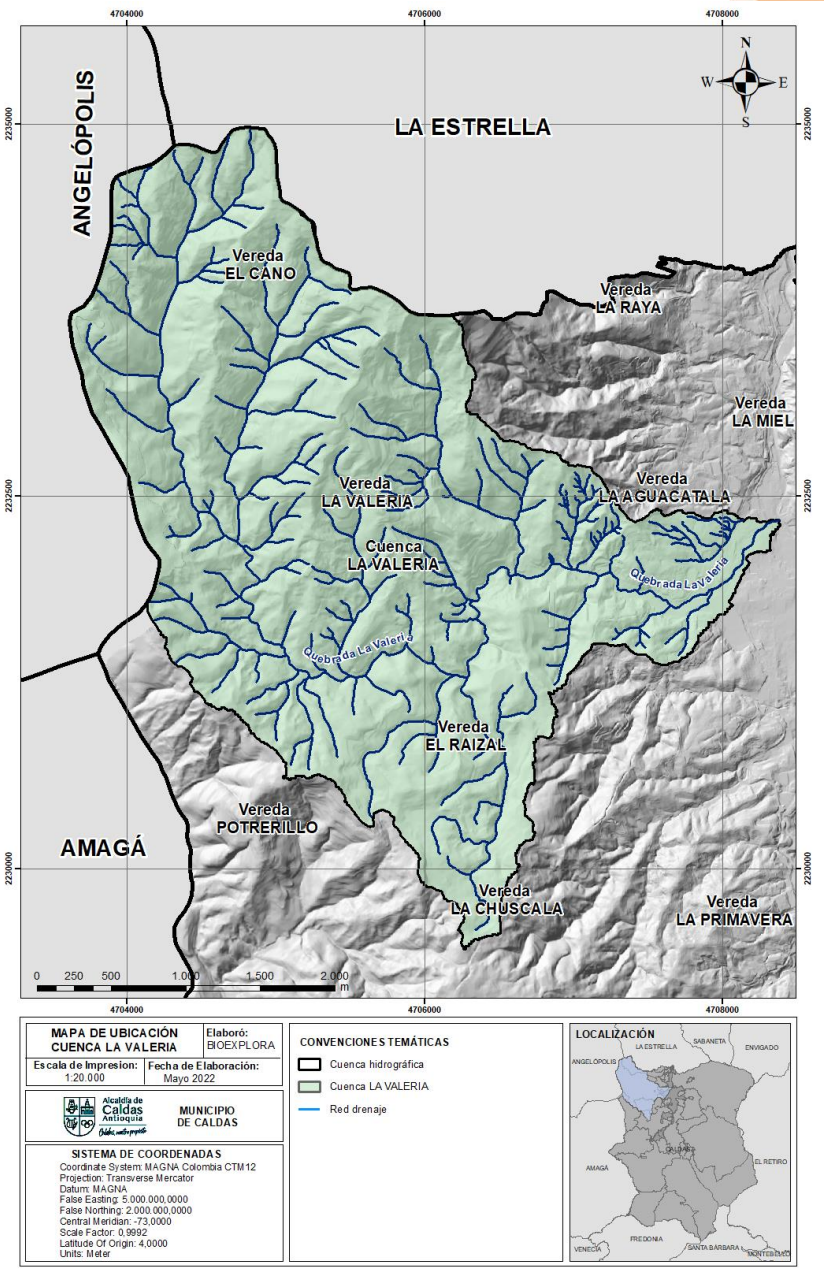


Figura 5.3-17. Mapa de ubicación de la cuenca La Valeria.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Valeria, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad, y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

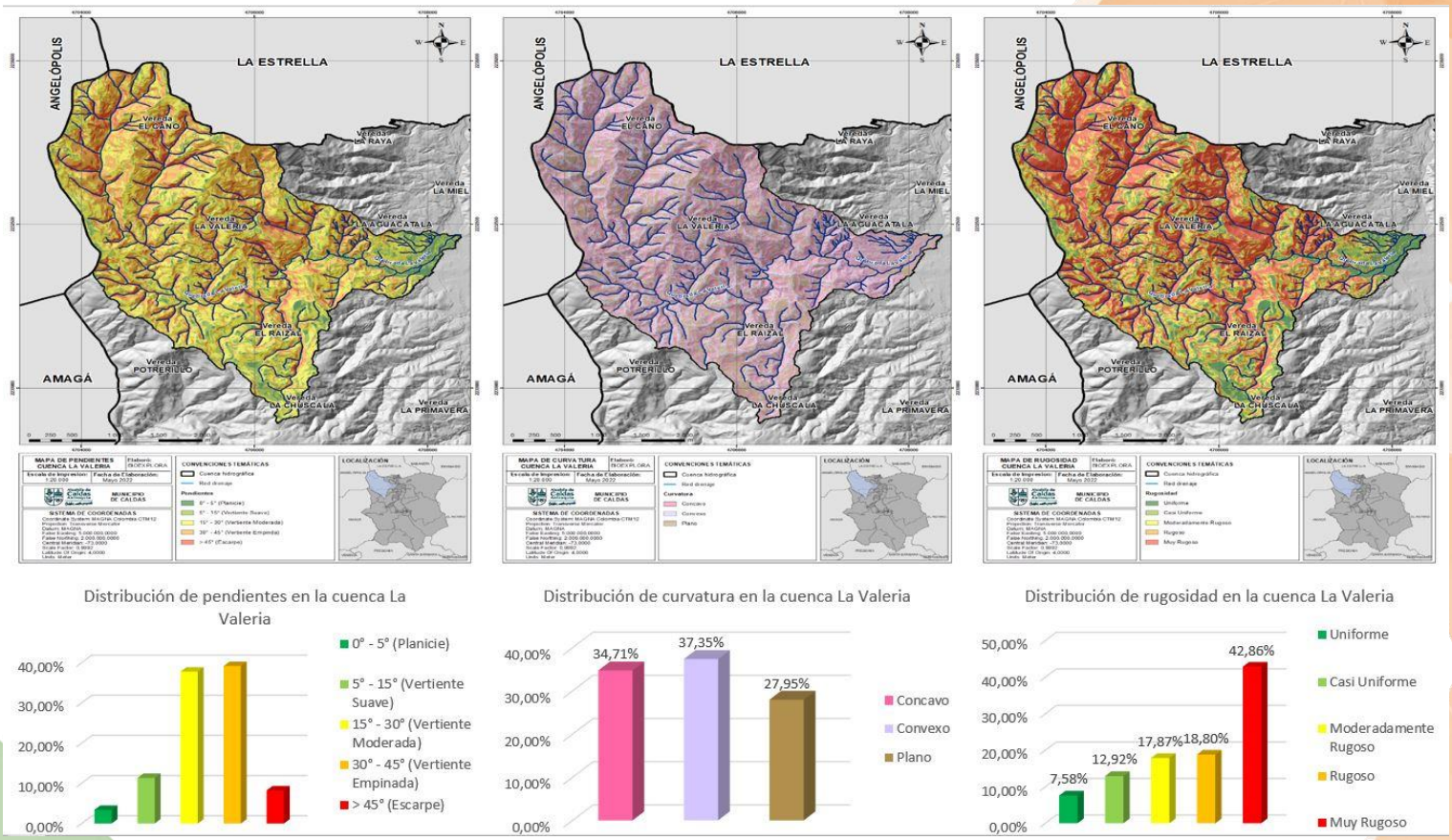


Figura 5.3-18. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Valeria
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca La Valeria, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La Valeria, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada, asociada a un factor de forma de 0,10, indicando que esta cuenca al ser alargada, no es propensa a inundaciones cuando se presentan lluvias intensas. La quebrada principal (La Valeria) presenta una longitud de 9,86 km aproximadamente y una distribución asimétrica (1,21), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la vertiente derecha. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 15-30°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 11,53 km 2, con una altura máxima de 2624 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1729 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son altamente susceptibles a procesos morfodinámicos, esto es por la forma irregular que caracteriza este terreno, estas áreas en donde se generan altos eventos de pluviosidad, el agua tiende a acumularse y a infiltrarse, facilitando la erosión del suelo superficial. En esta cuenca se han identificado 8 procesos de remoción en masa, en donde 3 son de tipo traslacional, 2 inactivos traslacionales y 3 cicatrices, ubicados en la parte alta central de la cuenca. Esta caracterización general, hace parte en su totalidad de la vereda La Valeria, cabe resaltar que la mayor parte de las laderas que conforman los flancos del

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

área de influencia, se denominan geomorfológicamente Sierra residual, Lomo residual, Escarpe de erosión menor, Lomos denudados y Lomo denudado bajo de longitud media.

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Valeria se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-56. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada La Valeria.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	11,53
Perímetro (km)	21,37
Elevación máxima (msnm)	2624
Elevación mínima (msnm)	1729
Elevación promedio (msnm)	2120,
Pendiente media (%)	55%
Factor de forma (Kf)	0,10
Coeficiente de asimetría	1,21
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,76

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.10 QUEBRADA MANDALAY

La cuenca de la quebrada Mandalay se localiza al Oeste del municipio de Caldas en las veredas Chuscala, Primavera y La Quiebra. La cuenca tiene una superficie de 1,95 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1746,47 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2111,63 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 24,62% que corresponde a un relieve ondulado característico de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural desde su nacimiento hasta el casco urbano del municipio de Caldas donde presenta diferentes tipos de coberturas en concreto hasta su descarga en el río. El cauce principal de la quebrada Mandalay tiene una longitud aproximada de 3,2 km con una pendiente media de 9,8 % considerada como moderada lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

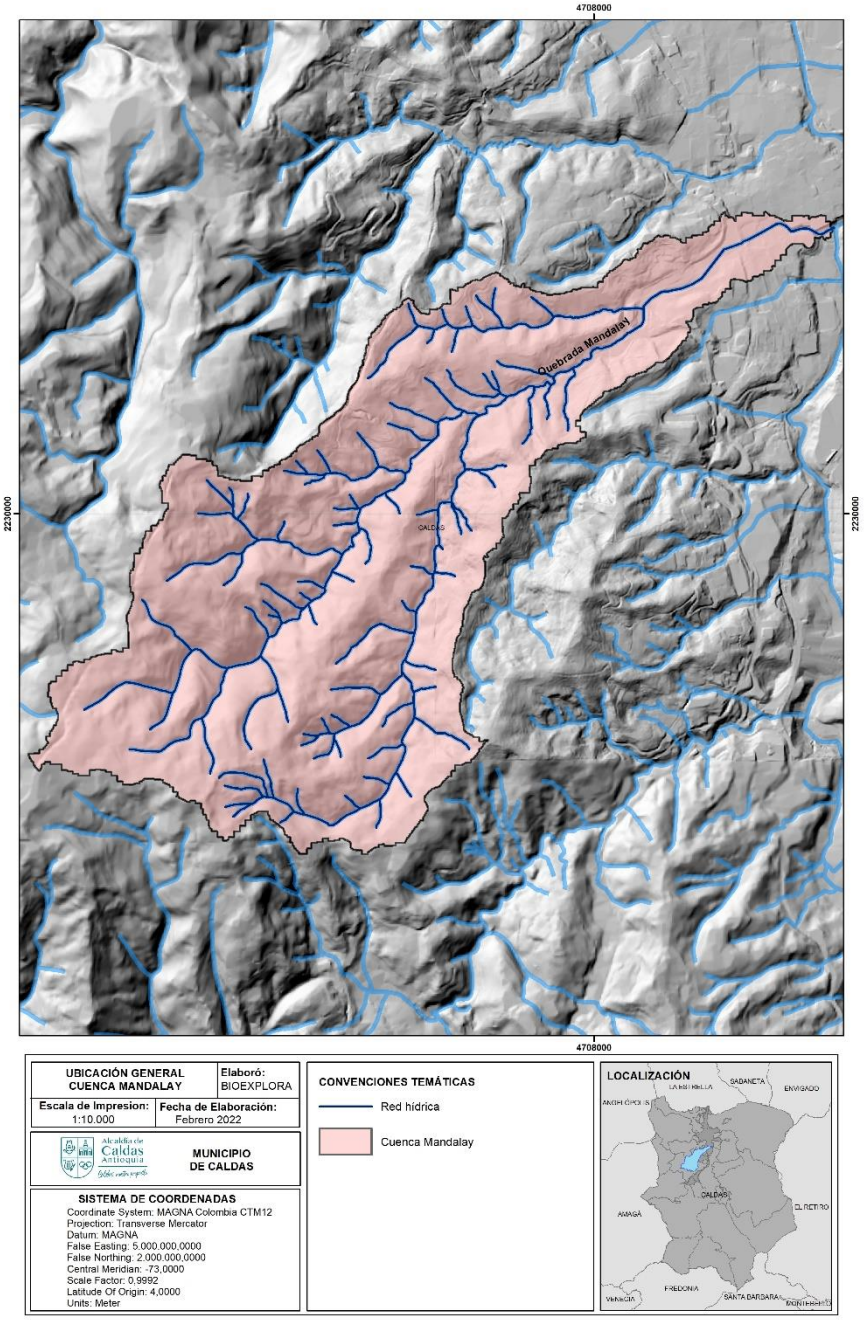


Figura 5.3-19. Mapa de ubicación de la cuenca Mandalay.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca Mandalay, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

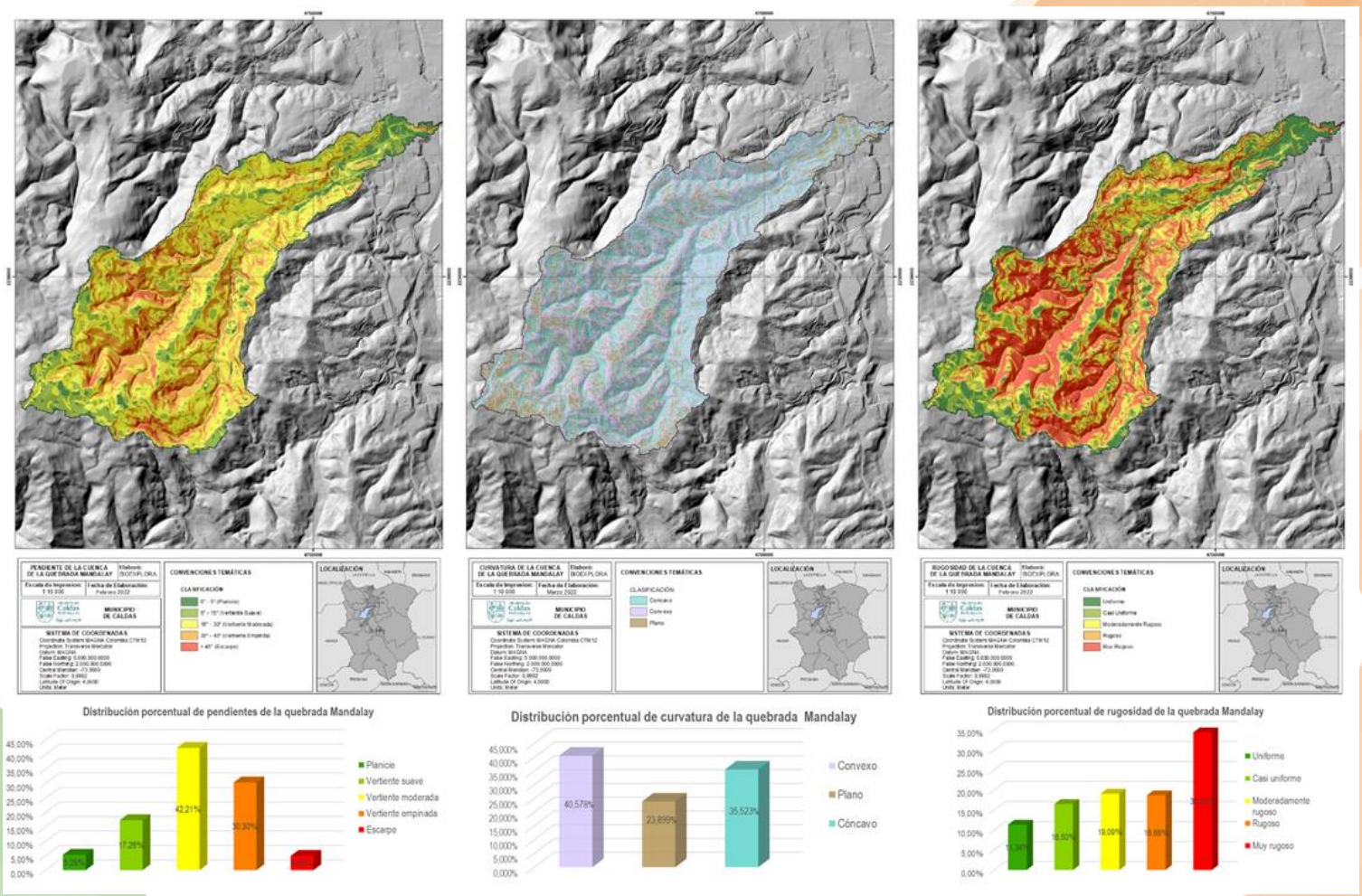


Figura 5.3-20. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada Mandalay
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca Mandalay, se tiene que:

La cuenca de la quebrada Mandalay, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada, asociada a un factor de forma de 0,11, indicando que esta cuenca al ser alargada, no es tan propensa a presentar crecidas súbitas cuando se presentan lluvias intensas. La quebrada principal (La Piedrahita) presenta una longitud de 3,53 km aproximadamente y una distribución asimétrica (1,35), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la vertiente izquierda. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes moderadas, muy rugosas, con inclinaciones entre 15-30°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 1,95 km 2, con una altura máxima de 2111 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1746 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son susceptibles a procesos erosivos, esto es por la forma irregular que caracteriza este terreno, ya que tiene unas pendientes altas y zonas muy rugosas, asociada a procesos erosivos superficiales. En esta cuenca se han identificado 5 procesos de remoción en masa, en donde 4 son de tipo activo traslacional, 6 inactivos traslacionales estos están ubicados en la parte alta de la cuenca, 1 inactivo

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

rotacional, 1 traslacional latente, además hay un evento torrencial en la parte baja de la cuenca, Esta caracterización general, hace parte en su totalidad de la vereda La Chuscala y la Valeria, cabe resaltar que la mayor parte de las laderas que conforman los flancos del área de influencia, se denominan geomorfológicamente Lomeríos poco disectados, Lomo residual, Lomo denudado bajo de longitud corta y Espolón bajo de longitud media.

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca Mandalay se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-57. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada Mandalay

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	1,95
Perímetro (km2)	9,99
Elevación máxima (msnm)	2111
Elevación mínima (msnm)	1746
Elevación promedio (msnm)	1916
Pendiente media (%)	49%
Factor de forma (Kf)	0,11
Coeficiente de asimetría	1,35
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	2

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.11 QUEBRADA LA SALADA

La cuenca de la quebrada La Salada se localiza al Sur del municipio de Caldas en las veredas Maní del Cardal, La Salada y El Cardalito. La cuenca tiene una superficie de 11,03 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1799,09 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2394,48 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 23,76% por lo que su morfología se considera de alta montaña característica de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural desde su nacimiento hasta su descarga en el río. El cauce principal de la quebrada La Salada tiene una longitud aproximada de 8,2 km con una pendiente media de 3 % considerada como baja lo cual genera respuestas más lentas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

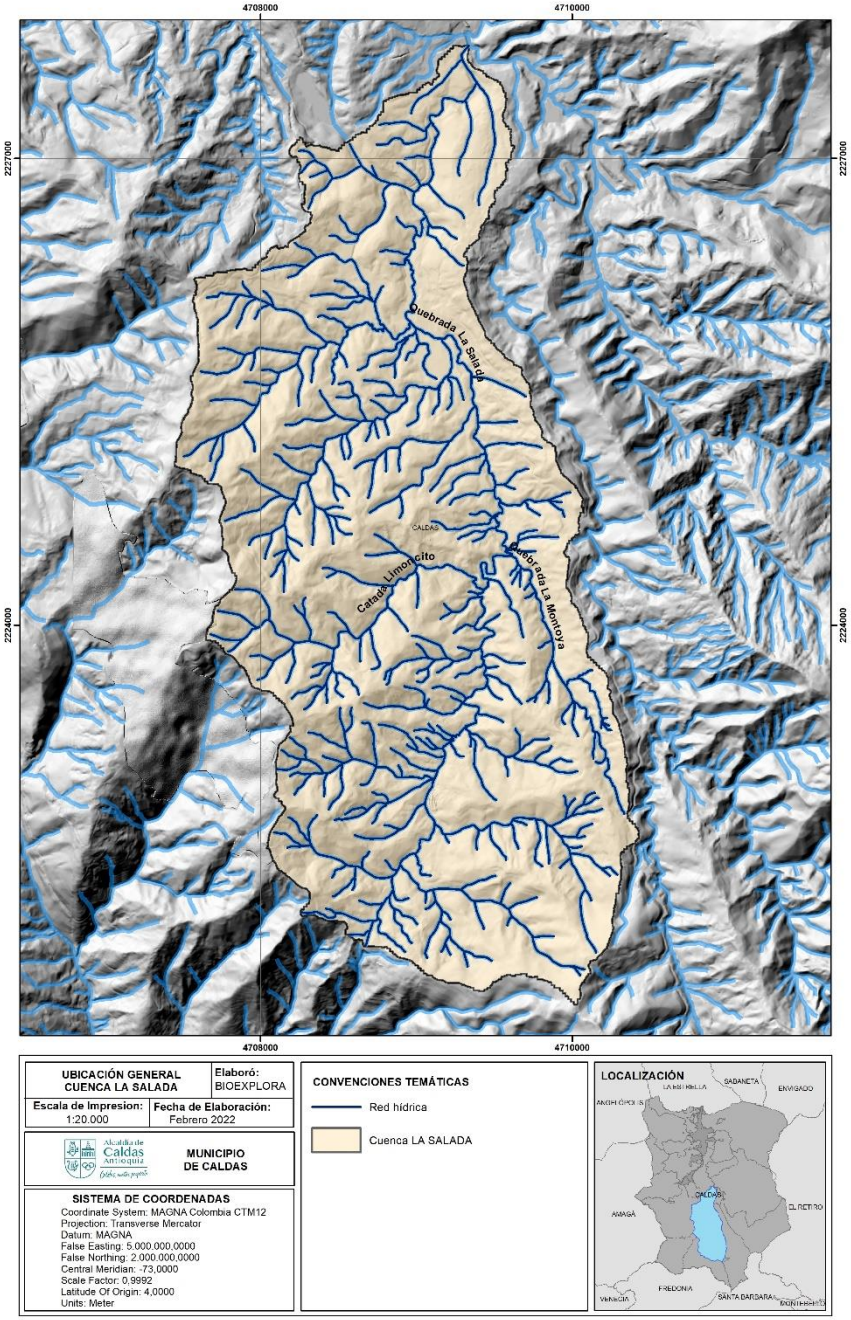


Figura 5.3-21. Mapa de ubicación de la cuenca La Salada.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Salada, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

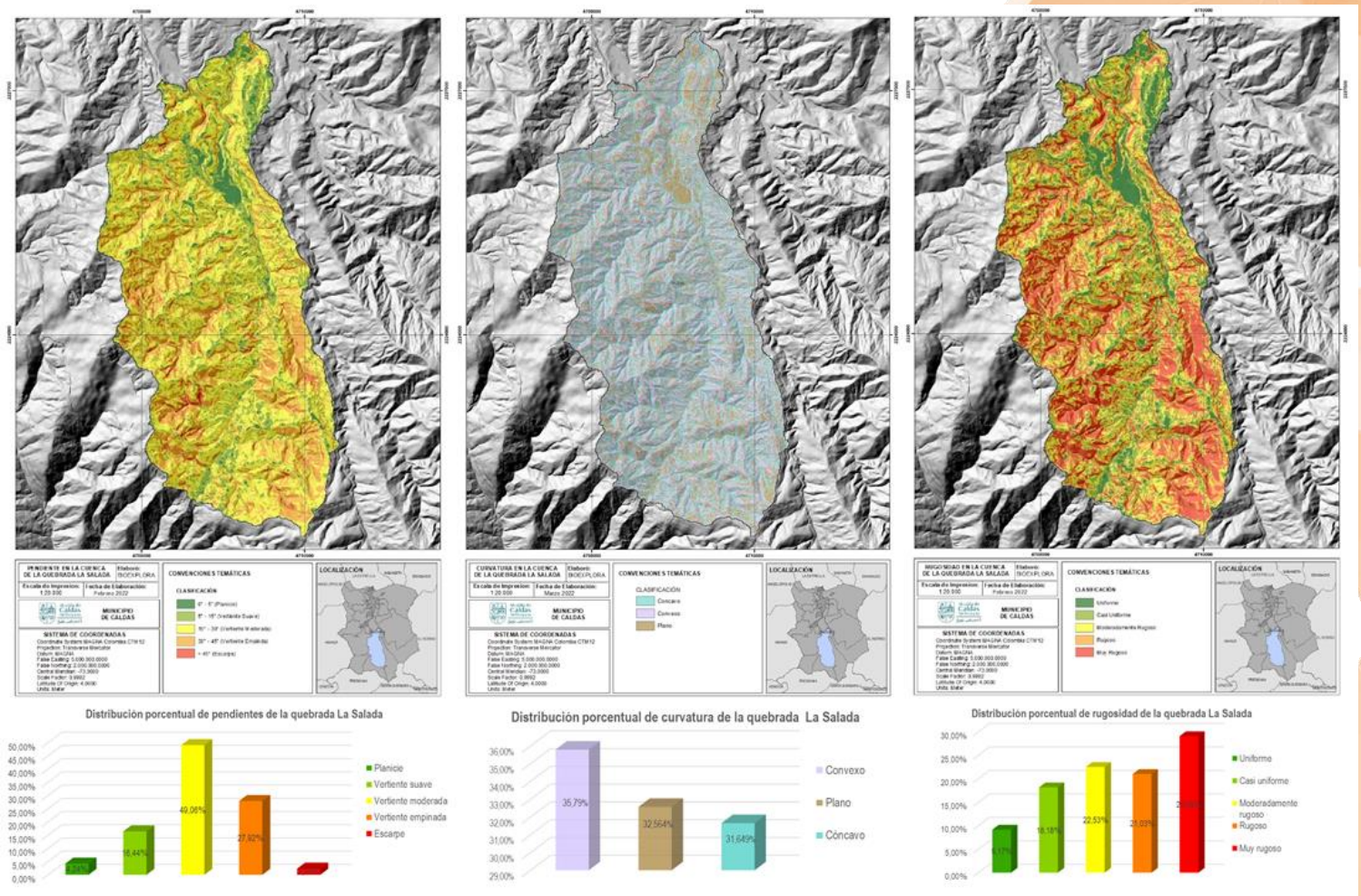


Figura 5.3-22. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Salada
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca La Salada, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La Salada se caracteriza por tener un área en donde predomina aproximadamente el 49,06% de suelo clasificado como vertientes moderadas. Estas se caracterizan por tener valores de pendientes con rangos entre 15° - 30°. Tienen una curvatura en las laderas de forma cóncava en un 31,64% del área, y presenta una mayor susceptibilidad de movimientos en masa, debido a su geometría, la cual le permite que los flujos de agua que vienen desde partes altas se concentren en áreas, es por esto que se caracteriza por ser zonas rugosas, ya que hay desprendimientos de material. Se evidencian algunos procesos erosivos, como un movimiento activo traslacional, algunas cicatrices y un inactivo traslacional, todos estos ubicados en la parte alta de las vertientes. Esta caracterización general, hace parte de la vereda La Salada parte alta y en El Cardalito, dentro de esta distribución, cabe resaltar que la mayor parte de las laderas que conforman los flancos del área de influencia, se denominan geomorfológicamente Lomo denudado bajo de longitud media, Espolón bajo de longitud media y Lomo denudado moderado de longitud larga.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Por otro lado, predominan las vertientes empinadas con un 27,92% del área, estas presentan rangos de pendientes entre 30°- 45°, tienen una rugosidad casi uniforme debido a la alta pendiente y a la modelación del agua, y por lo general el 32,56% en el área son planas ,estas serán morfométricamente poco susceptibles la ocurrencia de movimientos en masa, debido a su geometría, la cual le permite que los flujos de agua transcurran por la pendiente hasta llegar a puntos más bajos en donde se da su acumulación. En las visitas de campo que se hicieron a la cuenca, no se encontraron evidencias de movimientos en masa activos o relictos.

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Salada se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-58. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Salada.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	11,03
Perímetro (km2)	20,10
Elevación máxima (msnm)	2391
Elevación mínima (msnm)	1799
Elevación promedio (msnm)	2031
Pendiente media (%)	46%
Factor de forma (Kf)	0,11
Coeficiente de asimetría	2,03
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,6

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.12 QUEBRADA LA MINA

La cuenca de la quebrada La Mina se localiza al Sur del municipio de Caldas en la vereda Salada. La cuenca tiene una superficie de 8,02 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1834,48 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2704,24 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 29,8% por lo que su morfología se considera de alta montaña característica de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y un poco alargada lo cual indica una menor peligrosidad ante crecidas y menores respuestas ante eventos de precipitación. El cauce principal consiste en un canal natural desde su nacimiento hasta su descarga en el río y tiene una longitud aproximada de 9,3 km con una pendiente media de 7 %.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

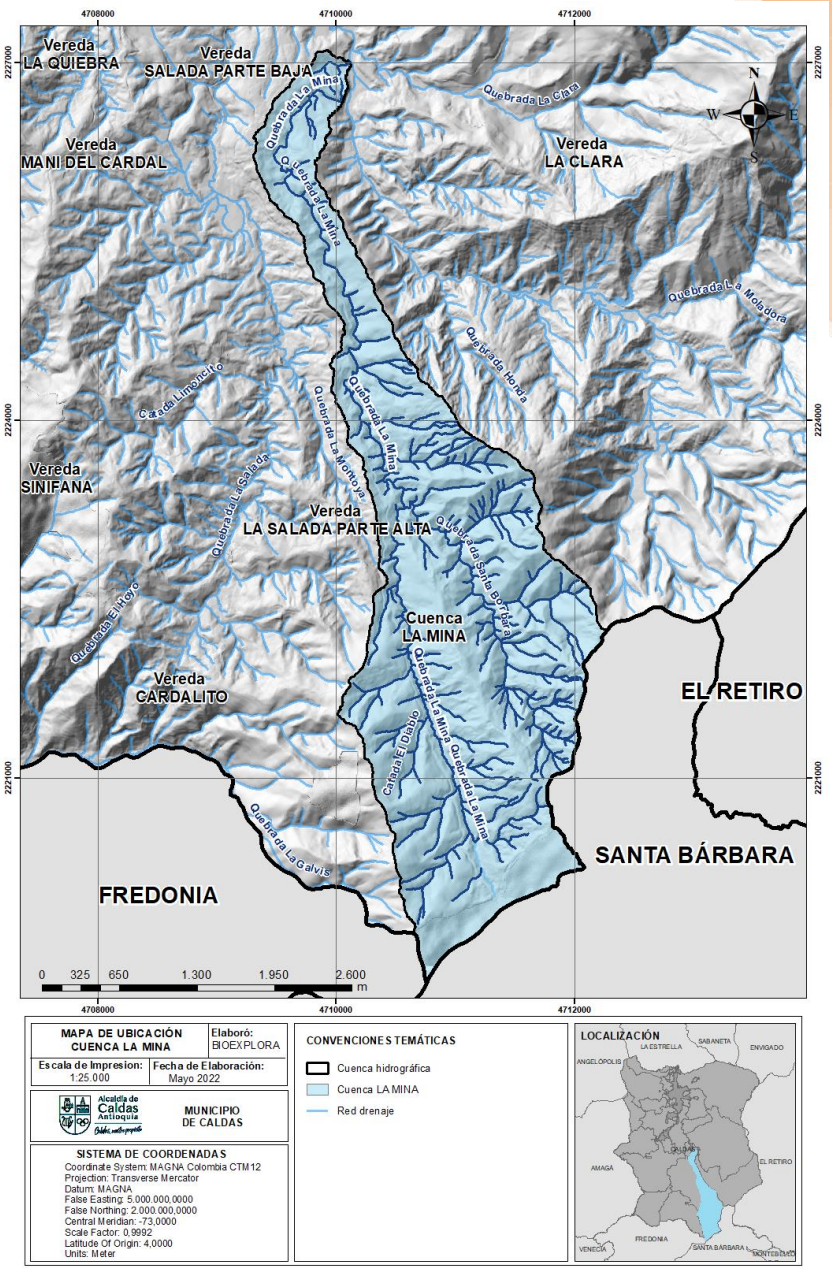


Figura 5.3-23. Mapa de ubicación de la cuenca La Mina.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Valeria, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

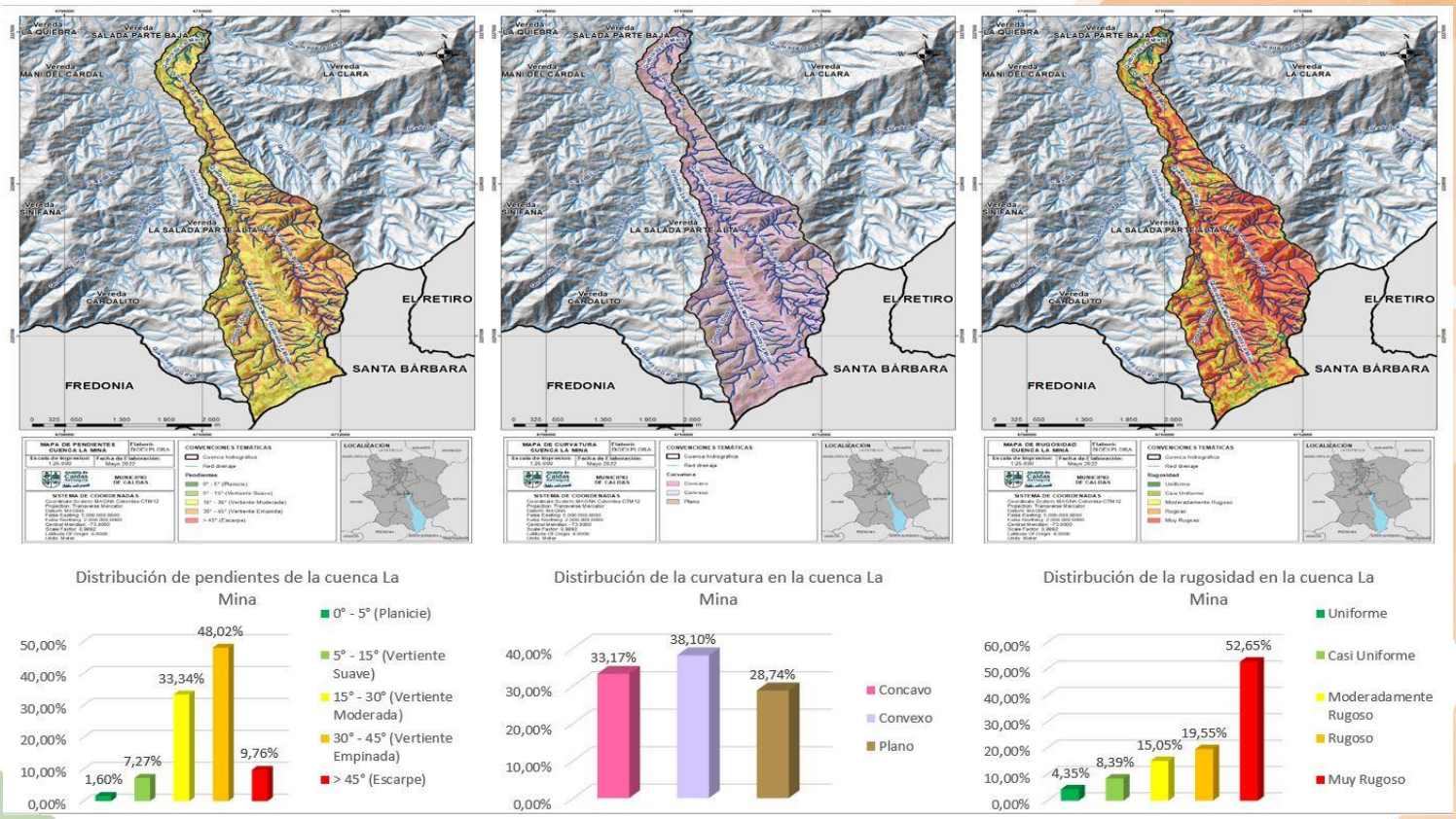


Figura 5.3-24. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Mina
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca La Mina, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La Mina, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada, asociada a un factor de forma de 0,06. La quebrada principal (La Mina) presenta una longitud de 10,42 km aproximadamente y una distribución asimétrica (1,91), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la vertiente derecha. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 8,01 km 2, con una altura máxima de 2704 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1834 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son susceptibles a procesos erosivos, esto es por su pendiente, su concavidad convexa, la litología y la forma irregular que caracteriza este terreno, presentándose de tal manera una erosión del suelo superficial. En esta cuenca se han identificado 3 procesos de remoción en masa, en donde 2 son de tipo activo traslacional,15 cicatrices, y 1 activo de tipo rotacional. Están ubicados en las vertientes más altas de la vereda, y el modelamiento del paisaje está asociada geomorfológicamente Lomo denudado moderado de longitud larga.

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Mina se resumen en la siguiente tabla.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 5-59. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Mina.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	8,01
Perímetro (km2)	22,08
Elevación máxima (msnm)	2704
Elevación mínima (msnm)	1834
Elevación promedio (msnm)	2295
Pendiente media (%)	61%
Factor de forma (Kf)	0,06
Coeficiente de asimetría	1,91
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	2,18

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.13 QUEBRADA LA MIEL

La cuenca de la quebrada La Miel se localiza al Noreste del municipio de Caldas en las veredas La Miel y La Clara principalmente. La cuenca tiene una superficie de 22,35 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1730,37 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 3109,13 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 29,1% por lo que su morfología se considera de alta montaña característica de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural desde su nacimiento hasta su descarga en el río. El cauce principal de la quebrada La Miel tiene una longitud aproximada de 9,98 km con una pendiente media de 13 % considerada como moderada lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

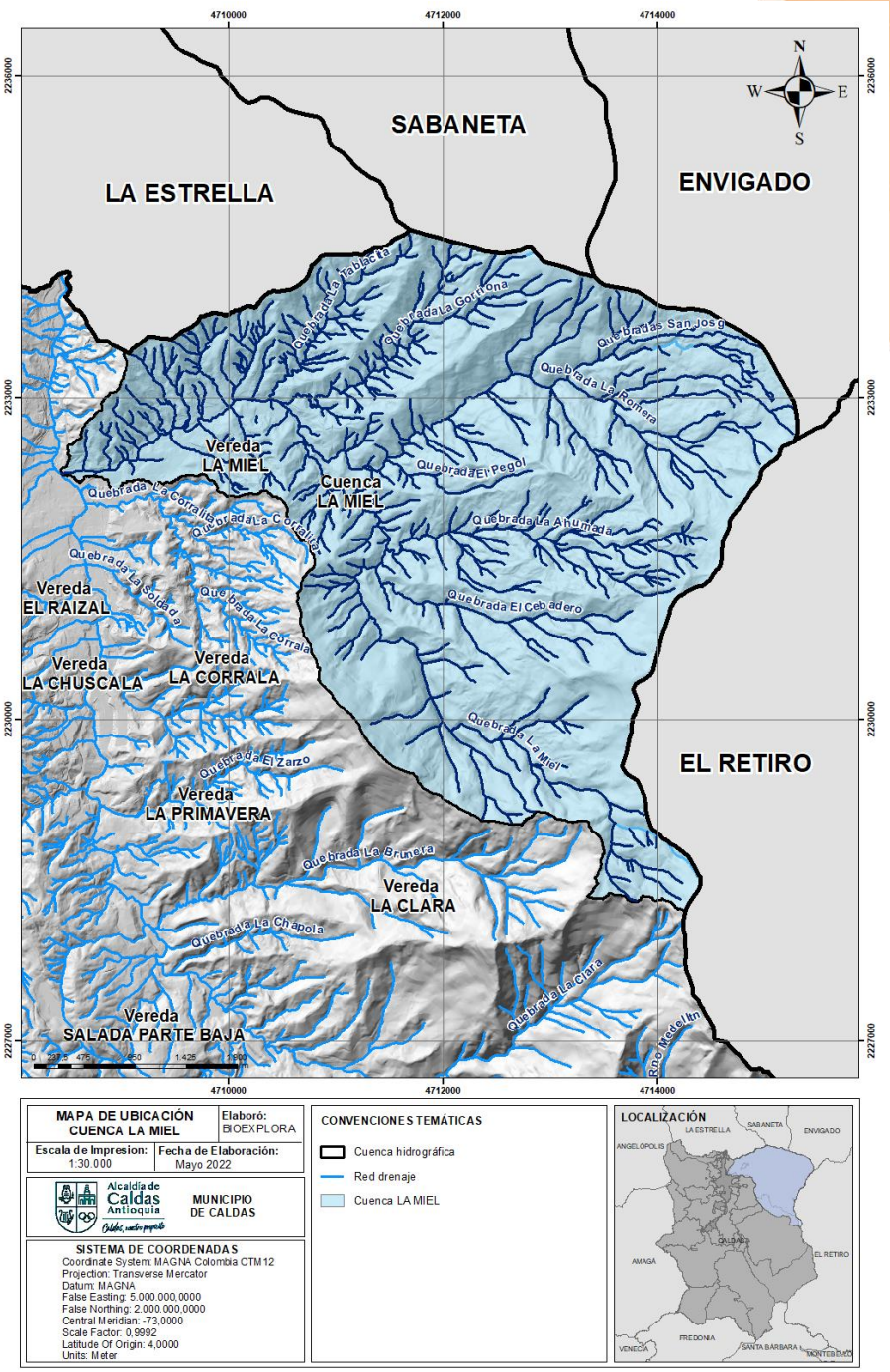


Figura 5.3-25. Mapa de ubicación de la cuenca La Miel.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Miel, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

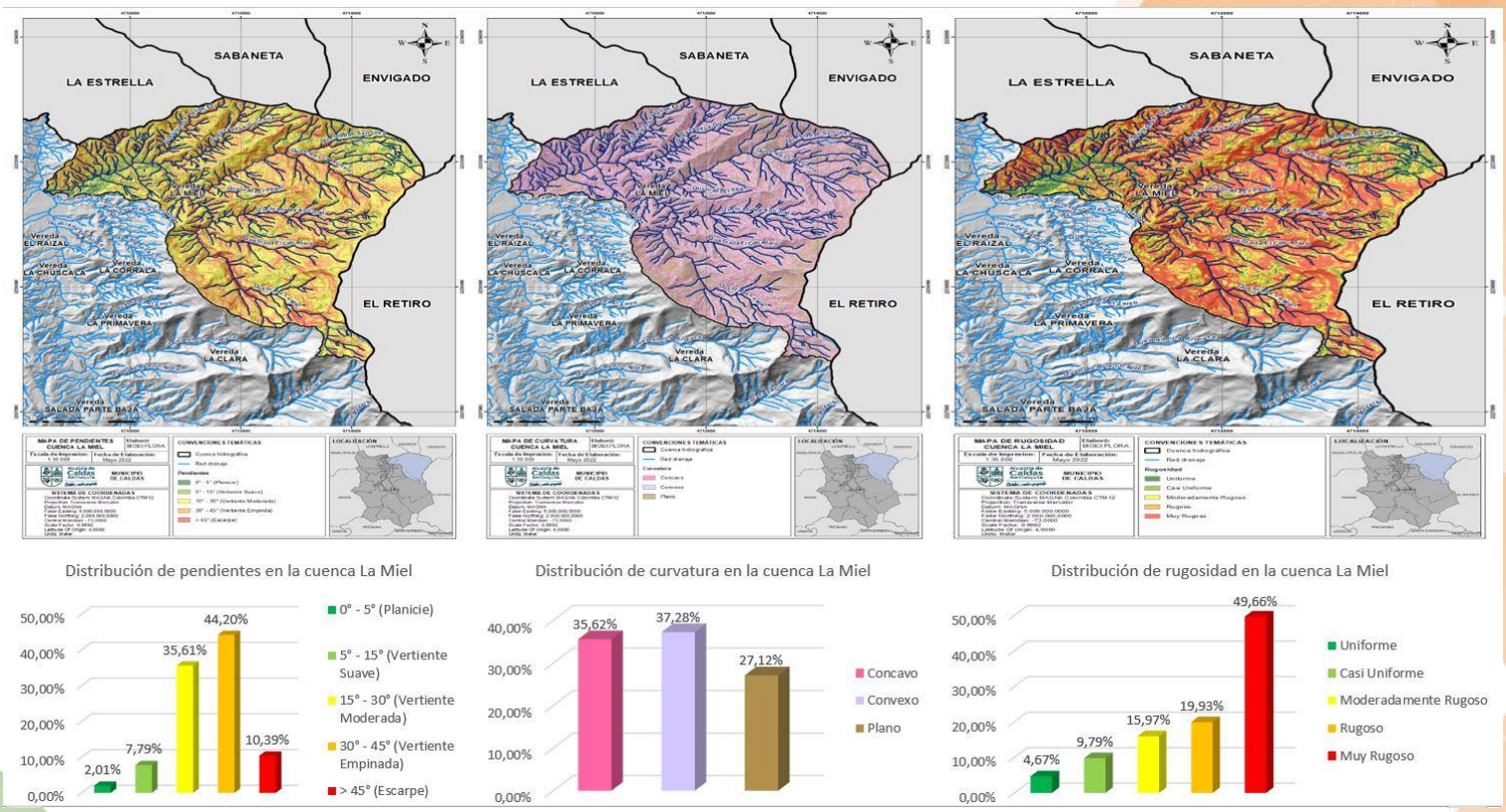


Figura 5.3-26. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Miel
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

La cuenca de la quebrada La Miel, se caracteriza por tener una morfología alargada, incisada, asociada a un factor de forma de 0,17. La quebrada principal (La Miel) presenta una longitud de 10,87 km aproximadamente y una distribución asimétrica (4,21), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la vertiente izquierda. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 22,036 km 2, con una altura máxima de 3109 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1730 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son susceptibles a procesos erosivos, esto es por su pendiente, su concavidad convexa, la litología y la forma irregular que caracteriza este terreno, presentándose de tal manera una erosión del suelo superficial. En esta cuenca se han identificado 6 procesos de remoción en masa, en donde 28 son de tipo activo traslacional,15 cicatrices, 5 inactivo traslacional, 1 activo rotacional, 2 latentes traslacionales, 2 relicto traslacionales, y 18 cicatrices. Están ubicados en las vertientes más altas de la vereda, y el modelamiento del paisaje está asociada geomorfológicamente Lomo denudado moderado de longitud larga, Lomo denudado moderado de longitud larga, Lomo denudado bajo de longitud media, y Vertiente sobre depósitos poco incisados

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Miel se resumen en la siguiente tabla.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 5-60. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Miel.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	22,03
Perímetro (km2)	29,43
Elevación máxima (msnm)	3109
Elevación mínima (msnm)	1730
Elevación promedio (msnm)	2252
Pendiente media (%)	59%
Factor de forma (Kf)	0,17
Coeficiente de asimetría	4,21
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,74

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.14 QUEBRADA LA LEJIA

La cuenca de la quebrada La Lejía se localiza al Oeste del municipio de Caldas en las veredas La Quiebra, primavera y Maní de Cardal principalmente. La cuenca tiene una superficie de 3,17 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1766,96 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2158,06 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 22,01% por lo que su morfología se considera de alta montaña característica de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural desde su nacimiento hasta su descarga en el río. El cauce principal de la quebrada La Lejía tiene una longitud aproximada de 4,61 km con una pendiente media de 5 % considerada como baja y debido a su forma un poco alargada es menos probable que se respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

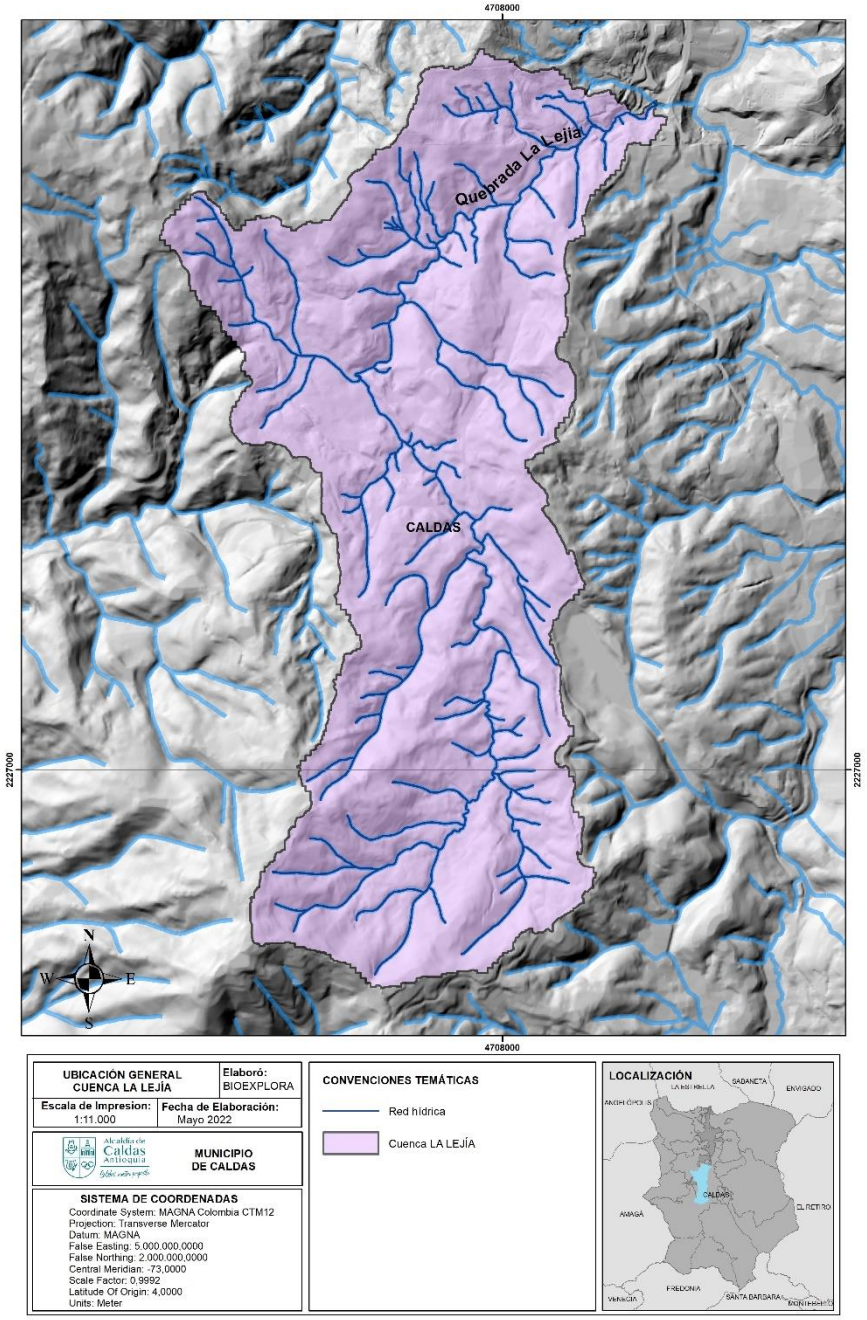


Figura 5.3-27. Mapa de ubicación de la cuenca La Lejía.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Lejía, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

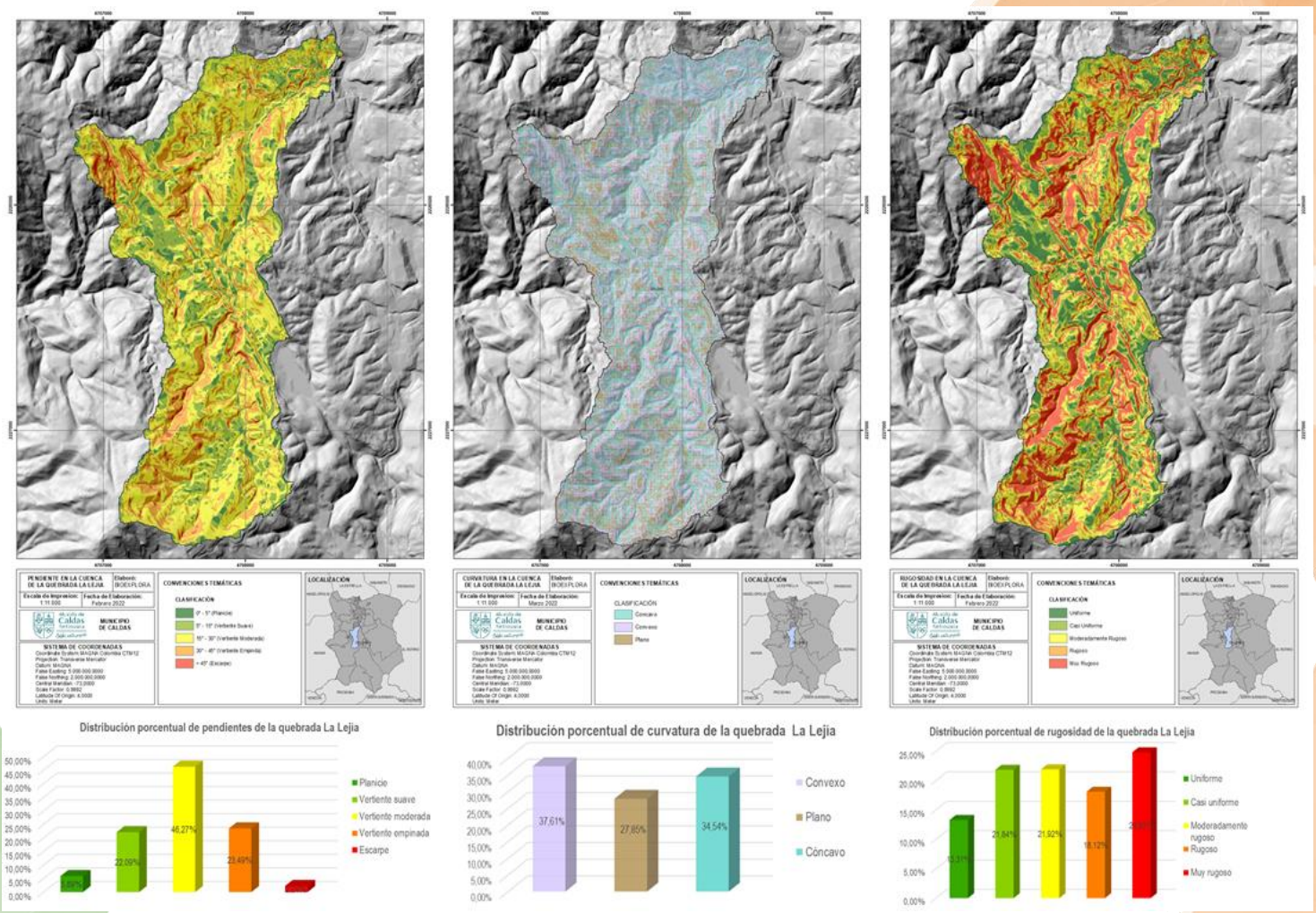


Figura 5.3-28. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Lejía
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

La cuenca de la quebrada La Lejía, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada, asociada a un factor de forma de 0,11, indicando que esta cuenca al ser alargada, no es tan propensa a presentar crecidas súbitas cuando se presentan lluvias intensas. La quebrada principal (La Lejía) presenta una longitud de 4,89 km aproximadamente y una distribución asimétrica (1,26), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la vertiente derecha. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 15-30°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 3,07 km 2, con una altura máxima de 2157 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1790 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son altamente susceptibles a procesos erosivos, esto es por la forma irregular que caracteriza este terreno, estas áreas en donde se generan altos eventos de pluviosidad, el agua tiende a acumularse y a infiltrarse, facilitando la erosión del suelo superficial. En esta cuenca se han identificado 6 procesos de remoción en masa, en donde 4 son de tipo traslacional activo, 3 inactivos traslacionales y algunos relictos, ubicados en la parte baja de la cuenca. Esta caracterización general, hace parte en su totalidad de la vereda La Chuscala, cabe resaltar que la mayor parte de las laderas que conforman

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

los flancos del área de influencia, se denominan geomorfológicamente Lomo denudado bajo de longitud corta, Cono de flujo de lodos y escombro y un Espolón bajo de longitud media.

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Lejía se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-61. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Lejía.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	3,07
Perímetro (km2)	12,34
Elevación máxima (msnm)	2157
Elevación mínima (msnm)	1790
Elevación promedio (msnm)	1924
Pendiente media (%)	43%
Factor de forma (Kf)	0,11
Coeficiente de asimetría	1,26
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,9

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.15 QUEBRADA LA CORRALITA

La cuenca de la quebrada La Corralita se localiza en la ladera Noreste del municipio de Caldas en las veredas Corrala y La Miel principalmente. La cuenca tiene una superficie de 2,19 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1748 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2289,03 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 25,59% por lo que su morfología se considera de alta montaña característica de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural desde su nacimiento hasta el casco urbano del municipio de Caldas donde presenta diferentes tipos de coberturas en concreto hasta su descarga en el río. El cauce principal de la quebrada La Corralita tiene una longitud aproximada de 1,16 km con una pendiente media de 27 % considerada como alta lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

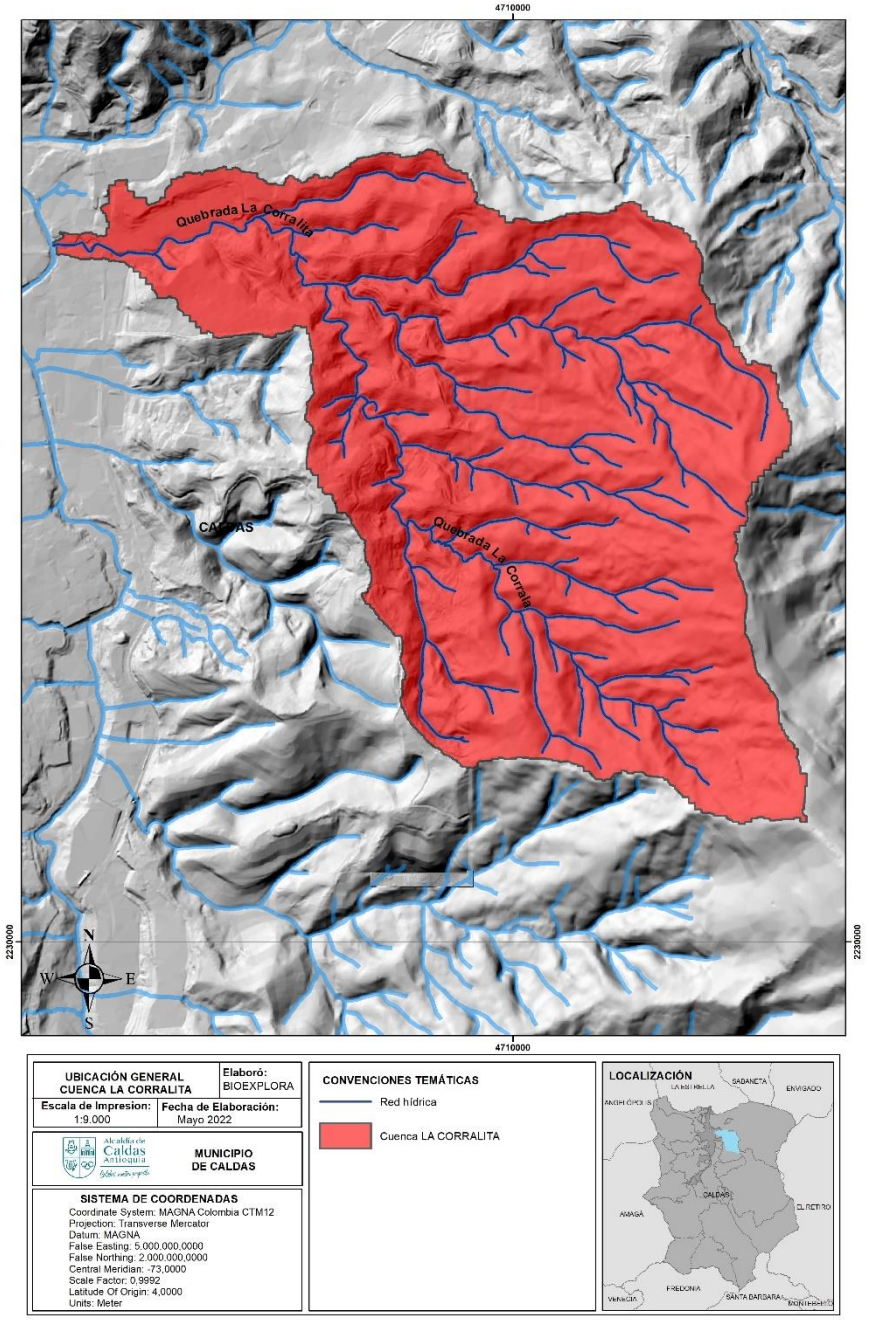


Figura 5.3-29. Mapa de ubicación de la cuenca La Corralita.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Corralita, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

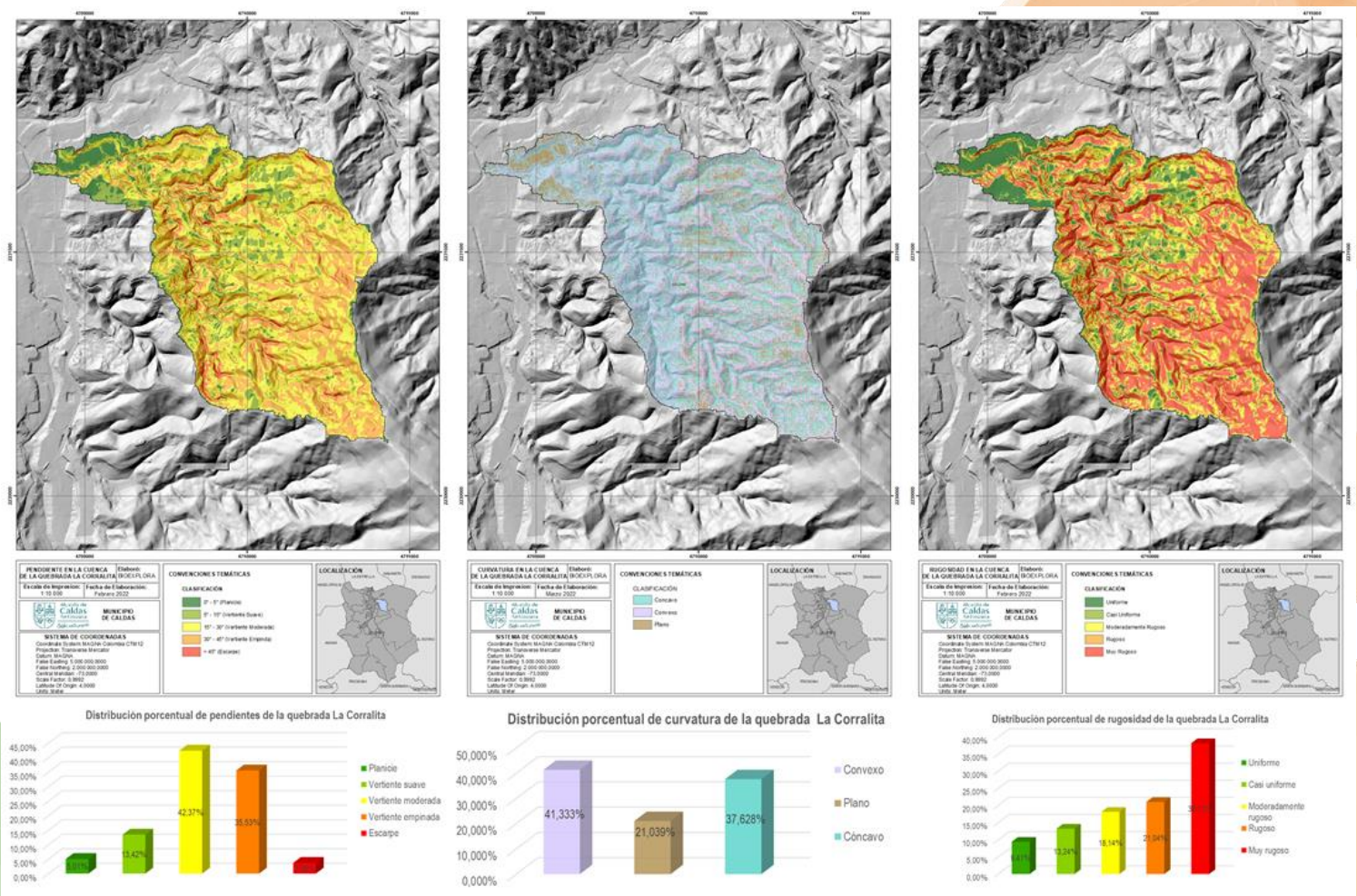


Figura 5.3-30. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Corralita.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

La cuenca de la quebrada La Corralita, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada, asociada a un factor de forma de 0,12, indicando que esta cuenca al ser alargada, no es tan propensa a presentar crecidas súbitas cuando se presentan lluvias intensas. La quebrada principal (La Corrala) presenta una longitud de 3,66 km aproximadamente y una distribución asimétrica (2,35), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la vertiente derecha. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes moderadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 15-30°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 2,20 km 2, con una altura máxima de 2303 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1734 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son altamente susceptibles a procesos erosivos, esto es por la forma irregular que caracteriza este terreno, estas áreas en donde se generan altos eventos de pluviosidad, el agua tiende a acumularse y a infiltrarse, facilitando la erosión del suelo superficial. En esta cuenca se han identificado 4 tipos de procesos de remoción en masa, en donde 10 son de tipo traslacional activo, 2 inactivos traslacionales, 1 latente y 1 socavación activa y algunos relictos, ubicados en la parte baja de la cuenca. Esta caracterización general, hace parte en su totalidad de la vereda La Corrala, cabe resaltar que la mayor parte

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

de las laderas que conforman los flancos del área de influencia, se denominan geomorfológicamente Lomos denudado moderado de longitud media, Espolón bajo de longitud media, y Lomos disectados.

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Corralita se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-62. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Corralita.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	2,20
Perímetro (km2)	9,15
Elevación máxima (msnm)	2303
Elevación mínima (msnm)	1734
Elevación promedio (msnm)	1900
Pendiente media (%)	50%
Factor de forma (Kf)	0,12
Coeficiente de asimetría	2,35
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,7

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.16 QUEBRADA LA CLARA

La cuenca de la quebrada La Clara se localiza en la ladera Este del municipio de Caldas en la vereda La Clara. La cuenca tiene una superficie de 6,34 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1832,02 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 3085,26 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 30,54% por lo que su morfología se considera de alta montaña característica de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural desde su nacimiento hasta su descarga en el río. El cauce principal de la quebrada La Clara tiene una longitud aproximada de 5,13 km con una pendiente media de 23 % considerada como alta lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

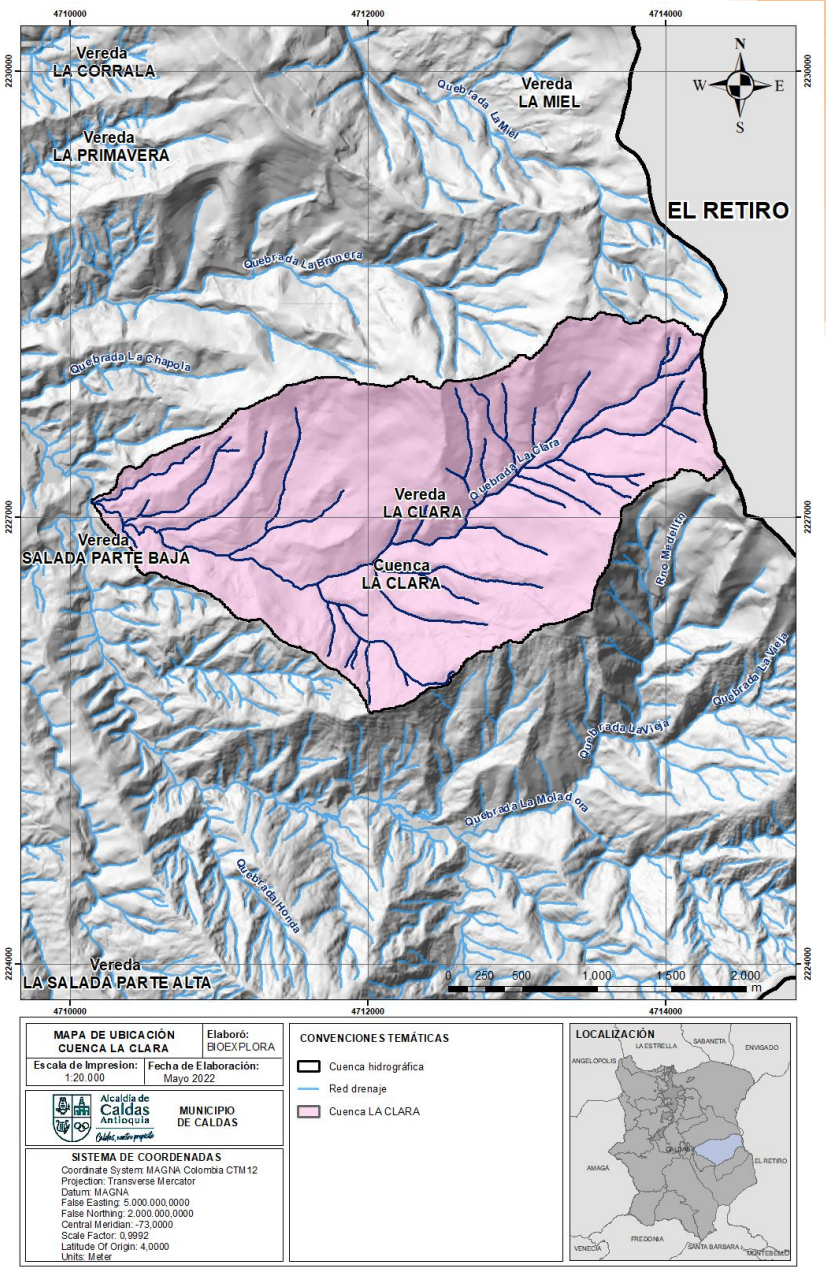


Figura 5.3-31. Mapa de ubicación de la cuenca La Clara.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Clara, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

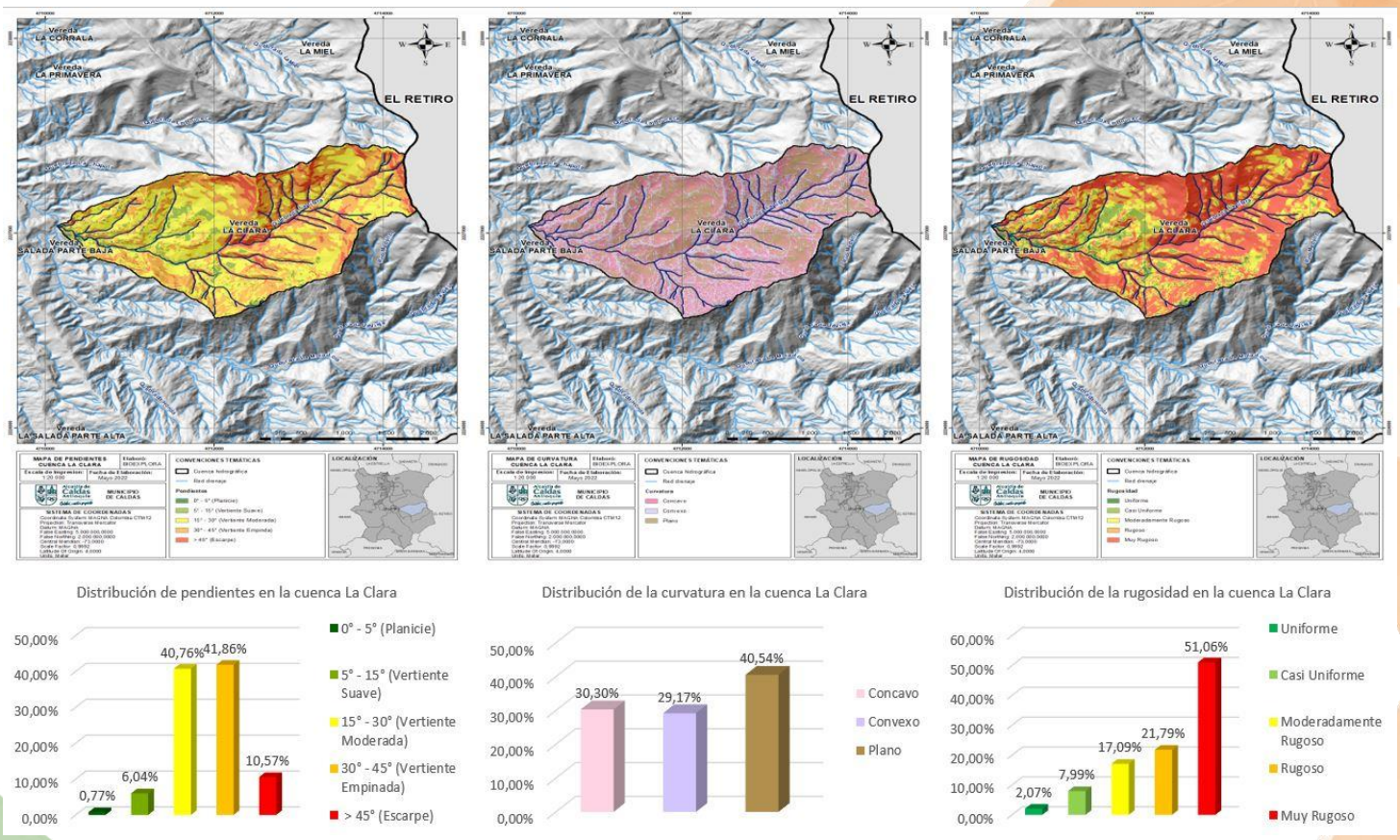


Figura 5.3-32. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Clara.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

La cuenca de la quebrada La Clara, se caracteriza por tener una morfología alargada altamente incisada, asociada a un factor de forma de 0,17, indicando que esta cuenca al ser alargada, no es tan propensa a presentar crecidas súbitas cuando se presentan lluvias intensas. La quebrada principal (La Clara) presenta una longitud de 5,32 km aproximadamente y una distribución asimétrica (1,31), lo cual indica que la cuenca tiene un número mayor de afluentes en la vertiente izquierda. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por tener vertientes empinadas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 6,34 km 2, con una altura máxima de 3088 msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1832 msnm.

Las vertientes que conforman esta cuenca, son altamente susceptibles a procesos erosivos, esto es por la forma irregular que caracteriza este terreno, estas áreas en donde se generan altos eventos de pluviosidad, el agua tiende a acumularse y a infiltrarse, facilitando la erosión del suelo superficial. En esta cuenca se han identificado 5 tipos de procesos de remoción en masa, en donde 11 son de tipo traslacional activo, 9 inactivos traslacionales, 2 rotacional activo, 2 socavaciones activas y 8 cicatrices, ubicados sobre todo en la parte baja y en la parte alta de la cuenca. Esta caracterización general, hace parte en su totalidad de la vereda La Clara, cabe resaltar que la mayor parte de las laderas que conforman los flancos del área de influencia, se denominan geomorfológicamente Espolones estructurales, y un Cono o lóbulo de deslizamiento, Espolón bajo de longitud media, y Lomos disectados.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Clara se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-63. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Clara.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	6,34
Perímetro (km2)	14,10
Elevación máxima (msnm)	3088
Elevación mínima (msnm)	1832
Elevación promedio (msnm)	2298
Pendiente media (%)	63%
Factor de forma (Kf)	0,17
Coeficiente de asimetría	1,31
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,56

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.17 QUEBRADA LA BRUNERA

La cuenca de la quebrada La Brunera se localiza en la ladera Oriental del municipio de Caldas en la vereda La Clara. La cuenca tiene una superficie de 4,45 km² hasta su sitio de descarga en el río Aburrá en la cota 1792 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2839 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 64% por lo que su morfología se considera de alta montaña característica de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma alargada y su cauce principal consiste en un canal natural recto con poca sinuosidad que va desde su nacimiento hasta su descarga en el río. El cauce principal de la quebrada La Brunera tiene una longitud aproximada de 5 km con una pendiente media de 17,74 % considerada como media a baja lo cual da tiempo para poder responder frente a eventos torrenciales.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

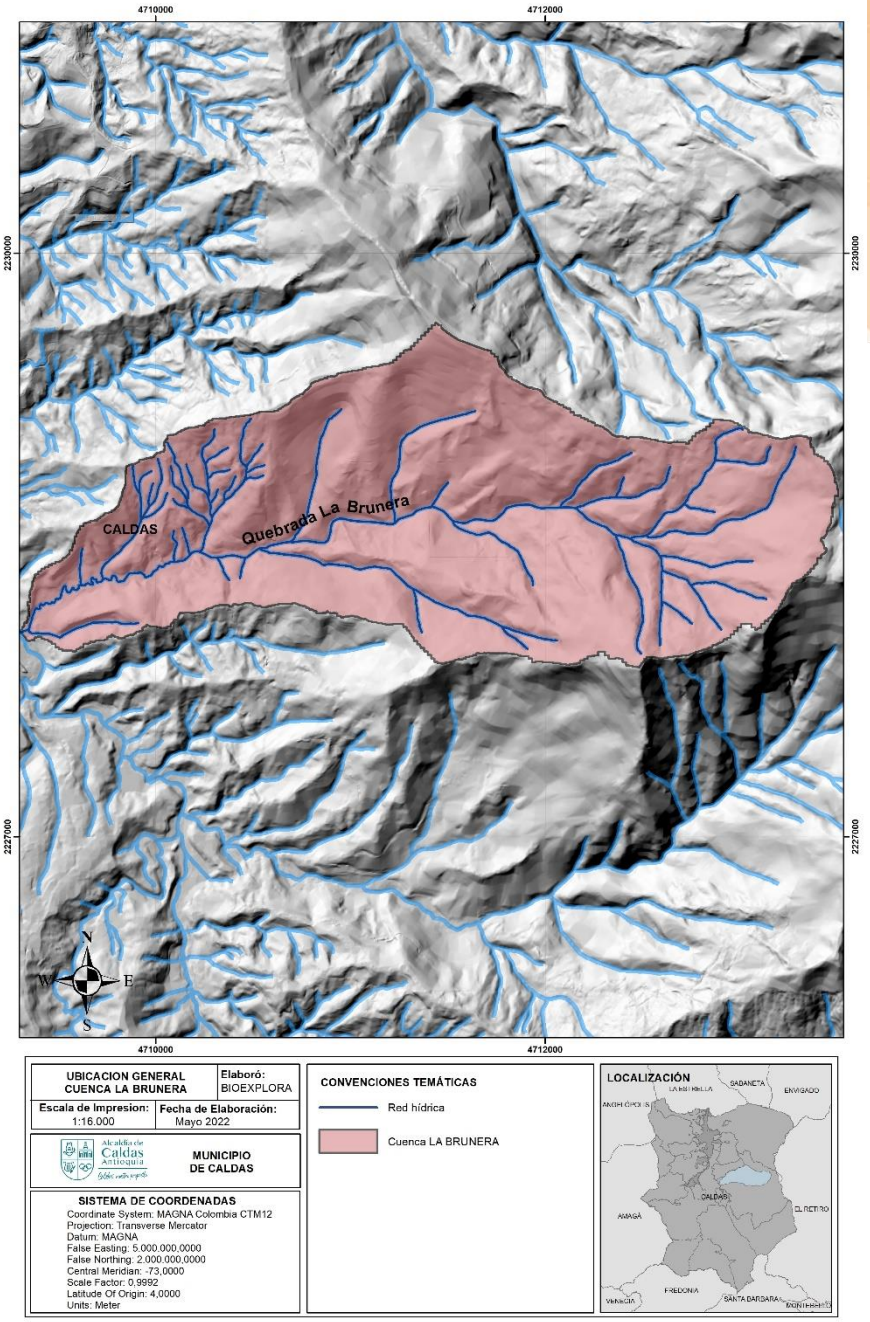


Figura 5.3-33. Mapa de ubicación de la cuenca La Brunera.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca La Brunera, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

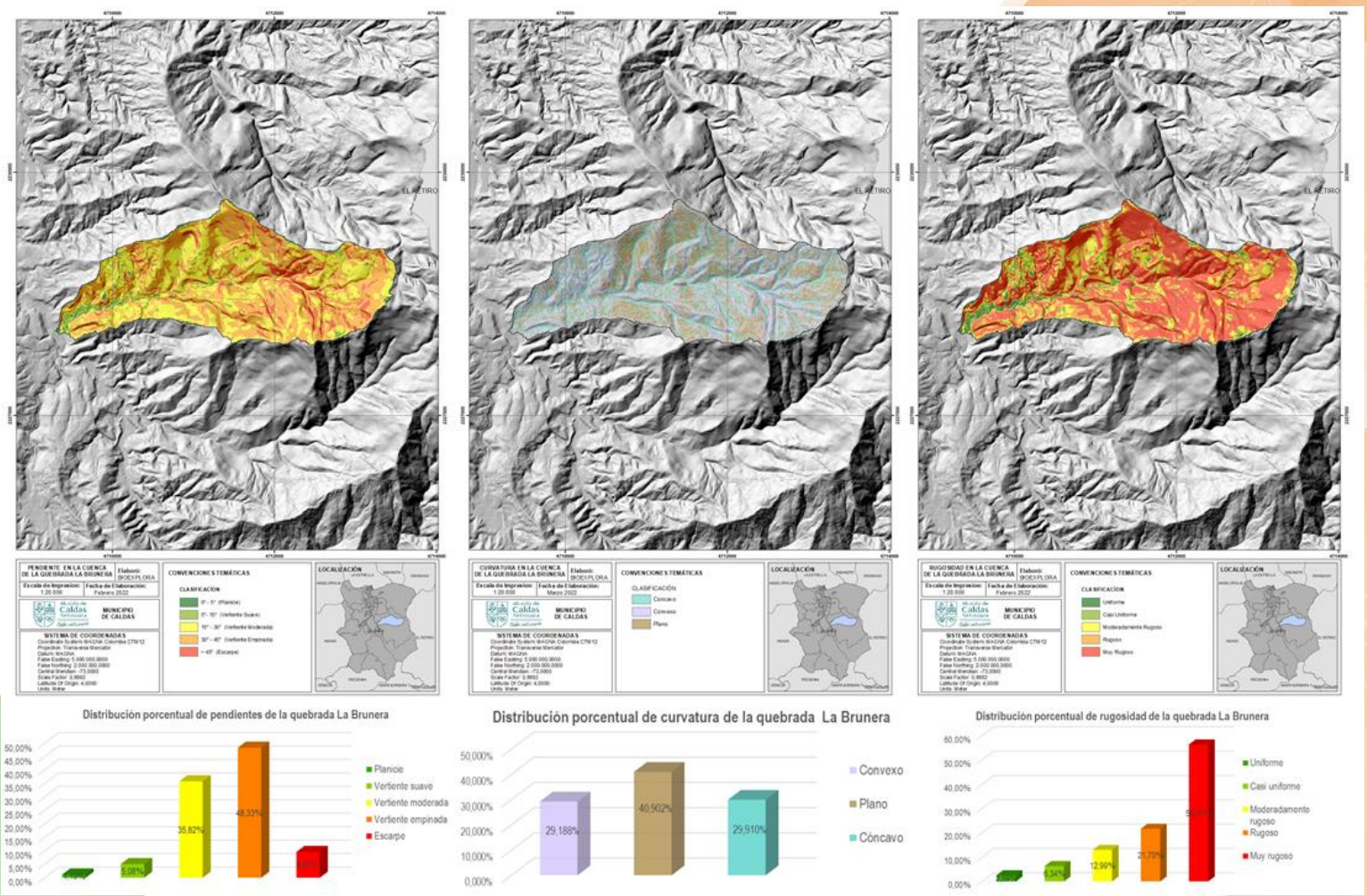


Figura 5.3-34. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada La Brunera
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca La Brunera, se tiene que:

La cuenca de la quebrada La Brunera se caracteriza por ser una cuenca de morfología alargada, con un factor de forma de 0,15, con un alto grado de evolución, dado por la alta incisión de sus quebradas a los materiales adyacentes, en donde la quebrada principal (La Brunera) presenta una distribución asimétrica (1,17), con una longitud de 5km aproximadamente. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por ser vertientes empinadas, convexas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 4,45 km2, con una altura máxima de 2839msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1792msnm.

Las vertientes que conforman cuenca La Brunera, se encuentran altamente susceptibles a procesos erosivos, esto es producto de la forma irregular del terreno, en donde en eventos de pluviosidad, el agua tiende acumularse en las capas de suelo superficial. En la zona se han identificado 7 procesos de remoción en masa, en donde 2 son de tipo traslacional activo, 2 inactivos traslacionales y el resto son cicatrices, la mayoría

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

ubicados en la parte alta de la vertiente oriental. Esta caracterización general, hace parte en su totalidad de la vereda La Clara, y dentro de esta distribución, cabe resaltar que la mayor parte de las laderas que conforman los flancos del área de influencia, se denominan geomorfológicamente lomos y espolones.

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca La Brunera se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-64. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada La Brunera.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	4,45
Perímetro (km2)	12,35
Elevación máxima (msnm)	2839
Elevación mínima (msnm)	1792
Elevación promedio (msnm)	2218
Pendiente media (%)	64%
Factor de forma (Kf)	0,15
Coeficiente de asimetría	1,17
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,63

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.18 QUEBRADA SINIFANÁ

La cuenca de la quebrada Sinifaná se localiza al Suroeste del municipio de Caldas en la vereda Sinifana. La cuenca tiene una superficie de 12,50 km², teniendo como cota mínima la 1251 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2684 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 66,7% que corresponde a un relieve ondulado característico de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural recto poco sinuoso. El cauce principal de la quebrada La Sinifaná tiene una longitud aproximada de 5 km con una pendiente media de 11,30 % considerada como moderada lo cual genera respuestas rápidas de la cuenca ante eventos de precipitación.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

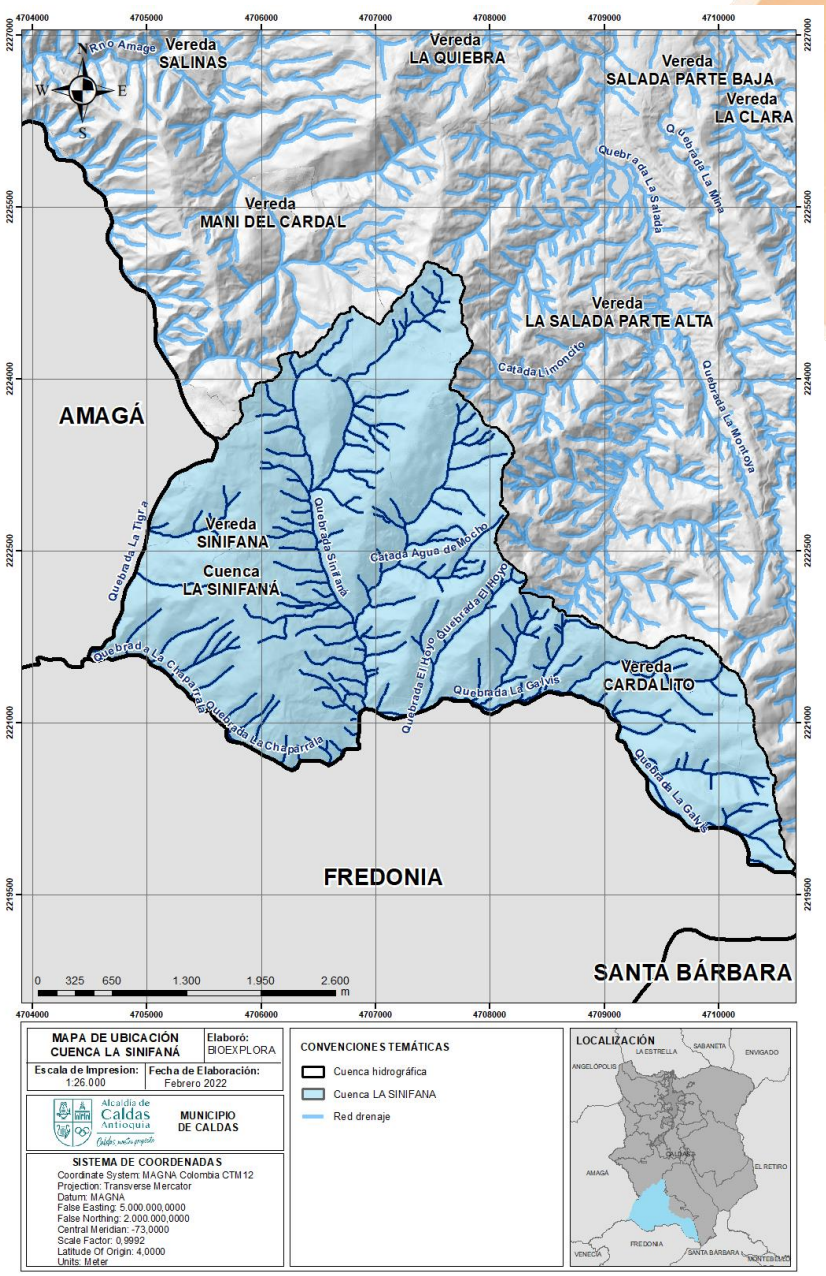


Figura 5.3-35. Mapa de ubicación de la cuenca Sinifaná.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca Sinifaná, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

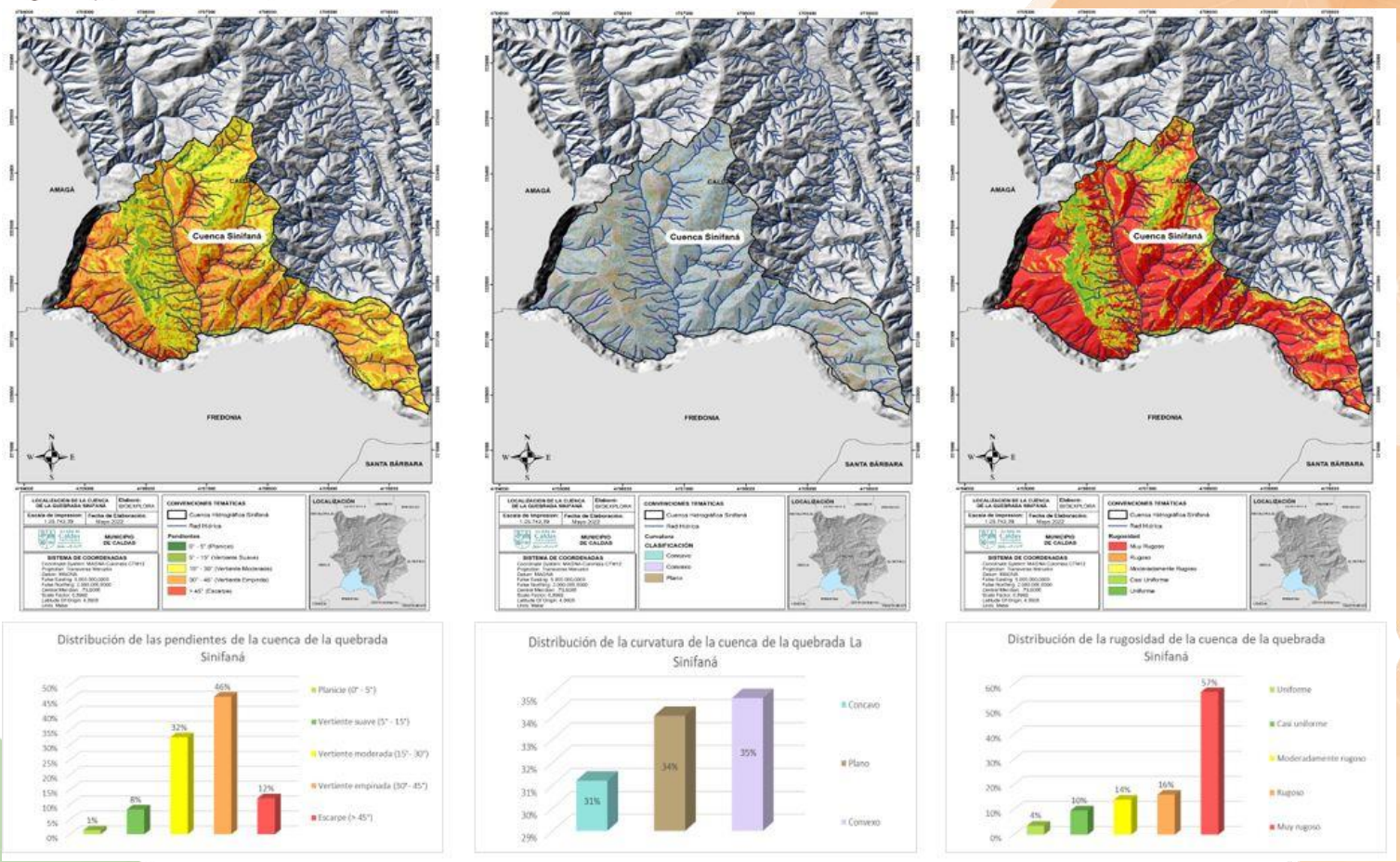


Figura 5.3-36. Morfometría: Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de la cuenca de la quebrada Sinifaná.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de la cuenca Sinifaná, se tiene que:

La cuenca de la quebrada Sinifaná se caracteriza por ser una cuenca de morfología ovalada, con un factor de forma de 0,23, con un alto grado de evolución, dado por la alta incisión de sus quebradas a los materiales adyacentes, en donde la quebrada principal (La Sinifaná) presenta una distribución asimétrica (1,33), con una longitud de 5km aproximadamente. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por ser vertientes empinadas, convexas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos se tiene que la cuenca presenta un área de 12,50 km2, con una altura máxima de 2684msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 1251msnm.

Las vertientes que conforman cuenca Sinifaná, se encuentran altamente susceptibles a procesos erosivos, esto es producto de la forma irregular del terreno, en donde en eventos de pluviosidad, el agua tiende acumularse en las capas de suelo superficial. En la zona se han identificado 32 procesos de remoción en masa, siendo una de las cuencas más afectadas por este tipo de eventos, en donde 13 son de tipo traslacional (4 inactivos, 9 activos) y el resto son relictos.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos establecidos para la cuenca Sinifaná se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5-65. Parámetros morfométricos de la cuenca quebrada Sinifaná.

Parámetros morfométricos	
Área (km2)	12,50
Perímetro (km2)	23,41
Elevación máxima (msnm)	2684
Elevación mínima (msnm)	1251
Elevación promedio (msnm)	1959
Pendiente media (%)	66%
Factor de forma (Kf)	0,23
Coeficiente de asimetría	1,33
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,56

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.19 AFLUENTES DIRECTOS AL RÍO CAUCA

La cuenca de los afluentes al río Cauca (Río Amagá), se localiza al Oeste del municipio de Caldas en las veredas Maní del Cardal, Salinas, El Potrerillo, y una parte de La Chuscala y La Quiebra. La cuenca tiene una superficie de 18,26 km² hasta el límite con el municipio de Amagá, en la cota 1405 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 2189 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 56% que corresponde a un relieve ondulado característico de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural recto poco sinuoso. El cauce principal (Río Amagá) tiene una longitud aproximada de 7,83 km con una pendiente media de 6,9 %.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

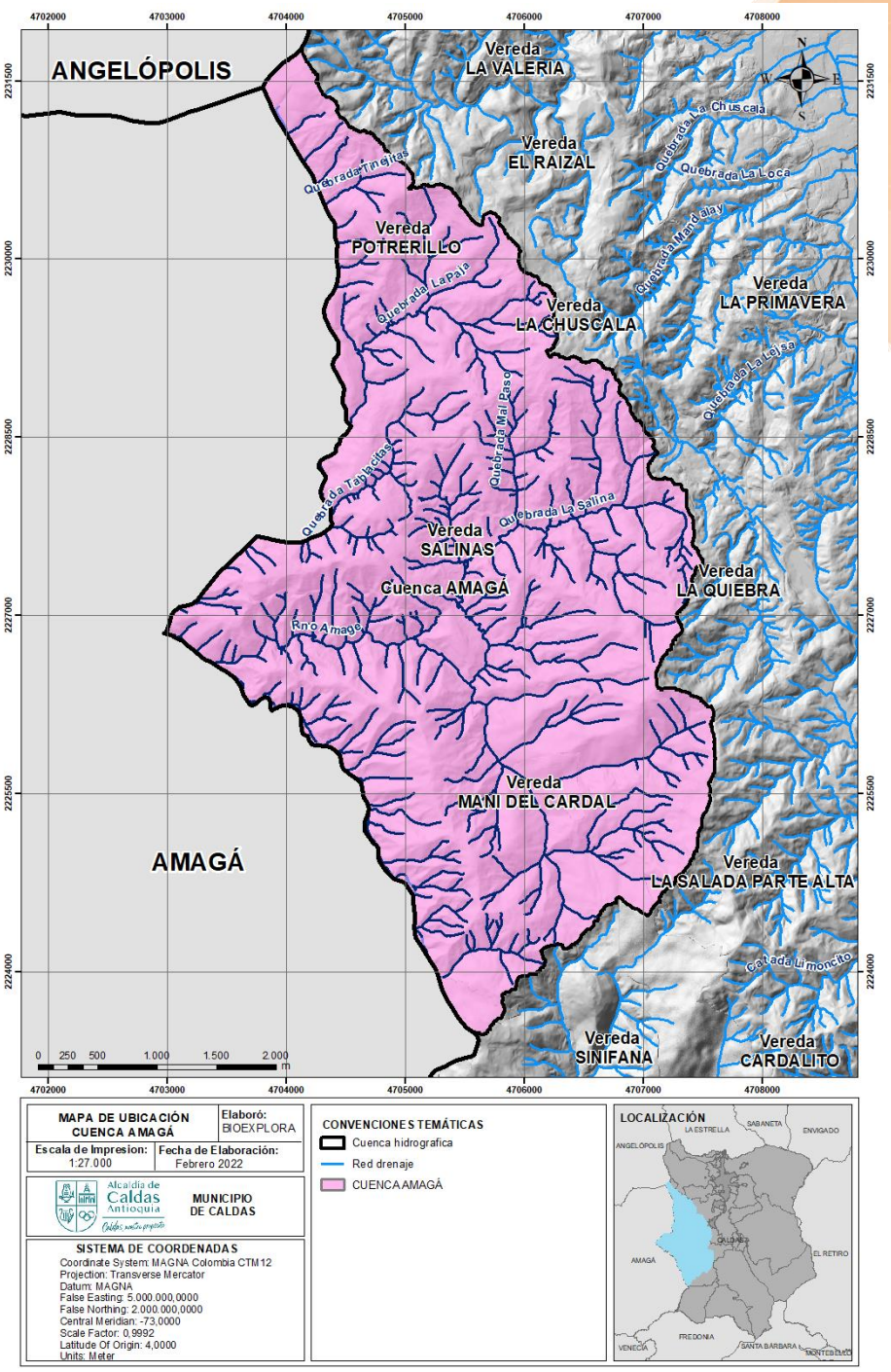


Figura 5.3-37. Mapa de ubicación de la cuenca del Río Amagá.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

Para la cuenca de los afluentes del río Cauca, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Este análisis se realizó para la cuenca del río Amagá, partiendo de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

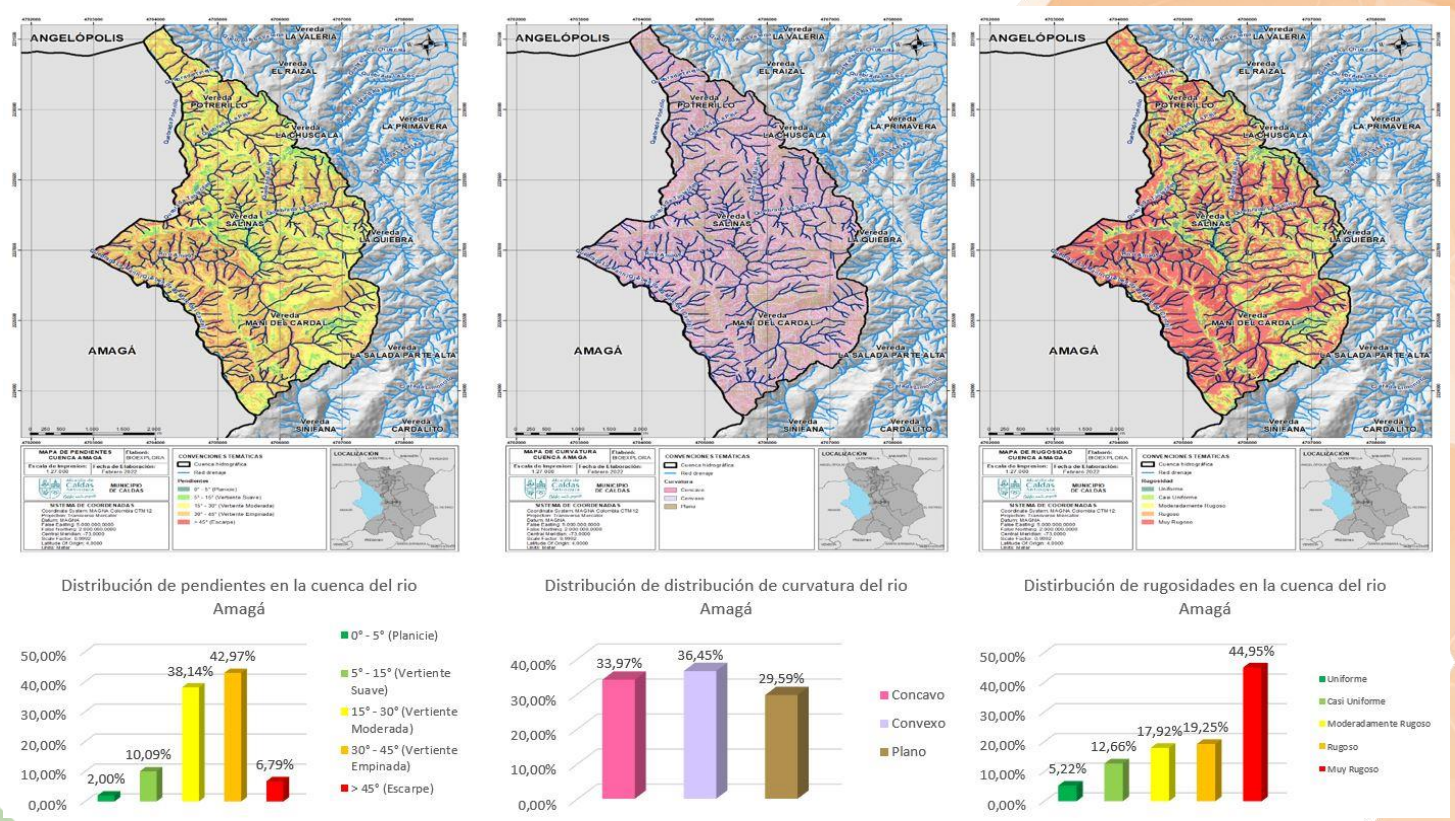


Figura 5.3-38. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de los afluentes del río Cauca
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de las microcuencas pertenecientes a los afluentes del río Cauca, se tiene que:

La cuenca de los afluentes del río Cauca está definida por la cuenca del río Amagá, presenta una morfología alargada, con un factor de forma de 0,15, poco susceptible a eventos de inundación y con una longitud del cauce principal de 7,3km de distribución asimétrica (1,92). Sus topes se caracterizan por ser estrechos, de forma cóncava, casi uniformes, y sus laderas se caracterizan por presentar pendientes fuertes, convexas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos, se tiene que la cuenca presenta un área de 18,26 km2, siendo así la cuenca de mayor extensión en la zona, con una altura promedio de 1907msnm.

Las vertientes que conforman cuenca de los afluentes del río Cauca, se encuentran altamente susceptibles a procesos erosivos, siendo zonas en donde se han desarrollado grandes espesores de suelo residual, que al saturaste por efectos de infiltración, tienden a desestabilizarse. En la zona se han identificado varios procesos de remoción en masa (79), siendo la cuenca con mayor afectación frente a este tipo de eventos. La mayoría de procesos evidenciados predominan en la parte alta de la vertiente oriental de la quebrada El Mani, la cual separa el municipio de Amagá con Caldas. Esta caracterización hace parte de las veredas Mani del Cardal, Salinas, El Potrerillo, y una parte de La Chuscala y La Quiebra.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Los principales parámetros morfométricos calculados para la cuenca perteneciente al río Cauca se resumen en la siguiente tabla.

Parámetros Morfométricos	Río Amagá
Área (Km2)	18,26
Perímetro (Km)	27,07
Elevación máxima (msnm)	2189
Elevación mínima (msnm)	1405
Elevación promedio (msnm)	1907
Pendiente media (%)	56%
Factor de forma (Kf)	0,48
Coeficiente de asimetría	1,92
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,65

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.20 RÍO ABURRÁ PARTE ALTA

La cuenca del río Medellín parte alta se localiza al Sureste del municipio de Caldas en la vereda La Clara. La cuenca tiene una superficie de 16,27 km², teniendo como cota mínima la 1834 m.s.n.m. y presenta una cota máxima de 3063 m.s.n.m., cuenta con una pendiente de 70,5% que corresponde a un relieve ondulado a escarpado característico de las laderas del Valle de Aburrá especialmente su zona sur. La cuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga y su cauce principal consiste en un canal natural sinuoso que nace en el Alto de San Miguel

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

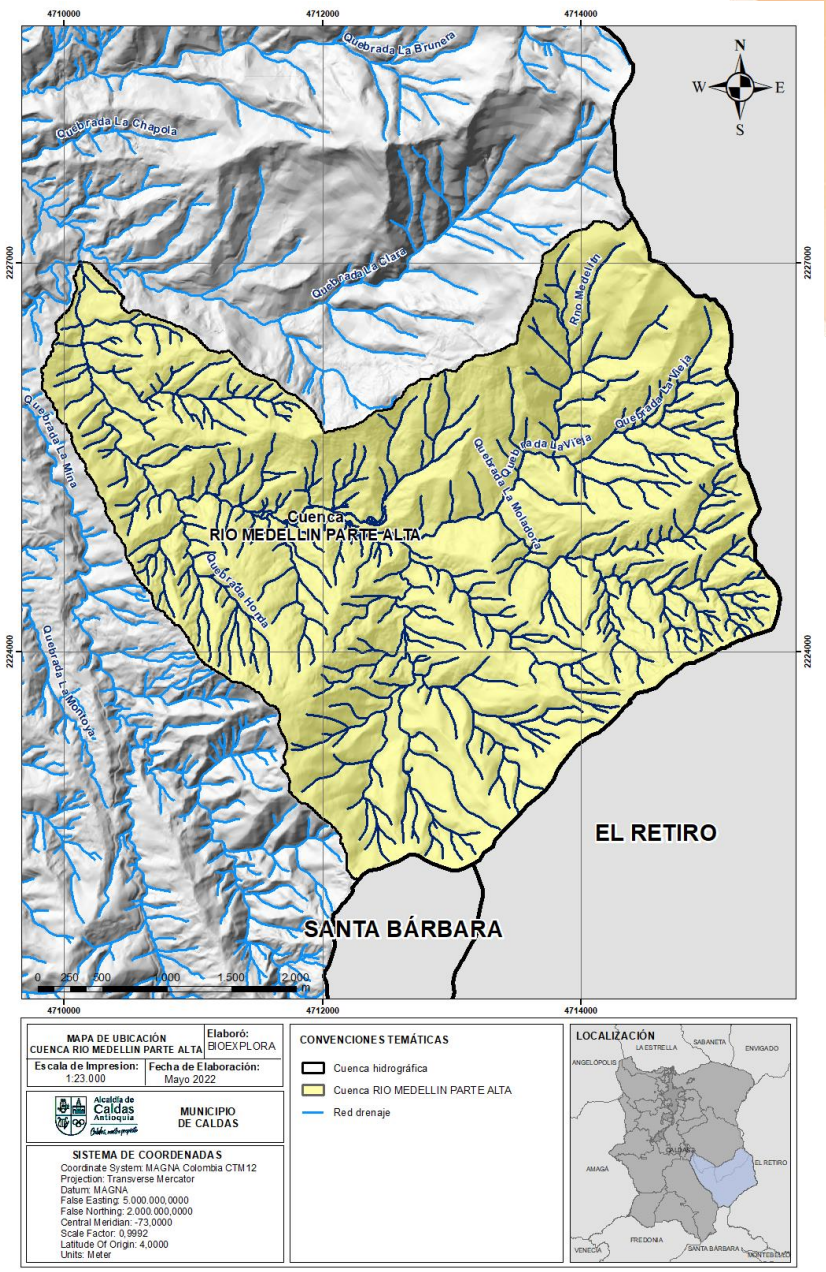


Figura 5.3-39. Mapa de ubicación de la cuenca del Río Medellín parte alta.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la cuenca del río Aburrá parte alta, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

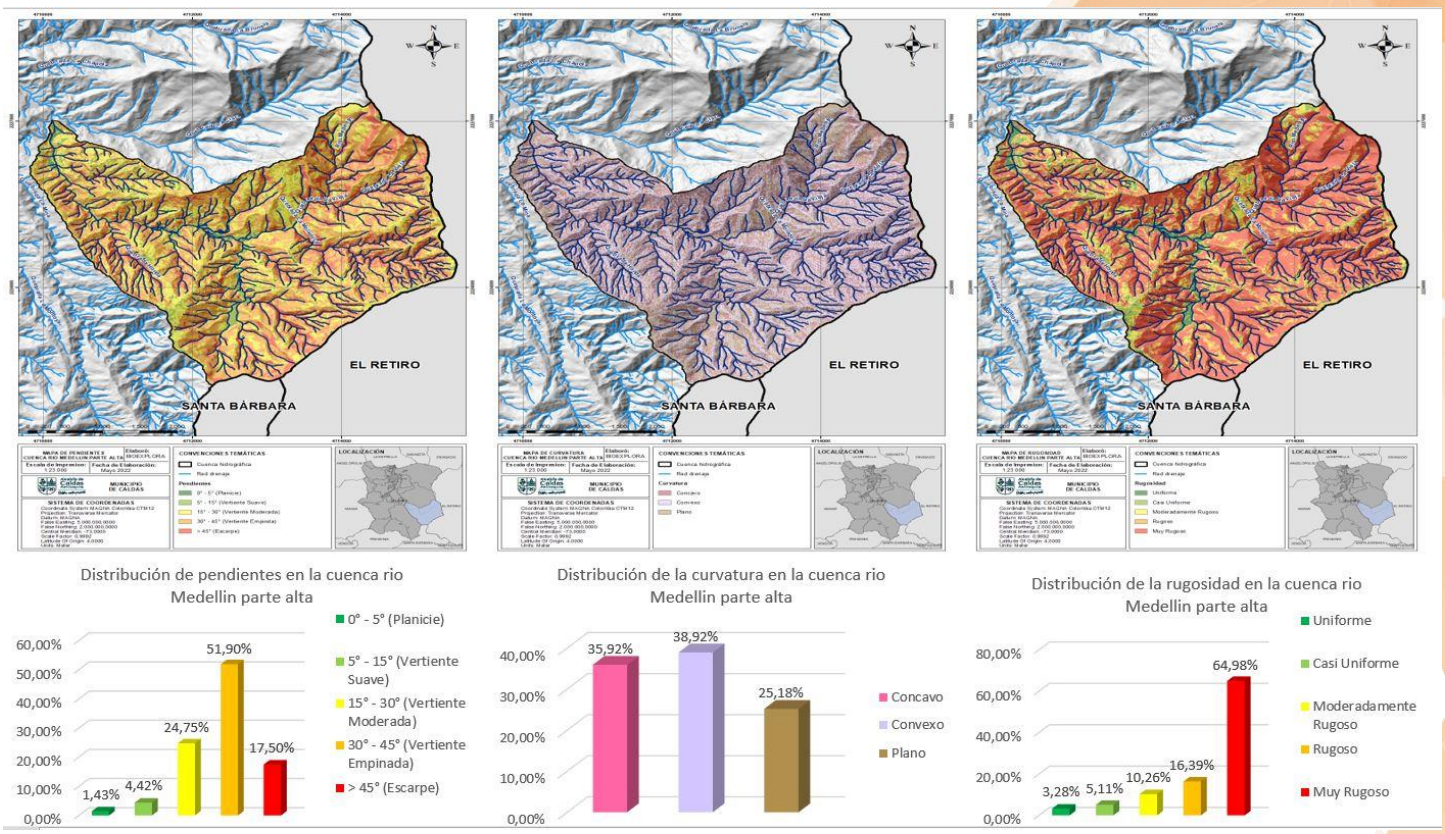


Figura 5.3-40. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura del río Aburrá parte alta
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos de las microcuencas pertenecientes a la cuenca del río Aburrá parte alta, se tiene que:

La cuenca del río Aburrá parte alta comprende principalmente 3 microcuencas que corresponden a las quebradas La Vieja y El Molador y Santa Isabel. i) La microcuenca La Vieja se caracteriza por ser de morfología alargada, con un factor de forma de 0,31, con un alto grado de evolución, dado por la alta incisión de sus quebradas a los materiales meteorizados de los esquistos de Caldas. La quebrada principal (La Vieja) presenta una distribución asimétrica (3,41), recostándose sobre la vertiente oriental y presentando una longitud de 2,9 km aproximadamente. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por ser vertientes muy empinadas, convexas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos, se tiene que la cuenca presenta un área de 3,52 km2, con una altura máxima de 3069msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 2072msnm; *ii)* la microcuenca de la quebrada La Moladora, se caracteriza por ser de morfología alargada, con un factor de forma de 0,2 y con una longitud del cauce principal de 3km de distribución simétrica (1). Sus topes se caracterizan por ser estrechos, de forma cóncava, moderadamente uniformes, y sus laderas se caracterizan por presentar pendientes fuertes, convexas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones mayores a 45°. Como principales parámetros morfométricos, se tiene que la cuenca presenta un área de 2,43 km2, con una altura promedio de 2579msnm) Por último la cuenca de la quebrada Santa Isabel, se caracteriza por ser de morfología alargada, con un factor de forma de 0,32, con un alto grado de evolución, dado por la alta incisión de sus quebradas a los materiales meteorizados de los esquistos de Caldas en su margen oriental y a las Anfibolitas del Alto de Minas en su flanco occidental. La

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

quebrada principal (Santa Isabel) presenta una distribución asimétrica (2,22), recostándose sobre la vertiente oriental y presentando una longitud de 3,22 km aproximadamente. Las laderas que contienen sus cauces se caracterizan por ser vertientes empinadas a muy empinadas, convexas, muy rugosas e irregulares, con inclinaciones en promedio entre 30-45°. Como principales parámetros morfométricos, se tiene que la cuenca presenta un área de 4,33 km2, siendo así la de mayor cobertura, con una altura máxima de 2821msnm y una altura mínima en la zona de la desembocadura de 2002 msnm.

Las vertientes que conforman cuenca del río Aburrá parte alta, se encuentran altamente susceptibles a procesos erosivos, siendo zonas de alta pendiente, con altos grados de incisión. En la zona se han identificado varios procesos de remoción en masa (52). Los procesos evidenciados se clasifican de la siguiente manera: 19 son tipo traslacional activos, 17 inactivos traslacionales, y 16 son considerados de tipo cicatriz. Esta caracterización hace parte de las veredas La Clara y El 60, y estas áreas se denominan geomorfológicamente lomos y espolones con diversos grados de incisión.

Los principales parámetros morfométricos calculados para las microcuencas pertenecientes al río Cauca se resumen en la siguiente tabla. Además, se presenta perfiles longitudinales de las corrientes principales.

Tabla 5-66. Parámetros morfométricos de la cuenca Rio Medellín parte alta.

Parámetros Morfométricos	La Vieja	El Molador	Santa Isabel
Área (Km2)	3,65	2,43	4,33
Perímetro (Km)	9,39	8,17	10,38
Elevación máxima (msnm)	3069,14	2959,2	2821,92
Elevación mínima (msnm)	2072,81	2073,91	2002,73
Elevación promedio (msnm)	2565,09	2579,16	2336.02
Pendiente media (%)	76%	78%	69%
Factor de forma (Kf)	0,31	0,2	0,32
Coeficiente de asimetría	3,41	1,01	2,23
Coeficiente de compacidad o de Gravelius	1,4	1,46	1,39

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

5.3.21 RÍO ABURRÁ Y AFLUENTES DIRECTOS

Esta zona incluye el cauce del río Aburrá desde La Clara hasta su límite norte con La Estrella, drenajes unitarios que drenan directamente al rio Aburrá, Cuencas afluentes del rio menores de 2 km^2.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

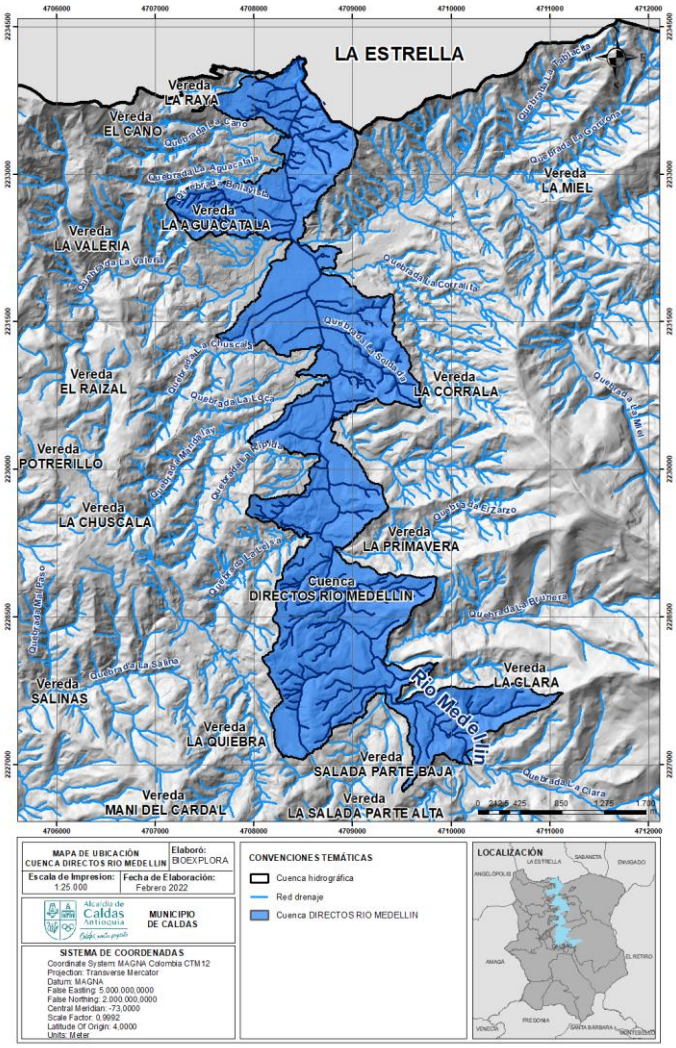


Figura 5.3-41. Mapa de ubicación de la cuenca Directos al Río Medellín.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

A partir de las condiciones topográficas de la zona de estudio, fueron analizadas diferentes características, como lo son: la pendiente, la rugosidad y la curvatura de las laderas. Para este análisis se partió de la base cartográfica suministrada por la Alcaldía de Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

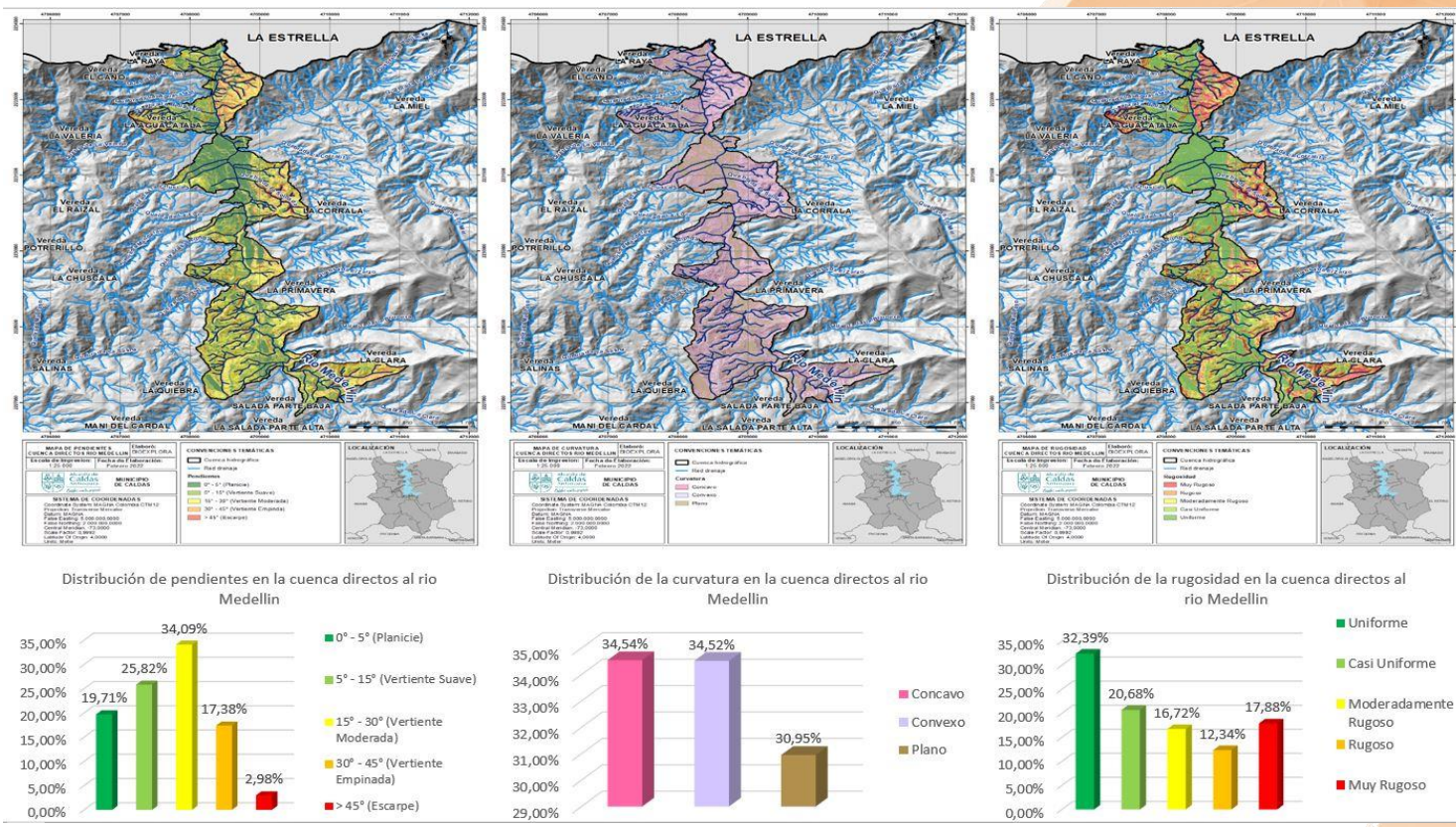


Figura 5.3-42. Mapa de pendientes, rugosidad, curvatura de los afluentes directos al río Medellín.
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

De acuerdo con los mapas y con el histograma para la distribución en general de los parámetros morfométricos se tiene que la zona de estudio se caracteriza por

El relieve es en general bajo, ya que hay predomino de rangos de pendiente moderados a bajos comprenden el 28% de toda la zona, donde el rango de mayor representación es de vertientes moderadas, que representa el 35% del área, mientras que el relieve escarpado representa menos del 5% de la zona, esta distribución de relieve permite la alta ocupación urbanística del territorio. respecto al parámetro de rugosidad, este presenta una distribución, con predomino de superficies uniformes, ya que este rango representa el 32% del territorio y la superficies casi uniformes representan el 21%, donde estas superficies hacen parte de la zonas de depósitos aluviales de bajo relieve con alta urbanización, los otros rangos que representan suelos poco uniformes a rugosos, tiene distribuciones similares entre el 12 y 18%, donde este último porcentaje corresponde a superficies rugosas, que se presenta a lo largo de las partes medias y altas de la vertientes. Respecto a la curvatura del terreno que permite inferior la distribución dela escorrentía, los terrenos de tipo cóncavo, que permiten concentración de escorrentía y convexo que la dispersan, tienen distribución similar, del 34,%, mientras que los terrenos de disposición planar representan el restante 32% del territorio.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

6 ANÁLISIS DE SUFICIENCIA HIDRÁULICA

El análisis de suficiencia hidráulica consistió en determinar la capacidad hidráulica de cada estructura y compararla con los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno, estableciendo el período de retorno de diseño de cada obra y determinando si este es suficiente para permitir del caudal de diseño en un marco de gestión del riesgo.

6.1 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS ESTRUCTURAS

A continuación, se presenta la estimación de la capacidad hidráulica de las estructuras de tipo alcantarilla y tipo cajón (box culvert), con base en la metodología descrita en la sección 6.1.1, mientras que la capacidad hidráulica de los puentes se realizó con base en la implementación de un modelo hidráulico unidimensional en el software HEC-RAS 6.3.

Las estructuras de tipo batea no fueron evaluadas, dado que por su concepción estas permiten el paso del caudal por encima de la estructura y no tienen un máximo teórico.

6.1.1 Estructuras de alcantarilla circulares y de cajón

Mediante la implementación de la metodología en mención fue posible estimar la capacidad hidráulica de 53 de 56 tuberías circulares y 6 de 7 tuberías de cajón (box culvert). Posteriormente estos valores se compararon con los caudales máximos de diferentes períodos de retorno con el objetivo de evaluar su idoneidad.

ID Obra	Corriente	Tipo	Material	n Mannig $m^{-1/3}/S$	Q m^3/s
1	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
3	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
4	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
8	Qda. La Corralita	Box	Concreto	0,014	31,55
13	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	N/A
14	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
15	Qda. La Rápida	Tubería	Concreto	0,014	5,11
18	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
19	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
20	Qda. La Loca	Tubería	Concreto	0,014	0,44
21	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
23	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
25	Sin Nombre	Tubería	PVC	0,009	0,05
26	Qda. La Aguacatala	Tubería	Concreto	0,014	1,21
27	Qda. Bellavista	Tubería	Concreto	0,014	0,44
28	Qda. La Aguacatala	Box	Concreto	0,014	2,02

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

ID Obra	Corriente	Tipo	Material	n Mannig $m^{-1/3}/S$	Q m^3/s
30	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,05
33	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
36	Qda. La Manuela	Tubería	PVC	0,009	0,44
37	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
39	Qda. La Corralita	Tubería	Metálica	0,009	24,60
40	Qda. La Corralita	Tubería	Concreto	0,014	1,21
43	Qda. El Buey	Tubería	Concreto	0,014	0,44
44	Qda. La Corralita	Tubería	Metálica	0,025	8,93
46	Qda. La Miel	Tubería	Concreto	0,014	0,65
47	Qda. La Miel	Tubería	Concreto	0,014	0,65
50	Qda. La Miel	Tubería		0,014	N/A
51	Qda. La Miel	Tubería	Concreto	0,014	0,05
55	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
56	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,65
57	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
58	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,08
59	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
64	Río Medellín	Tubería	Concreto	0,014	1,21
72	Río Medellín	Tubería	Concreto	0,014	0,08
75	Qda. La Salada	Box	Concreto	0,014	81,30
77	Sin Nombre	Box	Concreto	0,014	3,19
79	Sin Nombre	Box	Concreto	0,014	0,56
81	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
82	Qda. La Salina	Tubería	Concreto	0,014	0,16
83	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
84	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
85	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
87	Qda. La Salina	Box	Concreto	0,014	2,02
88	Qda. San Francisco	Tubería		0,014	N/A
90	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
91	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
93	Sin Nombre	Tubería	PVC	0,009	0,16
98	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,01
99	Sin Nombre	Tubería		0,014	0,05
100	Sin Nombre	Tubería	PVC	0,009	0,00

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

ID Obra	Corriente	Tipo	Material	n Mannig $m^{-1/3}/S$	Q m^3/s
102	Qda. La Corralita	Tubería	Concreto	0,014	1,21
103	Sin Nombre	Box	Concreto	0,014	N/A
105	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
106	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
107	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
114	Qda. San José	Tubería	Concreto	0,014	0,44
116	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,65
117	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
118	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
119	Sin Nombre	Tubería	PVC	0,009	0,16
120	Sin Nombre	Tubería	-	0,014	N/A
114	Qda. San José	Tubería	Concreto	0,014	0,44
116	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,65
117	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
118	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
119	Sin Nombre	Tubería	PVC	0,009	0,16
120	Sin Nombre	Tubería	-	0,014	N/A
114	Qda. San José	Tubería	Concreto	0,014	0,44
116	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,65
117	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
118	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
119	Sin Nombre	Tubería	PVC	0,009	0,16
120	Sin Nombre	Tubería	-	0,014	N/A
114	Qda. San José	Tubería	Concreto	0,014	0,44
116	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,65
117	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	0,44
118	Sin Nombre	Tubería	Concreto	0,014	1,21
119	Sin Nombre	Tubería	PVC	0,009	0,16
120	Sin Nombre	Tubería	-	0,014	N/A

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

6.1.2 Estructuras tipo puente

Para las estructuras tipo puente que tienen características uniformes (sección y material) se aplicó la metodología de chequeo para box culvert; para los demás puentes se implementó modelo hidráulico tal como ejemplifica en las siguientes figuras.

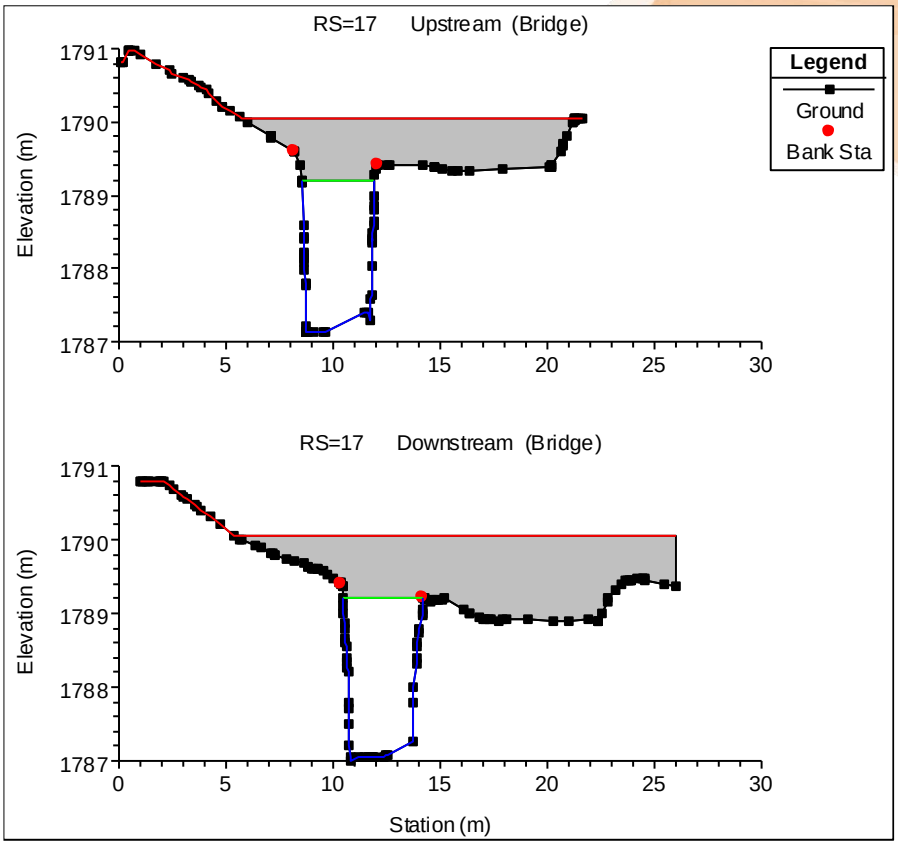


Figura 6.1-1. Implementación de estructuras hidráulicas en el HEC-RAS, vista en sección - Obra 41
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

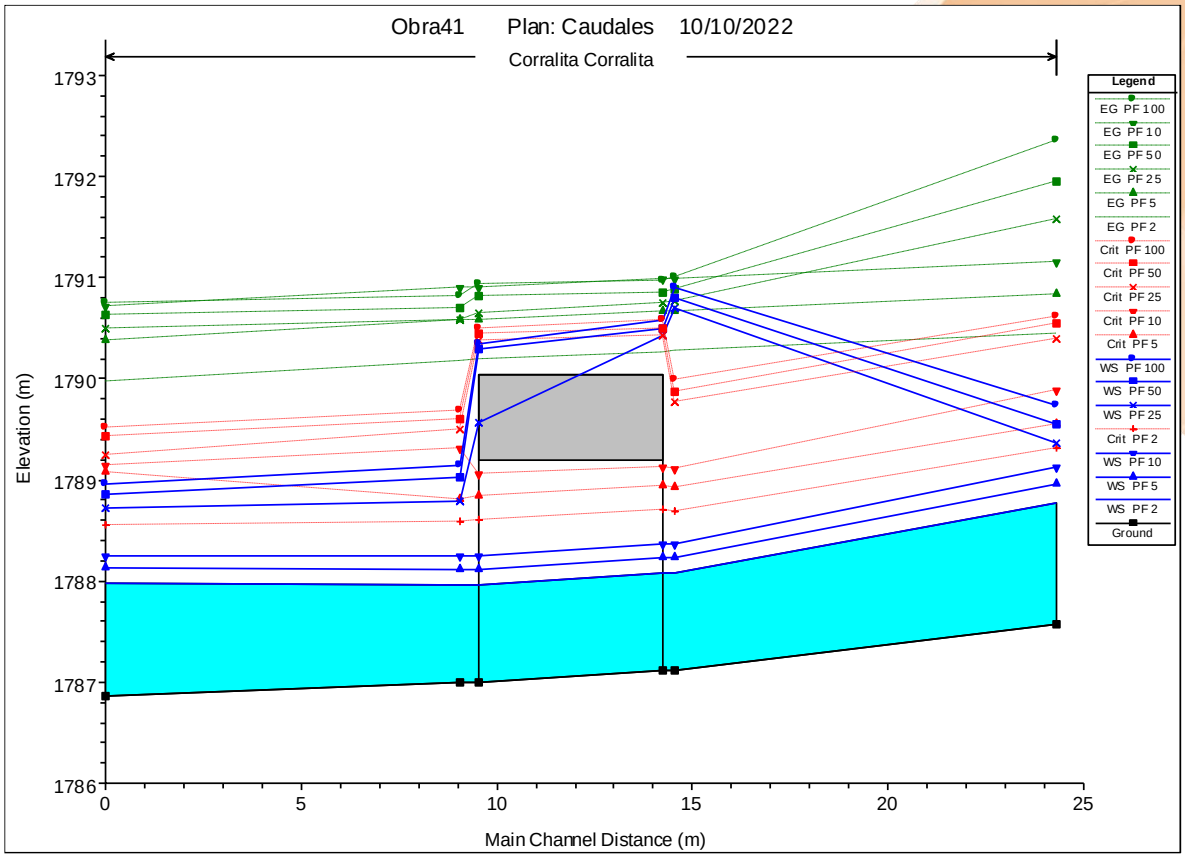


Figura 6.1-2. Implementación de estructuras en el HEC-RAS, vista en perfil Obra – 41
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

Tabla 6-1. Estimación de la capacidad hidráulica de las estructuras tipo puente

ID Obra	Corriente	Tipo	n Mannig $m^{-1/3}/S$	Q m^3/s
5	Río Medellín	Puente	0,035	N/A[2]
6	Qda. La Corralita	Puente	0,035	31,6
16	Río Medellín	Puente	0,035	640,3
17	Qda. La Chuscala	Puente	0,035	15,9
24	Río Medellín	Puente	0,035	640,3
32	Qda. La Cano	Puente	0,035	64,8
41	Qda. La Corralita	Puente	0,035	19,8
42	Qda. La Corralita	Puente	0,035	19,4
45	Qda. La Corralita	Puente	0,035	64,7
48	Qda. La Miel	Puente	0,035	197,7
52	Río Medellín	Puente	0,035	1764,2
53	Qda. La Mina	Puente	0,035	31,6
60	Qda. La Salada	Puente	0,035	20,0

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

ID Obra	Corriente	Tipo	n Mannig $m^{-1/3}/S$	Q m^3/s
61	Qda. La Salada	Puente	0,035	5,6
63	Qda. La Salada	Puente	0,035	113,2
65	Río Medellín	Puente	0,035	11,5
66	Río Medellín	Puente	0,035	11,5
67	Río Medellín	Puente	0,035	11,5
68	Río Medellín	Puente	0,035	20,0
69	Qda. La Clara	Puente	0,035	5,6
71	Río Medellín	Puente	0,035	36,1
73	Qda. La Chapola	Puente	0,035	34,8
74	Río Medellín	Puente	0,035	113,2
76	Qda. La Salina	Puente	0,035	640,3
80	Qda. La Montoya	Puente	0,035	31,6
86	Qda. El Rosal	Puente	0,035	640,3
89	Sin Nombre	Puente	0,035	640,3
94	Sin Nombre	Puente	0,035	2,0
95	Sin Nombre	Puente	0,035	113,2
108	Qda. La Corrala	Puente	0,035	64,8
109	Qda. La Corrala	Puente	0,035	113,2

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

6.2 ESTUDIO HDIROLÓGICO

En esta sección se presentan los estimativos de caudales máximos para la evaluación de la suficiencia hidráulica de las estructuras inventariadas.

6.2.1 Análisis de susceptibilidad y determinación de corrientes a estudiar

Con el objetivo de analizar las corrientes susceptibles a generar eventos de inundación UNAL (2018) sugiere que las corrientes con una cuenca hidrográfica mayor que 0,8 km^2 pueden generar eventos de inundación que representen una amenaza potencial; sin embargo, con el objetivo de ser conservadores se consideraron corrientes con una cuenca hidrográfica mayor que 0,4 km^2. De esta manera, en la siguiente figura se presentan las corrientes estudiadas con respecto a la red de drenaje del municipio Caldas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

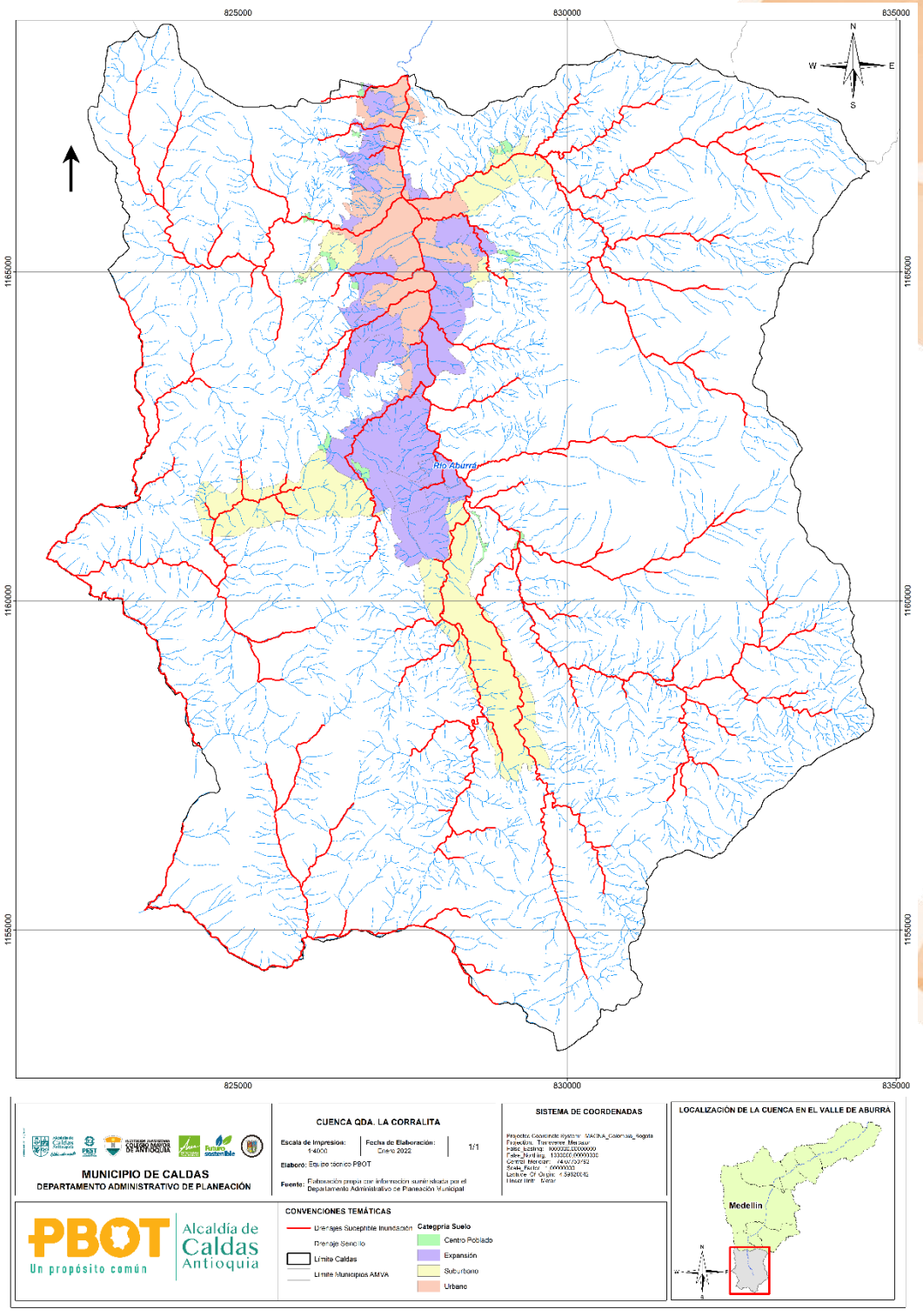


Figura 6.2-1. Red de drenaje municipal y corrientes susceptibles a eventos de inundación
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

6.2.2 Caracterización de la red de drenaje

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 otros parámetros morfométricos tales como el factor de forma, la relación de bifurcación, la relación de longitudes, entre otros permiten inferir sobre el comportamiento hidrológico que pueda tener la cuenca ante la ocurrencia de eventos extremos.
A continuación, se presentan los parámetros morfométricos de las 21 cuencas estudiadas, las cuales corresponden a las corrientes que descargan directamente al río Medellín, río Amagá y Quebrada Sinifaná, adicionalmente se incluyen otros parámetros de otras quebradas importantes. Por otra parte, los parámetros morfométricos de las demás cuencas estudiadas se presentan en el ANEXO C.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

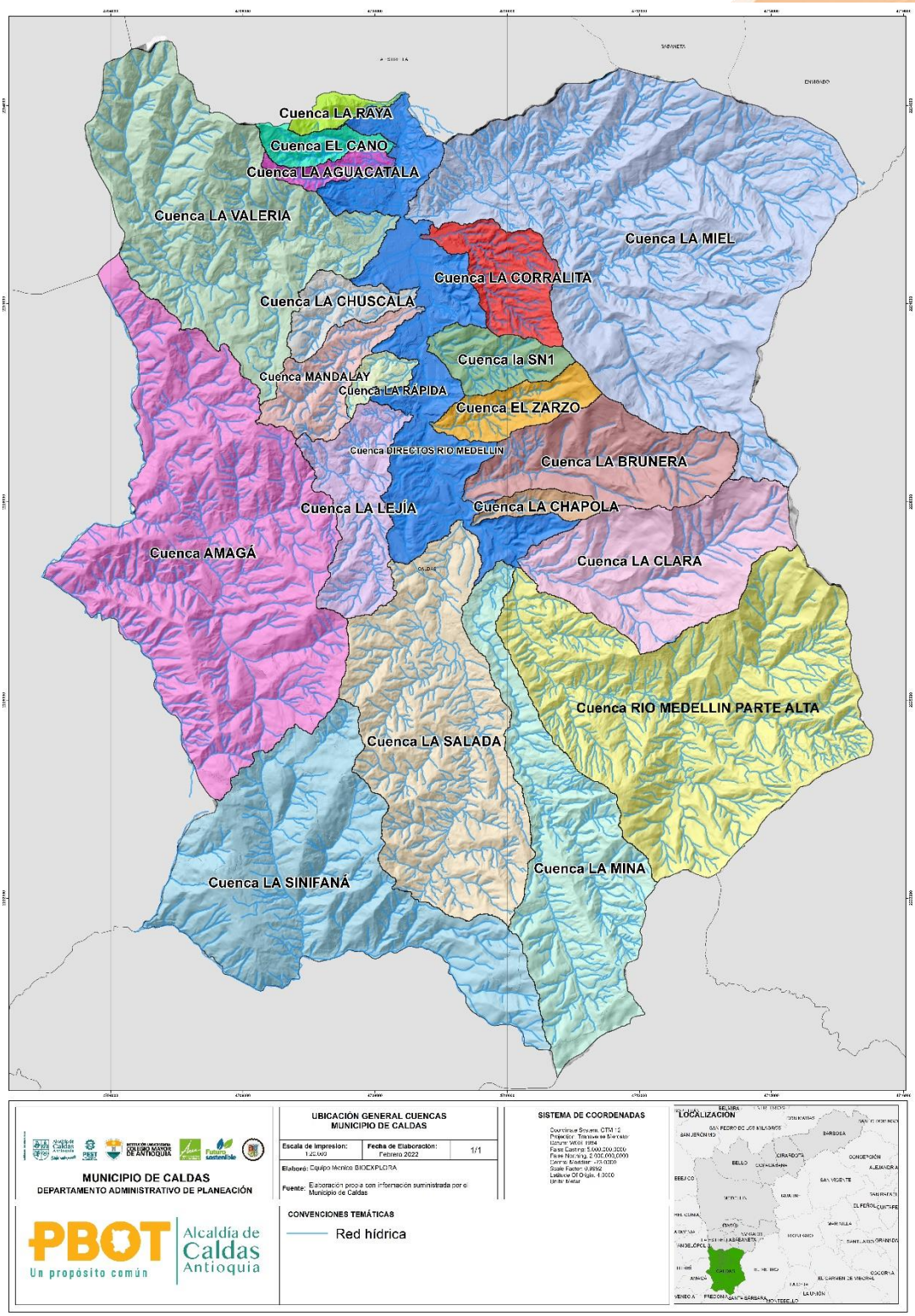


Figura 6.2-2. Cuencas hidrográficas definidas para el municipio de Caldas.
Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-2. Caracterización de la red de drenajes

Parámetro		R.Medellín	R. Amagá	Q.Aguacatala	Q.Brunera	Q.Cano	Q.Chaparrala	Q.Chapola	Q.Chuscala	Q.Clara
Cuenca	Área [km2]		10.98	0.64	4.46	0.83	6.80	0.61	1.26	6.35
	Perímetro [km]		19.53	6.01	12.36	6.23	13.42	5.27	7.28	14.10
	Longitud máxima [km]		7.77	2.72	5.37	2.86	5.43	2.49	3.19	5.94
	Ancho [km]		1.41	0.23	0.83	0.29	1.25	0.25	0.39	1.07
	Distancia al centroide [km]		3.41	1.30	2.87	1.39	2.86	1.27	1.88	3.36
	Elevación máxima [msnm]		2189.59	2240.51	2839.26	2400.00	2699.33	2255.03	2037.14	3088.38
	Elevación mínima [msnm]		1471.57	1726.66	1792.97	1719.86	1563.03	1807.95	1742.13	1832.04
	Diferencia de elevaciones [m]		718.02	513.85	1046.29	680.14	1136.30	447.08	295.01	1256.34
	Elevación media [msnm]		1900.69	1911.80	2218.83	2004.26	2108.58	1982.04	1863.89	2298.18
	Pendiente media [%]		0.55	0.50	0.64	0.66	0.63	0.54	0.44	0.63
Cauce	Longitud [km]		7.34	2.22	5.02	2.40	5.03	2.07	2.80	5.32
	Pendiente media [m/m]		0.07	0.17	0.18	0.17	0.19	0.14	0.05	0.18
	Elevación Máxima [msnm]		1974.06	2091.02	2682.31	2131.99	2521.70	2088.03	1895.79	2785.95
Red Drenaje	Máximo orden Horton-Strahler		4.00	2.00	3.00	2.00	4.00	1.00	3.00	4.00
	Numero de Corrientes		89.00	4.00	36.00	6.00	44.00	1.00	13.00	53.00
	Longitud total de Corrientes [km]		36.51	2.67	15.27	3.26	23.14	2.07	4.79	22.63
	Frecuencia de Corrientes de primer orden		6.10	4.72	6.28	6.02	5.15	1.64	7.16	6.30
	Densidad de drenaje [km/km2]		3.33	4.20	3.42	3.93	3.40	3.38	3.81	3.56
	Frecuencia de drenaje [und/km2]		8.11	6.29	8.07	7.23	6.47	1.64	10.34	8.35
	Relación de bifurcación [Horton]		4.08	3.00	5.29	5.00	3.24	-	3.00	3.38
	Relación de longitudes [Horton]		2.63	0.35	3.87	12.63	1.39	-	3.50	1.90
	Relación de áreas [Horton]		4.79	3.12	6.86	10.72	3.80	-	4.19	4.01
	Relación de aspecto [Horton]		1.57	1.78	1.74	2.89	1.40	-	1.95	1.82
Índices	Coeficiente compacidad		1.65	2.11	1.64	1.92	1.44	1.89	1.82	1.57
	Relación de circularidad		0.36	0.22	0.37	0.27	0.47	0.28	0.30	0.40
	Diámetro topológico		25.00	3.00	19.00	5.00	17.00	1.00	6.00	22.00
	Relación de elongación		0.48	0.33	0.44	0.36	0.54	0.35	0.40	0.48
	Factor de forma		0.18	0.09	0.15	0.10	0.23	0.10	0.12	0.18
	Coeficiente de masividad		173.18	3006.48	497.56	2414.43	310.25	3245.04	1483.03	361.93
	Coeficiente orográfico		0.05	0.42	0.25	0.56	0.19	0.33	0.07	0.25
	Coeficiente de estabilidad		0.30	0.24	0.29	0.25	0.29	0.30	0.26	0.28
	Índice de asimetría		1.93	2.17	1.18	1.43	1.12	1.11	1.33	1.32

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-3. Caracterización de la red de drenajes, continuación

Parámetro		Q.Corralita	Q.Honda	Q.Lejía	Q.Mandalay	Q.Maní	Q.Miel	Q.Mina	Q.Moladora	Q.Paja
Cuenca	Área [km2]	2.20	0.88	3.08	1.95	3.82	22.30	8.01	2.44	7.36
	Perímetro [km]	9.16	5.14	12.35	9.99	11.59	29.43	22.09	8.18	18.61
	Longitud máxima [km]	4.19	2.13	5.24	4.10	5.55	11.26	10.89	3.44	7.39
	Ancho [km]	0.53	0.41	0.59	0.48	0.69	1.98	0.74	0.71	1.00
	Distancia al centroide [km]	1.93	1.00	2.46	2.02	2.83	4.79	5.82	1.81	4.11
	Elevación máxima [msnm]	2303.44	2509.43	2157.96	2111.43	2128.13	3109.13	2704.24	2959.20	2185.95
	Elevación mínima [msnm]	1734.88	1913.98	1790.78	1746.97	1473.00	1730.35	1834.36	2073.91	1404.01
	Diferencia de elevaciones [m]	568.56	595.45	367.18	364.46	655.13	1378.78	869.88	885.29	781.94
	Elevación media [msnm]	1900.87	2187.86	1924.18	1916.13	1854.98	2252.15	2295.90	2579.17	1934.13
	Pendiente media [%]	0.51	0.76	0.43	0.49	0.61	0.60	0.61	0.78	0.51
Cauce	Longitud [km]	3.66	1.75	4.90	3.53	5.20	10.88	10.42	3.03	6.89
	Pendiente media [m/m]	0.09	0.24	0.04	0.06	0.10	0.11	0.07	0.24	0.09
	Elevación Máxima [msnm]	2064.92	2334.69	2016.24	1960.20	1986.13	2914.01	2558.64	2802.97	2023.93
Red Drenaje	Máximo orden Horton-Strahler	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	4.00	3.00	4.00
	Numero de Corrientes	26.00	8.00	28.00	15.00	34.00	197.00	68.00	21.00	63.00
	Longitud total de Corrientes [km]	10.68	3.00	10.97	7.74	12.49	86.67	28.64	8.24	23.64
	Frecuencia de Corrientes de primer orden	8.62	5.65	6.82	5.64	7.60	7.08	6.74	6.56	6.66
	Densidad de drenaje [km/km2]	4.85	3.39	3.56	3.97	3.27	3.89	3.57	3.38	3.21
	Frecuencia de drenaje [und/km2]	11.79	9.04	9.09	7.69	8.91	8.83	8.48	8.61	8.56
	Relación de bifurcación [Horton]	2.59	2.24	4.58	3.32	5.39	3.61	3.92	4.00	3.63
	Relación de longitudes [Horton]	1.54	0.78	4.27	2.84	3.79	1.87	3.15	2.95	2.69
	Relación de áreas [Horton]	3.08	2.85	6.00	4.50	6.41	4.09	4.89	5.32	4.24
	Relación de aspecto [Horton]	1.75	2.21	1.66	1.99	1.37	1.94	1.86	1.33	1.59
Índices	Coeficiente compacidad	1.73	1.53	1.97	2.00	1.66	1.75	2.18	1.47	1.92
	Relación de circularidad	0.33	0.42	0.25	0.25	0.36	0.32	0.21	0.46	0.27
	Diámetro topológico	13.00	4.00	14.00	5.00	25.00	52.00	26.00	13.00	25.00
	Relación de elongación	0.40	0.50	0.38	0.38	0.40	0.47	0.29	0.51	0.41
	Factor de forma	0.13	0.19	0.11	0.12	0.12	0.18	0.07	0.21	0.13
	Coeficiente de masividad	862.24	2473.31	624.77	981.87	486.08	100.99	286.48	1058.04	262.89
	Coeficiente orográfico	0.15	0.40	0.04	0.07	0.11	0.09	0.09	0.32	0.08
	Coeficiente de estabilidad	0.21	0.29	0.28	0.25	0.31	0.26	0.28	0.30	0.31
	Índice de asimetría	2.35	3.16	1.26	1.35	1.05	4.22	1.91	1.01	2.24

Fuente: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-4. Caracterización de la red de drenajes, continuación

Parámetro		Q. Rápida	Q. Salada	Q. Sinifaná	Q.Sta Bárbara	Q.Sta Isabel	Q.Tigra	Q.Valeria	Q.Vieja	Q.Zarzo
Cuenca	Área [km2]	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 Corrientes de primer orden	5.60	6.44	6.67	7.98	7.38	5.63	6.68	6.53	6.63
	Densidad de drenaje [km/km2]	3.78	3.35	3.22	3.42	3.59	2.73	3.38	3.41	3.39
	Frecuencia de drenaje [und/km2]	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	Coeficiente 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
	Coeficiente de masividad	3478.82	184.20	321.15	946.01	538.46	1116.41	183.80	728.08	1332.83
	Coeficiente orográfico	0.08	0.03	0.08	0.12	0.15	0.46	0.07	0.28	0.29
	Coeficiente 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: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

6.2.3 Tormenta de diseño

La respuesta de la cuenca 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.

6.2.3.1 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 6-2 a Tabla 6-4), se utilizaron las fórmulas empíricas descritas en la sección 4.2.3.2.1 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 inter-cuartil 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 C.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-5. Tiempos de concentración estimados para las cuencas principales

Metodología	R.Medellín	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: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-6. Tiempos de concentración de 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
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
Temez	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: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-7. Tiempos de concentración de 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
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: Actualización de la red hídrica del municipio de Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

6.2.3.2 Intensidad y frecuencia de la lluvia

Tal como se describió en la sección 4.2.3.2.2, 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 6-8. 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: PBOT Caldas, 2022

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 C.

Tabla 6-9. Intensidad de la lluvia asociada a cada período de retorno para las cuencas principales

Cuenca	TR 2	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200	TR 500
R. MEDELLÍN	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
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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Cuenca	TR 2	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200	TR 500
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 RAPIDA	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

Fuente: PBOT Caldas, 2022

6.2.3.3 Factor de reducción de lluvia

Con base en la metodología descrita en la sección 4.2.3.2.3, se estimaron los siguientes factores de reducción de la lluvia de las cuencas principales. Mientras que, en el Anexo A, se presentan los factores de reducción para las demás corrientes.

Tabla 6-10. Factor de reducción de la lluvia en función del área y el tiempo de concentración

Cuenca	FRA
R. MEDELLÍN	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
Q. LA MOLADORA	0.97
Q. LA PAJA	0.94
Q. LA PEÑA	0.98
Q. LA RAPIDA	1.00
Q. LA SALADA	0.93
Q. SINIFANÁ	0.95
Q. STA BARBARA	0.97
Q. STA ISABEL	0.96
Q. LA TIGRA	0.99
Q. LA VALERIA	0.93

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Cuenca	FRA
Q. LA VIEJA	0.96
Q. ZARZO	0.99

Fuente: PBOT Caldas, 2022

6.2.3.4 Distribución temporal de la lluvia

Como se describe en la sección 4.2.3.2.4, 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.

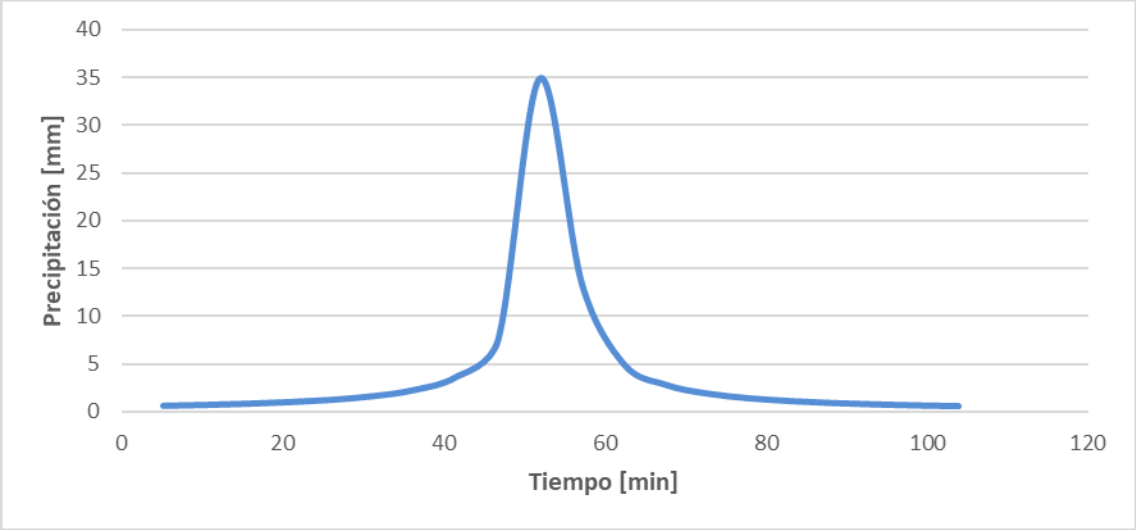


Figura 6.2-3. Distribución temporal de la precipitación con un período de retorno de 100 años en la Q. La Valeria
Fuente: PBOT Caldas, 2022

6.2.3.5 Perdidas Hidrológicas

Utilizando la metodología propuesta por el NRCS, tal como se describió en la sección 4.2.3.2.5 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 6.2-4 y Figura 6.2-5 se muestra el tipo de suelo y las coberturas en el municipio de Caldas, mientras que en la Tabla 6-11 se presentan los números de curva (CN) definidos para cada cobertura identificada en el POT y su relación con las coberturas definidas por el NRCS. En la Tabla 6-12 se presenta el grupo hidrológico definido para cada tipo de suelo identificado en el POT.
El CN se obtiene del cruce de la cobertura vegetal con el grupo hidrológico asociado a cada tipo de suelo (Ver Figura 6.2-6).

Tabla 6-11. Coeficiente de escorrentia (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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Cobertura POT	Cobertura NRCS	A	B	C	D
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 secundari	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: PBOT Caldas, 2022

Tabla 6-12. 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
HBfl	B	TEf2	B
LPb	B	YAe1	B
NQe1	B	YAf1	B
NQf3	B	ZU	B

Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

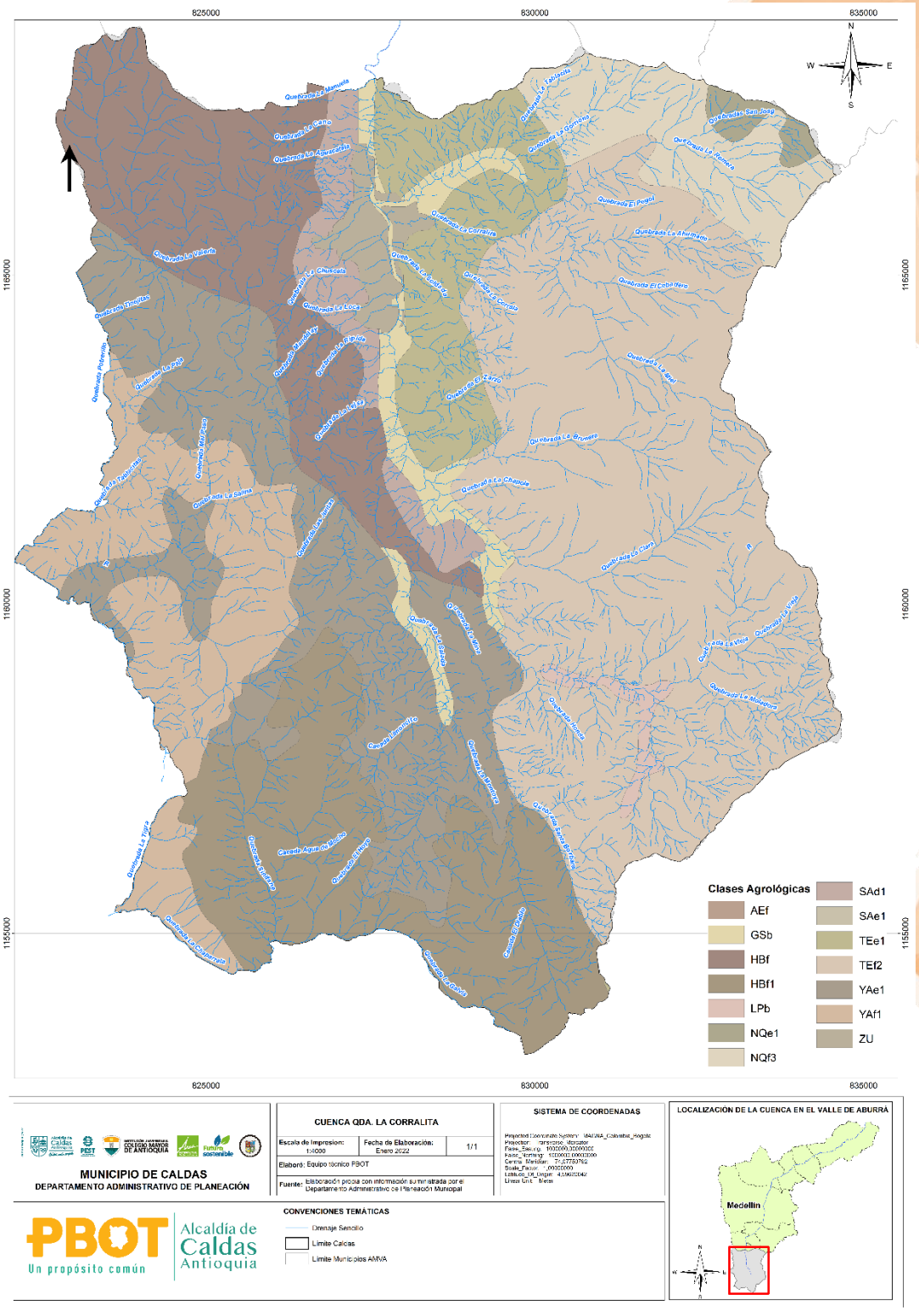


Figura 6.2-4. Clasificación agrológica de los suelos en el municipio de Caldas
Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

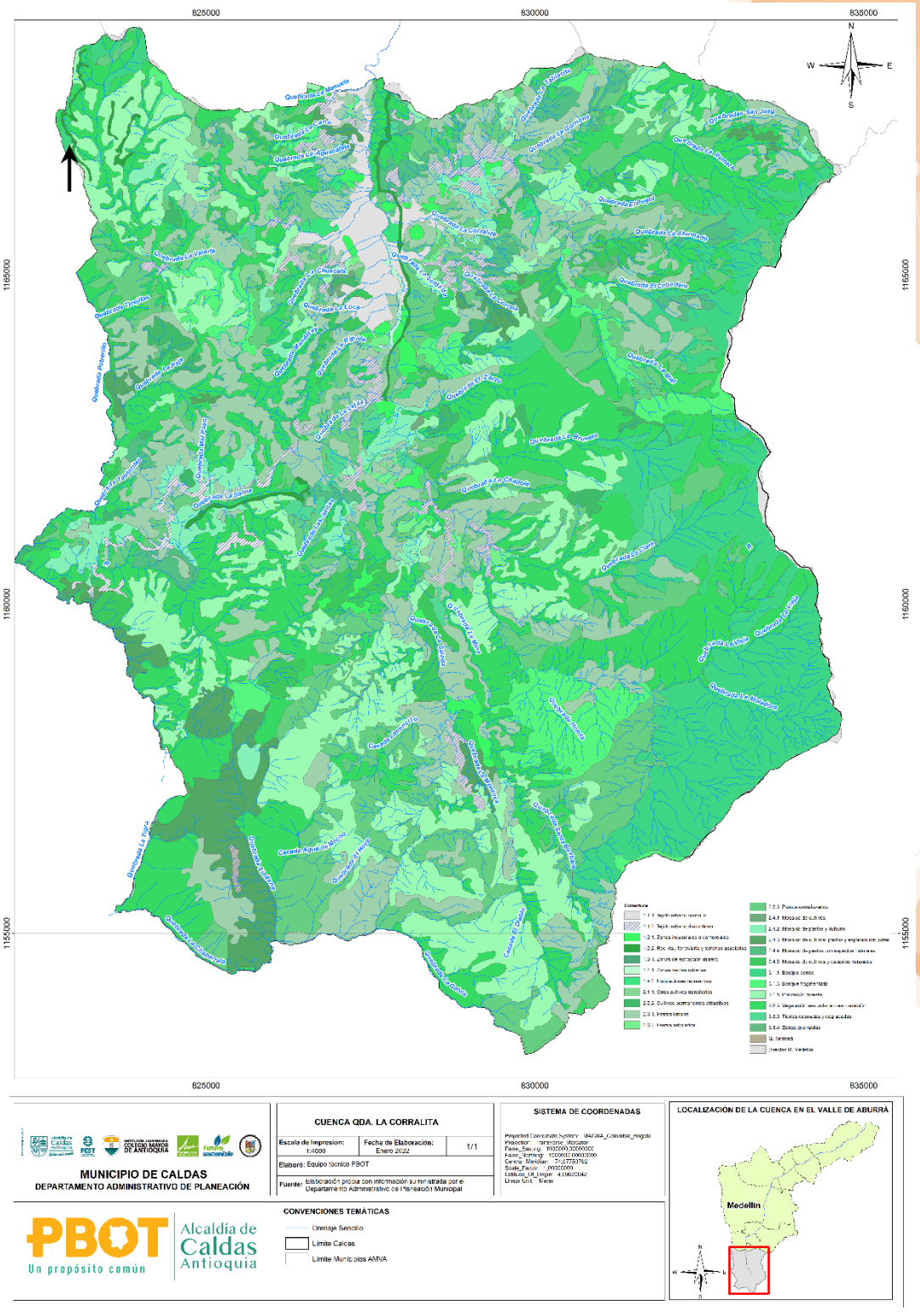


Figura 6.2-5. Cobertura vegetal en el municipio de Caldas
Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

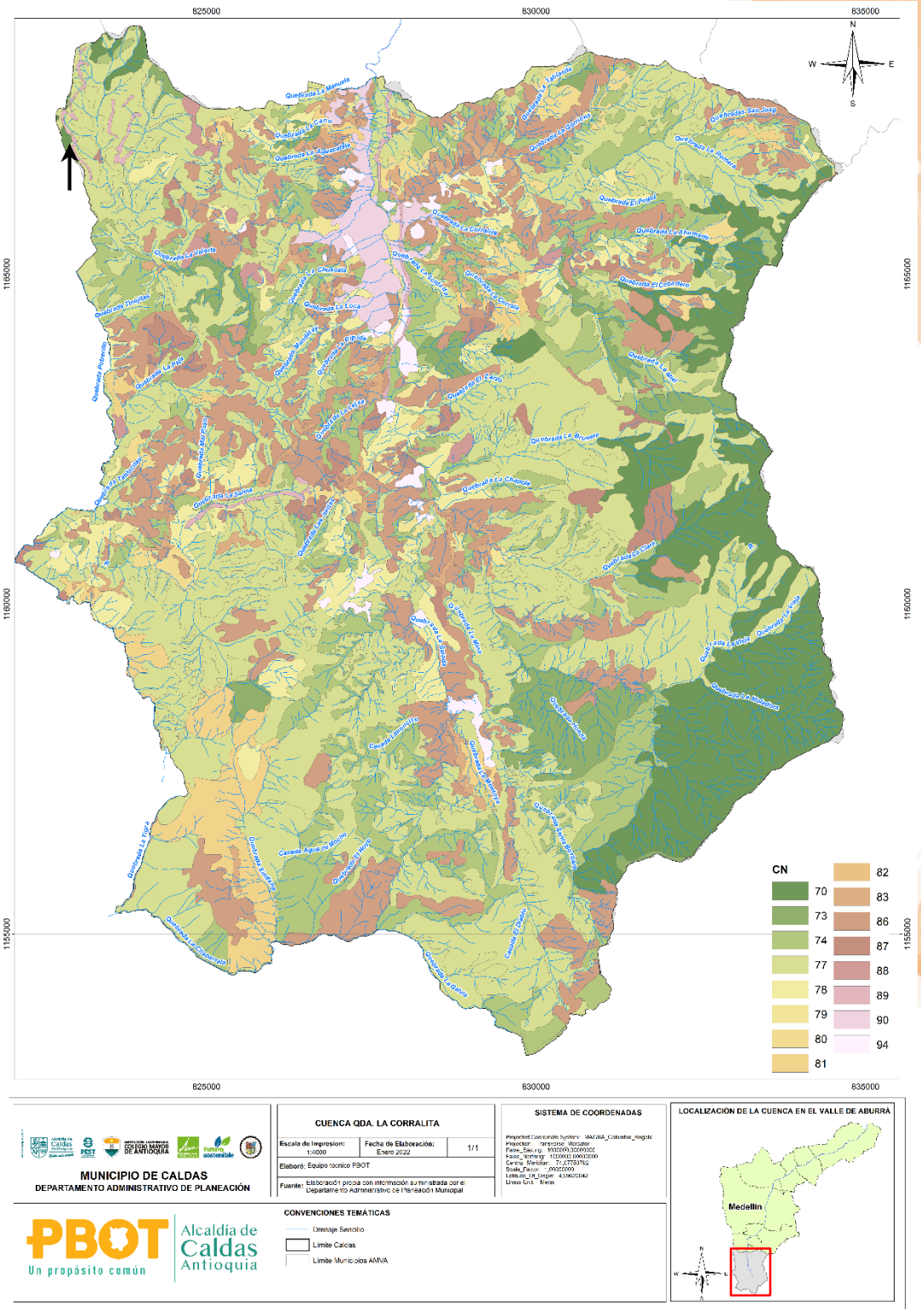


Figura 6.2-6. Número de Curva NRCS en el municipio de Caldas
Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

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 6-13. Número de Curva NRCS para las principales cuencas

Cuenca	AMC I	AMC II	AMC III
R. MEDELLÍN	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
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

Fuente: PBOT Caldas, 2022

6.2.3.6 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.

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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

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.

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

Figura 6.2-7. Deconvolución matricial de la hidrógrafa de respuesta.
Fuente: Chow, 1994

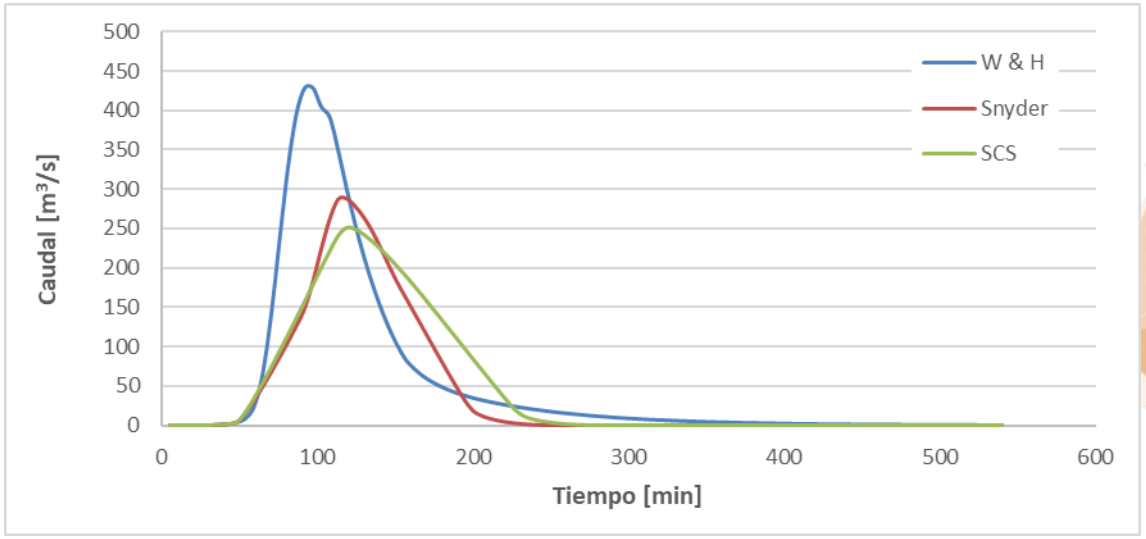


Figura 6.2-8. Hidrógrafa de respuesta estimada por las diferentes metodologías en la quebrada La Miel ante la ocurrencia del evento de precipitación asociado a un período de retorno de 200 años.
Fuente: PBOT Caldas, 2022

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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

(SCS, 1972), para cada corriente analizada se realizó un análisis particular por lo que el caudal de diseño de 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 C se presentan los caudales estimados para los demás tramos analizados.

Tabla 6-14. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m3/s) – W & H

CUENCA	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500	TR500 X 1.4
R. MEDELLÍN	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 MANI	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

Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-15. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m3/s) – Snyder

CUENCA	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500	TR500 X 1.4
R. MEDELLÍN	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 MANI	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

Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-16. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m3/s) – NRCS

CUENCA	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500	TR500 X 1.4
R. MEDELLÍN	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 MANI	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

Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-17. Caudales máximos estimados para las principales quebradas del municipio de Caldas (m3/s)– Racional

CUENCA	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500	TR500 X 1.4
R. MEDELLÍN	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

Fuente: PBOT Caldas, 2022

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.

Tabla 6-18. Selección de metodologías utilizadas para estimar los caudales de diseño

Cuenca	W & H	SNYDER	NRCS	RACIONAL
R. MEDELLÍN	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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Cuenca	W & H	SNYDER	NRCS	RACIONAL
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 MANI	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

Fuente: PBOT Caldas, 2022

Tabla 6-19. 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. MEDELLÍN	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 MANI	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
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

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Cuenca	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200	TR500	TR500 x 1.4
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

Fuente: PBOT Caldas, 2022

Dado que no todos los sitios del inventario cuentan con una estimación detallada de caudales, se realizó una relación lineal directa entre el caudal estimado para la subcuenca a la que pertenece la estructura y el área de la cuenca asociada a cada estructura derivada a partir del mapa de acumulaciones de flujo.

Tabla 6-20. Caudales máximos estimación en los sitios con estructuras tipo alcantarilla circular y de cajón – m3/s

ID OBRA	CORRIENTE	QTR2	QTR5	QTR10	QTR25	QTR50	QTR100	QTR200
1	Sin Nombre	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,20
3	Sin Nombre	0,11	0,14	0,17	0,21	0,24	0,28	0,33
4	Sin Nombre	0,22	0,27	0,32	0,40	0,47	0,55	0,64
8	Qda. La Corralita	15,65	19,62	23,16	28,66	33,54	39,11	45,45
13	Sin Nombre	0,88	1,14	1,37	1,75	2,09	2,48	2,94
14	Sin Nombre	0,41	0,53	0,64	0,82	0,98	1,16	1,38
15	Qda. La Rápida	8,05	10,40	12,55	15,98	19,07	22,66	26,82
18	Sin Nombre	0,11	0,14	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33
19	Sin Nombre	0,20	0,25	0,30	0,37	0,43	0,50	0,58
20	Qda. La Loca	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06
21	Sin Nombre	0,18	0,22	0,26	0,33	0,38	0,45	0,52
23	Sin Nombre	0,32	0,40	0,47	0,58	0,68	0,80	0,93
25	Sin Nombre	0,51	0,64	0,76	0,94	1,10	1,29	1,51
26	Qda. La Aguacatala	6,35	8,00	9,48	11,80	13,86	16,22	18,91
27	Qda. Bellavista	2,32	2,93	3,47	4,32	5,07	5,94	6,93
28	Qda. La Aguacatala	7,15	9,01	10,68	13,28	15,60	18,26	21,30
30	Sin Nombre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
33	Sin Nombre	1,60	2,02	2,40	3,00	3,53	4,14	4,84
36	Qda. La Manuela	6,35	8,02	9,52	11,86	13,94	16,33	19,07
37	Sin Nombre	1,86	2,35	2,79	3,48	4,10	4,80	5,61
39	Qda. La Corralita	14,52	18,20	21,48	26,59	31,11	36,28	42,16
40	Qda. La Corralita	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
43	Qda. El Buey	1,63	2,04	2,41	2,98	3,49	4,07	4,73
44	Qda. La Corralita	4,00	5,02	5,92	7,33	8,58	10,00	11,62
46	Qda. La Miel	0,85	1,07	1,27	1,57	1,84	2,15	2,51
47	Qda. La Miel	83,04	104,45	123,65	153,60	180,18	210,62	245,44

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

ID OBRA	CORRIENTE	QTR2	QTR5	QTR10	QTR25	QTR50	QTR100	QTR200
50	Qda. La Miel	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
51	Qda. La Miel	0,28	0,36	0,42	0,53	0,62	0,72	0,84
55	Sin Nombre	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15
56	Sin Nombre	0,10	0,12	0,15	0,18	0,21	0,25	0,29
57	Sin Nombre	0,11	0,13	0,16	0,20	0,23	0,27	0,32
58	Sin Nombre	1,52	1,91	2,26	2,80	3,29	3,84	4,48
59	Sin Nombre	10,41	13,15	15,61	19,47	22,90	26,83	31,33
64	Río Medellín	0,58	0,76	0,92	1,18	1,42	1,70	2,02
72	Río Medellín	0,08	0,10	0,12	0,15	0,18	0,21	0,25
75	Qda. La Salada	46,66	58,33	68,73	84,89	99,19	115,50	134,09
77	Sin Nombre	25,46	31,90	37,65	46,60	54,53	63,58	73,90
79	Sin Nombre	0,20	0,25	0,29	0,36	0,43	0,50	0,58
81	Sin Nombre	1,72	2,17	2,58	3,22	3,78	4,43	5,17
82	Qda. La Salina	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
83	Sin Nombre	0,08	0,10	0,11	0,14	0,16	0,19	0,22
84	Sin Nombre	0,18	0,22	0,26	0,33	0,38	0,45	0,52
85	Sin Nombre	0,25	0,31	0,37	0,45	0,53	0,62	0,72
87	Qda. La Salina	0,09	0,12	0,14	0,17	0,21	0,24	0,29
88	Qda. San Francisco	9,44	12,07	14,44	18,20	21,56	25,44	29,91
90	Sin Nombre	0,17	0,22	0,25	0,31	0,36	0,42	0,49
91	Sin Nombre	0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,49	0,57
93	Sin Nombre	0,61	0,75	0,88	1,09	1,27	1,47	1,70
98	Sin Nombre	0,22	0,27	0,32	0,39	0,46	0,53	0,62
99	Sin Nombre	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
100	Sin Nombre	0,08	0,11	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24
102	Qda. La Corralita	1,44	1,84	2,19	2,76	3,27	3,85	4,52
103	Sin Nombre	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
105	Sin Nombre	0,64	0,80	0,95	1,17	1,38	1,61	1,87
106	Sin Nombre	0,41	0,52	0,61	0,76	0,89	1,04	1,21
107	Sin Nombre	0,56	0,70	0,83	1,03	1,20	1,41	1,64
114	Qda. San José	0,16	0,20	0,24	0,30	0,35	0,42	0,49
116	Sin Nombre	5,44	7,16	8,75	11,32	13,66	16,41	19,63
117	Sin Nombre	1,17	1,51	1,81	2,29	2,72	3,22	3,79
118	Sin Nombre	0,39	0,51	0,62	0,80	0,97	1,17	1,40
119	Sin Nombre	0,21	0,27	0,33	0,43	0,52	0,62	0,74
120	Sin Nombre	0,83	1,06	1,27	1,59	1,88	2,21	2,59

Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-21. Caudales máximos estimación en los sitios con estructuras tipo Puente – m3/s

ID OBRA	CORRIENTE	QTR2	QTR5	QTR10	QTR25	QTR50	QTR100	QTR200
5	Río Medellín	159,4	200,1	236,5	293,2	343,6	401,2	466,9
6	Qda. La Corralita	16,4	20,6	24,3	30,1	35,2	41,0	47,7
16	Río Medellín	158,5	199,0	235,2	291,7	341,7	399,0	464,3
17	Qda. La Chuscala	9,2	11,5	13,6	16,8	19,7	23,0	26,7
24	Río Medellín	157,7	197,9	233,9	290,0	339,8	396,8	461,8
32	Qda. La Cano	10,9	13,8	16,4	20,4	24,0	28,2	32,9
41	Qda. La Corralita	14,4	18,1	21,3	26,4	30,9	36,1	41,9
42	Qda. La Corralita	14,4	18,0	21,3	26,3	30,8	35,9	41,7
45	Qda. La Corralita	9,1	11,6	13,9	17,5	20,7	24,4	28,6
48	Qda. La Miel	83,7	105,3	124,6	154,7	181,4	212,0	246,9
52	Río Medellín	142,4	178,7	211,1	261,6	306,3	357,5	415,8
53	Qda. La Mina	29,5	37,1	43,8	54,4	63,8	74,5	86,8
60	Qda. La Salada	41,1	51,7	61,1	75,9	89,1	104,1	121,3
61	Qda. La Salada	42,1	52,9	62,6	77,8	91,2	106,5	124,1
63	Qda. La Salada	43,5	54,7	64,7	80,3	94,2	110,0	128,1
65	Río Medellín	59,8	76,3	91,3	114,8	135,9	160,3	188,2
66	Río Medellín	59,8	76,3	91,3	114,8	135,9	160,3	188,2
67	Río Medellín	59,8	76,3	91,3	114,8	135,9	160,3	188,2
68	Río Medellín	77,0	97,7	116,3	145,5	171,5	201,4	235,7
69	Qda. La Clara	40,9	51,8	61,7	77,1	90,9	106,7	124,8
71	Río Medellín	95,9	121,6	144,7	180,9	213,2	250,3	292,9
73	Qda. La Chapola	8,1	10,3	12,3	15,5	18,3	21,5	25,2
74	Río Medellín	99,1	125,7	149,5	187,0	220,4	258,7	302,6
76	Qda. La Salina	25,5	31,9	37,7	46,6	54,5	63,6	73,9
80	Qda. La Montoya	8,5	10,7	12,7	15,8	18,6	21,8	25,4
86	Qda. El Rosal	1,7	2,2	2,6	3,2	3,6	4,2	4,9
89	Sin Nombre	5,9	7,4	8,8	11,1	13,0	15,3	17,9
94	Sin Nombre	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
95	Sin Nombre	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
108	Qda. La Corrala	5,3	6,7	7,9	9,8	11,5	13,4	15,6
109	Qda. La Corrala	8,6	10,8	12,8	15,9	18,6	21,7	25,3

Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

6.3 DIAGNÓSTICO SUFICIENCIA HIDRÁULICA

Con el objetivo de evidenciar la suficiencia de las estructuras se compara el caudal de 100 años de período de retorno con la capacidad hidráulica de las estructuras, para determinar si esta es segura en un evento de amenaza por inundación considerable.

Tabla 6-22. Suficiencia hidráulica en los sitios con estructuras tipo alcantarilla circular y de cajón

ID Obra	Corriente	Capacidad Hidráulica (m3/s)	QTR100 (m3/s)	¿Cumple?
1	Sin Nombre	1,2	0,17	Cumple
3	Sin Nombre	1,2	0,28	Cumple
4	Sin Nombre	1,2	0,55	Cumple
8	Qda. La Corralita	31,6	39,11	No Cumple
13	Sin Nombre		2,48	No Cumple
14	Sin Nombre	0,4	1,16	No Cumple
15	Qda. La Rápida	5,1	22,66	No Cumple
18	Sin Nombre	0,4	0,29	Cumple
19	Sin Nombre	1,2	0,50	Cumple
20	Qda. La Loca	0,4	0,05	Cumple
21	Sin Nombre	1,2	0,45	Cumple
23	Sin Nombre	0,4	0,80	No Cumple
25	Sin Nombre	0,0	1,29	No Cumple
26	Qda. La Aguacatala	1,2	16,22	No Cumple
27	Qda. Bellavista	0,4	5,94	No Cumple
28	Qda. La Aguacatala	2,0	18,26	No Cumple
30	Sin Nombre	0,0	N/A	Cumple
33	Sin Nombre	1,2	4,14	No Cumple
36	Qda. La Manuela	0,4	16,33	No Cumple
37	Sin Nombre	1,2	4,80	No Cumple
39	Qda. La Corralita	24,6	36,28	No Cumple
40	Qda. La Corralita	1,2	0,07	Cumple
43	Qda. El Buey	0,4	4,07	No Cumple
44	Qda. La Corralita	8,9	10,00	No Cumple
46	Qda. La Miel	0,6	2,15	No Cumple
47	Qda. La Miel	0,6	210,62	No Cumple
50	Qda. La Miel		N/A	No Cumple
51	Qda. La Miel	0,0	0,72	No Cumple
55	Sin Nombre	1,2	0,13	Cumple
56	Sin Nombre	0,6	0,25	Cumple
57	Sin Nombre	1,2	0,27	Cumple
58	Sin Nombre	0,1	3,84	No Cumple
59	Sin Nombre	0,4	26,83	No Cumple
64	Río Medellín	1,2	1,70	No Cumple

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

ID Obra	Corriente	Capacidad Hidráulica (m3/s)	QTR100 (m3/s)	¿Cumple?
72	Río Medellín	0,1	0,21	No Cumple
75	Qda. La Salada	81,3	115,50	No Cumple
77	Sin Nombre	3,2	63,58	No Cumple
79	Sin Nombre	0,6	0,50	Cumple
81	Sin Nombre	0,4	4,43	No Cumple
82	Qda. La Salina	0,2	0,07	Cumple
83	Sin Nombre	1,2	0,19	Cumple
84	Sin Nombre	1,2	0,45	Cumple
85	Sin Nombre	1,2	0,62	Cumple
87	Qda. La Salina	2,0	0,24	Cumple
88	Qda. San Francisco		25,44	No Cumple
90	Sin Nombre	1,2	0,42	Cumple
91	Sin Nombre	1,2	0,49	Cumple
93	Sin Nombre	0,2	1,47	No Cumple
98	Sin Nombre	0,0	0,53	No Cumple
99	Sin Nombre	0,0	0,06	No Cumple
100	Sin Nombre	0,0	0,21	No Cumple
102	Qda. La Corralita	1,2	3,85	No Cumple
103	Sin Nombre		N/A	No Cumple
105	Sin Nombre	1,2	1,61	No Cumple
106	Sin Nombre	0,4	1,04	No Cumple
107	Sin Nombre	0,4	1,41	No Cumple
114	Qda. San José	0,4	0,42	Cumple
116	Sin Nombre	0,6	16,41	No Cumple
117	Sin Nombre	0,4	3,22	No Cumple
118	Sin Nombre	1,2	1,17	Cumple
119	Sin Nombre	0,2	0,62	No Cumple
120	Sin Nombre	1,2	2,21	No Cumple

Fuente: PBOT Caldas, 2022

Del anterior análisis se concluye que, para las estructuras de tipo alcantarilla, 22 obras cumplen para un caudal con período de retorno de 100 años, mientras que 40 no cumplen. Esto refleja una condición de insuficiencia hidráulica de las estructuras del municipio, que puede generar condiciones de riesgo para la población circundante.

Esta situación puede estar asociada a varias causas. La primera corresponde a que, generalmente, las estructuras hidráulicas están diseñadas con criterio INVIAS, donde los caudales de diseño oscilan entre los 5 y los 50 años de período de retorno. La segunda causa está asociada al cambio climático y a los cambios en los usos del suelo, que incrementan las intensidades de las lluvias y los coeficientes de escurrimiento respectivamente.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 6-23. Suficiencia hidráulica en los sitios con estructuras tipo puente

ID Obra	Corriente	Capacidad Hidráulica (m3/s)	QTR100 (m3/s)	¿Cumple?
5	Río Medellín	N/A[3]	401,2	N/A
6	Qda. La Corralita	31,6	41,0	No Cumple
16	Río Medellín	640,3	399,0	Cumple
17	Qda. La Chuscala	15,9	23,0	No Cumple
24	Río Medellín	640,3	396,8	Cumple
32	Qda. La Cano	64,8	28,2	Cumple
41	Qda. La Corralita	19,8	36,1	No Cumple
42	Qda. La Corralita	19,4	35,9	No Cumple
45	Qda. La Corralita	64,7	24,4	Cumple
48	Qda. La Miel	197,7	212,0	No Cumple
52	Río Medellín	1764,2	357,5	Cumple
53	Qda. La Mina	31,6	74,5	No Cumple
60	Qda. La Salada	20,0	104,1	No Cumple
61	Qda. La Salada	5,6	106,5	No Cumple
63	Qda. La Salada	113,2	110,0	Cumple
65	Río Medellín	11,5	160,3	No Cumple
66	Río Medellín	11,5	160,3	No Cumple
67	Río Medellín	11,5	160,3	No Cumple
68	Río Medellín	20,0	201,4	No Cumple
69	Qda. La Clara	5,6	106,7	No Cumple
71	Río Medellín	36,1	250,3	No Cumple
73	Qda. La Chapola	34,8	21,5	Cumple
74	Río Medellín	113,2	258,7	No Cumple
76	Qda. La Salina	640,3	63,6	Cumple
80	Qda. La Montoya	31,6	21,8	Cumple
86	Qda. El Rosal	640,3	4,2	Cumple
89	Sin Nombre	640,3	15,3	Cumple
94	Sin Nombre	2,0	0,7	Cumple
95	Sin Nombre	113,2	0,3	Cumple
108	Qda. La Corrala	64,8	13,4	Cumple
109	Qda. La Corrala	113,2	21,7	Cumple

Fuente: PBOT Caldas, 2022

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

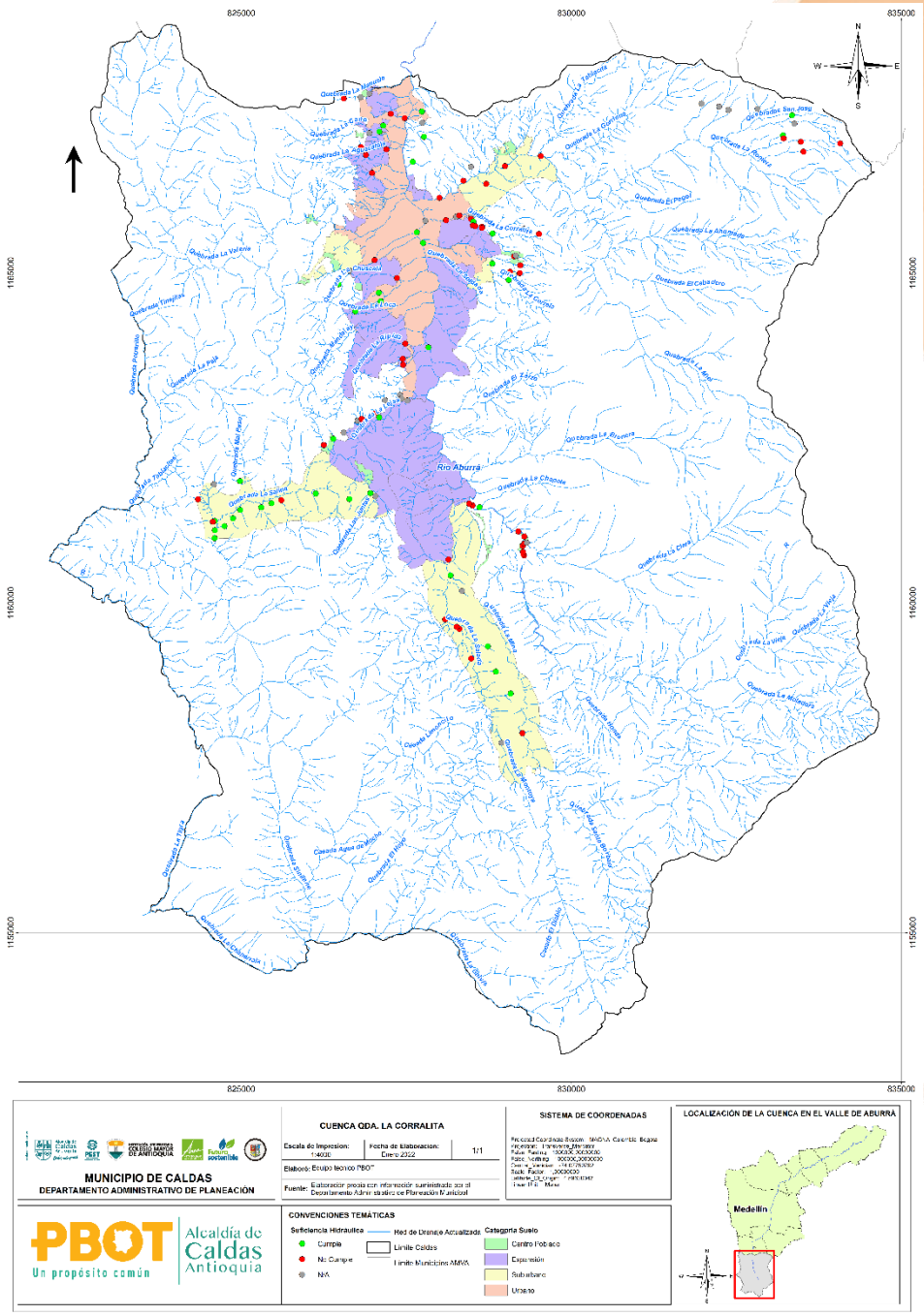


Figura 6.3-1. Análisis de suficiencia hidráulica realizado para las estructuras visitadas
Fuente: PBOT Caldas, 2022

Del anterior análisis se concluye que, para las estructuras de tipo puente, 15 obras cumplen para un caudal con período de retorno de 100 años, mientras que 15 no cumplen. Para el río Medellín cumplen 3 estructuras, mientras que 6 de ellas se encuentran con déficit de capacidad hidráulica.

Tal como se mencionó anteriormente, este escenario refleja una condición de insuficiencia hidráulica de las estructuras del municipio generalizada, que puede crear condiciones de riesgo para la población circundante.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Esta situación puede estar asociada a varias causas. La primera corresponde a que, generalmente, las estructuras hidráulicas están diseñadas con criterio INVIAS, donde los caudales de diseño oscilan entre los 5 y los 50 años de período de retorno. La segunda causa está asociada al cambio climático y a los cambios en los usos del suelo, que incrementan las intensidades de las lluvias y los coeficientes de escurrimiento respectivamente.

6.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se corrigió la estructura geoespacial de la red de drenaje del municipio de Caldas, generando un producto que unifica las tres escalas de información cartográfica disponibles. A partir de este, es posible generar análisis de planeación municipal, tales como la definición de suelos de protección asociados a las franjas forestales protectoras, entre otros.

Se realizó un análisis de suficiencia hidráulico generalizado para el municipio, encontrando que la mayoría de las estructuras hidráulicas no poseen la suficiente capacidad para permitir el paso de un caudal asociado a un período de retorno de 100 años; esto debido a que, generalmente, estas obras se diseñan con criterio INVIAS, para un período de retorno de entre 5 y 50 años. Esta situación se intensifica a la luz de un escenario de cambio climático donde las intensidades de las precipitaciones tenderán a aumentar en los próximos años, aunado al cambio en la cobertura del suelo por la antropización del territorio generando una condición crítica para el municipio.

Se recomienda realizar estudios hidráulicos de detalle en todo el suelo urbano y de expansión con el objetivo de cuantificar los efectos de estas estructuras en los regímenes de inundación del municipio y poder dimensionar estructuras que minimicen la exposición de la población a este tipo de eventos.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

7 IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CRITICOS

Se entiende como sitios críticos de la red hídrica aquellos puntos donde la actividad de las corrientes, generan impactos o representan una amenaza alta sobre la población y/o infraestructura, para lo cual se parte del inventario de procesos morfodinámicos asociados a las corrientes, donde se intuyen inundaciones, avenidas torrenciales, socavación y movimientos en masa que afectan los cauces, como se presenta en la Figura 6.4-1, y en la Tabla 7-1,

Tabla 7-1.Listado de proceso morfodinámicos asociados a la red Hídrica
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

Id	Estado	Fuente	Tipo	Cuenca
1	Latente	Campo	Evento Torrencial	La Raya
2	Latente	Campo	Evento Torrencial	Mandalay
3	Latente	Campo	Inundación	Río Aburrá
4	Latente	Campo	Inundación	Río Aburrá
5	Latente	Campo	Inundación	Afluentes río Cauca
6	Latente	Campo	Inundación	Afluentes río Cauca
7	Latente	Campo	Inundación	Río Aburrá
8	Activo	Campo	Inundación	La Miel
9	Activo	Campo	Inundación	La Miel
10	Activo	Campo	Inundación	La Miel
11	Activo	Campo	Inundación	La Miel
12	Activo	Campo	Inundación	La Miel
13	Activo	Campo	Inundación	La Miel
14	Activo	Campo	Inundación	La Miel
15	Activo	Campo	Inundación	La Corralita
16	Activo	Campo	Inundación	La Raya
17	Activo	Campo	Inundación	La Raya
18	Activo	Campo	Inundación	La Raya
19	Activo	Campo	Inundación	La Clara
20	Activo	Campo	Inundación	Río Aburrá
21	Activo	Campo	Inundación	La Clara
22	Activo	Fotointerpretación	Inundación	La Miel
23	Activo	Campo	Deslizamiento complejo	Mandalay

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

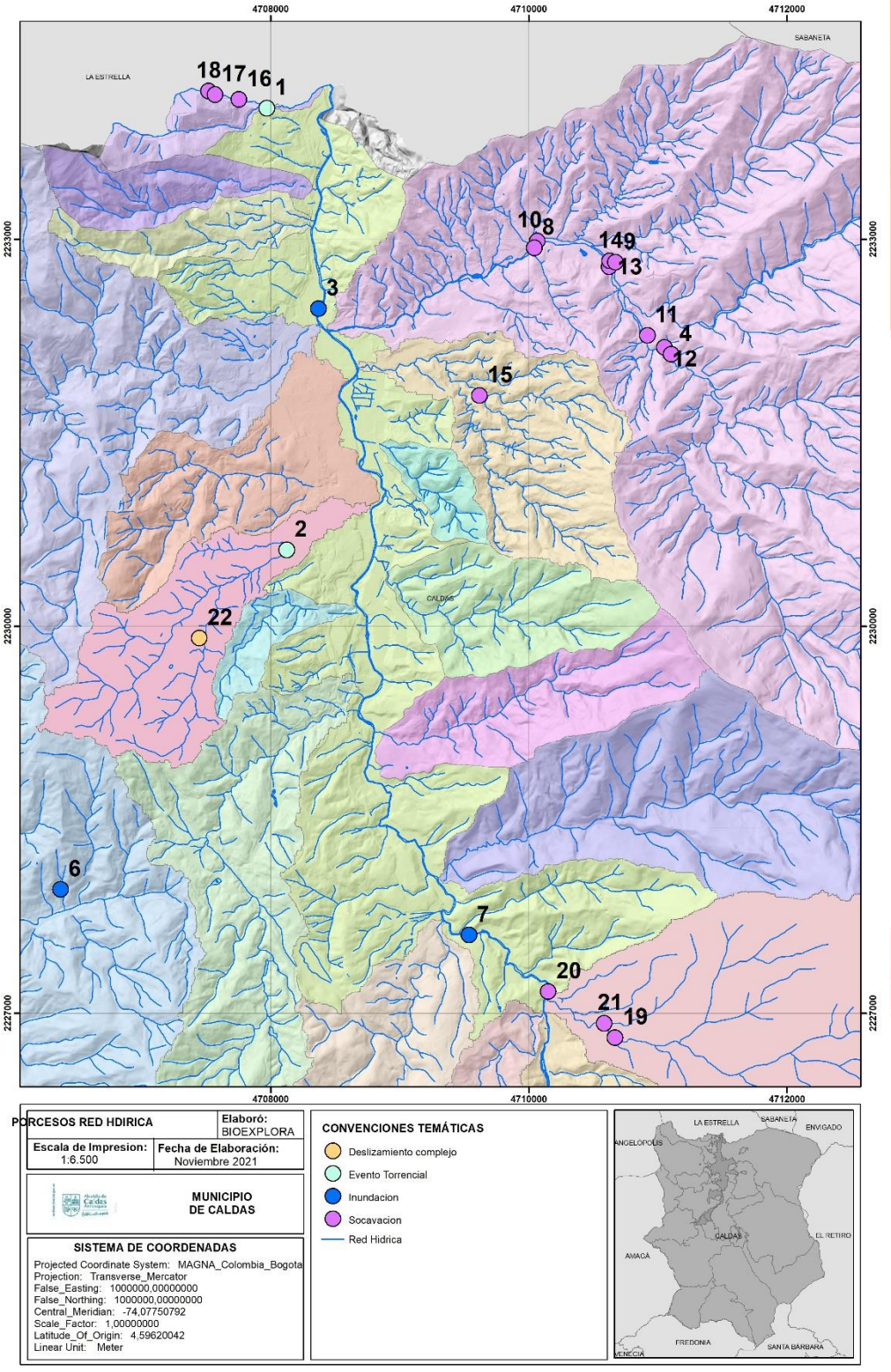


Figura 6.4-1. Mapa de Procesos morfodinámicos asociados a la red Hídrica
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Dentro de estos procesos se definen sitios críticos por el alto nivel de afectación que pueden generar su ocurrencia, que se presentan a continuación

Tabla 7-2. Listado Ejemplos Sitios Críticos

Id	Proceso	Localización	Afectaciones
3	Inundación	La Inmaculada	Inundación viviendas ubicadas sobre el margen del río
7	Inundación	La Clara	Inundación viviendas ubicadas sobre el margen del río
1	Evento Torrencial	La Raya	Inundación viviendas ubicadas sobre el margen del río
2	Evento Torrencial	Mandalay	Inundación viviendas ubicadas sobre el margen del río
23	Deslizamiento	Mandalay	Taponamiento corriente y posible evento torrencial

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

8 IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO ASOCIADOS A LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MUNICIPIO SEGÚN CRITERIO DE ACTIVIDADES ECONÓMICAS, SOCIALES Y AMBIENTALES

Debido al desarrollo del municipio de Caldas y a los diferentes cambios físicos y climatológicos, se han agudizado problemas de índole socio - económicos generándose así una verdadera emergencia social y ambiental, originada por los desbordamientos de varias quebradas afluentes del río Medellín.

El socavamiento de muchos cauces ha desestabilizado taludes y márgenes, ocasionando pérdidas tanto humanas como económicas.

La problemática comienza desde los nacimientos con procesos de deforestación en las partes altas y medias de las microcuencas afectando las fuentes de aguas. Como efectos es el aumento de volúmenes de tránsito de agua sobre el drenaje de los suelos para liberarse del exceso de agua y específicamente aguas lluvia.

Para lograr estos efectos se realizan soluciones que regulen el cauce de las quebradas en cuanto a protección, dirección y evacuación del cauce y sus márgenes, con el fin de estabilizar el régimen hidráulico, adecuar las áreas aledañas sin embargo el proceso evolutivo de los drenajes hace que muchas de estas obras queden insuficientes en su capacidad hidráulica convirtiéndose para las corrientes puntos críticos para desbordamientos e inundaciones.

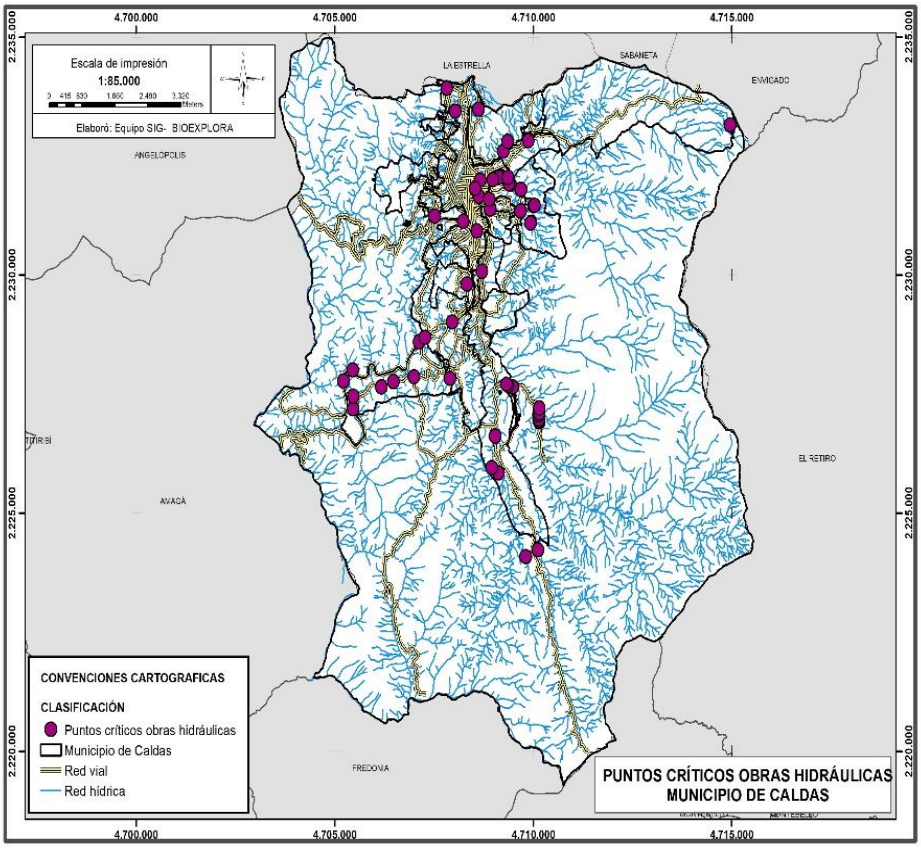


Figura 6.4-1. Puntos críticos obras hidráulicas municipio de Caldas
Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 8-1. Puntos críticos obras hidráulicas municipio de Caldas.

ID	Nombre	Longitud	Latitud
1	Punto 2	-75,633528	6,106620997
2	Punto 5	-75,633061	6,093176996
3	Punto 6	-75,63021	6,093261001
4	Punto 7	-75,628834	6,093746998
5	Punto 8	-75,628421	6,093913996
6	Punto 13	-75,636027	6,073443999
7	Punto 16	-75,634219	6,091594002
8	Punto 17	-75,63691	6,085314002
9	Punto 22	-75,643434	6,086311004
10	Punto 24	-75,633363	6,090140001
11	Punto 32	-75,638849	6,106201999
12	Punto 34	-75,640775	6,110573
13	Punto 38	-75,626754	6,093760003
14	Punto 41	-75,626527	6,092562995
15	Punto 42	-75,626202	6,092457996
16	Punto 45	-75,623857	6,091455998
17	Punto 48	-75,622173	6,100699003
18	Punto 49	-75,626836	6,100579999
19	Punto 50	-75,627859	6,098676997
20	Punto 52	-75,632579	6,075849004
21	Punto 53	-75,619571	6,023027997
22	Punto 54	-75,622397	6,021708002
23	Punto 60	-75,628607	6,037574004
24	Punto 61	-75,630183	6,038587998
25	Punto 63	-75,629468	6,044620997
26	Punto 65	-75,61941	6,047389998
27	Punto 66	-75,619507	6,047574001
28	Punto 67	-75,619551	6,047849002
29	Punto 68	-75,61962	6,048675998
30	Punto 69	-75,619408	6,049012
31	Punto 71	-75,619393	6,049966999
32	Punto 73	-75,625538	6,053968003
33	Punto 74	-75,62648	6,054207996
34	Punto 75	-75,626933	6,054443002
35	Punto 76	-75,661745	6,049619998
36	Punto 77	-75,664042	6,054936998
37	Punto 78	-75,661861	6,056993996
38	Punto 80	-75,661732	6,051980003
39	Punto 86	-75,655385	6,053868003
40	Punto 88	-75,652635	6,054848001
41	Punto 89	-75,647935	6,055768996
42	Punto 92	-75,639779	6,055452
43	Punto 93	-75,646853	6,062422003
44	Punto 94	-75,645551	6,063292999
45	Punto 95	-75,639284	6,066231001

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

ID	Nombre	Longitud	Latitud
46	Punto 103	-75,620892	6,088352998
47	Punto 104	-75,620673	6,088448999
48	Punto 108	-75,621619	6,085106996
49	Punto 109	-75,623863	6,087361001
50	Punto 120	-75,576316	6,103928004
51	Punto 121	-75,63378886	6,083543213
52	Punto 122	-75,63101577	6,089564772
53	Punto 123	-75,63084871	6,087707093

Fuente: Estudio básico de amenazas Caldas (2021)

Con respecto a los datos obtenidos entre los porcentajes de miseria y pobreza en el departamento, vs la población proyectada para el 2021, se puede establecer una relación del número de personas que podrían ser las más susceptibles a sufrir daño y afectación por desastres en el municipio, teniendo en cuenta las condiciones frente a la exposición por los fenómenos amenazantes en la región. Con respecto a las cifras presentadas para el Municipio de Caldas serían las que mayor población podría sufrir afectación por su alta vulnerabilidad económica y social.
En el desarrollo de los recorridos de campo se evidencia un claro conflicto en el uso del suelo y muestra de ello se denota con los asentamientos urbanos en áreas de condición de riesgo por el componente hidrológico y/o geológico del territorio, se presenta una no planificación en un desarrollo urbanístico ordenado.

La actividad antrópica ha originado un cambio sustancial en la cobertura vegetal, donde el bosque primario ha sido reemplazado por pastos, dejando desprotegidos los nacimientos y fuentes de agua, lo que a su vez altera el ciclo hidrológico de la cuenca. Este cambio de cobertura vegetal se ha dado por las actividades de ganadería extensiva en la Parte Alta, la cual carece de tecnificación, evidenciado en la presencia de terracetas en laderas de alta pendiente.
Se han registrado eventos importantes de crecientes, los cuales, en parte se entienden si se analiza el ciclo hidrológico, ya que en fuertes aguaceros la ausencia de bosque protector y de galería contribuye a que el agua de escorrentía genera pérdida importante de suelo por erosión, presentándose una alteración en el balance infiltración/escorrentía.

8.1 CAUSAS EVIDENCIADAS EN CAMPO

- Restricciones en la sección hidráulica (canal con insuficiencia hidráulica y pasos viales con diseños deficientes)
- Invasión de retiros y/o cauce
- Descargas de aguas residuales y lluvias sobre los taludes
- Fatiga de estructuras existentes.
- Indisciplina social arrojando a los cauces y retiros
- Llenos mal conformados
- Socavaciones laterales de la corriente
- Sobrecargas al suelo que transmiten las viviendas a los taludes.
- Proliferación de vectores.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

8.2 EFECTOS EVIDENCIADOS

- De tipo hidráulico generando, inundaciones e insuficiencia hidráulica y causados por taponamientos, colmatación, y secciones restringidas (incapacidad) también por la indisciplina social arrojando a los cauces y retiros todo tipo de desechos.
- De tipo geotécnico generando erosión sobre los taludes, desestabilización de taludes causados por procesos de socavaciones laterales de la corriente o descargas de las aguas residuales domésticas sobre los taludes, además de las sobrecargas al suelo que transmiten las viviendas a los taludes.
- De tipo ambiental por contaminación ambiental, proliferación de vectores y deterioro del paisaje.

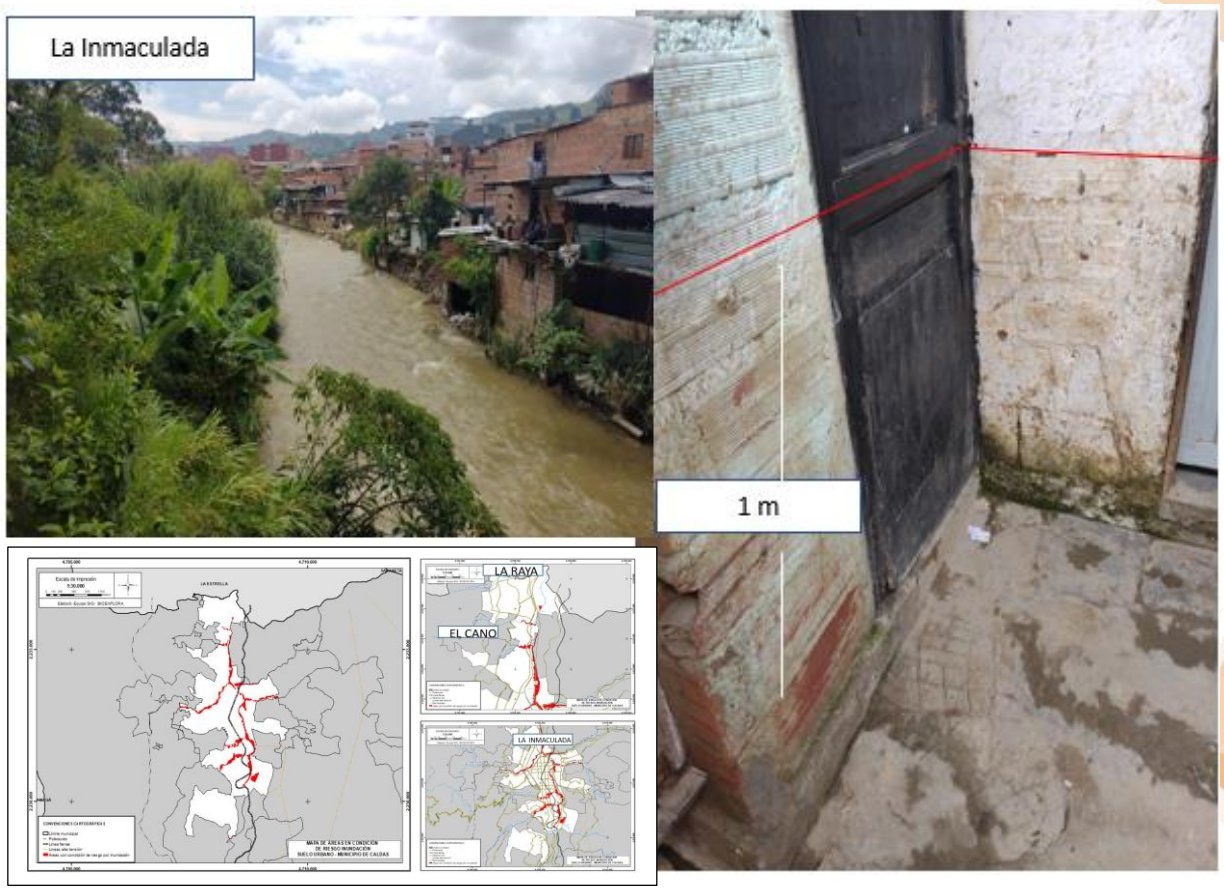


Figura 8.2-1. Zonas con condición de riesgo por inundación sector urbano del municipio de Caldas - Sector La Inmaculada, evidencias de una lámina de agua hasta de 1 m de altura.

Se manifiestan problemas de calidad en los materiales por la idiosincrasia en el modo de construcción, igualmente se detectan fenómenos de ilegalidad en la construcción y fallas en el control de un crecimiento urbanístico bien planificado, en cuanto a la ubicación se tienen identificados varios sitios urbanísticos en zonas de condición de riesgo por estar construidas en zonas de retiros de fuentes hídricas.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co



Figura 8.2-2. Sector La Playita

En la Figura 8.2-2 se observa la construcción de varias viviendas que no respetan la normatividad exigida por Planeación Municipal dado que se encuentran dentro del retiro mínimo del río, lo que genera para sus habitantes una constante amenaza a fenómenos hidrometeorológicos.

8.3 FENÓMENOS DE DIFERENTES ORÍGENES:

En términos generales la zona de trabajo corresponde a un paisaje de montaña, donde la dinámica del modelado, los procesos superficiales y sus geoformas resultantes están controlados por: la erosión de las corrientes, la gravedad (movimientos en masa) y la depositación

Adicionalmente estas vertientes han estado localizas, desde el pasado geológico, en una zona climática tropical húmeda, lo que le confiere unas características adicionales muy particulares, tales como una agresiva tasa de meteorización química y la generación de eventos climáticos extremos concentrados en el tiempo (como lluvias) que impactan y transforman abruptamente el paisaje.
Este sistema de factores actuando de manera compleja sobre un basamento rocoso heterogéneo, tal como el que se describió en la geología, moldea el paisaje y define las condiciones físicas a las que el hombre debe acomodarse en su desarrollo y no pretender, como es común, acomodar el medio físico a nuestras necesidades.

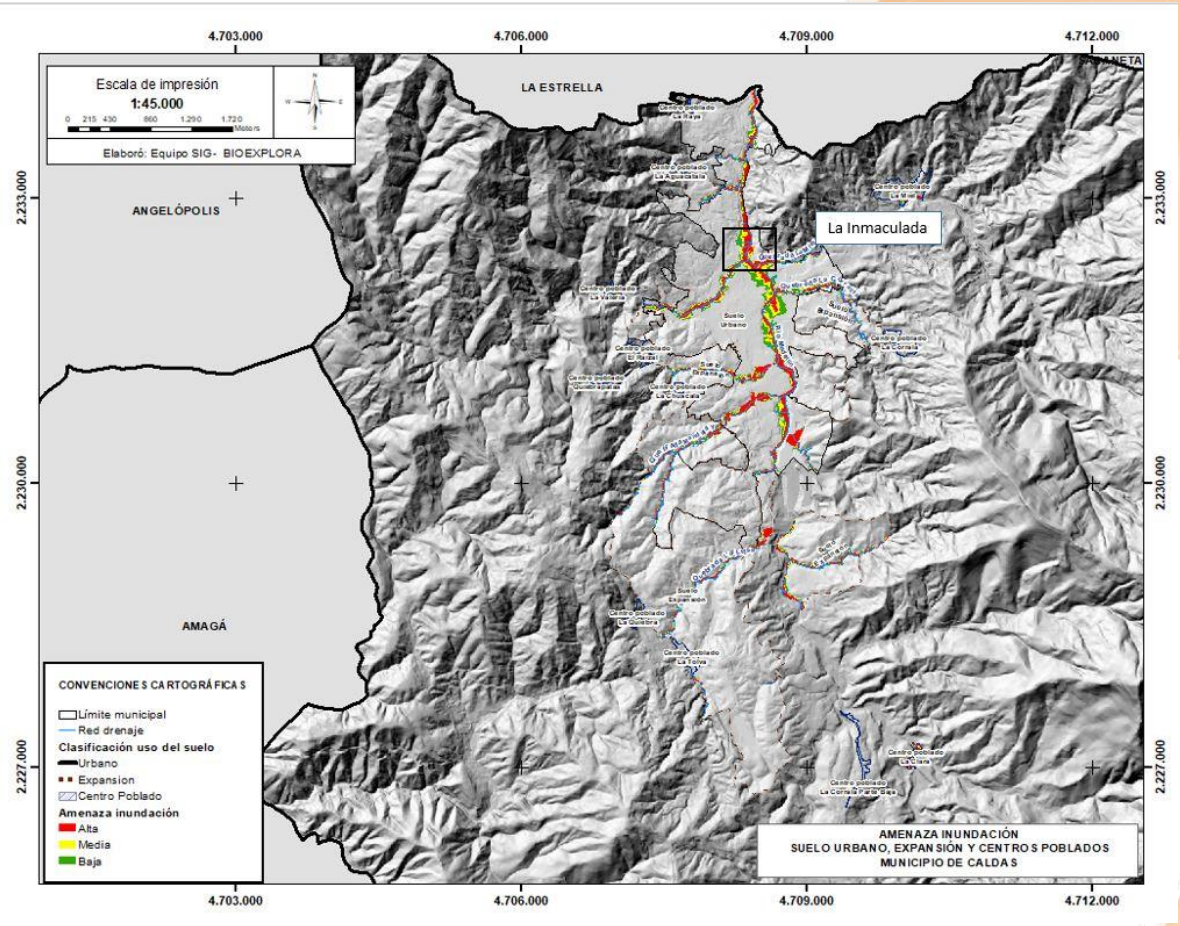
En el Municipio de Caldas se han identificado fenómenos amenazantes, asociados a sus características geológicas, hidrográficas y climáticas, algunos de estos fenómenos son recurrentes, mientras que otros presentan periodos de retorno más bajos; estas características hacen de su territorio un escenario propicio para la ocurrencia de gran variedad eventos.
De acuerdo con las condiciones ambientales y los antecedentes de emergencias atendidas se puede establecer que los principales factores amenazantes de origen natural en el municipio son:

8.3.1 Hidrometeorológicos:

El municipio de Caldas históricamente, y con una frecuencia alta, ha sufrido inundaciones en los periodos de lluvia presentados en el año, reportando daños en algunos de los puntos señalados como críticos por este evento, la materialización de los daños se ha visto representada en pérdidas considerables sobre los elementos

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

expuestos especialmente en aquellos que reflejan alta vulnerabilidad en las personas, bienes públicos y privados, el sector económico y ambiental. Los sectores del municipio más susceptibles a afectaciones son:



Casco Urbano: barrios La Inmaculada, Zona Rural: La Playita y La Clara.

También, debido a la ubicación del municipio y a su dinámica fluvial del Río Medellín y de las cuencas mayores del municipio, al aumentar las precipitaciones se incrementa el nivel del agua que desemboca de los caños y canales a los ríos se represa hasta devolverse por mismos canales ocasionando inundación en los sectores aledaños

Las inundaciones recurridas han afectado principalmente al barrio de La Inmaculada donde repetidamente los habitantes del sector tienen que desalojar mientras disminuye el evento. Por otra parte, en la zona rural, se identifican sectores como La Playita y La Clara a la altura del centro poblado, siendo viviendas localizadas sobre la llanura de inundación del río, no respetando el retiro necesario con respecto a la quebrada.

Según los registros de avenidas torrenciales en el municipio, no son muy recurrentes como fenómeno, pero si existe la ocupación del territorio y en particular en La cuenca de la quebrada la Raya, lo que hace necesario tener en cuenta la amenaza asociada a avenidas torrenciales en las que sus posibles efectos adversos sobre la población, la economía y la infraestructura urbana son muy altos.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

8.3.1.1 Caracterización de los fenómenos hidrometeorológicos

8.3.1.1.1 Avenida torrencial

Movimiento conformado por la ocurrencia súbita de uno o varios movimientos en masa, desplazando sus materiales sobre un cauce profundo, estrecho, de alta pendiente, formando una masa semilíquida de bloques y lodo, se moviliza pendiente abajo, con gran velocidad y poder de arrastre.

Los eventos por avenidas torrenciales en Antioquia, están asociadas a las características presentes en cuencas jóvenes y pequeñas menores a 200 Km^2 , cuencas en regiones montañosas y escarpadas de alta pendiente, cuencas con valles o cañones estrechos en V, variaciones extremas en los altos valores de precipitación pico en periodos de tiempo muy cortos, cuencas con alta susceptibilidad ante movimientos en masa 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.

Estos fenómenos se originan comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan vertientes con inclinaciones fuertes, donde por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos, 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, produciéndose de esta manera, 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.

Se clasifica como un fenómeno es de origen natural, la causa principal de estos flujos torrenciales ha estado asociada a los siguientes factores:

- Presencia de altas pendientes.
- Ocurrencia de precipitaciones intensas en cortos periodos de tiempo.
- Saturación de los suelos, presencia de abundantes sedimentos.
- Rocas meteorizadas, espesores variables de suelos.
- Caídas de bloques.

Para que sean potencialmente dañinas se presentan las siguientes variables:

- Urbanización sin planificación territorial
- Asentamientos en las rondas hídricas
- Alta densidad poblacional sobre los cauces y zonas de retiro
- La localización del municipio en las zonas aledañas al rio y quebradas
- Deforestación de las orillas del Rio y quebradas.
- Construcción de la infraestructura pública en zonas expuestas a la amenaza como:
  - Instituciones educativas
  - Puentes
  - Vías
  - Comercio
- Equipamientos localizados en zonas de condición de riesgo por este fenómeno
- Planificación inadecuada del territorio

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- Falta de gobernabilidad
- Falta de control sobre el territorio

Pero en los casos de inundaciones en el sector urbano y originadas por el desbordamiento de los caños, según el CMGRD, la comunidad de Caldas no tiene una cultura asociada al manejo integral de los residuos sólidos, lo que origina problemas de inundación por el colapso en estos drenajes.

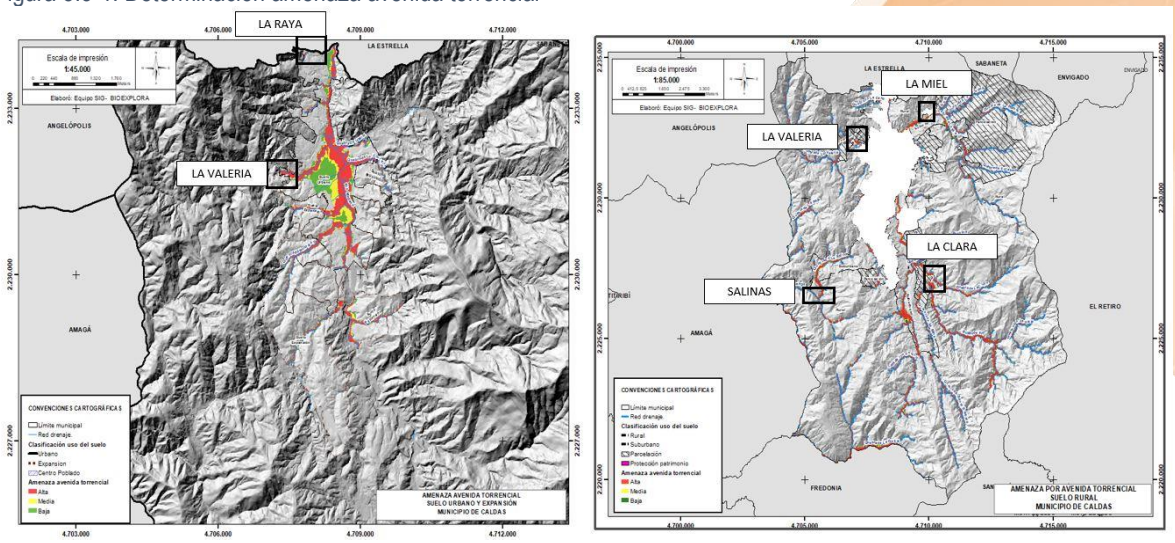
8.3.1.2 Zonificación de la Amenaza Hidrometeorológica tanto por Inundación como por Avenidas Torrenciales

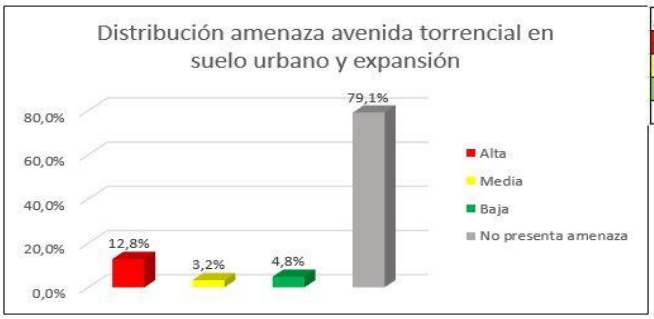
Se realizó un análisis hidrológico e hidráulico de las corrientes de aguas que cruzan el municipio mediante los siguientes análisis y estudios:

- Se determinaron las características y caudales de las crecientes asociadas a diferentes periodos de retorno (2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años.)
- Se calculó la magnitud de los caudales correspondientes a los niveles máximos alcanzados mediante el modelo hidráulico HEC-RAS (reconstrucción de crecientes).
- Estimación de los perfiles de flujo del modelo hidráulico HEC-RAS, los resultados, fundado en método conocido y adecuado (aplicándolo a los periodos de retorno de 2.33, 50 y 100 años, en el canal natural y en el modificado por las obras existentes.
- Dicha modelación se contrasto y complemento con un estudio geomorfológico de los tramos de la llanura aluvial de las diferentes quebradas con el fin de estudiar la dinámica fluvial de las mismas en cuento a fenómenos de migración antiguos y poder predecir el comportamiento futuro de las mismas

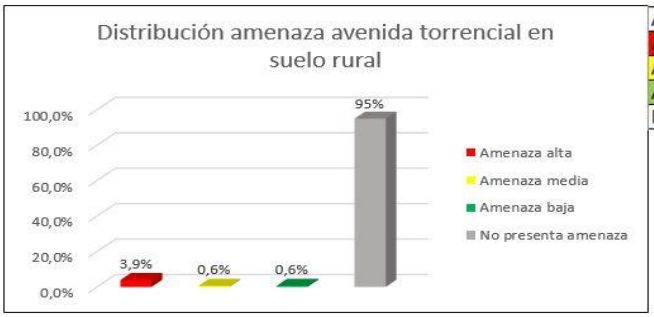
BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Figura 8.3-1. Determinación amenaza avenida torrencial





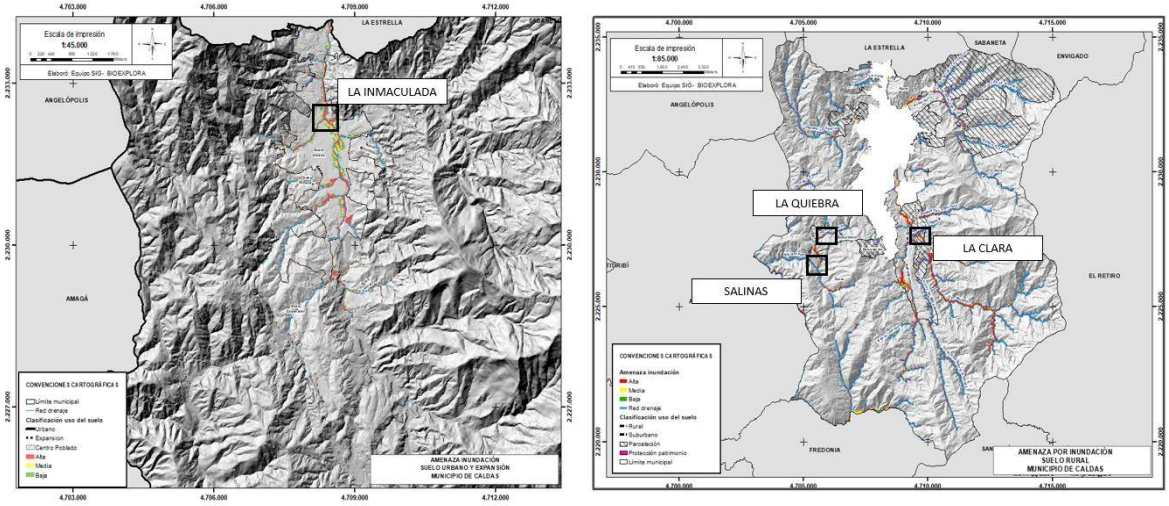
Amenaza	Area (Ha)	Porcentaje
Alta	125,793806	12,8%
Media	31,843672	3,2%
Baja	47,090979	4,8%
No presenta amenaza	775,41943	79,1%

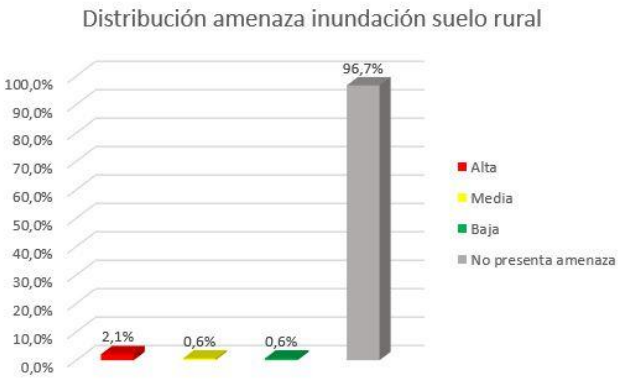


Amenaza	Area (Ha)	Porcentaje
Amenaza alta	475,3651	3,9%
Amenaza media	70,0943	0,6%
Amenaza baja	71,5927	0,6%
No presenta amenaza	11675,52721	95%

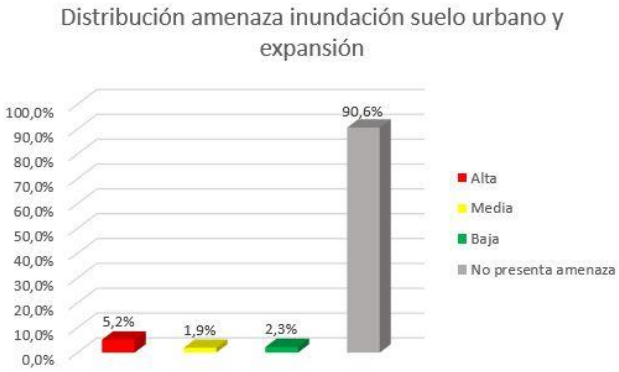
BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Figura 8.3-2. Determinación amenaza por inundación





Amenaza	Area tematica (Ha)	Porcentaje
Alta	254,598991	2,1%
Media	74,8588	0,6%
Baja	72,5958	0,6%
No presenta amenaza	11890,52572	96,7%



Amenaza	Area tematica (Ha)	Porcentaje
Alta	51,151443	5,2%
Media	18,924733	1,9%
Baja	22,132168	2,3%
No presenta amenaza	887,939543	90,6%

8.3.1.3 Identificación de medidas de intervención del escenario de riesgo asociado con inundaciones y avenidas torrenciales.

El municipio de Caldas ha tenido antecedentes asociados con inundaciones que se presentan en las partes bajas del municipio, afectando las familias que en estas zonas habitan, es por esta razón que se han tomado

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

algunas medidas de intervención, pero lo más importante es concienciar a la población sobre el riesgo que se corre y saber cómo actuar al momento de que ocurran los hechos.

➢ **MEDIDAS DE CONOCIMIENTO O MITIGACION DEL RIESGO**

a. ESTUDIO DE ANALISIS DEL RIESGO:
   - Evaluación de detalle y zonificación de amenaza por avenida torrencial en el sector urbano y suburbano.
   - Estudio de detalle - Análisis de riesgo y diseño de medidas de reducción, por movimientos en masa en sitios críticos.
   - Formular e implementar el Plan de adaptación al cambio climático.

b. SISTEMA DE MONITOREO:
   - Implementación del monitoreo hidrometeorológico
   - Implementación de sistemas de alerta temprana
   - Fortalecimiento e integración de los sistemas de telecomunicaciones

c. MEDIDAS ESPECIALES PARA LA COMUNICACIÓN DEL RIESGO:
   - Campañas de socialización de las medidas de prevención frente a la amenaza de avenida torrencial
   - Construcción de plegables y notas radiales informativas para la prevención de esta amenaza.

➢ **MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO – INTERVENCIÓN CORRECTIVA (riesgo actual)**

1) Medidas de reducción de la amenaza:

Medidas estructurales

a. Limpieza y recuperación de los caños en la zona urbana.
b. Recuperación de microcuencas urbanas y suburbanas
c. Adquisición de 2 hectáreas de predios de interés público
d. Apoyo a las comunidades de condición de riesgo y comunidad en general, en mejoramiento de viviendas.

Medidas no estructurales

a. Reglamentación de uso de suelo: Incorporación de la zonificación de amenaza por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundación en el POT con la respectiva reglamentación de uso del suelo.
b. Definición de zonas de expansión urbana en el POT con base en las zonificaciones de amenaza

➢ **MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

- Medidas estructurales
- Mejoramiento de las estructuras de las viviendas.
- Reubicación de plantas físicas institucionales por alto riesgo
- Construcción de vivienda nueva urbana y rural
- Reubicación y rehabilitación de viviendas de las zonas de alto riesgo. Reasentamiento de familias en alto riesgo por avenidas torrenciales e inundación

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Medidas no estructurales

a. Apoyo a las comunidades de alto riesgo y comunidad en general
b. Vigilancia y control de urbanismo
c. Mejoramiento de las condiciones de habitabilidad de la población urbana y rural
d. Legalización de predios (urbanos y rurales)
e. Capacitaciones y sensibilización con las comunidades
f. Formulación e implementación del proyecto ciudadano de educación ambiental – proceda
g. Formulación e implementación de los proyectos ambientales escolares – prae
h. Capacitación a cuerpo docente en educación ambiental y gestión del riesgo
i. Promoción, capacitación, organización e implementación de comités comunitarios para la gestión del riesgo en barrios, corregimientos y veredas
j. Concientización y desarrollo del conocimiento
k. Ejercer políticas sobre el urbanismo
l. Programas y talleres sobre normas de construcción y ambientales

8.3.2 Geológicos:

Los procesos de inestabilidad de laderas son producto de las condiciones geológicas, hidrológicas y geomorfológicas del sitio. La modificación de esas condiciones por procesos geodinámicas, actividades humanas, vegetación y usos del suelo, actúa como condición de deterioro que conlleva a la reducción de las propiedades mecánicas de los materiales y por consiguiente a desencadenar diferentes procesos de movimientos de masa.

Los movimientos en masa son desplazamientos del terreno a favor de la pendiente que se generan por acción de la fuerza de gravedad, bajo la influencia de ciertos factores como son el agua, los eventos sísmicos, la aplicación de carga excesiva, las excavaciones para la adecuación de viviendas o la apertura de senderos y vías, entre otros.

Estos movimientos producen cambios visibles en el terreno como agrietamientos, hundimientos e incluso desprendimientos de grandes cantidades de suelo o roca, de ahí que puedan ocasionar la destrucción y/o deterioro de la infraestructura pública, viviendas, cultivos y propiciar el represamiento de cauces de ríos o quebradas.

Los movimientos en masa pueden ser clasificados según factores como su mecanismo de falla, la velocidad de ocurrencia del fenómeno, y los materiales involucrados. Entre los tipos de movimientos en masa se encuentran deslizamientos, flujos, desprendimientos, caída de rocas, hundimientos, fenómenos de reptación, entre otros.

- **Identificación de causas del fenómeno**

Factores naturales

- Altas pendientes
- Altas precipitaciones
- Características topográficas del terreno
- Sismos

Factores antrópicos

- Excavaciones o cortes al terreno y la construcción y adecuación de carreteras.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- Crecimiento poblacional
- Desigualdad socio económica
- Localización de viviendas en zonas de pendiente
- Quema y tala progresiva de la cobertura vegetal
- Explotaciones agropecuarias sin prácticas de conservación de suelos
- Deforestación

Los movimientos en masa presentes en Caldas se deben a diferentes orígenes que aceleran el proceso y ejercen mayor presión sobre las zonas de alta pendiente, el principal es la Deforestación.
Las tendencias de los modelos productivos adoptados en el territorio argumentados en altas productividades y asociada al crecimiento de la agricultura, ponen una posición de equilibrio delicado en los ecosistemas y una ubicación altamente susceptible a daños muy difíciles de revertir, la deforestación es un accionar constante ampliando las barreras agrícolas y atentando fuertemente contra los ecosistemas naturales, esta tendencia se ubica como factor que favorece la ocurrencia del fenómeno de movimiento en masa en el municipio.

Factores que favorecieron la ocurrencia del fenómeno
El fenómeno en este municipio presenta dos tipos de orígenes: natural y socio natural, a continuación, se mencionan algunos factores que propiciaron la ocurrencia del fenómeno:

- Altas precipitaciones (Efectos climáticos)
- Características topográficas del terreno.
- Crecimiento poblacional.
- Desigualdad socio económica.
- Localización de un número importante de centros poblados en zonas montañosas o de ladera – Concentración de lluvias sobre zonas de ladera.
- Quema y tala progresiva de la cobertura vegetal.
- Explotaciones agropecuarias sin prácticas de conservación de suelos.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

8.3.2.1 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

Figura 8.3-3. Determinación Amenaza por movimiento en masa – Suelo urbano

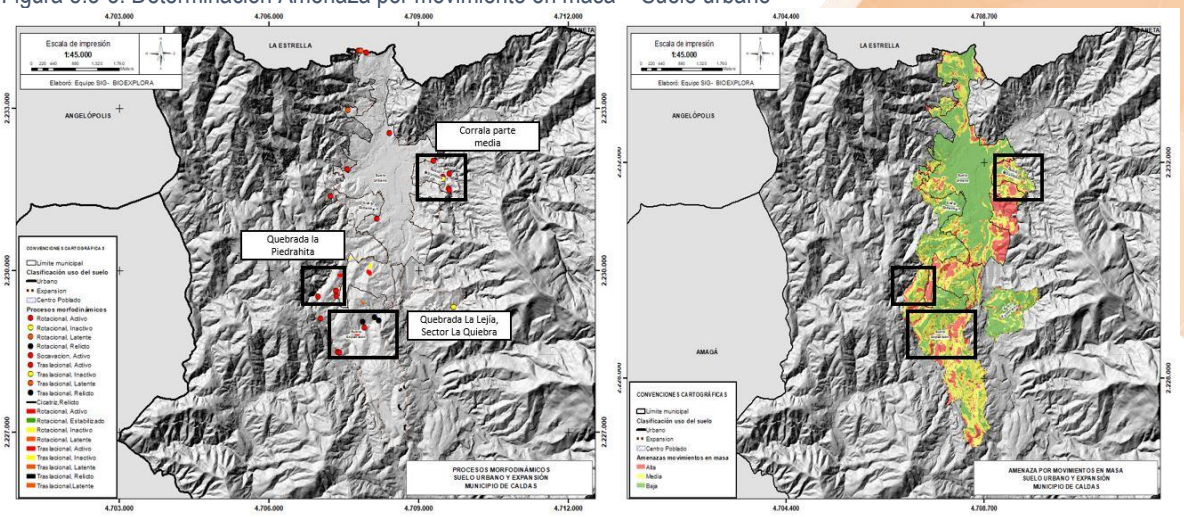


Tabla 8-2. Distribución de área de la amenaza por movimiento en masa en suelo urbano

Amenaza	Area tematica (Ha)	Porcentaje
Alta	158,67	16,19%
Media	382,42	39,02%
Baja	439,06	44,79%

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Figura 8.3-4. Histograma de frecuencia de la amenaza por movimiento en masa en suelo urbano

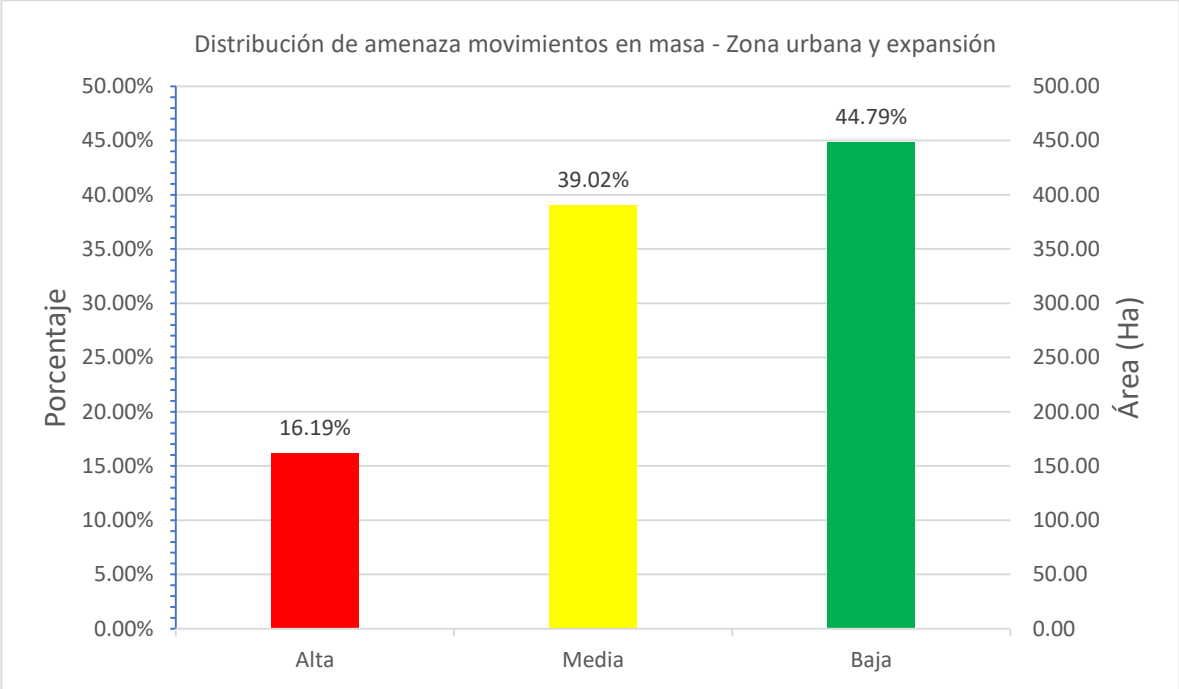
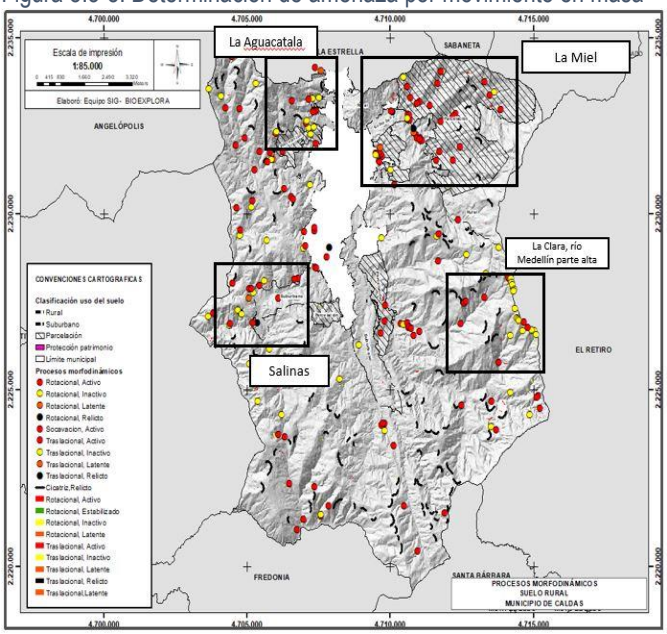
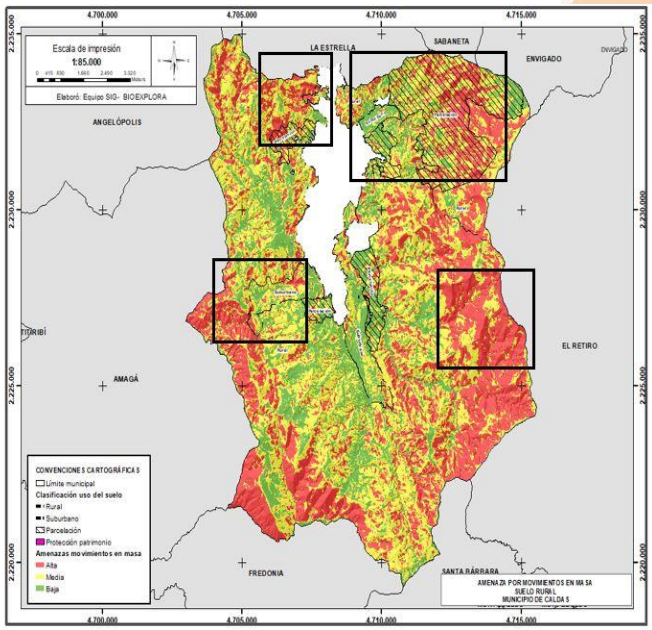


Figura 8.3-5. Determinación de amenaza por movimiento en masa – suelo Rural



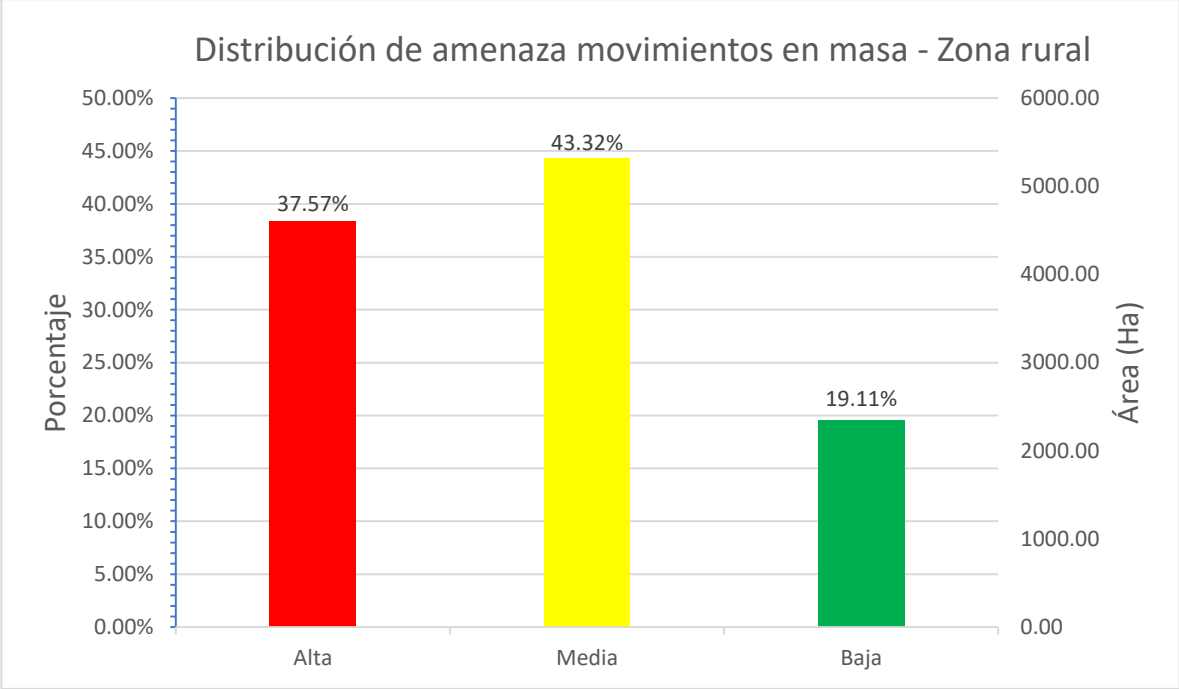


BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Tabla 8-3. Distribución de área de la amenaza por movimiento en masa en suelo rural

Amenaza	Area tematica (Ha)	Porcentajes
Alta	4604,87	37,57%
Media	5310,35	43,32%
Baja	2342,24	19,11%

Figura 8.3-6. Histograma de frecuencia de la amenaza por movimiento en masa en suelo rural



8.4 FORMULACIÓN DE ACCIONES

8.4.1 Proyectos

➢ **PROYECTO NO.1: EVALUAR LA FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO DE OBRAS DE MITIGACIÓN**

- **OBJETIVO:** Estudio y diseño de las soluciones hidráulicas, geotécnicas y estructurales de diferentes puntos críticos de las quebradas afluentes del rio Medellín en el municipio de Caldas.

- **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA y/o JUSTIFICACIÓN:**

Debido al desarrollo de Caldas y a los diferentes cambios físicos y climatológicos, se han agudizado problemas de índole socio - económicos generándose así una verdadera emergencia social y ambiental, originada por los desbordamientos de varias quebradas afluentes del río Medellín.

El socavamiento de muchos cauces ha desestabilizado taludes y márgenes, ocasionando gran cantidad de pérdidas tanto humanas como económicas. La problemática comienza desde los nacimientos con procesos de deforestación en las partes altas y medias

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

Como tratamiento a muchos de estos efectos es el drenaje de los suelos para liberarse del exceso de agua y específicamente aguas lluvia. Para lograr estos efectos se requiere de modelos y soluciones que regulen el cauce de un río o una quebrada en cuanto a protección, dirección y evacuación del cauce y sus márgenes, con el fin de estabilizar el régimen hidráulico, adecuar las áreas aledañas.
Lo anterior conlleva a que se requiera realizar los estudios y diseños requeridos para las soluciones hidráulicas de diferentes puntos críticos de la red hídrica en el municipio de Caldas, siendo esto medidas de protección.

- **ALGUNOS PROBLEMAS GENERALES DE LOS PUNTOS:**
  - Se hace necesario definir la torrencialidad de las quebradas para evaluar riesgos asociados a los períodos de lluvias, dado que se han ocasionado inundaciones y desestabilizaciones en las márgenes.
  - Las condiciones naturales de sus áreas de retiro están intervenidas.
  - Los taludes que conforman las márgenes y retiros presentan desestabilización donde ya se ha generado movimientos de reptación y asentimientos del suelo, involucrando varias viviendas del sector.

- **DESCRIPCIÓN DE LA ACCIÓN**
  - Identificar las obras físicas necesarias para la estabilización de taludes, socavación de márgenes y lechos, zonas erodadas.
  - Revaluar y optimizar el funcionamiento de las estructuras hidráulicas existentes, con el fin de mejorar el drenaje y prevenir inundaciones.
  - Proponer soluciones para la adecuación de zonas verdes en los retiros como parques de recreación si las características del área lo permiten.
  - Elaborar los diseños de las soluciones hidráulicas ambientales de la quebrada que es objeto del contrato.
  - Determinar las afectaciones hidráulicas aguas arriba y aguas abajo que se generan al intervenir el cauce.
  - Se deberá plantear alternativas y soluciones ambientales, siempre y cuando las características físicas lo permitan.
- **ENTIDAD, INSTITUCIÓN U ORGANIZACIÓN EJECUTORA:**

Administración municipal, secretarías de planeación y obras públicas.

- **PRODUCTOS Y RESULTADOS ESPERADOS**
  - Levantamiento topográfico
  - Estudio geomorfológico.
  - Estudio geotécnico
  - Estudio hidrológico
  - Estudio hidráulico
  - Estudio de taludes
  - Cantidades de obra, análisis de precios unitarios y costo presupuestado.
  - Especificaciones técnicas de construcción
  - Aseguramiento de la calidad
  - Informe final
  - Factibilidad.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- **INDICADORES**
  - Recolección de información de fuentes secundarias
  - Levantamientos topográficos
  - Recolección de información de campo
  - Toda la cartografía, esquemas y planos deberá elaborarse en computador en autoCAD con formatos de intercambio dxf, fotografías, esquemas y dibujos provenientes de otras fuentes se deben escanear para incluir en los documentos.

- **COSTO ESTIMADO:**

Novecientos setenta y siete millones doscientos ochenta y siete mil quinientos pesos ($ 977.287.500)

El costo estimado por punto es el siguiente:

	PROPUESTA ECONÓMICA				
ÍTEM	**DESCRIPCIÓN**	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**PRECIO TOTAL**
1	**Levantamiento topográfico**				
1,1	Levantamiento topográfico a detalle sección deL RIO (50 m)	día	1	$ 3.200.000	$ 3.200.000
	BATMETRIA del cauce	UNIDAD	3	$ 750.000	$ 2.250.000
2	**Profesionales**				
2,1	Ingeniero Hidráulico - Modelacion Hidrologiac e hidraulica	dias	12	$ 700.000	$ 8.400.000
3	**Trabajo de oficina**				
3,2	diseño geotecnico - incluye perforaciones y laboratorio , definicion geologica y geomorfologica	gl	1	$ 3.500.000	$ 3.500.000
3,3	Diseño estructural - Incluye memoria de calculo	gl	1	$ 12.000.000	$ 12.000.000
	calculo de cantidades y analisis de precios unitarios	gl	1	$ 2.500.000	$ 2.500.000
4	**Otros gastos**				
4,1	Transporte de equipos y personal	gl	1	$ 1.000.000	$ 1.000.000
	Monto total de la propuesta (No incluye Impuesto al Valor Agregado I.V.A.)				**$ 32.850.000,00**
				IVA	**$ 6.241.500,00**
				TOTAL	**$ 39.091.500,00**

Se priorizan cada punto crítico de acuerdo a la necesidad de intervención en definición se presentan 53 puntos críticos para el estudio de detalle de la solución hidráulica del sitio.

➢ PROYECTO NO.2 - REUBICACIÓN DE LAS VIVIENDAS EN RIESGO POR INUNDACIÓN

- **OBJETIVOS:**

Reubicar las viviendas en riesgo inminente por inundación y avenida torrencial ubicadas al margen del río Medellín en la zona urbana, para reducir el riesgo de esta comunidad.

- **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA y/o JUSTIFICACIÓN**

Las familias ubicadas en el margen del rio Medellín son altamente vulnerables y están en una zona de riesgo inminente por inundación y avenida torrencial.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- **DESCRIPCIÓN DE LA ACCIÓN**
  - Realizar un censo de las viviendas ubicadas al margen del río Medellín, para adelantar los procesos de reubicación y gestionar los recursos pertinentes a nivel interinstitucional.
  - Escenarios de riesgo en el cual interviene la acción: Riesgo por inundación y avenida torrencial
  - Población Objetivo:
  - Población ubicada al margen izquierdo del Río Medellín, Zona Urbana.
  - Lugar de aplicación: Zona Urbana, márgenes Río Medellín.

- **PLAZO:**

Largo plazo- Mayor a 4 años.

- **COORDINACIÓN INTERINSTITUCIONAL REQUERIDA:**

DAPARD, UNGRD, CORANTIOQUIA, AMVA

- **PRODUCTOS Y RESULTADOS ESPERADO:**

Tener el 70% de viviendas de las márgenes del río Medellín en la Zona Urbana.

- **INDICADORES:**

Número de viviendas reubicadas Vs viviendas en alto riesgo.

- **COSTO ESTIMADO:**

Este valor sale después del censo del total de viviendas a reubicar, con planeación municipal y Plan de Desarrollo a ser reubicadas, siendo zonas de alto riesgo. El valor estimado para tal fin es de $75.000.000 por vivienda.

➢ **PROYECTO NO.3 - Acompañamiento Social en el Proyecto Compra y Repoblamiento Vegetal de Nacimientos y Retiros.**

Uno de los problemas críticos encontrados en la cuenca es la deforestación de los nacimientos y las zonas de retiro de la quebrada, es notable que no hay una consciencia ambiental en la comunidad. Se trata de involucrar a ésta de una forma organizada, en la realización de actividades que alivien esta problemática con el fin de procurar un ambiente más agradable y dar garantías a la protección de las fuentes de agua.

- **RECURSOS**
  - Personal de apoyo: UMATA, Líderes Comunales, Coordinador del Plan, Corantioquia, AMVA
  - Insumos: Material didáctico.

- **BENEFICIOS**
  - Crear una conciencia ambiental en la comunidad que los haga veedores de sus recursos.
  - Apoyo que fortalece las actividades de reforestación en cuanto al compromiso de la comunidad en la conservación de la cuenca.
  - Potencialización a grupos ecológicos, a microcuencas ambientales.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- **INDICADORES**
  - Nombre: Áreas de la cuenca adoptadas por grupos comunitarios.
  - Atributo: En proceso de recuperación.
  - Unidad de medida: Hectáreas.
  - Unidad operacional: Número de hectáreas adoptadas / Número de hectáreas por adoptar.

  - Nombre: Amigos de la cuenca.
  - Atributo: Comprometidos e involucrados en la recuperación ambiental.
  - Unidad de medida: Número de asistentes por cuenca.
  - Unidad operacional: Número de asistentes al encuentro / Número de personas convocadas.

  - Nombre: Reforestación.
  - Atributo: Áreas de nacimiento y retiros de las quebradas.
  - Unidad de medida: Hectáreas sembrada.
  - Unidad operacional: Número de hectáreas sembrados / Número de hectáreas sembrar.

- **ACTIVIDADES**
  - Mesas de concertación y participación con la comunidad.
  - Campaña de reforestación de los nacimientos de la quebrada.
  - Fomentar convenio del municipio de Caldas y SENA, para la capacitación de los grupos de microempresas ambientales.

- **PRESUPUESTO**

Se proyecta la inversión de $50.000.000 por cuenca en inversión en reforestación y en capacitación. Se definen 10 cuencas mayores en promedio de $500.000.000 en 4 años.

➢ **PROYECTO NO.4 - Compra y Repoblamiento Vegetal de Nacimientos y Retiros.**

Consiste en la compra de 50 Ha correspondientes a las zonas donde nacen las diferentes cuencas de importancia frente a fenómenos hidrometeorológicos; igualmente delimitar las zonas con estacones para poder cercar el área con alambre de púas y permitir así que se dé un repoblamiento vegetal natural, con el objeto de evitar que se siga disminuyendo las áreas de protección que por ley están estipuladas para garantizar la conservación de los recursos naturales.

- **RECURSO**
  - Personal de apoyo: Municipio, UMATA, Corantioquia, Área Metropolitana, Grupos Ecológicos, Propietarios antiguos, Granjas Infantiles.
  - Equipo: Herramienta menor.
  - Insumos: Estacones, alambre de púas, grapas, abono, suelo orgánico.

- **BENEFICIOS**
  - Protección y conservación de los recursos hídricos, suelo, flora y fauna.
  - Mejora el balance hídrico de la cuenca.
  - Facilita la preservación de hábitats.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- Genera espacios para la sensibilización y educación ambiental.

- **INDICADORES**
- Nombre: Revegetación Natural.
- Atributo: Áreas de nacimiento y retiros de las quebradas.
- Unidad de Medida: Hectáreas revegetadas.
- Unidad operacional: Ha protegidas/Ha estimadas (34 Ha) por 100%.

- Nombre: Protección de nacimientos y retiros.
- Atributo: Áreas adquiridas de nacimientos y retiros.
- Unidad de medida: Hectáreas compradas.
- Unidad operacional: Ha compradas/Ha estimadas (34 Ha) por 100%.

- **ACTIVIDADES:**
- Hacer mesas de concertación entre los propietarios, el municipio de caldas, entidades comprometidas, líderes comunitarios, grupos ecológicos, etc.
- Gestión de los recursos para financiar la ejecución del proyecto.
- Realización del programa para el control de las zonas adquiridas y en el caso de que no se pueda gestionar la compra, formular programas alternativos.

➢ **PROYECTO NO.5 - Asesoría en Manejo de Praderas.**

La mayor área de la parte alta y media de la cuenca está conformada por potreros de los propietarios de los diferentes predios, todos estos han cambiado el uso del suelo buscando obtener los mejores resultados económicos sin darse cuenta del deterioro que han venido causando en los terrenos. Con este proyecto se busca capacitar los diferentes dueños de los predios o administradores para que le den un uso más racional a los potreros por medio de diferentes técnicas (parcelas demostrativas) sin privarlos que recibir los beneficios económicos acostumbrados.

- **MECANISMOS DE COORDINACIÓN**

Para la ejecución del PLAN de acompañamiento social y las asesorías técnicas, se recomienda:
- Contactar a la UMATA de Caldas para solicitar su colaboración con la ayuda de soporte técnico.
- Contactar a desarrollo comunitario o secretaría de agricultura para conseguir recursos del proyecto de parcelas demostrativas.

- **RECURSOS**
- Personal de apoyo: UMATA, JAC, Líderes Comunales, Secretaría Agricultura, coordinador del Plan.
- Equipo: Herramienta menor.
- Insumos: Fertilizantes, cal agrícola, material didáctico.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

- **BENEFICIOS**

El beneficio directo es sobre un área de 1Ha donde se establecerán las parcelas demostrativas y para toda la población que asista a los cursos de asistencia técnica, así cada uno de los participantes implementará lo aprendido en cada una de sus parcelas, esperándose un 80% de cubrimiento de las áreas dedicadas a pastoreo en la cuenca.

En general evitar el sobrepastoreo; maximizar los rendimientos en áreas aptas para pastoreo; evitar ampliar la frontera pecuaria a zonas de protección; propiciar la conservación de especies faunísticas y florísticas en estas áreas.

- **INDICADORES**

- Nombre: Asistencia técnica.
- Atributo: Parcelas demostrativas.
- Unidad de medida: Unidad.
- Unidad operacional: Unidad de parcelas realizadas / Unidad de parcelas estimadas.

- Nombre: Personas involucradas con la problemática.
- Atributo: Compromiso ambiental.
- Unidad de medida: Asistencia a las actividades programadas.
- Unidad operacional: Número de personas que asistieron / Número de personas convocadas.

- **ACTIVIDADES**

- Concertar reunión entre el coordinador encargado de la ejecución del PLAN, los dueños de las fincas de potreros o administradores, la comunidad, personal de la UMATA, JAC, Secretaría de Agricultura o Secretaría de Desarrollo.
- Realizar talleres de sensibilización y capacitación a los propietarios y gente de la comunidad de la cuenca.
- Localización de dos parcelas demostrativas, una estará ubicada en la parte alta y otra en la parte media.
- Realizar las parcelas demostrativas con ayuda de la comunidad.
- Comenzar la asistencia técnica a todos los campesinos y dueños de fincas de la cuenca; el manejo adecuado de las praderas debe considerar: Utilizar sistemas de rotación de potreros, utilizar prácticas de fertilización, riego, control de malezas; especies mejoradas de pastos y suplementos alimenticios para el ganado; incentivar el establecimiento de pastos de corte en lotes con pendientes mayores del 50% y manejo forestal en las praderas.

- **PRESUPUESTO**

El presupuesto se estima $10.000.000 por unidad demostrativa por cuenca por fenómenos hidroclimáticos para 4 años.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co

9 REFERENCIAS

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2006). *Microzonificación sísmica detallada de los municipios Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.*

BIOEXPLORA. (2021). *Estudio Básico de Amenazas Naturales Municipio de Caldas.*

SCS. (1972). Hidrology. En USDA, *National Engineering Han-Book* (pág. 544). Washington, D.C.: U.S Government Printing Office.

Snyder, W. M. (1972). Fitting Of Distribution Functions By Nonlinear Least Squares. *Water Resources Research*, 1423-1432.

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.

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 7 # 39-215 Oficina: 901 Ed. Granahorrar
Cel: 314 701 5084
Medellín – Colombia
info@bioexplora.com.co
www.bioexplora.com.co